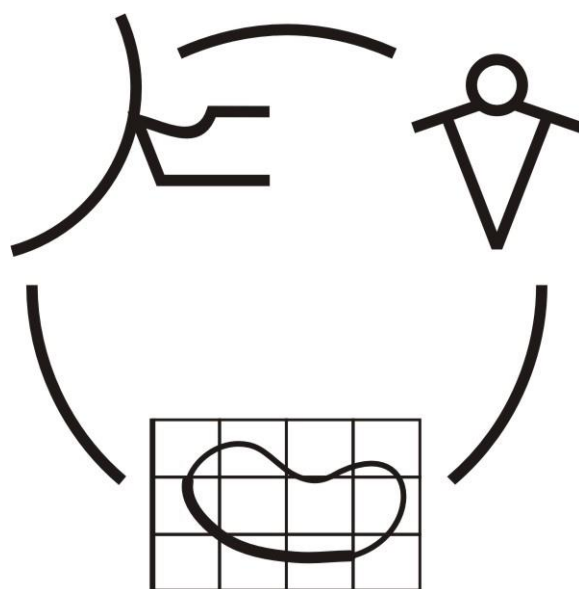


Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія

**НАДІЙНІСТЬ ІНСТРУМЕНТУ
ТА
ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ**

Збірник наукових праць
Випуск 32



КРАМАТОРСЬК 2013

УДК 621.9: 658.3: 658.5: 519.8

**НАДЕЖНОСТЬ ИНСТРУМЕНТА
И ОПТИМИЗАЦИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Сборник научных работ

Выпуск 32 – 2013

Основатель

Донбасская государственная
машиностроительная академия

Свидетельство

про государственную регистрацию

серия КВ 15277-3849Р

от 30.04.2009

**НАДІЙНІСТЬ ІНСТРУМЕНТУ
ТА ОПТИМІЗАЦІЯ
ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ**

Збірник наукових праць

Випуск 32- 2013

Засновник

Донбаська державна
машинобудівна академія

Свідоцтво

про державну реєстрацію

серія КВ 15277-3849Р

від 30.04.2009

Надежность инструмента и оптимизация технологических систем. Сборник научных трудов. – Краматорск, вып. №32, 2013. – 424 с.

Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ, вип. №32, 2013. – 424 с.

Reliability of the tool and optimisation of technological systems. Collection of of science papers. - Kramatorsk, №32, 2013. – 424 p.

Редакційна рада: **Мироненко Є.В.**, д-р техн. наук, проф. (Голова редакційної колегії); **Клименко Г.П.**, д-р техн. наук, проф.; **Ковалевський С.В.**, д-р техн. наук, проф.; **Ковальов В.Д.**, д-р техн. наук, проф. (заступники голови редакційної колегії); **Гузенко В.С.**, к.т.н., проф. (відповідальний секретар редакційної колегії); **Алієв І.С.**, д-р техн. наук, проф.; **Грабченко А.І.**, д-р техн. наук, проф.; **Залога В.О.** д-р техн. наук, проф.; **Заблюцький В.К.**, д-р техн. наук, проф.; **Кассов В.Д.**, д-р техн. наук, проф.; **Клименко С.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Колот А.В.**, д-р техн. наук, доц.; **Кузнєцов Ю.М.**, д-р техн. наук, проф.; **Матюха П.Г.**, д-р техн. наук, проф.; **Михайлов О.М.**, д-р техн. наук, проф.; **Пермяков О.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Равська Н.С.**, д-р техн. наук, проф.; **Роганов Л.Л.**, д-р техн. наук, проф.; **Рогов В.О.**, д-р техн. наук, проф., (Россия); **Сатонін О.В.**, д-р техн. наук, проф.; **Струтинський В.Б.**, д-р техн. наук, проф.; **Тарасов О.Ф.**, д-р техн. наук, проф.; **Федорінов В.А.**, к.т.н., проф. (члени редакційної колегії).

Статті прорецензовані членами редакційної колегії.
Матеріали випуску друкуються на мові оригінала.

ISSN 2222-9000

© Донбасская государственная машиностроительная академия, 2013

© Донбаська державна машинобудівна академія, 2013

© Donbass State Engineering Academy, 2013

*На здобуття Державної премії України
в галузі науки і техніки за 2013 рік*

УДК 621.9

**Ковальов В.Д.¹, Єфімов М.В.², Разживін М.О.³, Палашек О.Г.⁴,
Волошин О.І.⁵, Ковальов О.Г.⁵, Владимиров А.Ю.³, Волкогон В.М.⁶,
Антонюк В.С.⁷, Мельничук Ю.О.⁶**

ДДМА¹, ПАТ ЕМСС², ПАТ КЗВВ³, ПАТ КЗВВ⁴, ПАТ НКМЗ⁵, м Краматорськ; ІПМ НАНУ⁶
НТУУ КПІ⁷, м. Київ

СТВОРЕННЯ ВИСОКОТОЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ КРУПНОГАБАРИТНИХ ДЕТАЛЕЙ І УСТАТКУВАННЯ

Оснoву важкого машинобудування, яке є базою для розвитку всіх основних галузей народного господарства – металургії, енергетики, залізничного транспорту, автомобіле- і суднобудування, будівництва портів, нафтохімічних заводів, освоєння і видобутку корисних копалин, складає виробництво обладнання для металообробки. Основна група обладнання машинобудівних підприємств України – це токарні верстати. На важких токарних верстатах з числовим програмним керуванням проводиться механічна обробка широкої номенклатури деталей, таких як прокатні валки, ротори турбін, деталі вітроенергетичних установок, колісні пари залізничного та гірничого транспорту, корабельні гребні вали та багато іншого.

Якнайшвидша модернізація важкого машинобудування являє собою системний фактор, що визначає економічний стан України в найближчому майбутньому. Вирішуючи задачу радикальної перебудови промисловості на базі модернізації машинобудування (в першу чергу важкого), яка передбачає новий технологічний уклад та обладнання, Україна може стати конкурентноздатною на світовому ринку, а виготовляючи сучасні верстати для переоснащення машинобудівних підприємств України, зменшити залежність від імпорту та закупівлі різноманітних верстатів за кордоном.

Розроблене важке високоточне обладнання для металообробки, що дає можливість виготовляти крупногабаритні деталі, створює передумови для розвитку альтернативної вітрової електроенергетики для зниження залежності України від імпорту газу, як джерела енергії.

Метою даної роботи, спрямованої на вирішення проблеми забезпечення підприємств всіх основних галузей народного господарства України сучасним обладнанням, було створення, освоєння серійного виробництва важких токарних верстатів підвищеної точності з числовим програмним керуванням та впровадження їх при виготовленні крупногабаритних деталей і устаткування.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні **задачі**:

- виконати дослідження по підвищенню точності механічної обробки;
- вдосконалити компоновання верстатів та знизити їх металоємність;
- оптимізувати конструкцію окремих вузлів та розробити опорні вузли верстатів;
- створити нові адаптивні системи керування;
- вдосконалити технології виготовлення прецизійних верстатних вузлів шляхом використання нових інструментальних матеріалів та інструментів на їх основі;
- удосконалити інструментальне забезпечення нових верстатів для обробки важкооброблюваних матеріалів за рахунок застосування нових надтвердих матеріалів, інструментальної кераміки та методів зміцнення інструменту, а також нових технологічних процесів металообробки.

За результатами науково-дослідних робіт проведених Донбаською державною машинобудівною академією (ДДМА), Національним технічним університетом України «Київський політехнічний інститут» (НТУУ «КПІ»), Інститутом надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля Національної академії наук України (ІНМ НАНУ) та Інститутом проблем

матеріалознавства ім. І.М. Францевича Національної академії наук України (ІПМ НАНУ), використовуючи накопичений багаторічний досвід Публічного акціонерного товариства «Краматорський завод важкого верстатобудування» (ПАТ «КЗВВ»), Публічного акціонерного товариства «Новокраматорський машинобудівний завод» (ПАТ «НКМЗ»), Публічного акціонерного товариства «Енергомашспецсталь» (ПАТ «ЕМСС»), застосувавши кращі вітчизняні й імпорتنі комплектуючі вироби (системи ЧПК, високоточні великогабаритні шпиндельні підшипники, гідрообладнання та ін.), поставлене завдання вдалося здійснити. Створено важкі токарні верстати підвищеної точності моделей КЖ16274Ф3 і КЖ16275Ф3 (рис. 1), які за своїми технічними характеристиками не поступаються кращим світовим аналогам фірм HERKULES (Німеччина), SKODA (Чехія) та ін.

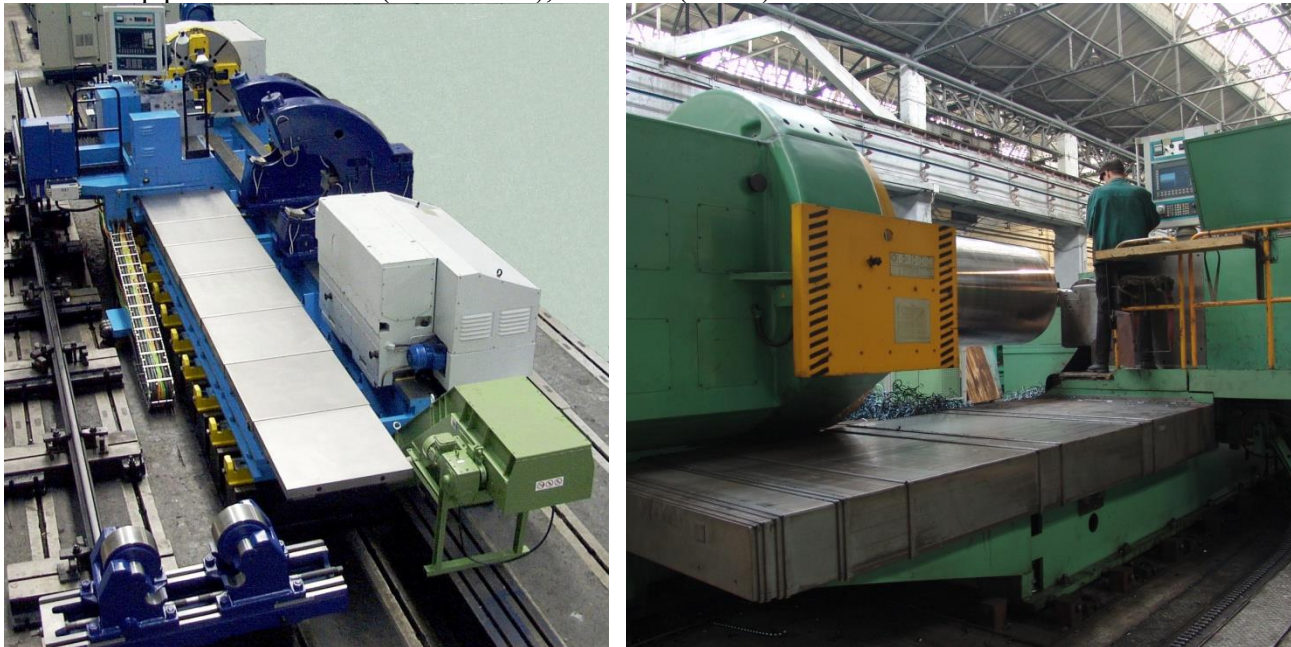


Рис. 1 – Важкі токарні верстати з ЧПК мод. КЖ16274Ф3 та КЖ16275Ф3

При організації серійного виробництва нових видів обладнання для металообробки удосконалювались існуючі та впроваджувались нові технології виготовлення прецизійних деталей з високими експлуатаційними характеристиками, методи обробки зубчастих коліс, валів, напрямних з високою твердістю та міцністю.

На основі вивчення закономірностей фазових і структурних перетворень у нітриді бору в процесі отримання полікристалічних надтвердих матеріалів інструментального призначення на стадії підготовки вихідних порошків і при спіканні в умовах високого тиску з дослідженням впливу стану вихідних порошків на процеси рекристалізації за різних баротермічних умов і формування фізико-механічних характеристик розроблено нові види композиційних полікристалічних надтвердих матеріалів різного призначення для виготовлення високоефективного різального й шліфувального інструменту. Досліджено особливості формування зміцнюючих дискретних покриттів на робочих поверхнях різального інструменту, оптимізовано їх склад й топографія, що дозволило суттєво підвищити експлуатаційні характеристики і розширити технологічні можливості інструментальних матеріалів. Вивчено закономірності зношування різального інструменту з надтвердих матеріалів на основі щільних модифікацій нітриду бору, інструментальної кераміки та твердих сплавів із зміцнюючими покриттями залежно від типу й способу їх нанесення при обробці конструкційних сталей та сплавів та розроблено нові види високоефективного різального інструменту та технології обробки конструкційних матеріалів різанням і реалізовано їх при виготовленні та експлуатації важких токарних верстатів.

Виготовлені верстати поставлені в механічні цехи ПАТ «НКМЗ» та інших машинобудівних підприємств. За час експлуатації показали себе як надійні, зручні в роботі машини, здатні з високою точністю обробляти деталі. Вони мають ряд конструктивних особливостей, що відрізняють їх від верстатів подібного класу більш ранніх років випуску.

Верстати мають раціональну компоновку з базовими вузлами та елементами несучої системи з конструктивними параметрами, які визначені на базі багаторічного досвіду проектування, натурних експериментів, експлуатації верстатів, сучасних методів математичного моделювання, розрахунків.

Особлива увага приділялася вузлам, які визначають точність верстатів. У шпindelних опорах передньої бабки й в обертовому центрі задньої бабки верстатів застосовані високоточні великогабаритні підшипники фірми FAG по точності й параметрам вище класу «SP» або гідростатичні підшипники, розроблені в ДДМА, що дозволяє робити обробку деталей з більш жорсткими допусками.

При цьому точність деталей, оброблених на цих верстатах вище:

- по осьовому биттю – в 3 рази,
- по радіальному биттю – в 4 рази,
- по сталості відхилень у поперечному перерізі деталей – в 2,3 рази,
- по площинності торцевої поверхні деталей – в 1,5 рази у порівнянні з досягнутими параметрами на деталях, оброблених на верстатах більш ранніх років випуску.

Для переміщення по осі Z (уздовж осі обробки деталі) на вертикальних напрямних застосовані роликові опори кочення, що дає збільшення точності обробки деталей на цих верстатах в 6 разів.

Для напрямних поздовжніх і поперечних переміщень можуть застосовуватися гідростатичні опори, що дозволяє значно збільшити точність, плавність переміщень, практично ліквідувати зношування, ефективно демпфувати вібрації. Високоточні шпindelні вузли, напрямні, підтримки планшайби й люнети з гідростатичними опорами забезпечують необхідну точність, надійність, довговічність надважких токарних верстатів і дозволяють різко підвищити їхню вантажопідйомність.

Для контролю переміщень по осях X і Z застосовані лінійки фірми HIEDENHAIN, що дозволяє збільшити точність переміщення й позиціонування не менш ніж в 2 рази.

Гідросистема виконана на базі елементів фірм Rexroth, BOSCH і забезпечує підвищенні робочі тиски (до 22 МПа). Виносна гідростанція передньої бабки й пристрій охолодження масла забезпечують високу термостабільність вузла.

Основні вузли - супорт-каретка й поперечні салазки з ламелями. Для забезпечення плавності й точності переміщень горизонтальні напрямні армовані антифрикційним матеріалом – стрічкою з наповненого фторопласта, на вертикальних напрямних установлені роликові опори кочення. Каретка й поперечні салазки з ламелями мають жорстку конструкцію, що забезпечує високу точність обробки. На ламелях можлива установка інструментального модульного оснащення з різальними пластинами із твердого сплаву з покриттями, інструментом з надтвердих матеріалів.

Система керування верстатом Sinumerik 840D поєднує завдання числового програмного керування, програмувального контролера й завдання периферії в єдиному NCU - модулі. Варіанти процесора NCU дають можливість оптимально пристосувати систему керування й до верстата, і до завдань механічної обробки та звести до мінімуму вплив людського фактора. Розроблено додаткові адаптивні модулі для здійснення адаптивного керування процесом обробки з компенсацією пружних і температурних деформацій елементів несучої системи верстата, заготовки, для здійснення граничного й оптимального регулювання режимів роботи верстата.

Всі ці прогресивні рішення, застосовані в конструкції верстатів, дозволяють підвищити продуктивність обробки деталей на 30 %.

Точність виконання робочих органів верстата забезпечує високу точність обробки деталей: радіальне й торцеве биття до 0,01 мм, некруглість і нециліндричність у межах 0,008-0,01 мм, шорсткість поверхні R_a 0,8 мкм.

Система ЧПК дозволяє вести обробку виробів складного профілю в автоматичному режимі. Є можливість нарізання різьби з будь-яким кроком (у діапазоні від 0,1 до 300 мм). Це дозволяє значно підвищити продуктивність і скоротити трудомісткість виготовлення, виключити виготовлення дорогого оснащення, тим самим скоротити витрати виробництва й підвищити конкурентоспроможність продукції, що виготовляється.

Таблиця 1 – Технічні дані верстатів у порівнянні із кращими закордонними аналогами

	Найменування параметрів	КЖ16274Ф3	КЖ16275Ф3	Р 500/600CNC	SR3	СТУ 3500
1	Виробник	КЗВВ Україна	КЗВВ Україна	HERKULES Німеччина	SKODA Чехія	TORNI ТАССНІ Італія
2	Найбільший діаметр обробки, мм: над супортом над станиною	1000 1250	1400 2000	1200	1000 1340	2100 3500
3	Найбільша довжина обробки, мм	6000	8000	6500	6000	6000
4	Найбільша маса оброблюваної деталі, кг	25000	60000	25000	25000	12000
5	Кількість плоских різцетримачів, шт	2	2	2	2	-
6	Розмір плоских різцетримачів, мм	35,70	35,70	80-80		-
7	Дискретність завдання переміщення, мкм	1	1	1	1	-
8	Кількість керованих осей координат, шт	2	2	2	2	-
9	Межі частот обергання шпинделя, об/хв	2-450	1-160	1-300	1-700	1,5-250
10	Найбільший крутний момент на шпинделі, КНм	50	100	50	35	28
11	Потужність головного привода, кВт	110	110	85	100	40
12	Габаритні розміри верстага, мм: довжина × ширина × висота	14872×4880× 2550	19157×6020× 3020	1200× × 2200		
13	Маса верстага, кг	54000	106800	58000		
14	Тип системи ЧПК	Sinumeric 840D	Sinumeric 840D	Sinumeric 840D	Sinumeric 840D	-
15	Точність (при діаметрі обробки 1800мм): Биття, мм Циліндричність, мм Відхилення профілю, мм Якість поверхні	0,01 0,025/300 +/- 0,02 Ra0,8	0,01 0,025/300 +/- 0,02 Ra0,8	0,02 0,03/300 +/- 0,03 Ra0,8	0,02 0,03/300 +/- 0,03 Ra0,8	

На створених заводом важких токарних верстатах з ЧПК підвищеної точності виготовляються найбільш великі та відповідальні деталі прокатних станів, надпотужних турбін і генераторів, енергетичних установок морських суден і інших машин практично без обмеження розмірів, ваги та точності (рис. 2).

Ці верстати, відрізняючись високою продуктивністю, точністю, надійністю й довговічністю, забезпечують новий якісний етап у розвитку важкого, транспортного й енергетичного машинобудування, чорної металургії й інших галузей промисловості, дозволяють звільнитися від імпорту подібного устаткування й розширити експорт важких токарних верстатів.

Розвитком верстатів нової гами є колесотокарні верстати з ЧПК моделей 1К836Ф3 і КЖ1836.10МФ3 (рис. 3), що також випускаються на ПАТ «КЗВВ» для виконання токарних робіт з виготовлення нових і ремонту профілів бандажів колісних пар вагонів, тепловозів, електровозів і мотор-вагонних секцій із шириною колії 1435-1676 мм і діаметром по колу катання 700-1250 мм.

Автоматизація більшості технологічних операцій і керування за допомогою системи ЧПК забезпечує високу точність і продуктивність обробки, збільшує припустиме число відбудовних переточувань і робочий ресурс колісної пари.

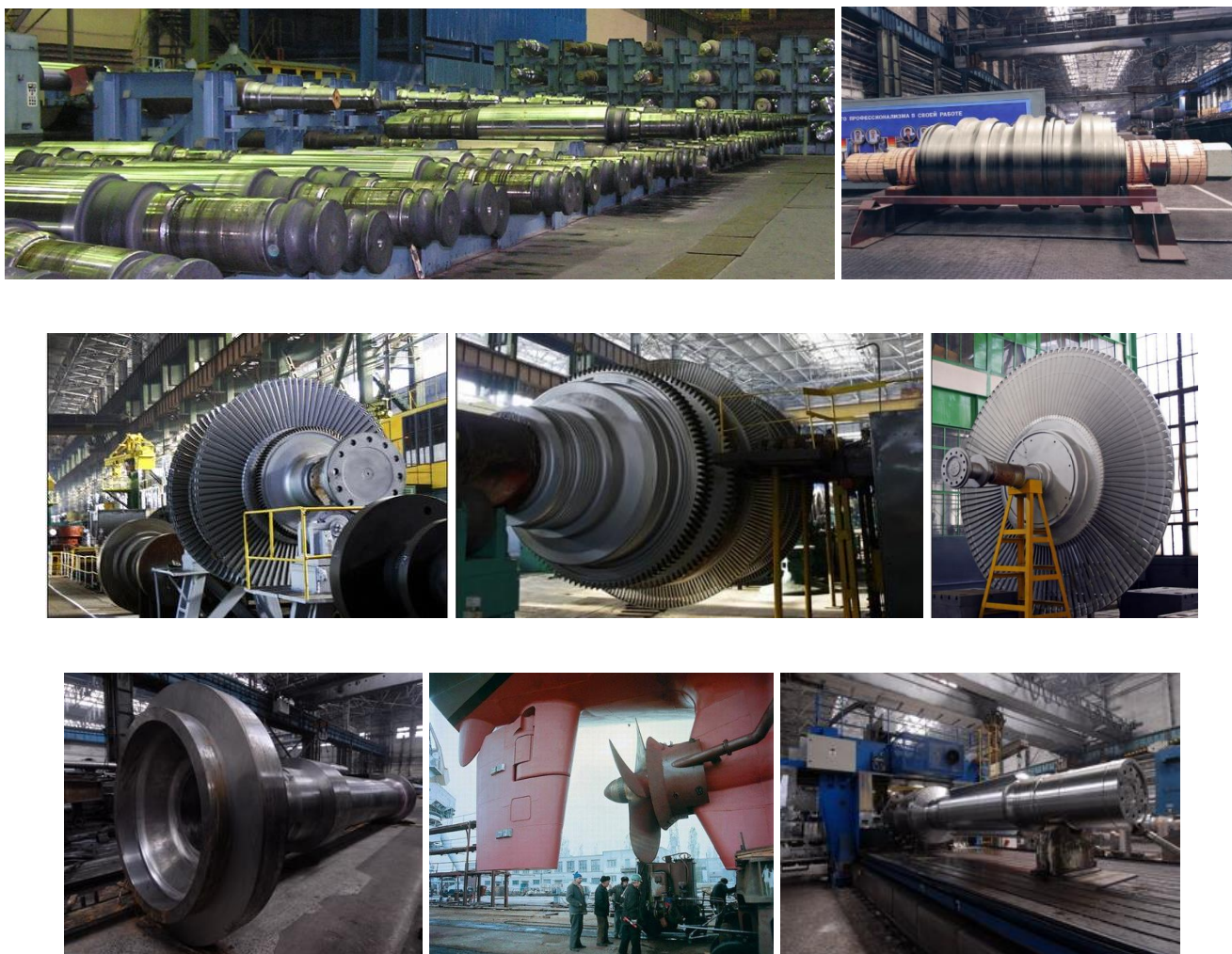


Рис. 2 – Деталі, що оброблені на важких верстатах нового покоління виробництва ПАТ «КЗВВ»

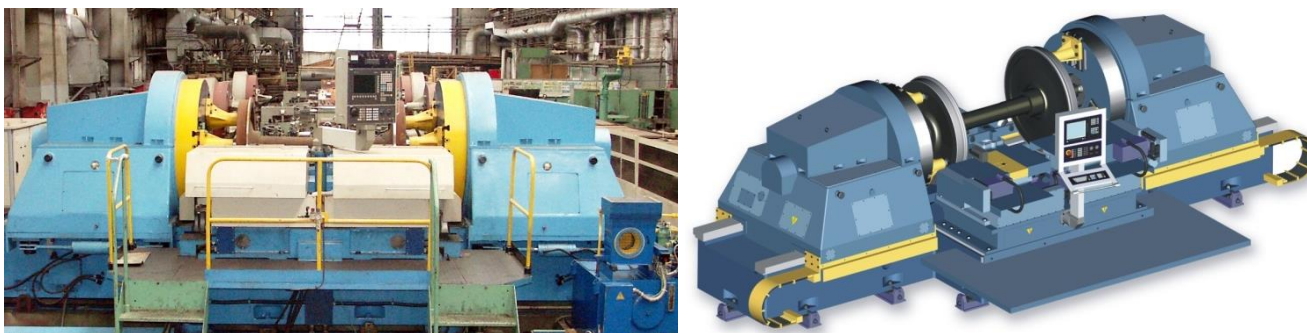


Рис. 3 – Колесотокарний верстат моделі 1836.10МФ3 з ЧПК

Верстат моделі 1К836Ф3 має порталне компонування, що дозволяє вбудовувати верстат у технологічну лінію обробки колісних пар на вагобудівних і вагоноремонтних підприємствах.

На ПАТ «НКМЗ» та ПАТ «Енергомашпецсталь» впроваджено серію важких токарних верстатів виробництва ПАТ «КЗВВ» моделей КЖ16274Ф3 і КЖ16275Ф3. Ефективність їхньої експлуатації в умовах виробництва підтверджується даними про зниження трудомісткості токарної обробки на 30%.

Використання нових верстатів виробництва ПАТ «КЗВВ» дозволяє щорічно збільшувати випуск прокатних валків, що поставляються металургійним підприємствам України й на експорт у багато країн світу (до 75% випуску).

З розвитком металургійної галузі підвищуються вимоги до якості валків та точності їх виготовлення, застосовуються нові марки сталей, які дають можливість забезпечити високі експлуатаційних характеристики.

Завдання ПАТ «НКМЗ», та ПАТ «Енергомашпецсталь» як виробників валків і енергетичного устаткування – зміцнити свої позиції на світовому ринку валків за рахунок підвищення конкурентоспроможності цього виду продукції. Спосіб рішення даного завдання – широке застосування сучасного устаткування й передових технологій. Верстати моделі КЖ16275Ф3 і КЖ16274Ф3 мають всі необхідні можливості й характеристики для виготовлення конкурентоспроможної продукції, що підтверджено їхнім успішним застосуванням протягом більше 6 років.

Економічна ефективність застосування верстатів мод. КЖ16275Ф3 і КЖ16274Ф3 на ПАТ «НКМЗ» виражена в збільшенні обсягу товарної продукції представлена на рис.4, де показана динаміка зростання обсягу випуску прокатних валків та енергетичного устаткування. Приріст випуску валків та енергетичного устаткування у порівнянні з 2002 роком становить 26 321 т (у відсотках – 288,73%), що складає 773 млн. грн. (у відсотках – 788%) .

В 2002 році ПАТ «НКМЗ» було виготовлено 13 946 т прокатних валків для Росії, Китаю, Індії, Румунії та інших країн, а в 2012 році за допомогою нових важких токарних верстатів з ЧПК валків та енергетичного обладнання виготовлено майже в 3 рази більше (рис. 4).

Нове обладнання дозволяє ПАТ «НКМЗ» виготовляти сьогодні крупногабаритні гребні вали кораблів (довжина – до 15 м, маса – до 25 т) для Німеччини, Нідерландів, Китаю, унікальні роторні вали (діаметр – 1600 мм, довжина – 2500 мм, маса 7,7 т) та деталі для вітрових енергетичних установок, як альтернативного напрямку, спрямованого на енергозбереження, не тільки в рамках крупного міжнародного енергетичного проекту по створенню вітрових електростанцій для США, Німеччини, Нідерландів, але зараз і для України.

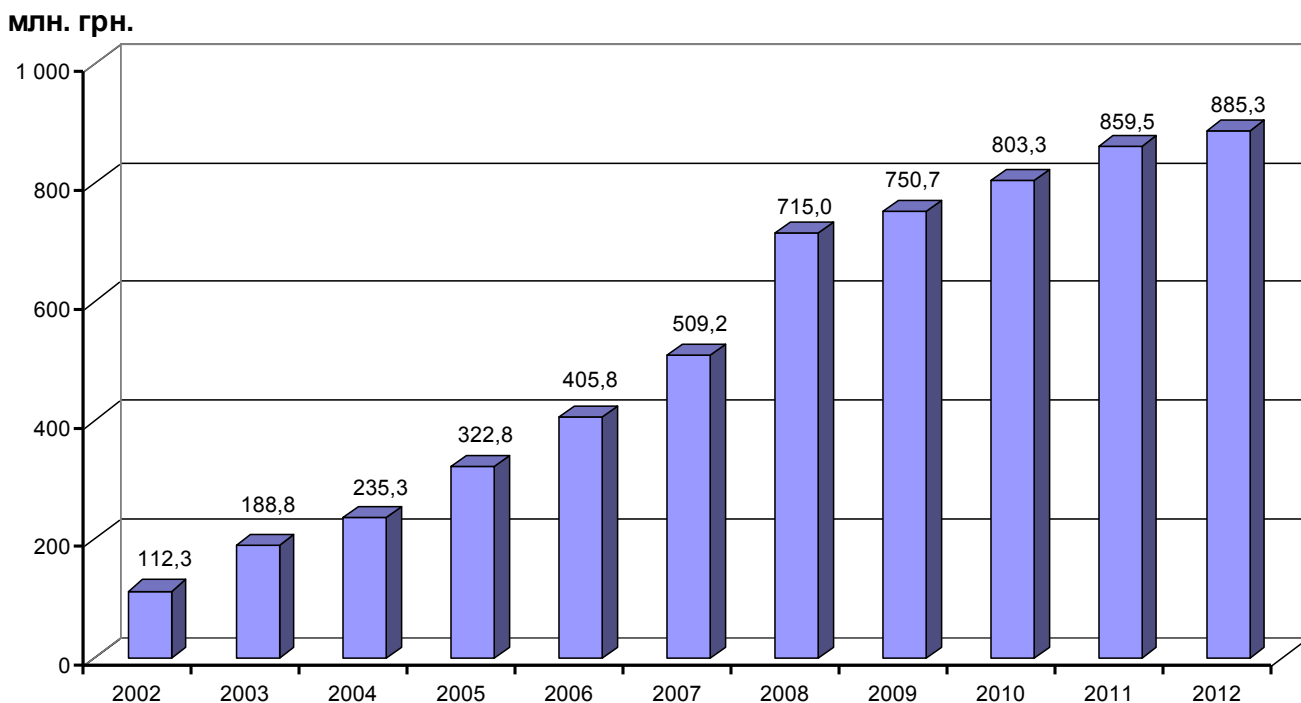


Рис. 4 – Динаміка підвищення обсягів виробництва прокатних валків та енергетичного устаткування на ПАТ НКМЗ із застосуванням верстатів мод. КЖ16275Ф3 і КЖ16274Ф3

В рамках програми «Вітрові парки України» на ПАТ «КЗВВ» здійснюється повний цикл виробництва та монтажу вітрогенераторів і при виході на повну виробничу потужність щорічно буде виготовлятися 100 вітроустановок. Почався випуск вітроенергетичних установок потужністю 2,5 МВт, які мають висоту до 160 м і розмір лопастей гвинта від 90 до 104 м при масі моторної гондоли 96 т.

На створених важких токарних верстатах з ЧПК підвищеної точності на Харківському турбінному заводі ПАТ «Турбоатом», Південно-турбінному заводі «Зоря-МАШПРОЕКТ» також виготовляються найбільш великі та відповідальні деталі надпотужних турбін, генераторів, енергетичних установок морських суден, прокатних станів і інших машин практично без обмеження розмірів, ваги й точності.

Попит на важкі токарні верстати зі ЧПК виробництва ПАТ «КЗВВ» безупинно зростає. В 2012 році на ПАТ «КЗВВ» виготовлено 50 верстатів нового покоління, з яких 12 поставлено на підприємства України, а 38 - в країни СНД та далекого зарубіжжя.

У процесі виконання роботи фахівцями було опубліковано 11 монографій і понад 400 наукових праць та отримано 52 патенти.

Важкі токарні верстати нового покоління виробництва ПАТ «КЗВВ» неодноразово отримували високу оцінку на виставках в Україні та інших країнах. Ці верстати стали переможцем Всеукраїнського конкурсу якості продукції «100 кращих товарів України» в році в номінації «Продукція виробничо-технічного призначення».

Висновок

В результаті проведених науково-дослідних, дослідно-конструкторських, експериментальних та технологічних робіт вирішена важлива народногосподарська проблема – розроблено конкурентоздатне важке високоточне обладнання для металообробки, яке за своїми технічними характеристиками знаходиться на рівні кращих закордонних аналогів.

Вирішено проблему інструментального забезпечення нових важких токарних верстатів на основі нових надтвердих матеріалів, інструментальної кераміки, зміцнюючих покриттів на

інструментах матеріалах та застосування нових технологій обробки, що дало можливість суттєво підвищити їх технічні та експлуатаційні показники.

Завдяки виконанню комплексу науково-технічних робіт, впроваджених і освоєних в серійному виробництві вдалося наповнити внутрішній ринок сучасним високоефективним конкурентним важким високоточним обладнанням для металообробки замість імпортного, а також значно збільшити експортну складову України, як за рахунок поставок розроблених важких токарних верстатів в 26 країн світу, так і шляхом розширення експорту продукції виготовленої на цьому устаткуванні.

Динамічний розвиток відбувається в галузі вітрової енергетики. Якщо в 2010 році було вироблено 87,4 МВт вітрової енергії, то в 2011 році її кількість складала вже 151,1 МВт, а в 2012 році вітроенергетична потужність України наблизилась до 200 МВт, що наочно демонструє стрімке зростання національної вітроенергетики чому сприяла розробка нового важкого високоточного обладнання для металообробки.

Впровадження результатів роботи забезпечило підвищення продуктивності праці на 30-45%, дозволило в 1,3 рази збільшити кількість робочих місць як на підприємствах машинобудівної, металургійної, гірничодобувної та суднобудівельної галузі, так і в регіонах, де встановлюються вітрові енергогенеруючі установки та розвивається інфраструктура, зростають інвестиції.

СТВОРЕННЯ ВИСОКОТОЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ КРУПНОГАБАРИТНИХ ДЕТАЛЕЙ І УСТАТКУВАННЯ

За результатами проведених науково-дослідних, дослідно-конструкторських, експериментальних та технологічних робіт розроблено конкурентоздатне важке високоточне обладнання для металообробки, яке за своїми технічними характеристиками знаходиться на рівні кращих закордонних аналогів. Обладнання, відрізняючись високою точністю, продуктивністю, надійністю й довговічністю, відкриває новий етап у розвитку важкого, енергетичного і транспортного машинобудування, металургії й інших галузей промисловості, сприяє розширенню експорту важкого обладнання і продукції важкого машинобудування, а також забезпечує виробництво вітрових енергетичних установок.

СОЗДАНИЕ ВЫСОКОТОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ И УСТАНОВОК

По результатам проведенных научно-исследовательских, опытно-конструкторских, экспериментальных и технологических работ разработано конкурентоспособное тяжелое высокоточное оборудование для металлообработки, которое по своим техническим характеристикам находится на уровне лучших зарубежных аналогов. Оборудование, отличаюсь высокой точностью, производительностью, надежностью и долговечностью, открывает новый этап в развитии тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения, металлургии и других отраслей промышленности, расширению экспорта тяжелого оборудования и продукции тяжелого машиностроения, а также обеспечивает производство ветровых энергетических установок.

MANUFACTURING HIGH-PRECISION EQUIPMENT AND LARGE-DIMENSION DETAILS AND INSTALLATIONS

The work embraces creation of scientific base for development of high-precise equipment, their manufacturing techniques, production of large-dimension details and installations, and is based on constructional and technological research on mechanics, hydraulics, hydrodynamics, mechatronics, physical and mechanical processes of precise detail form-building.

Industrial application of the results presented in the work allowed to manufacture heavy metal-working equipment that meets the highest international standards and successfully competes with machines manufactured by the leading companies in the world. Creating high-precision heavy equipment implies manufacturing large and major details for superpower turbines and generators, rolling mills, energy installations for vessels and other machines and mechanisms. High-precision, efficient, reliable, and durable equipment is a milestone in the development of heavy, transport and energy engineering, metallurgy, and other industries; it stimulates expansion of heavy equipment and heavy engineering products exports; encourages development of alternative power industry sources by manufacturing wind electric sets.

Ключові слова: Важке металообробне високоточне обладнання, токарний верстат.

Ключевые слова: Тяжелое металлообрабатывающее оборудование, токарный станок.

Key words: Heavy metal-working high - precision equipment, lathe.

Дата надходження статті: 16 травня 2013 р.

РОЗДІЛ 1 ПРОЦЕСИ ТА ІНСТРУМЕНТИ МЕХАНООБРОБКИ

УДК 621.9.02

Клименко С.А.

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЗАКАЛЕННЫХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ОДНОКРОМЧНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ И ИНСТРУМЕНТОМ С ПЕРЕДНЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ В ВИДЕ ТЕЛА ВРАЩЕНИЯ

Введение

Высота микронеровностей, рассчитанная из кинематико-геометрических представлений закономерностей формирования поверхности и полученная в результате обработки, в большинстве случаев не совпадают [1]. В общем виде высота неровностей определяется по зависимости $Rz = Rz_p + \Delta H$, где Rz_p – расчетная высота неровностей (детерминированная составляющая); ΔH – отклонение фактической высоты неровностей от расчетной (стохастическая составляющая), отражающее изменение высоты неровностей в результате упругого восстановления поверхности среза, пластической деформации в зоне стружкообразования, среза вершин неровностей сходящей стружкой, трения на задней поверхности инструмента, износа режущей кромки инструмента, вибраций в технологической системе и ряда других причин. При лезвийной обработке, в первую очередь, следует учитывать составляющую $\Delta H_{пл}$, связанную с пластическими явлениями перед передней поверхностью режущего инструмента.

Зависимости для расчета высоты микронеровностей Rz_p , обусловленной кинематико-геометрическими причинами, предложены в [1].

В [2] показан механизм приращения высоты микронеровностей за счет пластических явлений перед передней поверхностью инструмента. Большая высота микронеровностей Rz при обработке конструкционных материалов в сравнении величиной, рассчитанной по [1], обусловлена тем, что не весь массив обрабатываемого материала, соответствующий профилю режущего инструмента в плане, удаляется в процессе резания (рис. 1). Большая часть материала, прилегающая к главной режущей кромке, удаляется в виде стружки. Меньшая часть материала, прилегающая к вспомогательной режущей кромке, обтекает вспомогательную заднюю поверхность инструмента и выдавливается в вершину неровности.

Такое разрушение материала срезаемого припуска объясняется совместным действием главной и вспомогательной режущих кромок инструмента, определяющим направление схода стружки (табл. 1).

В результате столкновения потоков материала со стороны главной и вспомогательной режущих кромок разделение деформированно-

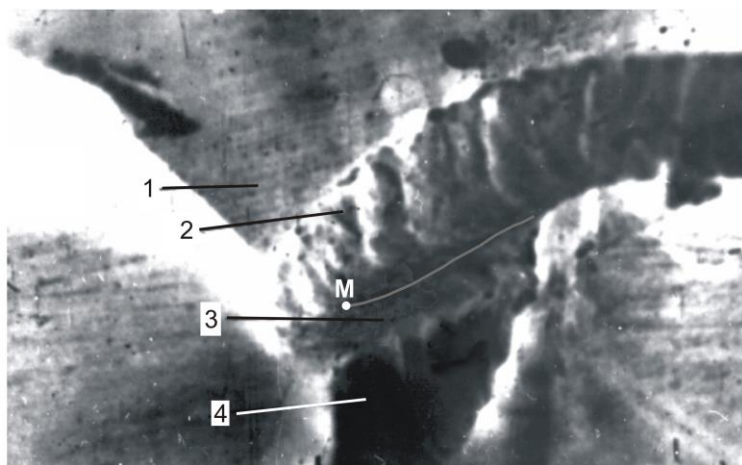


Рис.1. Разделение срезаемого припуска на срезаемую и выдавливаемую части:

- 1 – передняя поверхность инструмента;
- 2 – стружка; 3 – деформируемая часть припуска;
- 4 – след от предыдущего прохода инструмента

го металла на срезаемую и выдавливаемую части происходит в точке над передней поверхностью резца со стороны свободной поверхности, в которой формируются наибольшие касательные напряжения (рис. 2, точка M) [3], и распространяется до вспомогательной режущей кромки инструмента. Поток металла,двигающийся со стороны вспомогательной режущей кромки, обтекает ее и выдавливается в формируемую неровность, увеличивая ее высоту и отгибаясь в сторону, обратную подаче (рис. 2).

На рис. 3 показано поперечное сечение неровностей, сформированных в результате обработки – неровности имеют высоту, существенно превышающую рассчитанную исходя из представлений о кинематико-геометрических причинах их образования, и наклонены в сторону, обратную подаче.

Снизить высоту неровностей R_z можно за счет применения специальных режущих инструментов – косоугольных однокромочных («бреющих») инструментов и инструментов с передней поверхностью в виде тела вращения, например цилиндрической. Такие инструменты обеспечивают минимизацию величины $\Delta H_{пл}$ за счет работы одной режущей кромкой или за счет снижения степени деформации срезаемого материала в зоне резания в результате того, что формируются две, не взаимодействующие друг с другом, стружки – со стороны главной и со стороны вспомогательной режущих кромок. Обработка «бреющим» инструментом и инструментом с передней поверхностью в виде тела вращения приближается к свободному резанию.

Таблица 1.

Влияние условий обработки на высоту микронеровностей

Фактор	Показатель				
	Соотношение длин режущих кромок инструмента l_T/l_B	Угол схода стружки η	R_{zp}	$\Delta H_{пл}$	R_z
v	0	–	0	–	–
S	–	+	+	+	+
t	+	–	0	–	–
φ	–	–	+	–	+
φ_1	+	–	+	–	+
R	–	+	–	–	–

Примечание: + - увеличение фактора вызывает возрастание показателя; 0 - нет влияния

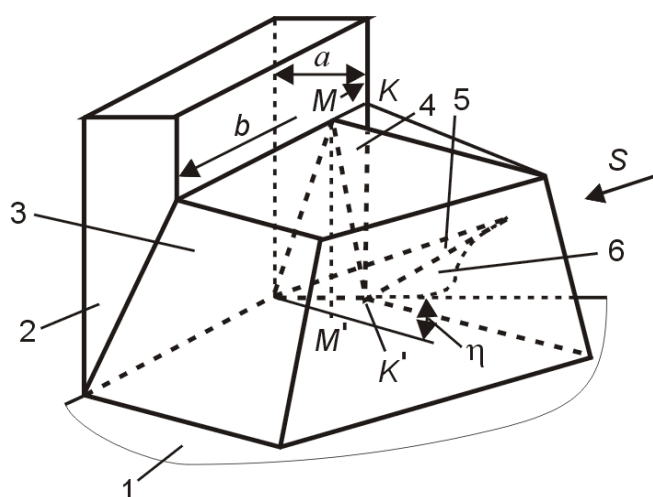


Рис. 2. Схема удаления припуска:
 1 – резец; 2 – припуск; 3 – стружка;
 4 – выдавливаемая часть припуска;
 5 – расчетная неровность;
 6 – выдавленная часть неровности

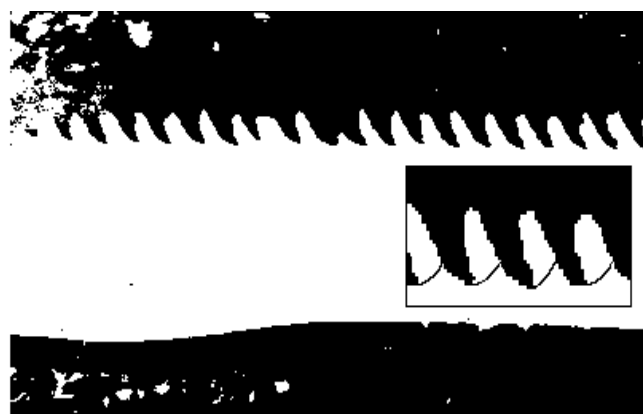
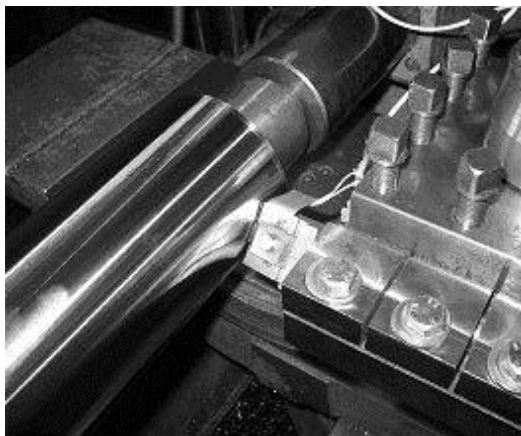


Рис. 3. Профиль реальных неровностей после обработки точением (тонкой линией показан профиль неровностей, соответствующих профилю инструмента)

Кроме того, для указанных инструментов существенно снижается влияние кинематико-геометрических факторов процесса обработки, что также способствует снижению шероховатости обработанной поверхности.

Нужно отметить, что обработка «бреющими» инструментами и инструментами с передней поверхностью в виде тела вращения характеризуется существенно большей производительностью в сравнении с обработкой традиционными инструментами за счет величины подачи. В совокупности с обеспечением низкой шероховатости обработанной поверхности, последнее делает указанные методы обработки перспективными для финишной обработки крупногабаритных деталей – валков прокатных станов, шпинделей крупных станков, судовых валов и т.д. Такие изделия во многих случаях изготавливаются из конструкционных материалов высокой твердости, в частности закаленных сталей, для обработки которых наиболее эффективно применение режущих инструментов, оснащенных поликристаллическими сверхтвердыми материалами на основе кубического нитрида бора (ПКНБ) [4].

В настоящей работе представлены экспериментальные результаты исследования шероховатости поверхности деталей из закаленных сталей 40X (50 HRC) и ШХ15 (60–62 HRC) после обработки «бреющим» инструментом и инструментом с цилиндрической передней поверхностью, оснащенными режущими пластинами квадратной SNMN 1203 и круглой RNMN 070300 форм из ПКНБ (рис. 4).



а



б

Рис. 4. Примеры обработки деталей из стали ШХ15 (60-62 HRC):

а – однокромочным резцом с квадратной пластиной из ПКНБ киборит;

б – резцом с цилиндрической передней поверхностью с круглой пластиной из ПКНБ борсинит

Результаты исследований

Анализ шероховатости поверхности, обработанной косоугольным безвершинным инструментом, показывает, что с ростом подачи высота микронеровностей Ra монотонно возрастает в диапазоне углов наклона режущей кромки λ до 50° . При величине $\lambda > 30^\circ$ в диапазоне подач $S = 0,1-1,0$ мм/об высота неровностей также монотонно возрастает, причем более интенсивно с увеличением угла наклона режущей кромки λ .

Для повышения качества поверхности с ростом подачи величину λ необходимо снижать, однако при $S < 0,6$ мм/об инструмент с $\lambda = 30^\circ$ обеспечивает более высокое качество обработки, чем резец, режущая кромка которого имеет угол наклона 20° .

Сравнительные эксперименты показали, что при продольном точении закаленной стали инструментом с цилиндрической передней поверхностью при подачах 0,1, 0,19 и 0,38 мм/об высота микронеровностей Ra значительно ниже в сравнении с поверхностью, обработанной с теми же режимами традиционным инструментом (рис. 5, а). При точении с более высокими подачами наблюдается значительно большая разница в значениях высоты микронеровностей при использовании обоих видов инструментов. Величина подачи в диапазоне 0,10–0,38 мм/об,

при использовании инструмента с цилиндрической передней поверхностью, оказывает существенно меньшее влияние на шероховатость обработанной поверхности – высота неровностей Ra увеличивается от 0,19 до 0,34 мкм. При точении в аналогичных условиях резцом с плоской передней поверхностью высота неровностей Ra изменяется от 0,45 до 2,8 мкм.

Сравнение высотных параметров шероховатости поверхностей, обработанных с подачами до 0,57 мм/об при базовых длинах 0,8 и 2,5 мм, не показало их существенного изменения (табл. 2). Соотношения высотных параметров шероховатости поверхности R_{max}/Ra и R_p/Ra в зависимости от величины принятой базовой длины составляют 4,4–6,4 и 2,7–3,7 соответственно.

Таблица 2

Высотные параметры шероховатости поверхности (мкм)

Подача инструмента, S , мм/об	Ra		R_{max}		R_p	
	базовая длина l (мм)					
	0,8	2,5	0,8	2,5	0,8	2,5
0,29	0,29	0,35	1,85	2,15	0,89	1,31
0,57	0,42	0,45	2,28	2,74	1,35	1,32
0,67	0,74	0,99	3,32	4,38	2,18	2,63

В меньшей степени шероховатость поверхности, обработанной «бреющим» инструментом, зависит от скорости резания. Эмпирические данные свидетельствуют о снижении шероховатости в диапазоне скоростей 0,9–1,2 м/с. При дальнейшем увеличении скорости резания наблюдается рост высоты микронеровностей, более интенсивный при больших подачах.

Изменение скорости резания также не оказывает существенного влияния на шероховатость поверхности, обработанной инструментом с цилиндрической передней поверхностью. В тоже время, зависимость высоты микронеровностей Ra поверхности от глубины резания носит экстремальный характер (рис. 5, б) – при малой глубине резания вследствие малой толщины среза возникают вибрации, с увеличением глубины резания возрастает радиальная сила резания, что приводит к нестабильности процесса резания.

Увеличение переднего угла у традиционного инструмента с плоской передней поверхностью приводит к возрастанию радиуса проекции режущей кромки на основную плоскость, а заднего угла у инструмента с цилиндрической передней поверхностью – к снижению радиуса проекции режущей кромки. Соответственно этому происходит снижение или увеличение высотных параметров шероховатости обработанной поверхности.

Износ инструмента сопровождается изменением радиуса округления режущей кромки, ее формы и микрогеометрии. При точении косоугольным однокромочным инструментом, по мере образования фаски прирабочного износа, шероховатость обработанной поверхности снижается (рис. 6).

Для поверхностей, обработанных «бреющим» инструментом, оснащенным ПКНБ, величина относительной опорной поверхности t_{20} составляет от 2 % при $S = 0,1$ мм/об до 6 % при $S = 0,67$ мм/об ($\lambda = 50^\circ$). Величина относительной опорной длины 10 и 15 %, достигается при уровне сечения профиля 23 и 25 % соответственно. Использование инструментов с меньшими углами наклона режущей кромки при больших подачах ведет к некоторому уменьшению величины относительной длины опорной поверхности. Так при $\lambda = 20^\circ$ и подачах 0,67–0,95 мм/об значение t_{20} составляет 4,5 %, а 10 и 15 % – при уровне сечения профиля 25 и 30 % соответственно.

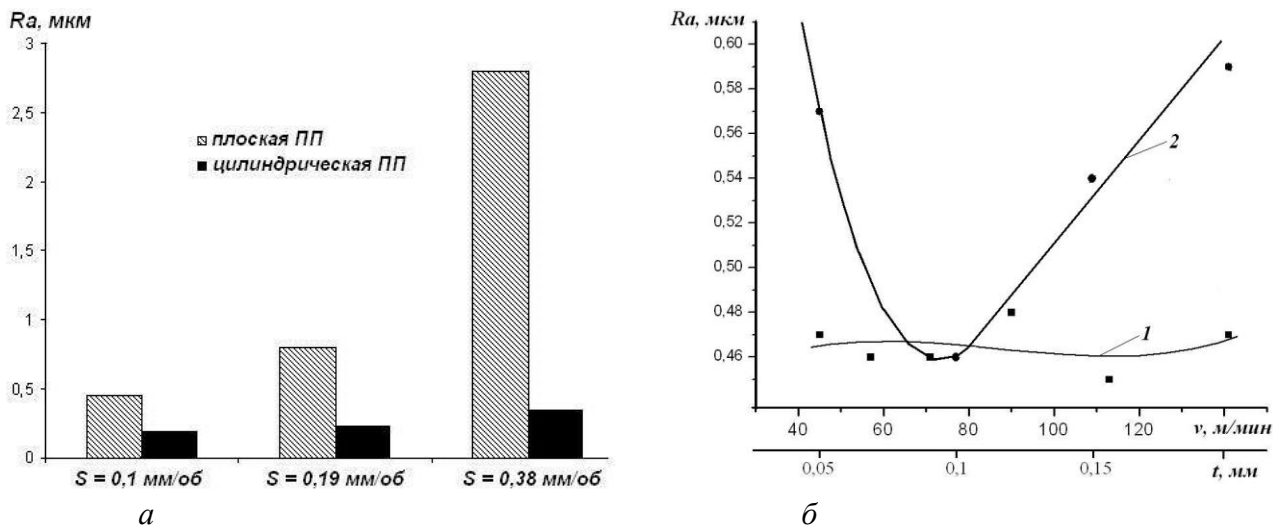


Рис. 5. Влияние режимов резания (сталь ШХ15, $v = 75$ м/мин, $t = 0,1$ мм) на высоту микронеровностей Ra на обработанной поверхности, обработанной резцами с круглой пластиной из ПКНБ борсинит: а – подачи ($v = 60$ м/мин, $t = 0,1$ мм); б – скорости ($S = 0,38$ мм/об, $t = 0,1$ мм) (1) и глубины резания ($v = 60$ м/мин; $S = 0,38$ мм/об) (2) при обработке инструментом с цилиндрической передней поверхностью

Относительные опорные кривые профилей поверхностей, полученных при обработке инструментом с цилиндрической передней поверхностью при подачах 0,19 мм/об и 0,57 мм/об, существенно не отличаются от полученной при использовании резца с плоской передней поверхностью (рис. 7). Выделяется профиль поверхности, полученный при точении с подачей 0,29 мм/об – обеспечивается опорная длина профиля $t_{40} - 52$ %. При обработке с подачей 0,67 мм/об tp несколько снижается из-за образования на обработанной поверхности микронеровностей с ярко выраженными пиками (рис. 8).

Шероховатость поверхности зависит от твердости обрабатываемого материала, с ростом которой от 40 до 60 HRC высота микронеровностей снижается (рис. 9). Дальнейшее повышение твердости материала практически не оказывает влияния на шероховатость обработанной поверхности – она определяется только кинематико-геометрическими причинами.

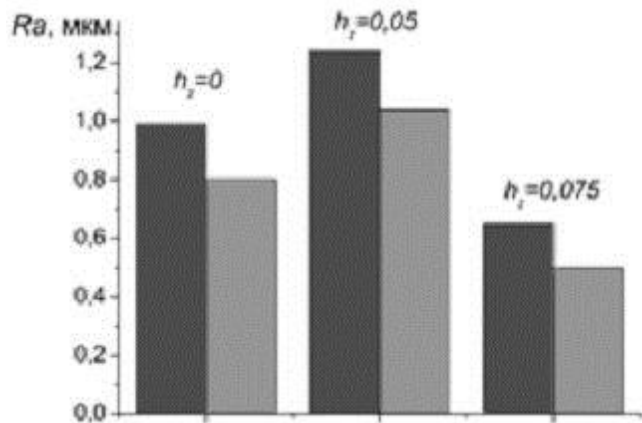


Рис. 6. Зависимость высоты микронеровностей обработанной поверхности от ширины фанки износа h_2 однокромочного резца с квадратной пластиной из ПКНБ киборит (сталь 40X, $\lambda = 50^\circ$, $S = 0,67$ мм/об)

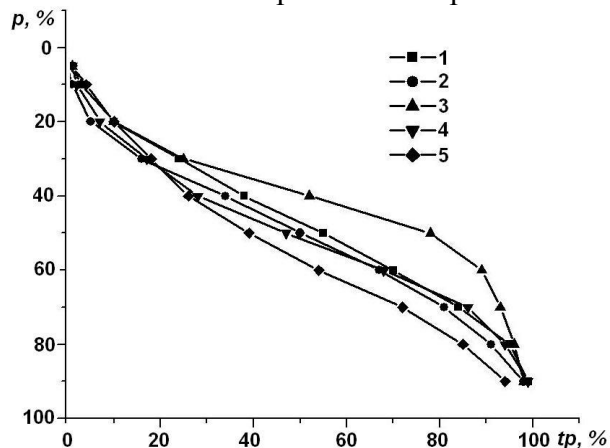


Рис. 7. Опорные кривые профилей неровностей поверхностей, обработанных резцом с плоской (1) и цилиндрической (2–5) передней поверхностями при подачах 0, 19 мм/об (1, 2), 0,29 мм/об (3), 0,57 мм/об (4), 0,67 мм/об (5) (сталь 40X, ПСТМ борсинит)

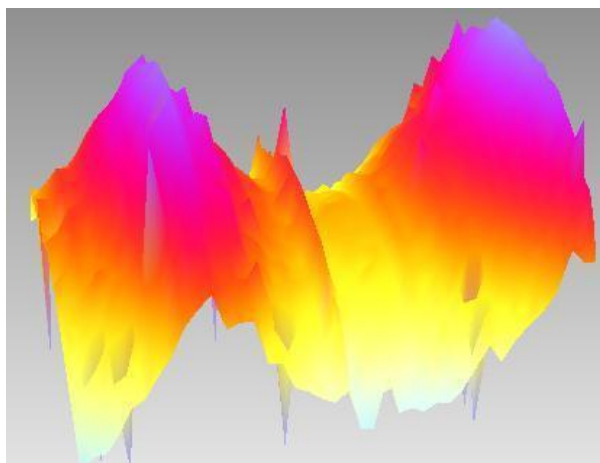


Рис. 8. 3D-ізображення участка поверхності, обробленої інструментом з циліндричної передньої поверхнею ($S = 0,67$ мм/об)

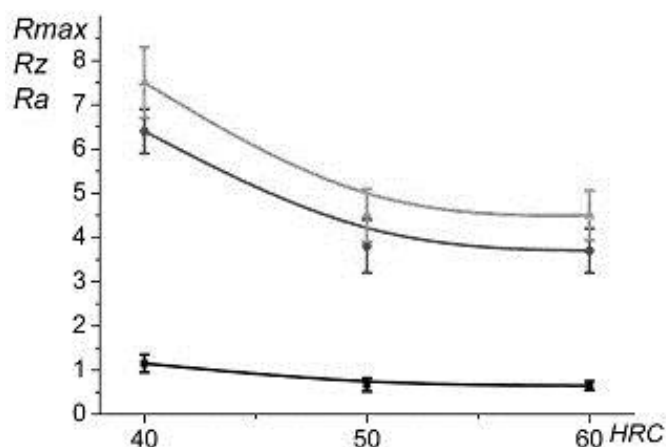


Рис. 9. Зависимость высоты микронеровностей поверхности от твердости обрабатываемой стали ШХ15 ($\lambda = 50^\circ$, $S = 0,67$ мм/об, ПКНБ киборит)

Нужно отметить, что для «бреющего» инструмента такое влияние твердости обрабатываемого материала на шероховатость обработанной поверхности обусловлено минимизацией величины $\Delta H_{пл}$ за счет снижения пластических эффектов на краях стружки, хотя на этих участках имеет место некоторое возрастание нормальных напряжений. Аналогичное снижение высоты неровностей для обработки инструментом с передней поверхнею в виде тела вращения связано с уменьшением усадки стружки и, как отмечалось ранее, минимизацией пластических эффектов перед передней поверхнею за счет удаления припуска с формированием двух отдельных стружек.

Шероховатость обработанной поверхности при точении «бреющим» инструментом в большой степени определяется радиусом округления режущей кромки – с его увеличением высота микронеровностей снижается (рис. 10).

На вершинах микронеровностей после обработки острым инструментом остаются пики, сформированные из несрезанного материала. Притупленная кромка формирует микронеровности меньшей высоты, форма которых имеет более выраженный стохастический характер. Прирост высоты микронеровностей по сравнению с расчетными значениями связан с тем, что в области прилегающей к точке входа лезвия в обрабатываемый материал, происходит разделение металла на частично срезанный, упругопластически подмятый и оттесненный в направлении вектора скорости резания с последующим переходом части его в формирующую вершину неровности. Значительное влияние пластических явлений на формирование микронеровностей связано также с малыми толщинами среза, сопоставимыми с радиусом округления лезвия инструмента. Очевидно, что указанные эффекты в большей степени проявляются при обработке инструментом с большим ρ , однако на практике в этом случае прироста высоты

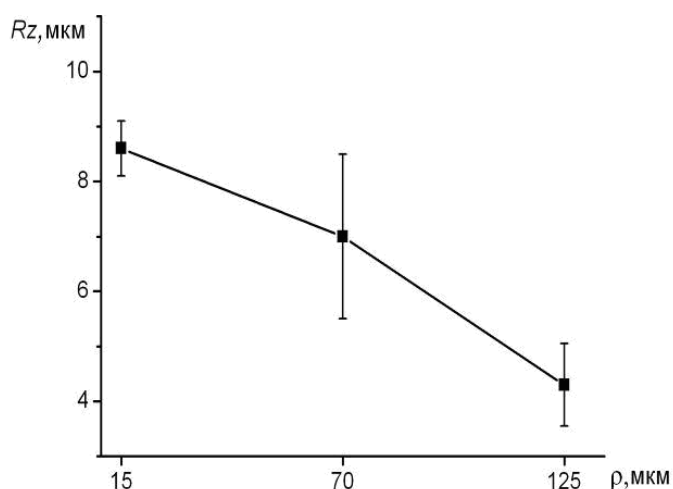


Рис. 10. Зависимость высоты микронеровностей от радиуса округления режущей кромки резца с квадратной пластиной из ПСТМ киборит (сталь ШХ 15, $S = 0,67$ мм/об, $t = 0,15$ мм, $v = 1,15$ м/с, $\lambda = 60^\circ$)

микронеровностей не наблюдается, что, по-видимому, обусловлено выглаживающим эффектом, оказываемым инструментом с большей величиной радиуса ρ .

Отмеченное влияние на шероховатость обработанной поверхности радиуса округления режущей кромки инструмента дополняется влиянием его износа и состояния режущей кромки, связанного с наличием на контактных участках задней поверхности дефектов – борозд и выкрашиваний, которые копируются обработанной поверхностью детали.

Выводы

Точение деталей из сталей высокой твердости безвершинным однокромочным («бреющим») инструментом, оснащенным ПКНБ, характеризуется высокой производительностью и позволяет получить обработанную поверхность с низкой шероховатостью:

при $S = 0,09-0,67$ мм/об – Ra 0,30–0,60; Rz 1,5–6;

при $S = 0,67-1,30$ мм/об – Ra 0,60–0,80; Rz 6–9;

при $S = 1,30-2,00$ мм/об – Ra 0,80–1,25; Rz 8–15.

Точение инструментом с передней поверхностью в виде тела вращения также позволяет получить поверхность с низкой высотой микронеровностей и обеспечивает опорную длину профиля, которая превышает получаемую при точении традиционным инструментом.

Перечень источников литературы: 1. Исаев А.И. Процесс образования поверхностного слоя при обработке металлов резанием. – М.: Машгиз, 1950. – 278 с. 2. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: В 6-и т. / Под общей ред. Н.В. Новикова. – Т.5: Обработка материалов лезвийным инструментом / Под ред. С.А. Клименко. – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2006. – 316 с. 3. Шевченко Н.А., Киппер Э.Е. Образование поперечных неровностей при несвободном резании пластичных металлов // Станки и инструменты. – 1973. – № 4. – С. 38–39. 4. Инструменты из сверхтвердых материалов / Под ред. Н.В. Новикова. – М.: Машиностроение, 2005. – 555 с.

Рецензент: **Мироненко Е.В.**, д.т.н., проф., ДГМА

**ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЗАКАЛЕННЫХ СТАЛЕЙ
ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ОДНОКРОМОЧНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ
И ИНСТРУМЕНТОМ С ПЕРЕДНЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ
В ВИДЕ ТЕЛА ВРАЩЕНИЯ**

Клименко С.А.

Представлены результаты экспериментальных исследований шероховатости поверхности деталей из закаленных сталей косоугольным однокромочным инструментом и инструментом с передней поверхностью в виде тела вращения. Показано, что указанные инструменты обеспечивают возможность высокопроизводительной обработки с формированием низкой шероховатости обработанной поверхности.

**ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ ІЗ ЗАГАРТОВАНОЇ СТАЛІ
ПІСЛЯ ОБРОБКИ ОДНОКРОМОЧНИМ ІНСТРУМЕНТИМ ТА ІНСТРУМЕНТИМ
З ПЕРЕДНЬОЮ ПОВЕРХНЕЮ У ВИГЛЯДІ ТІЛА ОБЕРТАННЯ**

Клименко С.А.

Наведено результати експериментальних досліджень шорсткості поверхні деталей з загартованих сталей косокутним однокрайковим інструментом та інструментом з передньою поверхнею у вигляді тіла обертання. Показано, що такі інструменти забезпечують можливість високопродуктивної обробки з формуванням низької шорсткості оброблюваної поверхні.

**ROUGHNESS OF SURFACE OF DETAILS FROM HARDENED STEEL
AFTER THE PROCESSING WITH THE SINGLE-POINT TOOL AND THE TOOL WITH THE
FRONT SURFACE IN THE FORM OF THE BODY OF ROTATION**

Klimenko S.A.

The results of experimental researches of roughness of surface of details are presented from hard-tempered steel by an oblique-angled oneedge instrument and instrument with a cylindrical surface. It is rotined that the indicated instruments provide possibility of high-performance treatment with providing of low roughness of the treated surface.

Ключевые слова: шероховатость поверхности, закаленная сталь, однокромочный инструмент

Ключові слова: шорсткість поверхні, загартована сталь, однокрайковий інструмент.

Keywords: roughness of surface, hardened steel, single-point tool.

Дата надходження статті: 6 травня 2013 р.

УДК 621.9

Равська Н.С., Охріменко О.А., Майданюк С.В.
НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна
itm@kpi.ua

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗРІЗУВАНОГО ШАРУ БАГАТОЗУБИХ ДИСКОВИХ ІНСТРУМЕНТІВ ТА ТОРЦЕВИХ ФРЕЗ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ 3D ПРОЕКТУВАННЯ

Параметри зрізуваного шару матеріалу є однією з важливих характеристик процесу різання та визначаються поряд зі швидкістю різання та геометрією різальної частини інструмента.

До параметрів зрізуваного шару відносяться переріз зрізуваного шару, площа, товщина та ширина зрізуваного шару. Ці параметри в значній мірі впливають на характеристики явищ процесу різання (зусилля різання, теплофізичні та динамічні характеристики, тощо). Вже на етапі проектування інструмента через ці характеристики можна оцінити можливу працездатність інструмента та вибрати найбільш доцільну конструкцію інструмента за схемою зрізання припуску, що забезпечить необхідну працездатність цього інструмента.

Тому визначення параметрів зрізуваного шару при проектуванні інструмента є важливою задачею. Це актуально, особливо для деяких прогресивних конструкцій дискових багатозубих інструментів та торцевих фрез, а саме завдяки їх складній схемі різання, яка обумовлена наявністю груп зубів з різними схемами зрізання припуску.

Дослідженням параметрів зрізуваного шару присвячено багато робіт дослідників [1, 2, 3, 4, 5]. Однак в більшості цих робіт розглядається аналіз завантаження різальної частини інструмента з постійною схемою зрізання припуску без врахування зміни її для окремих зубів інструмента. Також не досліджувались, як впливає фасонна форма зуба інструмента на параметри зрізуваного шару, а саме, в реальних інструментах вона складається з відрізків прямих і округлих частин, які формують профіль зуба інструмента. Всі ці дослідження ґрунтуються на аналітичному визначенні завантаження різальної кромки і, при визначенні, приймалися ряд припущень, які не зовсім точно відображали процес зміни параметрів зрізуваного шару в роботі інструмента, що є дуже важливим при дослідженні тонких зрізів в роботі інструмента.

Також є роботи де параметри зрізуваного шару визначаються за допомогою систем твердотілого геометричного моделювання, однак вони в своїй більшості побудовані на розрахунку послідовних дискретних положень інструмента в процесі обробки і знаходження параметрів зрізуваного шару, як результат перетину об'ємів заготовки та послідовних положень інструмента. Недоліком такого підходу є те, що цей метод потребує значних машинних ресурсів для розрахунків тому, чим більше розрахункових дискретних положень інструмента, тим точніше отримуємо результат розрахунку параметрів зрізуваного шару.

Для аналізу можливої працездатності конструкції інструмента на стадії його проектування необхідно провести розрахунок параметрів зрізуваного шару матеріалу таким інструментом з урахуванням реальної фасонної форми зуба інструмента, можливої складної схеми різання для окремих зубів. Так як більшість існуючих систем проектування зводяться до геометричної побудови моделей інструмента, тому цілю роботи є розроблення методики визначення параметрів зрізуваного шару з використанням можливостей систем твердотілого геометричного моделювання яка б не ґрунтувалася на побудові дискретних положень інструмента й подальшому використанні операцій перетину об'єму заготовки з об'ємом інструмента.

Згідно з міжнародним стандартом ISO 3002/1(ДСТУ 25762-93) «Обробка різанням» - переріз зрізаного шару – фігура утворена при перетині шару матеріалу, що відокремлюється лезом за один цикл головного руху різання основною площиною P_v .

Тому вирішення задачі за допомогою можливостей систем твердотілого геометричного моделювання розділимо на три етапи: 1-й - знаходження шару матеріалу, що відокремлюється лезом за один цикл головного руху різання; 2-й - перетин знайденого об'єму основною площиною P_v ; 3-й - розрахунок геометричних параметрів отриманого перерізу, що відповідають наступним характеристикам зрізаного шару – площа зрізаного шару f , товщина зрізаного шару a , ширина зрізаного шару b .

Шар матеріалу, що відокремлюється лезом за один цикл головного руху різання рис.1 формується профілем зуба інструмента при його русі відносно заготовки – ця операція для системи геометричного твердотілого моделювання відповідає команді – утворити об'єм рухаючи ескіз по траєкторії. В цьому випадку твірним ескізом є профіль зуба, а траєкторія руху є лінія утворена довільною точкою що лежить на передній поверхні зуба при його русі в процесі роботи, зазвичай це крива – циклоїда яка в простому випадку буде розташована в площині руху інструмента.

Об'єм матеріалу утворений такою операцією також буде обмежений розмірами заготовки. Також необхідно від утвореного об'єму відняти – операцією вирізати по траєкторії сліди від попередньої роботи зубів інструмента, які в часі працювали раніше від зуба, що розглядається, ця операція для системи геометричного твердотілого моделювання відповідає команді – вирізати об'єм рухаючи ескіз по траєкторії, яка також є лінією утвореною рухом довільної точки зуба.

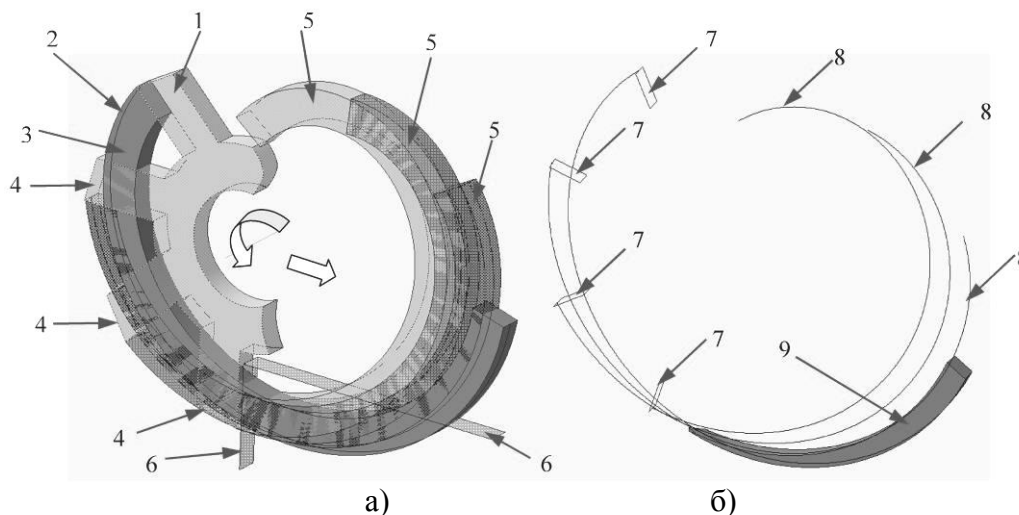


Рис.1. Визначення шару матеріалу, що відокремлюється лезом за один цикл головного руху різання: а) початкові побудови; б) результат визначення шару матеріалу. 1 – зуб для якого визначаються параметри шару зрізаного матеріалу, 2 – траєкторія руху активного зуба, 3 – об'єм матеріалу, який знімається одним зубом без врахування роботи попередніх зубів, 4 – зуби інструмента, які працювали раніше, 5 – об'єм матеріалу знятий зубами інструмента, які працювали раніше, 6 – поверхні, що обмежують розміри заготовки, 7 – ескізи профілю зубів інструмента, 8 – траєкторії рухів зубів інструмента, 9 – об'єм матеріалу, що відокремлюється лезом за один цикл головного руху різання

Розглянемо на прикладах визначення параметрів зрізаного шару для окремих інструментів, в якості системи твердотілого геометричного моделювання будемо використовувати САД систему КОМПАС-3D компанії АСКОН, Російська федерація.

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗРІЗАНОВОГО ШАРУ ДИСКОВИМИ ФРЕЗАМИ, ВІДРІЗНИМИ ПИЛАМИ

На прикладі розглянемо визначення параметрів зрізаного шару дискової відрізної пили: діаметр пили $D=160\text{мм}$, ширина пили $b=1,6\text{мм}$, кількість зубів $Z=80$, схема різання фрези складається з двох зубів у групі, параметри різальної частини інструмента наведені на рис.2.

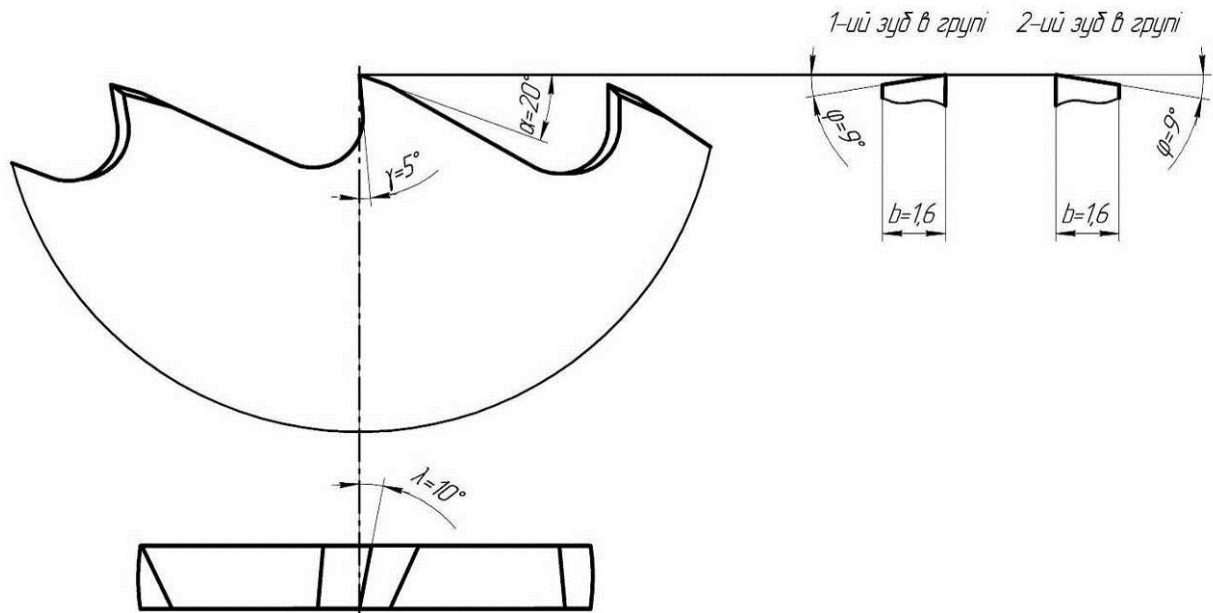


Рис.2. Параметри різальної частини відрізної пили: діаметр пили $D=160\text{мм}$, ширина пили $b=1,6\text{мм}$, кількість зубів $Z=80$.

Для розрахунків необхідно побудувати об'ємну модель інструмента, вісь інструмента перпендикулярна площині XU і проходить через центр координат. Далі визначаємося, який зуб інструмента в групі будемо досліджувати і будемо траєкторії руху для досліджуваного зуба та для 3-4 зубів, які різали в часі раніше від нього за наступними залежностями для зустрічної подачі, для варіанту з попутною подачею в залежностях у функціях \sin , \cos необхідно перед параметром t поставити знак мінус:

$$\begin{aligned}
 X &= R_f \cos(t + \Theta) + \frac{S}{2\pi}t & X &= R_f \cos(t + \Theta) + \frac{S}{2\pi}t \\
 \text{а) } Y &= R_f \sin(t + \Theta) & \text{б) } Y &= R_f \sin(t + \Theta) & , & (1) \\
 Z &= 0.5b & Z &= -0.5b
 \end{aligned}$$

де: а) – формули для розрахунків траєкторії зубів 1-ї групи, б) – формули для розрахунків траєкторії зубів 2-ї групи, R_f – зовнішній радіус зубів інструмента, S – подача, мм/об, t – параметр, що відповідає за рух зуба по траєкторії, Θ – кутовий параметр, що відповідає номеру зуба і пропорційний кількості зубів інструмента.

Для кожного зуба розраховуємо параметр Θ і будемо траєкторію зубів змінюючи параметр t від 0 до $\pi/2$, що відповідає повороту зуба фрези на 90° , це приблизно відповідає активній ділянці роботи зуба за цикл (рис.3).

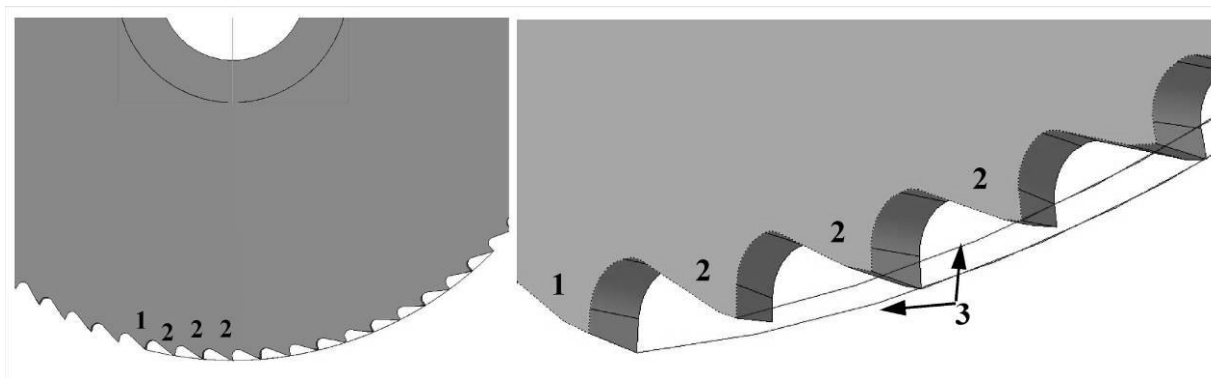


Рис.3. Дискава пила з побудованими траєкторіями зубів. 1 – зуб, що досліджується, 2 – зуби які працюють раніше, 3 – траєкторії руху зубів.

Потім будуюмо об'єм матеріалу, який знімається одним зубом без врахування роботи попередніх зубів і обмежуємо його контурами заготовки (рис.4).

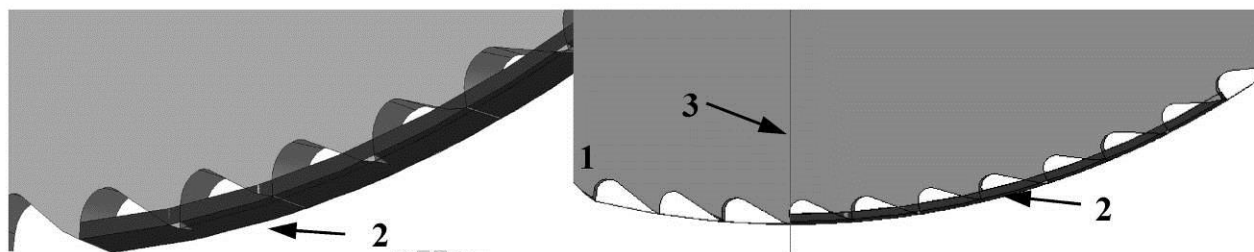


Рис.4. Побудова об'єму матеріалу, який знімається одним зубом без врахування роботи попередніх зубів. 1 – зуб, що досліджується, 2 – об'єм матеріалу, який знімається одним зубом, 3 – поверхні, що обмежують розміри заготовки.

Після цього будуюмо об'єми матеріалу що зняті зубами інструмента, які працювали раніше та віднімаємо їх від об'єму матеріалу, який знімається досліджуваним зубом, без врахування роботи попередніх зубів за один цикл роботи зуба рис.5.

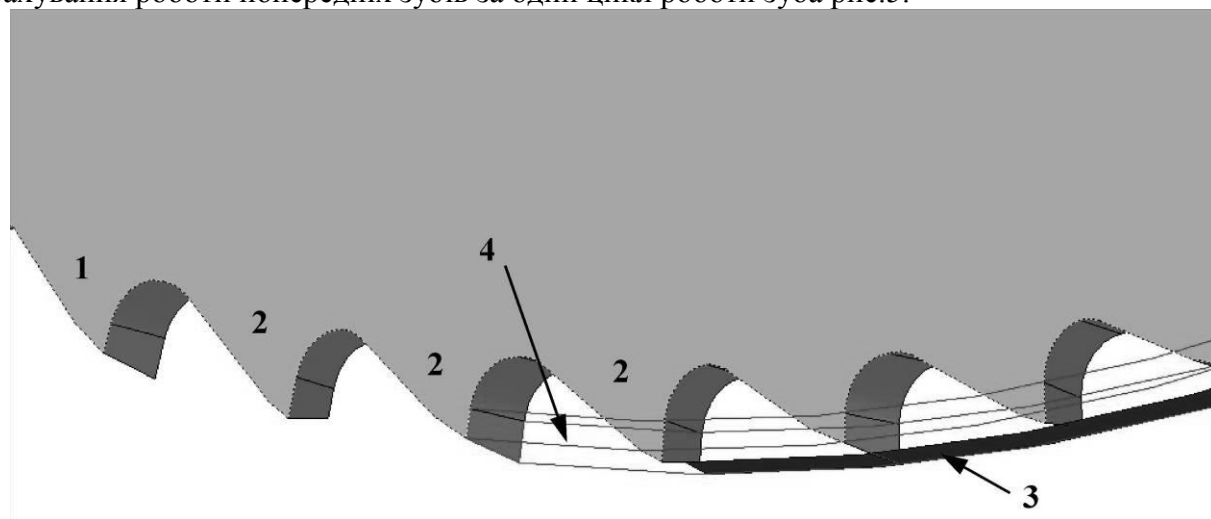


Рис.5. Побудова об'єму матеріалу, який знімається одним зубом з врахуванням роботи попередніх зубів. 1 – зуб, що досліджується, 2 – зуби які працюють раніше, 3 – об'єм матеріалу, який знімається одним зубом, 4 – об'єм матеріалу, який знімається від роботи попереднього зуба.

Результат розрахунків після віднімання об'єму матеріалу всіх зубів, які працювали раніше показано на рис.6.

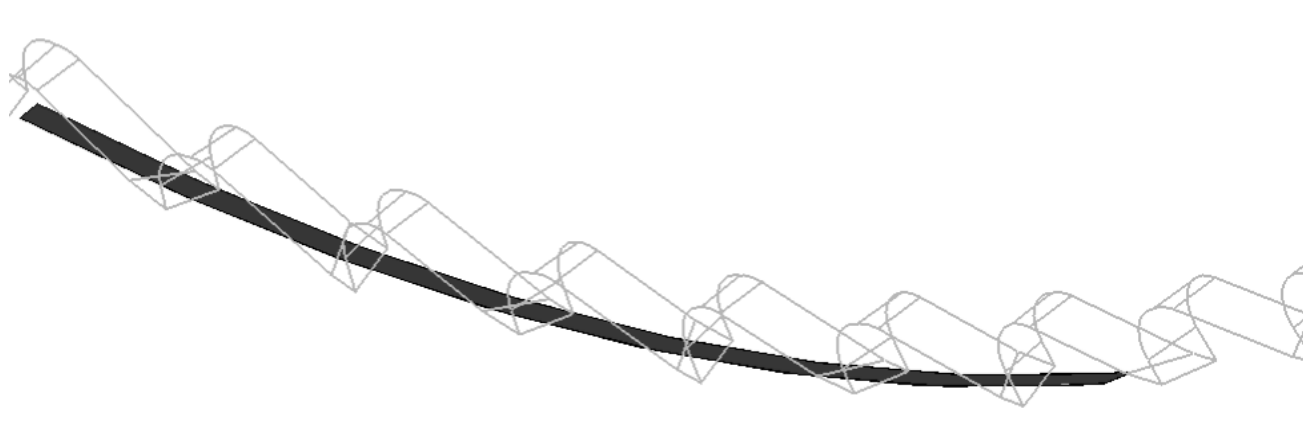


Рис.6. Кінцевий результат визначення шару матеріалу, що відокремлюється лезом за один цикл головного руху різання.

Знайдену модель шару матеріалу, що відокремлюється лезом за один цикл головного руху різання тепер розрізаємо поверхнями, що перпендикулярні площині різання і знаходимо геометричні характеристики перерізу, які будуть відповідати згідно ДСТУ 25762-93, площині зрізаного шару f , товщина зрізаного шару a , ширина зрізаного шару b та будемо залежності зміни їх від шляху різання. Параметри зрізаного шару будемо шукати за допомогою побудови креслення по твердотільній моделі знайденого шару матеріалу що відокремлюється лезом за один цикл головного руху різання, роблячи необхідні розрізи та знаходячи їх геометричні параметри за допомогою інструментів, які присутні в комп'ютерній системі проектування рис.7.

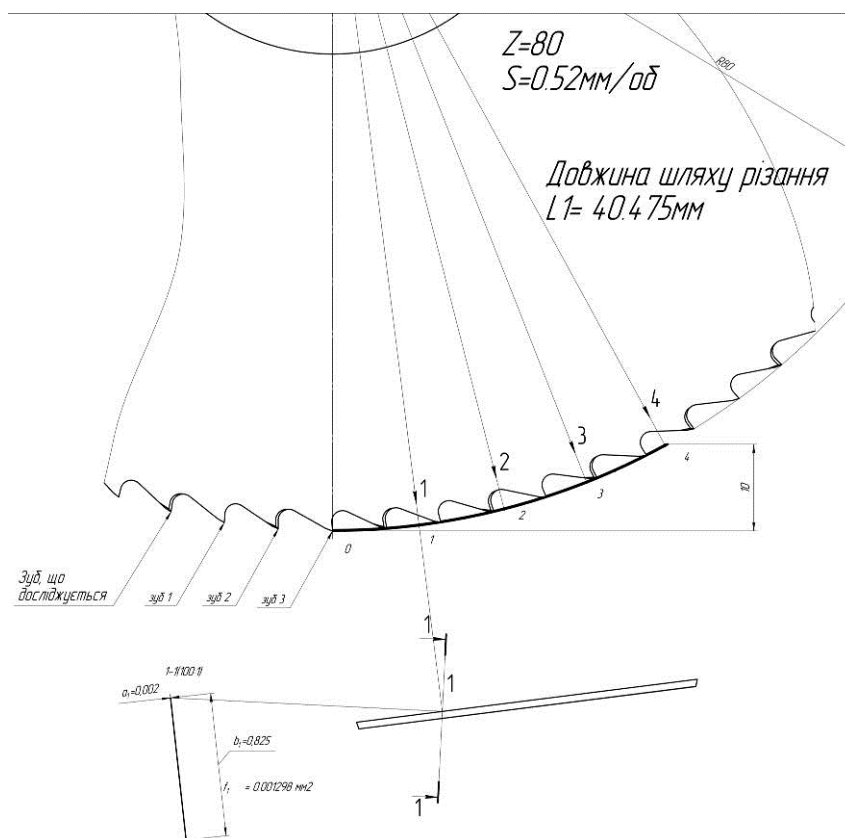


Рис.7. Приклад визначення параметрів зрізаного шару дискової пили $D=160$ мм, ширина пили $b=1,6$ мм, кількість зубів $Z=80$, $S=0,52$ мм/об.

За даною методикою можна визначити завантаження різальної частини інструмента в будь-який час роботи, проаналізувати форму зрізаного шару матеріалу у часі. На рис 8 показано аналіз завантаження різальної частини відрізної пили отриманий за даною методикою для різних значень величини подачі $S=0.52, 1.4, 1.97$ мм/об.

За аналогічною методикою на прикладі покажемо, як визначити параметри зрізаного шару при фрезеруванні торцевими фрезами, так як вони також можуть мати складну схему різання та фасонний профіль різальної частини.

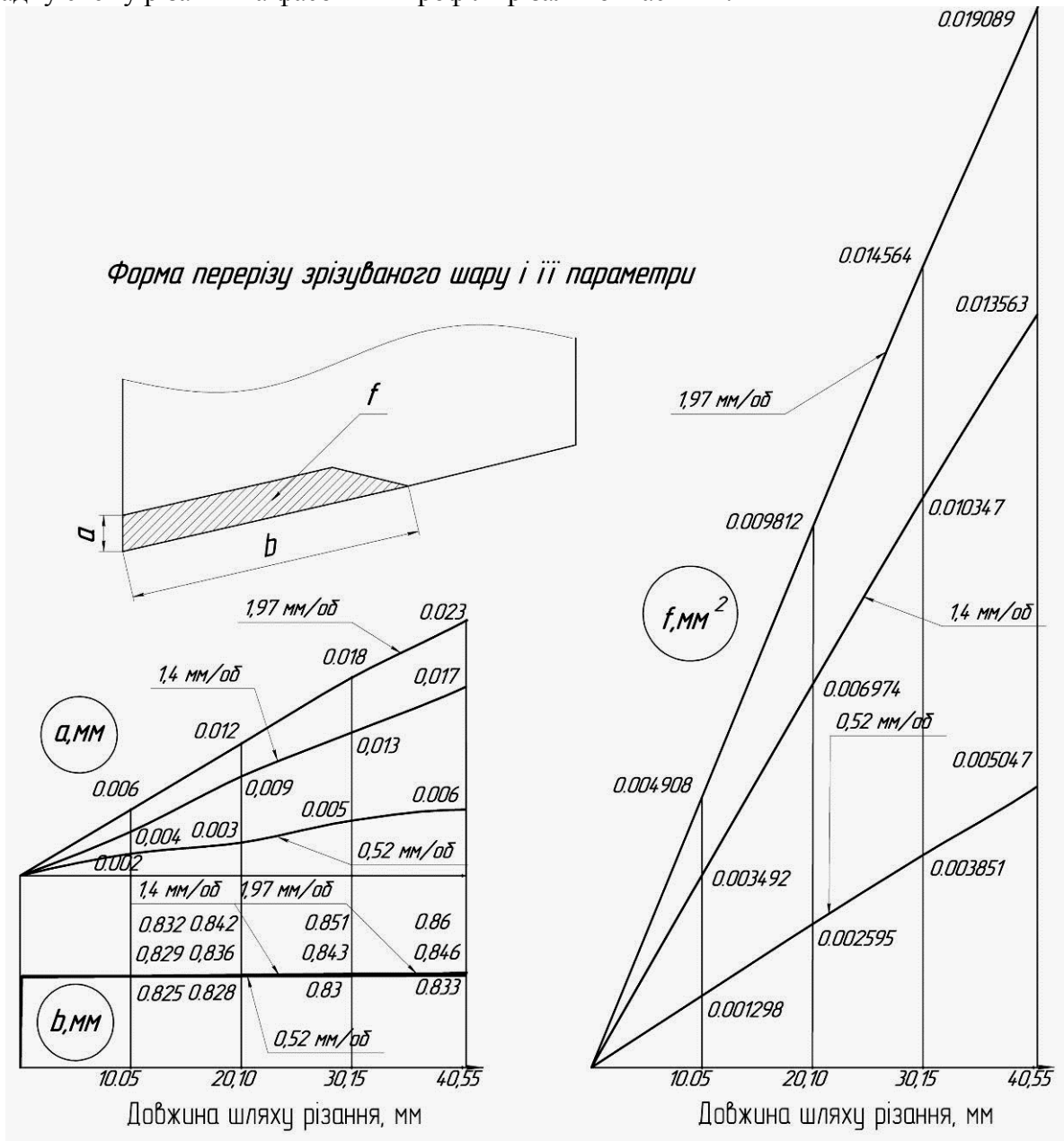


Рис.8 Дослідження параметрів завантаження різальної частини відрізної пили $D=160$ мм, ширина пили $b=1,6$ мм, кількість зубів $Z=80$ в залежності від величини значення подачі S мм/об

Для прикладу візьмемо торцеву фрезу згідно ГОСТ 26596 – 91 «Фрезы торцевые нерегулируемые с клиновым креплением многогранных неперетачиваемых пластин» параметри фрези та її різальної частини наведені на рис .9,а. Діаметр фрези складає $D=160$ мм, кількість зубів $Z=10$, різальна частина – твердосплавна трикутна пластина згідно ГОСТ 25003-81, різальна частина якої складається з декількох ділянок і тому буде формувати складну фігуру поперечного перерізу. За вказаними даними побудована об'ємна модель

фрези в системі КОМПАС-3D рис.9,б. Згідно ГОСТ 26596 – 91 параметри режимів різання, які необхідні для визначення завантаження різальної частини будуть наступні: товщина різу – 1мм, подача – $S=2,5$ мм/об.

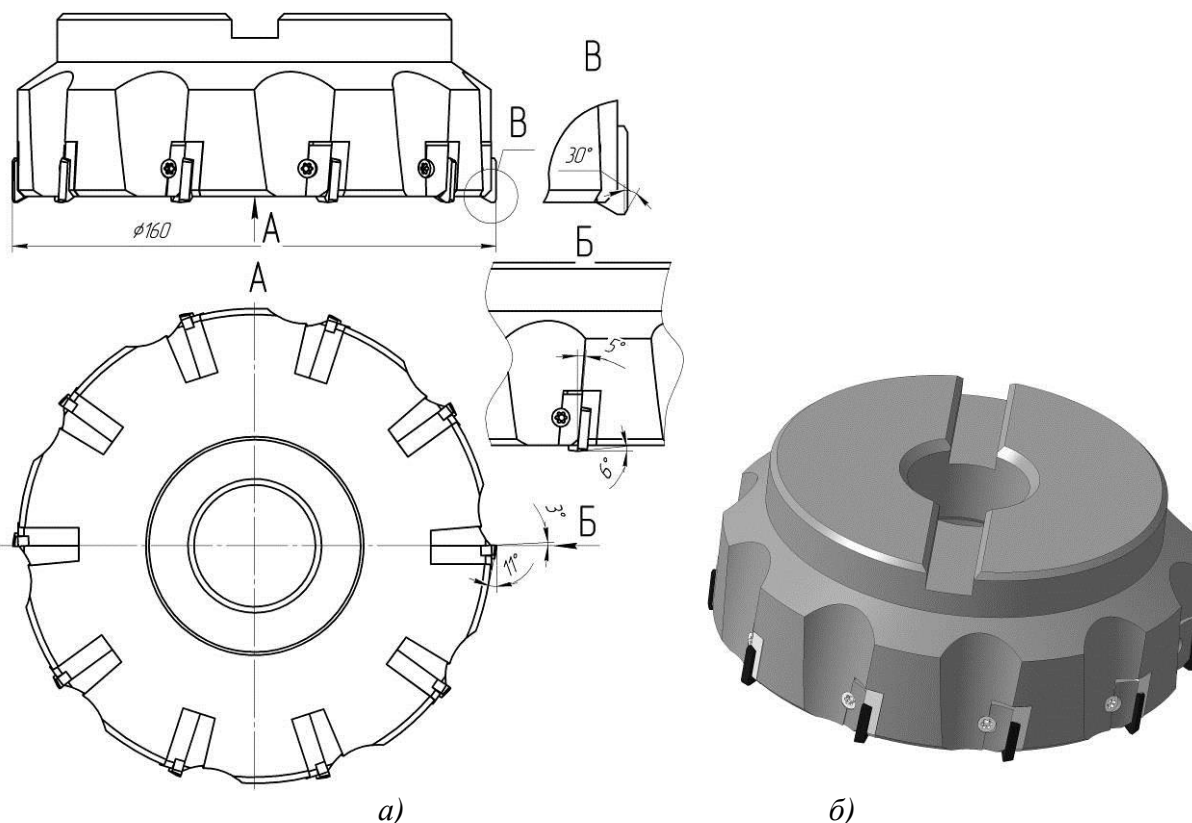


Рис.9. Фреза торцева $D=160$ мм, згідно ГОСТ 26596 – 91. а) параметри різальної частини фрези, б) об'ємна модель фрези в системі КОМПАС-3D

Тепер необхідно побудувати в моделі фрези побудувати траєкторії руху зубів. Для цього виберемо систему координат, вісь Y розташовуємо по осі фрези, вздовж осі X направлений вектор подачі S . Рівняння траєкторії руху будуть наступні:

$$\begin{aligned} X &= R_f \cos(t + \Theta) + \frac{S}{2\pi} t \\ Y &= H \\ Z &= R_f \sin(t + \Theta) \end{aligned} \quad (2)$$

де, H – висота розташування траєкторії руху зубів, вибирається так, щоб початок траєкторії співпадав з передньою площиною зуба.

Також для коректного вирішення задачі необхідно, задатись зміною параметру t так, щоб траєкторія зуба описувала тільки один цикл:

$$t_i = 0 \dots \frac{5\pi}{2} - \Theta_i, \quad (3)$$

де, i – індекс, що відповідає за номер зуба.

Аналогічно попередньому прикладу, будемо об'єм матеріалу, який знімається одним зубом торцевої фрези без врахування роботи попередніх зубів і обмежимо його контурами заготовки.

Після цього будемо об'єми матеріалу знятий зубами інструмента, які працювали раніше і віднімаємо їх від об'єму матеріалу, який знімається досліджуваним зубом, без врахування роботи попередніх зубів. За один цикл роботи зуба отримуємо об'єм матеріалу, що відокремлюється лезом торцевої фрези за один цикл головного руху різання рис.11.

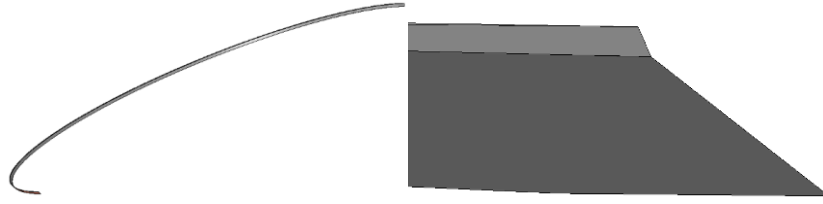


Рис.10. Кінцевий результат визначення шару матеріалу, що відокремлюється лезом торцевої фрези за один цикл головного руху різання

Далі робимо всі необхідні перерізи отриманого об'єму шару матеріалу, знаходимо параметри завантаження різальної частини досліджуваного зуба інструмента, в залежності від розташування зуба, на траєкторії руху різання (рис.11, 12).

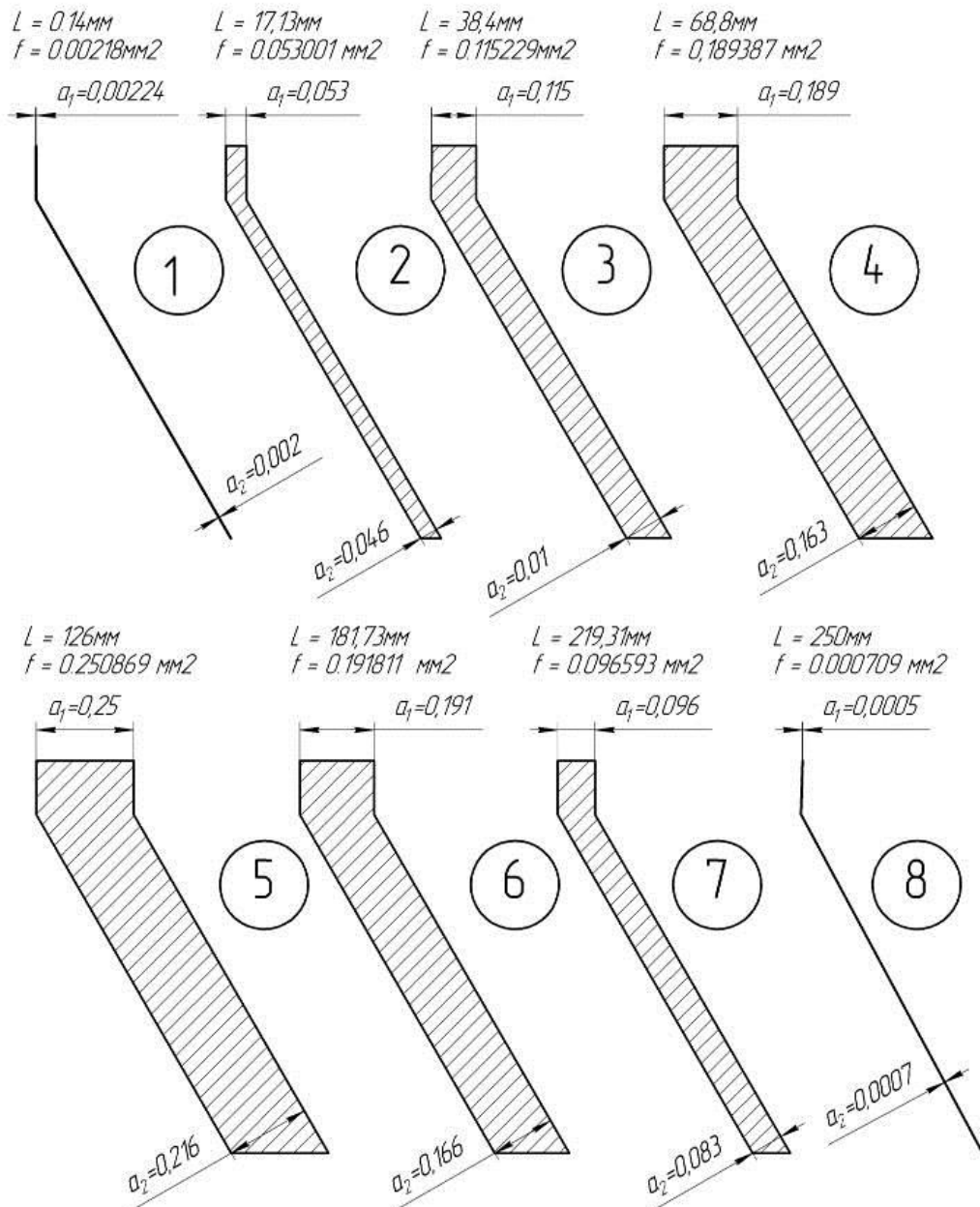


Рис.11. Зміна форми перерізу зрізаного шару від розташування зуба на траєкторії різання торцевої фрези за ГОСТ 26596 – 9: $D=160$ мм, кількість зубів $Z=10$, товщина різку 1 мм, подача $S=2,5$ мм/об, різальна частина – твердосплавна трикутна грана пластини згідно ГОСТ 25003-81, ширина зрізаного шару постійна $b=1,138$ мм.

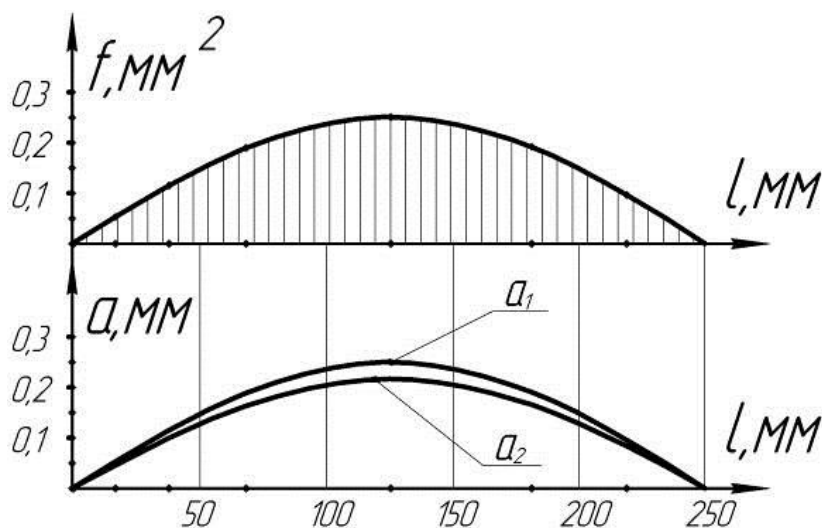


Рис.12. Зміна площі та товщини перерізу зрізаного шару від розташування зубу на траєкторії різання торцевої фрези за ГОСТ 26596 – 9: $D=160$ мм, кількість зубів $Z=10$, товщина різі 1мм, подача $S=2,5$ мм/об, різальна частина – твердосплавна трикутна грана пластина згідно ГОСТ 25003-81, ширина зрізаного шару постійна $b=1,138$ мм.

За даною методикою можна визначити завантаження різальної частини торцевих фрез не тільки з постійною схемою різання зубів, як показано на прикладі, але й зі змінною схемою різання. Це враховується в об'ємній моделі конструкції інструмента, яка є вхідними даними для розрахунку завантаження різальної частини цього інструмента.

В даній роботі, на прикладах дискової відрізної пили з різнонаправленими зубами у групі та торцевою фрезою зі змінною пластиною трикутної форми, запропоновано методику визначення завантаження різальної частини за допомогою комп'ютерної систем 3D проектування. Переваги запропонованого методу, ґрунтуються на тому, що в ньому не використовується розрахунок послідовних дискретних положень інструмента в процесі обробки, а знаходження параметрів зрізаного шару, як результат перетину об'ємів заготовки та всіх об'ємів послідовних положень інструмента. Параметри завантаження різальної частини визначаються, як об'єм матеріалу який знімається зубом за один цикл руху головного різання від якого віднімаються об'єми матеріалу, які знімаються зубами інструмента, що працювали раніше, ці всі операції реалізуються однією командою - витягнути ескіз по траєкторії, що присутня в усіх системах комп'ютерного 3D проектування, що значно спрощує розрахунки і підвищує точність отриманих результатів.

Дану методику можна використати для розрахунків завантаження різальної частини також для інструментів з більш складною схемою різання, до якої відносяться інструменти що працюють методом обкатки, необхідно тільки для кожного зуба розрахувати свою траєкторію руху різання.

Перелік джерел літератури: 1.Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов: учебник /В.Ф. Бобров./– М. Машиностроение, 1975. – 344с. 2.Мазур М.П. Основы теории резания материалов: підручник /Мазур М.П., Внуков Ю.М., Доброскок В.Л., Залого В.О., Новосолов Ю.Л, Якубов Ф.Я./ – Львів: Новий Світ, 2010 – 422с. 3.Родін П.Р. Різальний інструмент в прикладах і задачах: навчальний посібник / Родін П.Р., Равська Н.С., Ковальова Л.І./ – К.: Вища школа 1994р.- 293с. 4.Розенберг Ю.А. Резание материалов: учебник [для студентов технических вузов] /Ю.А. Розенберг/. – Курган: ОАО “Полиграфический комбинат” Зауралье. 2007 – 294с. 5.Верещака А.С. Резание материалов: учебник /А.С. Верещака, В.С. Кушнер/ - М.: Высшая школа, 2009 – 539с.

Рецензент: **Ковалёв В.Д.**, д.т.н., проф., ДГМА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СРЕЗАЕМОГО СЛОЯ МНОГОЗУБЫХ ДИСКОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ И ТОРЦЕВЫХ ФРЕЗ С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ 3D ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Н.С.Равская, А.А.Охрименко, С.В.Майданюк

В работе описано методику определения загрузки режущей части дисковых многозубых инструментов с помощью компьютерных систем 3D проектирования. На примерах показано определение загрузки режущей части дисковой пилы с разнонаправленными зубьями, схема резания которой состоит из 2-х зубьев с разным углом в плане и отличным от нуля углом наклона режущей кромки, а также торцевой фрезы со сменными пластинками треугольной формы с фасонной режущей частью. Параметры режущей части определялись как объем материала, который снимается зубом за один цикл главного движения резания от которого вычитаются объемы материала снимаемые зубьями, которые работали раньше, Все эти операции выполняются одной командой – вытянуть эскиз по траектории, которая есть во всех компьютерных системах 3D проектирования, что значительно упрощает расчеты и повышает точность полученных расчетных данных.

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗРІЗУВАНОВОГО ШАРУ БАГАТОЗУБНИХ ДИСКОВИХ ІНСТРУМЕНТІВ ТА ТОРЦЕВИХ ФРЕЗ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ 3D ПРОЕКТУВАННЯ

Н.С.Равська, О.А.Охріменко, С.В.Майданюк

В роботі описано методику визначення завантаження різальної частини дискових багатозубих інструментів та торцевих фрез за допомогою комп'ютерних систем 3D проектування. На прикладах показано визначення завантаження різальної частини для дискової пили з різнонаправленими зубами, схема різання якої складається з двох зубів з різними напрямками кута в плані та кутом нахилу різальної кромки відмінним від нуля, а також торцевої фрези зі змінними пластинами трикутної форми з фасонною різальною частиною. Параметри завантаження різальної частини визначаються, як об'єм матеріалу який знімається зубом за один цикл руху головного різання від якого віднімаються об'єми матеріалу, які знімаються зубами інструмента, що працювали раніше, Всі ці операції реалізуються однією командою - витягнути ескіз по траєкторії, що присутня в усіх системах комп'ютерного 3D проектування що значно спрощує розрахунки та підвищує точність отриманих результатів.

DEFINING THE PARAMETERS OF CUTTING LAYER MULTI-POINT DISK TOOLS AND END MILLS USING 3D COMPUTER SYSTEMS DESIGN

N.Ravskaya, A.Okhrimenko, S.Maydanyuk

In the work described method for determining the loading of the cutting disc Multi-point tool with the help of computer systems design 3d. The examples show how to define the cutting load of the saw blade cutting circuit which consists of 2 teeth with different angle in plan and a nonzero angle of inclination and the end mill with exchangeable plates with triangular shaped cutting part. The parameters of the cutting part was defined as the amount of material that is removed the tooth in one cycle of the main cutting motion is then subtracted the volume of material recorded with teeth that have worked before, all these operations are performed commander - draw a sketch on a trajectory.

Ключові слова: Завантаження різальної частини, зрізуваний шар, різальний інструмент, торцева фреза, відрізна пила.

Ключевые слова: Загрузка режущей части, срезаемый слой, режущий инструмент, торцевая фреза, отрезная пила.

Key words: area of cutting, metal cutting, metal machining, cutting tools, end mill, cut saw.

УДК 621. 923

Матюха П.Г., Полтавец В.В., Габитов В.В., Лискун А.Л.
ДонНТУ, г.Донецк, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ПОДЖИМА ЗАГОТОВКИ К РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КРУГА, ОГРАНИЧЕННОЙ ТОЧНОСТЬЮ ОБРАБОТКИ, ПРИ ПЛОСКОМ ШЛИФОВАНИИ НА СТАНКЕ МОДЕЛИ 3Г71

Введение

Обеспечение высокого качества изготавливаемых изделий при низкой себестоимости обработки является основной задачей современного производства в условиях конкуренции и рыночных отношений. Этого можно достичь путем оптимизации режимов финишных операций, примером которых является шлифование.

На кафедре «Мехатронные системы машиностроительного оборудования» Донецкого национального технического университета для поиска оптимальных режимов шлифования по упругой схеме предложено использовать обобщенные показатели процесса – усилие поджима рабочей поверхности круга (РПК) к поверхности заготовки и отношение скорости круга к скорости заготовки [1, 2, 3].

В литературе приведены методики расчета отношения скорости круга к скорости детали, ограниченного требуемым параметром шероховатости обработанной поверхности R_a , а также значений усилий поджима, удовлетворяющих техническим ограничениям, накладываемым на режим обработки температурой фазово-структурных превращений в поверхностном слое заготовки, прочностью зерен, температурой окисления алмаза.

Определение силы поджима заготовки к РПК, ограниченной точностью обработки, при плоском шлифовании по упругой схеме в литературных источниках отсутствует.

Цель работы

Определение усилия поджима РПК к поверхности заготовки, ограниченного точностью обработки, при плоском шлифовании по упругой схеме на основе анализа упругих перемещений конца шпинделя.

Основная часть

Шпиндельный узел плоскошлифовального станка модели 3Г71 содержит в качестве опор шпинделя гидродинамические подшипники скольжения [4]. Наряду с преимуществами, которые обеспечивают гидродинамические опоры, они обладают существенным недостатком, связанным с непостоянством положения оси вращения шпинделя при изменяющейся внешней нагрузке на опоры, что непосредственно сказывается на точности обработки при шлифовании на станке, настроенном на размер [5]. Учитывая это, упругие перемещения рабочего конца шпинделя являются техническим ограничением, налагаемым на режим резания станком по точности обработки.

Для достижения требуемой точности необходимо, чтобы упругие перемещения конца шпинделя со шлифовальным кругом не превышали одной трети поля допуска на обрабатываемый размер [6].

Исходными данными для расчета упругих перемещений конца шпинделя являются рабочий чертеж шпиндельного узла (рис 1), составляющие силы резания на шлифовальном круге и усилие от предварительного натяжения ветвей ременной передачи.

В нашем случае опорами шпинделя являются трехклиновые гидродинамические подшипники скольжения типа Макензен, выполненные в виде упруго-деформируемых втулок с конической наружной поверхностью. Считают, что жесткость таких опор определяется жесткостью несущих масляных клиньев, а потерями жесткости, связанными с контактными деформациями посадочных поверхностей втулок, можно пренебречь вследствие сборки и регулировки узлов с натягом [5].

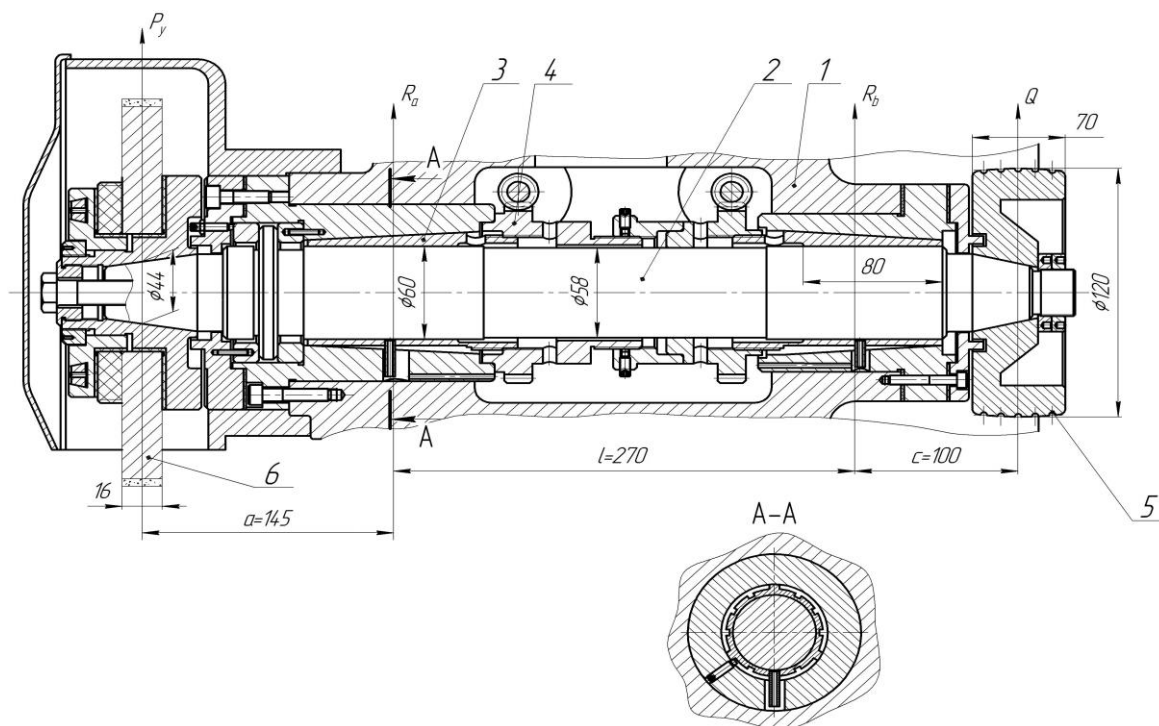


Рис. 1. Шпиндельный узел плоскошлифовального станка мод. 3Г71 [4]: 1 – корпус; 2 – шпиндель; 3 – упруго-деформируемые втулки, образующие несущие карманы для смазки; 4 – механизм регулировки диаметрального зазора подшипников; 5 – приводной шкив плоскокоренной передачи; 6 – шлифовальный круг.

При расчете шпиндельного узла на жесткость определим упругое перемещение шпинделя в сечении его переднего конца, допуская, что упругие перемещения происходят только за счет деформации тела шпинделя и его опор. При этом на точность обработки влияет лишь радиальная составляющая силы резания P_y .

При расчете на жесткость шпиндель представим как балку ступенчато-переменного сечения на податливых точечных опорах (рис. 2). Проанализируем действие всех сил на шпиндельный узел в плоскости XOY .

Шпиндель со стороны шлифовального круга нагружен радиальной составляющей силы резания P_y , расположенной в плоскости XOY . С противоположной стороны шпинделя на него действует вертикальная составляющая силы от натяжения ветвей ремня в плоскости XOY и момент от электродвигателя $M_{эд}$, равный моменту составляющей от силы резания P_z в плоскости ZOY . Моменты M_p и $M_{эд}$ скручивают тело шпинделя и на упругое перемещение конца шпинделя не влияют. В связи с этим они исключены из расчета упругого перемещения конца шпинделя.

Перемещение переднего конца шпинделя с учетом защемляющего момента в передней опоре [7]:

$$\delta_{yox} = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = \frac{P_y \cdot a^2}{3E} \left[\frac{a}{J_1} + \frac{l \cdot (1 - \xi)}{J_2} \right] + P_y \left\{ \frac{1}{j_A} \left[\frac{l + a \cdot (1 - \xi)}{l} \right]^2 + \frac{a^2 \cdot (1 - \xi)}{j_B \cdot l^2} \right\} \quad (1)$$

где δ_1 – перемещение, вызванное изгибом тела шпинделя, мм;

δ_2 – перемещение, вызванное жесткостью опор, мм;

δ_3 – сдвиг, вызванный защемляющим моментом, мм;

l – расстояние между передней A и задней B опорами шпинделя, мм;

a – вылет переднего конца шпинделя, мм;

c – расстояние от приводного шкива до задней опоры, мм;

J_1 – среднее значение осевого момента инерции сечения участка OA шпинделя, мм⁴;

J_2 – среднее значение осевого момента инерции сечения участка AB шпинделя, мм⁴;

E – модуль упругости материала шпинделя, Н/мм²;

j_A и j_B – радиальная жесткость передней и задней опор, Н/мм;
 ζ – коэффициент заземления в передней опоре.

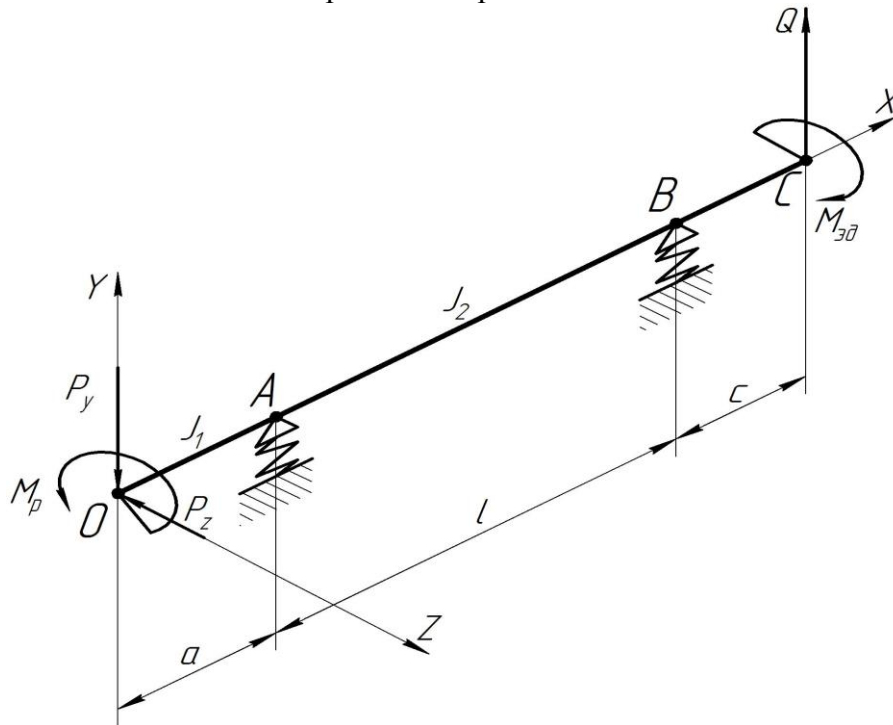


Рис. 2. Схема сил, действующих на шпиндель

Сдвиг, вызванный заземляющим моментом, характерен для опор качения и отсутствует в опорах гидродинамического трения. В связи с этим, в уравнении (1) $\delta_3 = 0$. В результате из формулы (1) можно определить усилие поджима заготовки к РПК, ограниченное точностью обработки, положив допустимую величину радиального упругого перемещения рабочего конца шпинделя равной одной трети от поля допуска T на обрабатываемый размер:

$$P_n = \frac{0,33 \cdot T}{\frac{a^2}{3E} \left[\frac{a}{J_1} + \frac{l}{J_2} \right] + \frac{1}{j_A} \left[\frac{l+a}{l} \right]^2 + \frac{a^2}{j_B \cdot l^2}} \quad (2)$$

Момент инерции круглого сечения участка ОА шпинделя, на котором установлен шлифовальный круг, определяется по формуле:

$$J_1 = \frac{\pi \cdot D_1^4}{64}, \quad (3)$$

где D_1 – средний диаметр конца шпинделя, на котором расположен шлифовальный круг, мм.

Момент инерции круглого сечения шпинделя между опорами А и В:

$$J_2 = \frac{\pi \cdot D_2^4}{64}, \quad (4)$$

здесь D_2 – диаметр шпинделя, между опорами, мм.

Радиальные жесткости опор шпинделя, установленного на гидродинамических подшипниках, рассчитаем с использованием известной методики [5].

Жесткость опоры с многоклиновым подшипником определяется жесткостью несущих масляных слоев

$$j = \frac{P}{e}, \quad (5)$$

где P – несущая способность подшипника, Н;

e – эксцентриситет; представляет собой смещение центра вала под действием внешних сил из начального положения, концентричного относительно карманов, мм.

Несущая способность трехклинового подшипника рассчитывается по формуле [5]

$$P = P_o \left(\frac{1}{(1 - 0,5 \cdot \chi)^2} - \frac{1}{(1 + \chi)^2} \right). \quad (6)$$

Величины P_o и χ , входящие в формулу (6), определяются по формулам:

$$P_o = 5,1 \cdot 10^{-6} \frac{\mu \cdot n \cdot D \cdot B^2 \cdot L \cdot C_L}{\Delta^2}, \quad (7)$$

$$\chi = \frac{2 \cdot e}{\Delta}, \quad (8)$$

где μ – динамический коэффициент вязкости смазочной жидкости подшипника, Па·с;

n – частота вращения шпинделя, об/мин;

D – диаметр расточки гофрированной втулки, мм;

B – размер дуги кармана по направлению вращения вала, мм;

L – длина рабочей поверхности втулки, мм;

Δ – диаметральный зазор, мм.

Величина C_L , входящая в формулу (7), определяется соотношением:

$$C_L = \frac{1,25}{1 + \left(\frac{B}{L}\right)^2}. \quad (9)$$

Динамический коэффициент вязкости μ смесей из масла И-20А и керосина определим по номограмме [5] по значению кинематического коэффициента вязкости ν , который для двухкомпонентной жидкости рассчитывается по зависимости [8]:

$$\nu = \frac{(n_1 + n_2) \cdot \nu_1 \cdot \nu_2}{\nu_1 \cdot n_1 + \nu_2 \cdot n_2} \quad (10)$$

где n_1 и n_2 – содержание составляющих компонент жидкости в долях единицы;

ν_1, ν_2 – кинематический коэффициент вязкости каждой из компонент при рабочей температуре 50°C, м²/с.

Относительный эксцентриситет подшипника χ назначают по соответствующей номограмме [8], в зависимости от рассчитываемого значения коэффициента нагруженности подшипника ζ' :

$$\zeta' = \frac{R \cdot \psi^2}{l \cdot D \cdot \omega \cdot \mu}, \quad (11)$$

где R – нагрузка в опоре, Н;

ψ – основной относительный зазор;

ω – частота вращения шпинделя, рад/с.

Основной относительный зазор ψ равен [8]:

$$\psi = \frac{2 \cdot \Delta}{d}, \quad (12)$$

здесь d – диаметр шейки шпинделя, мм.

Силу Q , действующую на шпиндель со стороны привода (рис. 3), определим по формуле:

$$Q = 2 \cdot P_e, \quad (13)$$

где P_e – вертикальная составляющая силы натяжения ветви ремня, Н.

$$P_e = P_{np} \cdot \cos \varphi, \quad (14)$$

где P_{np} – сила предварительного натяжения ветви ремня, Н.

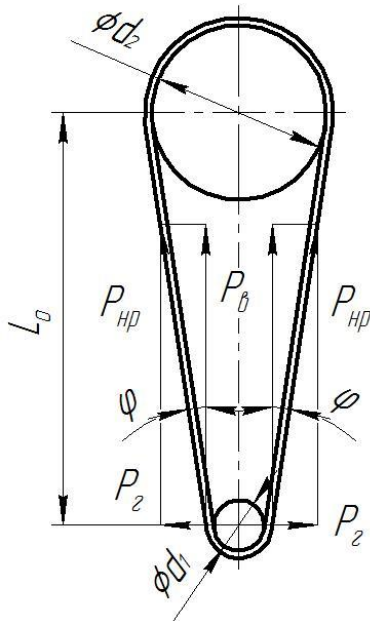


Рис.3. Схема к расчету силы, действующей на шпиндель со стороны привода

Угол наклона ветви ремня относительно линии, проходящей через оси шкивов на валу электродвигателя и шпинделя, равен:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{d_2 - d_1}{2 \cdot L_o}, \quad (15)$$

где d_1 – диаметр шкива на валу электродвигателя, мм;
 d_2 – диаметр шкива на шпинделе, мм;
 L_o – расстояние между осями шпинделя и вала электродвигателя, мм.

Сила предварительного натяжения ветви ремня рассчитывается по зависимости [9]:

$$S_o = 0,5 \cdot (S_1 + S_2) - \lambda \cdot S_u, \quad (16)$$

где S_1 и S_2 – силы натяжения ветвей ремня при передаче окружного усилия;

S_u – сила натяжения ветвей ремня от центробежных сил.

λ – коэффициент, характеризующий жесткость конструктивных элементов, регулирующих натяжение ременной передачи.

Силы натяжения ветвей ремня определяются по формулам:

$$S_1 = \frac{m}{m-1} P + S_u, \text{ Н}; \quad (17)$$

$$S_2 = \frac{1}{m-1} P + S_u, \text{ Н}; \quad (18)$$

$$m = e^{\alpha_c \cdot f'}$$

где α_c – угол скольжения (часть угла обхвата, на которой происходит скольжение ремня), для гарантии отсутствия скольжения при нормальной работе следует принимать $\alpha_c = (0,5 - 0,7) \cdot \alpha$, где α – угол обхвата на шкиве меньшего диаметра;

f' – приведенный коэффициент трения;

Угол обхвата на шкиве меньшего диаметра:

$$\alpha = 180^\circ - 60^\circ \frac{d_2 - d_1}{L_o}. \quad (19)$$

При работе на холостых оборотах, в ременной передаче возникает сила натяжения от центробежных сил S_u , которая равна:

$$S_u = q \cdot V^2, \text{ Н}, \quad (20)$$

где q – погонная масса ремня, кг/м.

Окружная скорость V равна:

$$V = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_1}{60 \cdot 1000}. \quad (21)$$

где n_1 – частота вращения вала электродвигателя, об/мин.

Тангенциальную составляющую силы резания P_z рассчитаем по мощности привода шпинделя:

$$P_z = \frac{1000 \cdot N_p}{V_k}, \quad (22)$$

где N_p – максимальная мощность резания, кВт;

V_k – скорость круга, м/с.

Радиальную составляющую силы резания P_y , определим с использованием коэффициента шлифования $K_{ш}$:

$$P_y = \frac{P_z}{K_{ш}}. \quad (23)$$

Для расчета упругого перемещения конца шпинделя по приведенным формулам (2) – (23) была составлена программа для ПЭВМ в среде программирования MathCad.

Пример. Определим усилие поджима образца шириной $B_3 = 15$ мм из стали Р6М5Ф3 к рабочей поверхности круга 1А1 250×75×16×5 АС6 100/80-4-М2-01 по допустимой величине упругого перемещения конца шпинделя плоскошлифовального станка 3Г71, при плоском врезном шлифовании, обеспечивающем точность обработки 50Н6_(-0,016) мм. Коэффициент шлифования стали Р6М5Ф3 алмазным кругом $K_{ш} = 0,31$; скорость детали, рассчитанная по заданному параметру шероховатости обработанной поверхности $R_a = 0,63$ мкм, составляет $V_d = 6$ м/мин.

Параметры ременной передачи:

- число оборотов электродвигателя $n_1 = 2860$ об/мин;
- мощность, передаваемая ременной передачей $N_p = 3$ кВт;
- погонная масса ремня $q = 0,4$ кг/м;
- приведенный коэффициент трения ремня по шкиву $f' = 0,35$;
- коэффициент, характеризующий жесткость конструктивных элементов, регулирующих натяжение ременной передачи $\lambda = 0,5$;
- межосевое расстояние оси вала электродвигателя и оси шпинделя $L_o = 440$ мм (см. рис. 3);
- диаметр шкивов электродвигателя и шпинделя $d_1 = 115$ мм и $d_2 = 120$ мм соответственно.

Параметры шпиндельного узла и опор скольжения (см. рис 1):

- вылет участка ОА шпинделя $a = 145$ мм;
- межопорное расстояние $l = 270$ мм;
- вылет участка ВС шпинделя $c = 100$ мм;
- диаметр межопорной ступени шпинделя $D_1 = 58$ мм;
- средний диаметр участка ОА шпинделя $D_2 = 44$ мм;
- диаметр шейки шпинделя $d = 60$ мм;
- диаметр расточки гофрированной втулки $D = 60,12$ мм;
- модуль упругости 2-го рода для материала шпинделя из стали 40Х $E = 218500$ Па;
- смазочная жидкость опор скольжения – фильтрованный керосин с 10%-м содержанием индустриального масла И20А;
- кинематическая вязкость керосина (при 50°C) $\nu_1 = 0,75 \cdot 10^{-2}$ м²/с;
- кинематическая вязкость масла И20А (при 50°C) $\nu_2 = 0,20$ м²/с;
- длина рабочей части втулки $L = 50$ мм;
- размер дуги рабочей поверхности кармана $B = 40$ мм;
- основной диаметральный зазор подшипника $\Delta = 60$ мкм.

После выполнения расчетов по приведенным выше исходным данным установлено, что допустимое усилие поджима заготовки к РПК, ограниченное точностью обработки по 6-му качеству для обрабатываемого размера 50н6, составляет $P_n = 91,5$ Н.

Выводы

1. При плоском шлифовании стали Р6М5Ф3 на станке модели 3Г71, упругие перемещения рабочего конца шпинделя являются техническим ограничением, налагаемым на режим резания станком по точности обработки.
2. При плоском шлифовании поверхности образца размером 50Н6 из стали Р6М5Ф3 на станке мод. 3Г71, усилие поджима P_n образца к РПК, допустимое точностью обработки, составляет 91,5 Н.
3. Полученные результаты будут использованы при оптимизации режимов шлифования по упругой и жесткой схемам.

Перечень источников литературы: **1.** Матюха П.Г. Високопродуктивне шліфування ванадієвих штампових та інструментальних сталей. – Донецьк: ДВНЗ „ДонНТУ”, 2008. – 222 с. **2.** Матюха П.Г. Полтавец В.В. Алмазне шліфування з електроерозійними керуючими діями на робочу поверхню круга. – Донецьк: ДонНТУ, 2006 – 164 с. **3.** Матюха П.Г., Габитов В.В. Влияние вида шлифования на шероховатость обработанной поверхности. // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Випуск 8 (190). – Донецьк: ДВНЗ „ДонНТУ”, 2011. – 214 с. **4.** Универсальный плоскошлифовальный станок высокой точности с горизонтальным шпинделем и прямоугольным столом. Модель 3Г71. Руководство к станку. **5.** Д.Н. Решетов. Детали и механизмы металлорежущих станков. Т.2. М., Машиностроение, 1972, – 520 с. **6.** Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с. **7.** Металлорежущие станки: Учебник для машиностроительных вузов/ Под ред. В.Э. Пуша. – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с. **8.** Воскресенский В.А., Дьяков В.И. Расчет и проектирование опор скольжения (жидкостная смазка): Справочник. – М.: Машиностроение, 1980. – 224 с. **9.** Справочник металлиста: в 5 т. / перераб. под ред. С.А. Чернавского и В.Ф. Решикова. – М.: Машиностроение, 1976 Т.1. Изд. 3-е – 1976. – 768 с.

Рецензент: **Ковалев В.Д.**, д.т.н., проф., ДГМА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ПОДЖИМА ЗАГОТОВКИ К РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КРУГА, ОГРАНИЧЕННОЙ ТОЧНОСТЬЮ ОБРАБОТКИ, ПРИ ПЛОСКОМ ШЛИФОВАНИИ НА СТАНКЕ МОДЕЛИ 3Г71

Матюха П.Г., Полтавец В.В., Габитов В.В., Лискун О.Л.

В статье приведена методика определения и выполнен расчет допустимого усилия поджима заготовки к рабочей поверхности круга, ограниченного точностью обработки, при плоском врезном шлифовании по упругой схеме, на основе анализа упругих перемещений конца шпинделя. Полученное усилие поджима будет использовано при определении режимов резания при плоском шлифовании жесткой и упругой схемам на станке, настроенном на размер.

ВИЗНАЧЕННЯ СИЛИ ПІДТИСКУ ЗАГОТОВКИ ДО РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ КРУГА, ОБМЕЖЕНОГО ТОЧНІСТЮ ОБРОБКИ, ПРИ ПЛОСКОМУ ШЛІФУВАННІ НА ВЕРСТАТІ МОДЕЛІ 3Г71

Матюха П.Г., Полтавець В.В., Габітов В.В., Ліскун А.Л.

В статті наведена методика визначення та виконаний розрахунок допустимого зусилля підтиску заготовки до робочої поверхні круга, обмеженого точністю обробки, при плоскому врізному шліфуванні за пружною схемою, на основі аналізу пружних переміщень кінця шпинделя. Отримане зусилля підтиску буде використано при визначенні режимів різання при плоскому шліфуванні за жорсткою та пружною схемами на верстаті, налаштованого на розмір.

DEFINITION OF A FORCE TIGHTENING OF THE WORKPIECE TO A WORKING SURFACE OF THE CIRCLE, THE LIMITED PRECISION PROCESSING, WITH A FLAT GRINDING MACHINE MODEL 3G71

Matyukha P.G., Poltavets V.V., Gabitov V.V., Liskun O.L.

In the article the technique of definition and calculation of allowable efforts tightening of the workpiece to a working surface of a circle, of limited precision of the treatment, with a flat the cut-in grinding of the elastic pattern, based on the analysis of elastic displacements of the end of the spindle. The resulting effort tightening will be used in determining the cutting modes for flat grinding the rigid and elastic schemes on the machine that is configured on the size.

Ключевые слова: шлифование, упругая схема обработки, сила поджима образца, режущая поверхность круга, точность обработки.

Ключові слова: шліфування, пружна схема обробки, сила підтиску зразка, ріжуча поверхня круга, точність обробки.

Keywords: grinding, elastic processing scheme, force a tightening of the workpiece, cutting surface of the circle, the accuracy of processing.

Дата надходження статті: 4 травня 2013 р.

УДК621.881

Луців І.В., Шарик В.М.
ТНТУ ім. І. Пулюя, м. Тернопіль, Україна
www.tu.edu.te.ua

ТОНКЕ ТОЧІННЯ ТРИРІЗЦЕВОЮ ГОЛОВКОЮ З ПРУЖНИМИ НАПРЯМНИМИ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ПРИВОДОМ

Проблема, її актуальність, та аналіз існуючих джерел.

Тонке точіння є однією з фінішних і найважливіших операцій обробки у сучасному машинобудуванні. Точність обробленого вала та якість його поверхні є важливою передумовою надійності роботи як окремих механізмів, так і машин в цілому. Під час токарної обробки одним різцем виникають пружні деформації, які негативно впливають на шорсткість поверхні деталі, розмірну точність, точність форми, хвилястість, стійкість інструменту та довговічність верстату. Також існує проблема дроблення стружки. Ряд різноманітних факторів в процесі різання призводять до погіршення точності та якості поверхні, а також зменшення продуктивності металооброблюваного обладнання. На даний час завдання підвищення техніко-економічної ефективності процесів різання вирішується одним з таких методів: призначенням змінних режимів різання з використанням емпіричних методик і методик, що враховують тільки один змінний параметр; шляхом використання вузькоспеціалізованих верстатів або пристосувань; використанням систем адаптивного керування процесом різання. Динамічна зміна режимних умов обробки в системах адаптивного керування відбувається на основі постійного моніторингу процесу різання, що дозволяє враховувати навіть ті фактори, які є невідомими на етапі технічної підготовки виробництва [1]. Питанням розроблення методів обробки нежорстких валів багаторіzscheвими головками, їх конструкції присвячено роботи авторів [2, 3, 4]. Проте цілий ряд питань потребують додаткового дослідження і на сьогоднішній день не отримали свого вирішення.

Мета роботи. Метою даного дослідження є визначення ефективності використання багаторіzscheвої обробки адаптивного типу при тонкому точінні нежорстких циліндричних деталей

Основні завдання. Підвищення ефективності обробки зовнішніх поверхонь обертання можна здійснити шляхом встановлення закономірностей впливу міжінструментальних зв'язків на процес багатолезової обробки та їх використання для створення багатолезового оснащення адаптивного типу з пружними напрямними. З цією метою бажано створити триріzscheву головку з широкими технологічними можливостями, в якій шляхом використання електромагнітного механізму керування осьовими складовими сил різання забезпечувалась би висока чутливість до миттєвих змін складових сил різання на різцях, стабілізація сил різання, а також можливість керування зміною подач на кожному із різців і отримання різання з регулярними і нерегулярними осциляціями.

Виклад основного матеріалу

Поряд із вдосконаленням технології обробки, інструментів, доцільно розробити принципово нові мехатронні головки, на базі інтеграції засобів прецизійної механіки, електроніки, електротехніки, зокрема для багаторіzscheвої обробки адаптивного типу. Конструктивне поєднання виконавчого і привідного елементів механізмів лінійних і обертювих переміщень верстатів, що реалізує концепцію приводу прямої дії дозволяє підвищити точність, швидкодію, знизити втрати потужностей. Наявність у конструкціях вмонтованих систем автоматичного керування і давачів контролю технологічного процесу робить мехатронні головки інтелектуальними автономними засобами, з яких можна створити конструкції перспективних металообробних вузлів. Принципово новим підходом є забезпечення складного взаємозв'язаного руху робочих органів не за рахунок складної механіки, а з допомогою електроніки, програмного керування і точної вимірювальної

техніки. В науковому плані задача створення мехатронних інструментальних головок для металообробних верстатів полягає не тільки у поєднанні механіки та електроніки, а в створенні методів аналізу їх роботи. Розробка мехатронних головок забезпечує принципово новий концептуальний підхід до конструювання машин з якісно новими характеристиками. Весь комплекс задач проектування і технології механічної обробки на металорізальному верстаті впливає на конструкцію і систему керування головкою. Тому можна говорити про конкретний клас мехатронних головок, а саме для токарної обробки.

В Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя на кафедрі конструювання верстатів, інструментів та машин запропоновано конструкцію трирізцевої головки адаптивного типу з пружними напрямними для тонкого точіння та електромагнітним приводом [5].

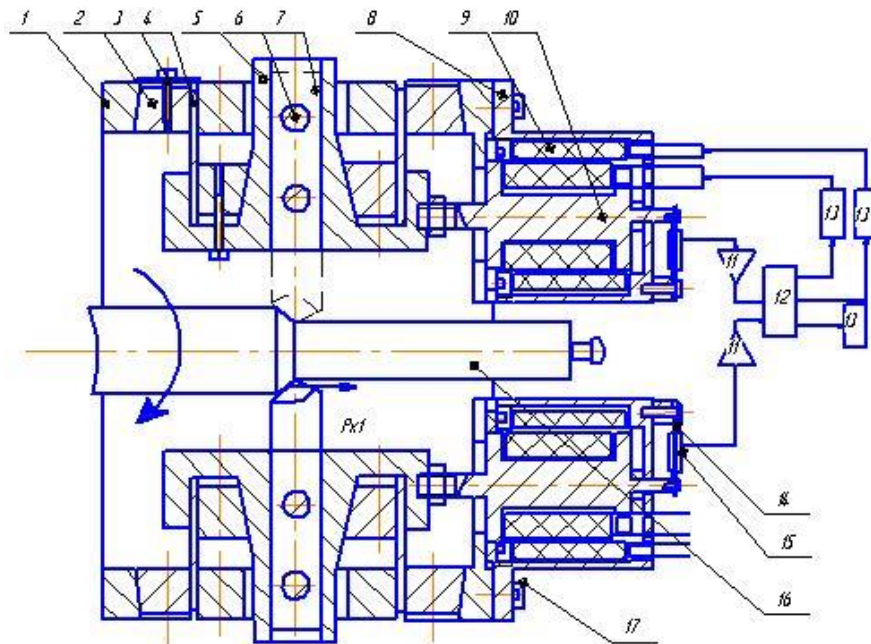


Рис.1. Конструкція багаторізцевої головки для тонкого точіння з пружними напрямними та електромагнітним приводом.

На рис. 1 представлено конструктивну схему трирізцевої головки з пружними напрямними адаптивного типу. Головка складається з корпусу 1, у якому через 120° виконано три прямокутні наскрізні вікна, в яких розміщені три різцетримачі 5, які за допомогою пружних напрямних 4, клинів 2 та гвинтів 3 з'єднані із корпусом. У різцетримачах 5 встановлені різці 7. Різцетримачі 5 жорстко з'єднані з якорями 10 двонаправлених електромагнітів 8, які нерухомо прикріплені до корпусу головки. На якорях встановлені пружні елементи 14, які закріплені другим кінцем до корпусу електромагніта, на яких приклеїні тензометричні давачі 15. Тензометричні давачі з'єднані з тензопідсилювачем 11, мікропроцесорною системою керування 12, та системою погодження та підсилення 13.

Для оцінки ефективності запропонованої головки проведемо порівняльні дослідження точності обробки нежорстких циліндричних деталей при одноінструментальній обробці консольно закріпленої заготовки та з використанням розробленої трирізцевої головки. Значний вплив на точність виготовлення деталей обертання має жорсткість системи верстат-інструмент-деталь, яка в значній мірі залежить від деформації заготовки, що виникає під впливом складових сил різання.

Розглянемо перший варіант обробки, при якому різання здійснюється одним різцем. Деталь закріплена в патроні токарного верстату з ексцентриситетом δ_p . Зі сторони різця, встановленого з похибкою δ_r відносно осі заготовки, на неї діють складові сили різання: P_x -

осьова, P_y –радіальна, P_z -тангенціальна. Під час обробки під дією складових сил різання заготовка деформується.

Величину прогину δ_{\max} згідно [6], [7] визначаємо за формулою:

$$\delta_{\max} = \mu P_{z2} \frac{L^3}{3EI} + P_{z2} \left(\frac{1}{j_{\text{супн}}} + \frac{1}{j_n} \right) + \delta_n + \delta_p \quad (1)$$

де P_{z2} -згинне зусилля від сил різання, яке визначається їх радіальною складовою; $I = \frac{\pi D^4}{64}$ - момент інерції; D -діаметр оброблюваної деталі; E -модуль пружності; $j_{\text{супн}}=50000\text{Н/мм}$ - жорсткість супорта; $j_n=100000\text{Н/мм}$ - жорсткість патрона; L -довжина деталі; $\mu=1,5$ коефіцієнт динамічності.

Для порівняння розглянемо обробку деталі трирізцевою головкою адаптивного типу для тонкого точіння (рис. 2).

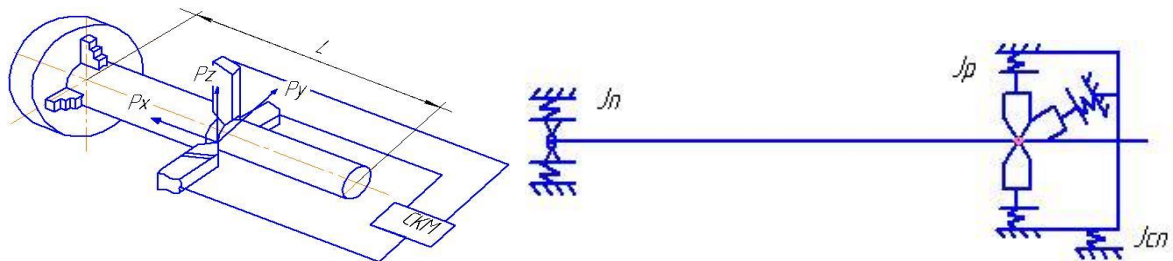


Рис. 2. Схема обробки циліндричної деталі трирізцевою головкою.

Як видно із схеми, при обробці деталі трьома різцями заготовка фактично затискається між ними. В цьому випадку змінюється схема закріплення заготовки - з одного боку вона консольно закріплена в патроні верстату, а з іншого - шарнірно в трирізцевій головці. Між різцями встановлений механізм вирівнювання зусиль різання. В цьому випадку $P_{x1}=P_{x2}=P_{x3}$, $P_{y1}=P_{y2}=P_{y3}$. Таким чином, зі сторони осьових зусиль не виникає згинного моменту, що діє на заготовку. Згинний момент виникає тільки в результаті похибки закріплення заготовки в патроні токарного верстату з ексцентриситетом та похибки встановлення різців відносно осі заготовки.

Величину прогину в цьому випадку визначаємо за формулою:

$$\delta_{\max} = P_{z2}^* \left[\frac{L^3 \mu}{3EI} + \frac{1}{j_{\text{супн}}^*} + \frac{1}{j_n} + \frac{1}{3j_p} \right] + \delta_n + \delta_{p\max}^* \quad (3)$$

де $j_p=25000\text{Н/мм}$ -жорсткість різця, $P_{z2}^*=\Delta P_y=-\beta_{\max} P_{z2}$ - згинне зусилля при трирізцевій обробці, яке визначається неузгодженням радіальних складових сил різання; згідно експерименту $\beta_{\max} = 0,01 \div 0,02$, [1].

За результатами розрахунків будуюмо графіки рис.3, де $\delta_{\max1}$ -максимальний прогин при обробці консольно закріпленої деталі одним загостреним різцем, $\delta_{\max2}$ - максимальний прогин при обробці консольно закріпленої деталі одним затупленим різцем, $\delta_{\max3}$ - максимальний прогин при обробці деталі трирізцевою головкою з механізмом вирівнювання зусиль різання.

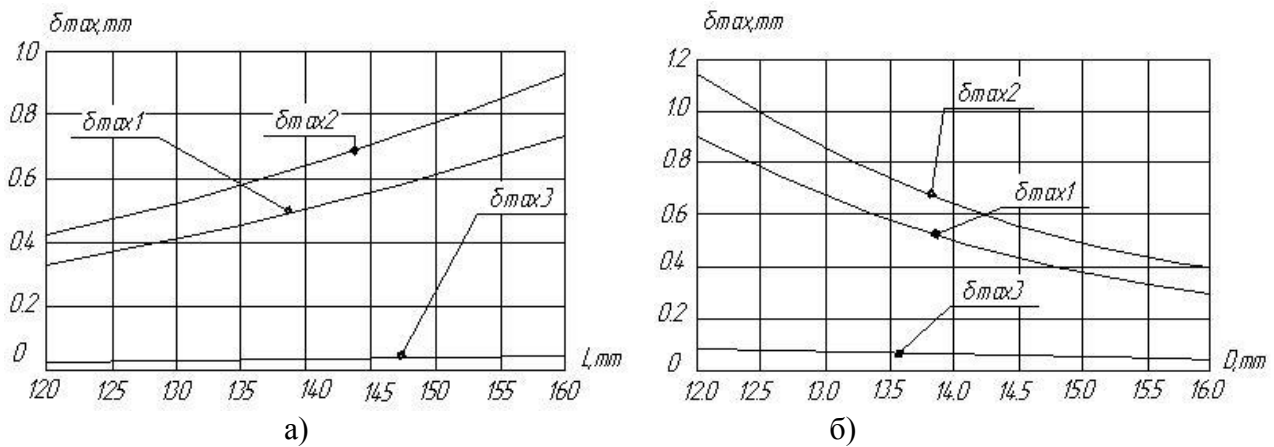


Рис.3. Графіки залежності а) прогину деталі від її довжини, б) прогину деталі від її діаметру.

Висновки

1. Розроблено нову конструкцію трирізцевої головки для тонкого точіння з пружними напрямними та електромагнітним мікропроцесорним керуванням.
2. Встановлено, що використання розробленої головки дає можливість забезпечувати високу чутливість до миттєвих змін складових сил різання на різцях, стабілізацію сил різання, а також можливість керування зміною подач на кожному із різців і отримання вібраційного високоточного різання при тонкому точінні.
3. Проведений аналіз дозволяє зробити висновки, що застосування трирізцевої головки з механізмом вирівнювання зусиль різання, впливає на те, що жорсткість технологічної системи ВПД при різанні значно підвищується, а це дає можливість зменшити вплив складових сил різання на точність виготовлення деталі.

Перелік джерел літератури: 1. Ю.М.Кузнецов, І.В.Луців, О.В.Шевченко, В.Н.Волошин. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах: [Текст] Монографія/Упоряд. Кузнецов Ю.М.-К.: -Тернопіль: Терно-граф, 2011.- 692с., іл. 2. А.с. 30761. Україна В23 В29/24. Багаторізцева головка. [Текст] / П.Д. Кривий, С.Г. Нагорняк, І.В. Луців, Г.О. Юхименко. №98052536 ; заявл. 15.05.1998; опубл. 15.12.2000. Бюл.№7. 3. А.с. 2069606 Россия, В23 В29/32. Многорезцовая головка [Текст] / Б.М. Сойкин, Ю.В. Белоусов, С.А. Князькин. - №94007053/08; заявл. 21.02.1994; опубл. 27.11.1996, Бюл. № 28. 4. Луців І.В. Структурний синтез багатолезового оснащення з кінематичними міжінструментальними зв'язками//Вісник ТДТУ-1997.-№1.с.78-84. 5. Ігор Луців, Володимир Шарик. Багаторізцеве оснащення адаптивного типу з пружними напрямними [Текст] // Тези доповідей 3-ї міжнародної науково-технічної конференції: "Теорія і практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій".-Львів, 2012.-с.77-78. 6. К. С. Колев. Вопросы точности при резании металлов.Под. ред. Т. Б. Дашевского.-М.: Машгиз, 1961.-131с. 7. К. С. Колев, Л. М. Горчаков. Точность обработки и режимы резания. 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1976.-144с.

Рецензент: Ковалев В.Д., д.т.н., проф., ДГМА

ТОНКОЕ ТОЧЕНИЕ ТРЕХРЕЗЦОВОЙ ГОЛОВКОЙ С УПРУГИМИ
НАПРАВЛЯЮЩИМИ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПРИВОДОМ

И.В.Луцив, В.М.Шарык

Предложено конструкцию трехрезцовой головки адаптивного типа с упругими направляющими для тонкого точения, в которой управление положением в процессе обработки осуществляется электромагнитным двунаправленным приводом резцедержателей с микроконтроллерным интеллектуальным управлением.

ТОНКЕ ТОЧІННЯ ТРИРІЗЦЕВОЮ ГОЛОВКОЮ З ПРУЖНИМИ
НАПРЯМНИМИ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ПРИВОДОМ

І.В.Луців, В.М.Шарик

Запропоновано конструкцію трирізцевої головки адаптивного типу з пружними напрямними для тонкого точіння, в якій керування положення різця в процесі обробки відбувається через електромагнітний двонаправлений привід різцетримачів з мікроконтролерним інтелектуальним керуванням.

THREE EDGE HEAD FINE TURNING WITH ELASTIC GUIDES AND ELECTROMAGNETIC
DRIVE

Ihor Lutsiv, Volodymyr Sharyk

The paper deals with the design and operation of adaptive multi edge cutting head with elastic guides. The head is used for fine turning. The cutting tool position in the process of machining is operated by electromagnetic bidirectional drive of tool holders. The drive is equipped with microprocessor intelligent control.

Ключевые слова: тонкое точение, направляющая, привод, резцедержатель.

Ключові слова: тонке точіння, напрямна, привід, резцедержатель.

Keywords: fine turning, guide, drive, tool holder

Дата надходження статті: 18 травня 2013 р.

УДК 621.9

Нечепаев В. Г., Мышов М.С.
ДонНТУ, г. Донецк, Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВТОРНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТА СТРУЖКИ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ПРОФИЛЬНЫХ ПАЗОВ ДЛЯ СЛУЧАЯ РАСПРЕДЕЛЁННОГО ЕГО НАГРУЖЕНИЯ

Введение

Значительную часть общего объёма металлообработки в процессе изготовления станочного и других видов оборудования составляют профильные пазы: по Украине – около 50 км в год; по Российской Федерации – около 150 км; во всем мире – около 9000 км. При этом они являются весьма нетехнологичными элементами конструкций из-за ограниченности пространства для размещения отделенной стружки. Широкое применение и нетехнологичность конструкции таких пазов определяет актуальность поиска путей повышения точности их изготовления.

В [1] показано, что погрешность обработки профильных пазов в существенной степени определяется деформированием элемента стружки в процессе его повторного взаимодействия с режущим инструментом.

В [2, 3] проведен анализ физической картины деформирования элемента стружки в процессе её повторного взаимодействия при фрезеровании профильных пазов и выполнена схематизация рассматриваемого процесса. На рис. 1 показаны расчётные схемы в соответ-

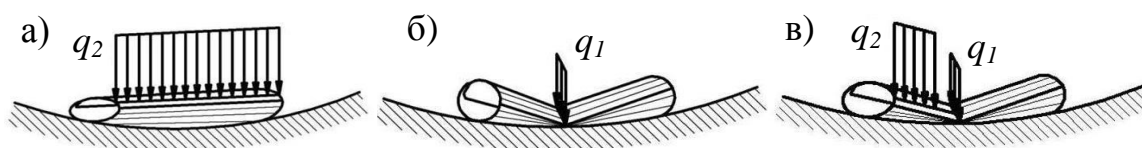


Рис. 1. Расчётные схемы повторного деформирования элемента стружки при фрезеровании профильных пазов для случаев: а) распределённое нагружение элемента стружки; б) сосредоточенное нагружение элемента стружки; в) комбинированное нагружение элемента стружки

ствии с возможными вариантами протекания рассматриваемого процесса повторного деформирования элемента стружки при фрезеровании профильных пазов.

Целью настоящей работы является разработка математической модели деформирования элемента стружки для случая распределённого его нагружения (рис. 1, а), ориентированной на определение силовых факторов, воздействующих на режущий инструмент в процессе его повторного взаимодействия с отделённой стружкой при фрезеровании профильных пазов. Указанные силовые факторы обуславливают деформацию режущего инструмента и соответствующую погрешность обработки профильных пазов.

Основное содержание работы

При разработке модели приняты два основных допущения.

1. Элемент стружки может быть представлен в виде единичной замкнутой тонкостенной цилиндрической круговой оболочки.

При этом элемент стружки имеет следующие геометрические параметры, которые обусловлены с геометрическими параметрами фрезы и режимными параметрами процесса фрезерования:

- максимальный внешний радиус элемента стружки R

$$R = \frac{1}{720} D_{\phi} \arccos(a / D_{\phi}), \quad (1)$$

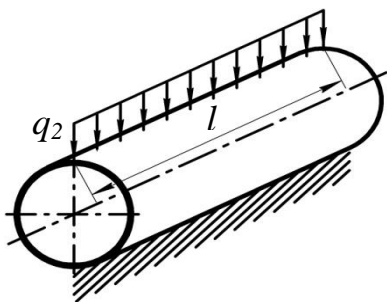


Рис. 2. Расчётная схема процесса повторного деформирования элемента стружки при фрезеровании профильных пазов для случая поперечного её нагружения

где D_{ϕ} - диаметр фрезы; a - ширина предварительно профрезерованного паза;

- максимальная толщина элемента стружки

$$\delta_{\max} = S_z, \quad (2)$$

где S_z - подача на зуб фрезы;

- длина отделённого элемента стружки

$$l = l_{z.\phi.} / \cos \omega, \quad (3)$$

где $l_{z.\phi.}$ - длина зуба фрезы; ω - угол наклона стружечной канавки фрезы.

2. Опасным напряжением, при котором происходит разрушение стружки в процессе её повторного взаимодействия с режущим инструментом, является предел прочности материала обрабатываемого профильного паза.

Обоснованием рассматриваемого допущения является базовые положения теории упругости [4].

В качестве исходного уравнения для разработки модели деформирования элемента стружки инструментом при фрезеровании профильных пазов принимаем дифференциальное уравнение общей теории расчёта круговых цилиндрических оболочек в развёрнутом виде [5]

$$\begin{aligned} \frac{\partial^8 \Phi}{\partial \xi^8} + 2 \frac{\partial^6}{\partial \xi^6} \left(2 \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} + \nu \right) \Phi + \frac{\partial^4}{\partial \xi^4} \left(6 \frac{\partial^6}{\partial \theta^6} + 6 \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} + 1 \right) \Phi + 2 \frac{\partial^2}{\partial \xi^2} \left[2 \frac{\partial^6}{\partial \theta^6} + \right. \\ \left. + (4 - \nu) \frac{\partial^4}{\partial \theta^4} + \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \right] \Phi + \frac{\partial^4}{\partial \theta^4} \left(\frac{\partial^4}{\partial \theta^4} + 2 \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} + 1 \right) \Phi + 4\beta \frac{\partial^4 \Phi}{\partial \xi^4} = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

В уравнении (4) $\Phi(\xi, \theta)$ - разрешающая функция, через которую определяются все силовые и деформационные факторы, β - геометрическая характеристика оболочки

$$\beta = \sqrt[4]{3(1 - \nu^2) \frac{R^2}{\delta^2}}, \quad (5)$$

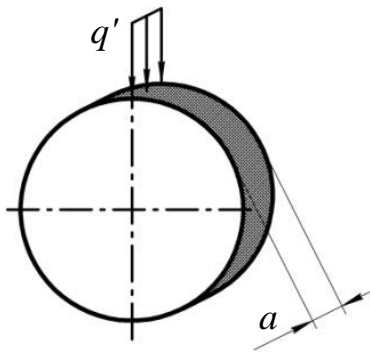
где ν - коэффициент Пуассона.

Уравнение (4) описывает напряжённое состояние изгиба оболочки в продольном и кольцевом направлениях (описывает полубезмоментное напряжённое состояние изгиба оболочки в кольцевом направлении, и краевой эффект изгиба оболочки в продольном направлении).

Так как ось элемента стружки при его загрузке равномерно перемещается вниз, оставаясь при этом параллельно своему первоначальному положению, то элемент стружки не изгибается в продольном направлении - не изгибается вдоль образующей (радиус кривизны изогнутой оси элемента стружки стремится к бесконечности, а следовательно, угол поворота при изгибе равен нулю). Поэтому дифференциальное уравнение общей теории расчёта круговых цилиндрических оболочек в развёрнутом виде (4) применить к рассматриваемой схеме (см. рис. 1, а) нельзя.

Рассмотрим полубезмоментное напряжённое состояние изгиба оболочки в кольцевом направлении. Для определения внутренних силовых факторов, возникающих вследствие повторного взаимодействия режущего инструмента со стружкой, для расчётной схемы на рис. 2 вырежем кольцевой элемент стружки длиной a (см. рис. 3). При этом заменим распределённую нагрузку, изображённую на рис. 2, сосредоточенной силой $P = ql$, где l - длина стружки; а распределённую нагрузку, изображённую на рис. 3, $P' = q'a$.

Из соотношения $\frac{P}{l} = \frac{P'}{a}$ можно выразить значение силы P'



$$P' = \frac{Pa}{l}. \quad (5)$$

Тогда в вертикальной плоскости на вырезанный элемент стружки действует сосредоточенная сила P , а со стороны основания реакция опоры, равная по модулю и противоположная по направлению сосредоточенной силе P (см. рис. 4, а).

Рис. 3. Кольцевой элемент стружки

Данное кольцо трижды статически неопределимо. Поэтому разрежем кольцо диаметрально горизонтальным сечением с учётом симметрии геометрии и нагрузки видим, что продольное усилие в разрезе равно нулю (см. рис. 4, б). Тогда из равновесия четверти кольца (из суммы проекций сил на вертикаль)

получаем, что в вертикальном диаметрально сечении поперечная сила равна нулю (см. рис. 4, в).

Из условия равновесия полукольца (из суммы моментов относительно нижней точки диаметра вертикального разреза) следует, что продольное усилие в вертикальном сечении равно нулю.

Затем, приравнявая взаимный угол поворота в вертикальном диаметрально разрезе к нулю, получаем каноническое уравнение метода сил

$$\delta_{11} X_1 + \Delta_{1P} = 0. \quad (6)$$

Поскольку изгибающий момент от $X_1 = 1$ в любом сечении равен единице, то есть $M_1(\varphi) = 1$, а от заданной нагрузки $M_P(\varphi) = -\frac{P}{2} R \sin \varphi$, то коэффициенты канонического уравнения будут следующими:

$$\delta_{11} = 4 \int_0^{\pi/2} \frac{M_1^2}{EI} R d\varphi = \frac{2\pi R}{EI}, \quad (7)$$

$$\Delta_{1P} = -4 \frac{PR^2}{2EI} \int_0^{\pi/2} \sin \varphi d\varphi = -2 \frac{PR^2}{EI}. \quad (8)$$

Подставляя в уравнение (6) значения коэффициентов (7) и (8), получим

$$2\pi R X_1 - \frac{2PR^2}{EI} = 0, \quad (9)$$

откуда

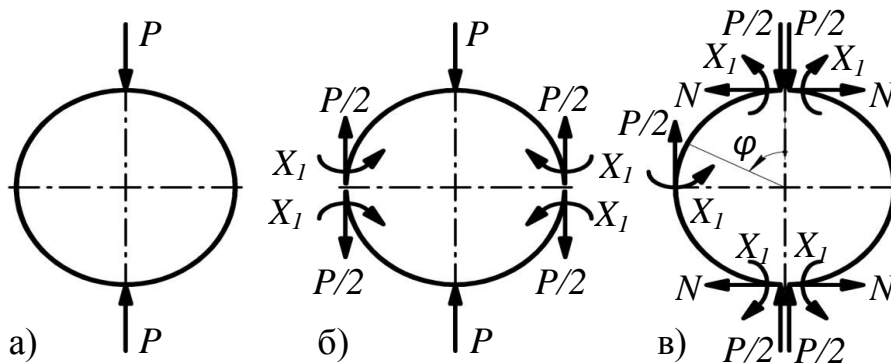


Рис. 4. Единичный кольцевой элемент стружки с приложенной нагрузкой и возникающими внутренними силовыми факторами

$$X_1 = \frac{2PR^2 EI}{EI2\pi R} = \frac{PR}{\pi} = 0.3183PR. \quad (10)$$

Изгибающий момент в произвольном сечении равен

$$\begin{aligned} M(\varphi) &= M_1(\varphi) \cdot X_1 + M_P(\varphi) = 1 \cdot 0.3183PR - \frac{P}{2}R \sin \varphi = \\ &= \frac{PR}{2}(0.6366 - \sin \varphi). \end{aligned} \quad (11)$$

Максимальные напряжения, возникающие в сечении стружки

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{0.318P'R6}{a\delta^2} = \frac{0.318PaR6}{a\delta^2 l} = \frac{1.908PR}{\delta^2 l}, \quad (12)$$

где $W = \frac{a\delta^2}{6}$ - момент площади сопротивления элемента стружки;

$$M_{\max} = \frac{P'R}{2}(0.6366 - \sin 0) = \frac{0.6366P'R}{2} = 0.318P'R - \text{максимальный изгибающий момент в опасном сечении.}$$

Принимая в качестве разрушающего напряжения предел прочности σ_δ материала обрабатываемого паза, определим значение силы P , обуславливающей пластическую деформацию элемента стружки и затем соответствующую деформацию фрезы и погрешность обработки профильного паза

$$P = \frac{\sigma_\delta \delta^2 l}{1.908R}. \quad (13)$$

Подставляя в уравнение (13) выражения (1) и (2), получим выражение для определения силы повторного взаимодействия элемента стружки с фрезой P как функцию диаметра фрезы D_ϕ и подачи на зуб S_z

$$P = \frac{\sigma_\delta S_z^2 l}{1.908 \frac{1}{720} D_\phi \arccos(a/D_\phi)} = 0.00265 \frac{\sigma_\delta S_z^2 l}{D_\phi \arccos(a/D_\phi)}. \quad (14)$$

Анализ графической интерпретации зависимости (14) (рис. 5...6) позволяет сделать следующие выводы:

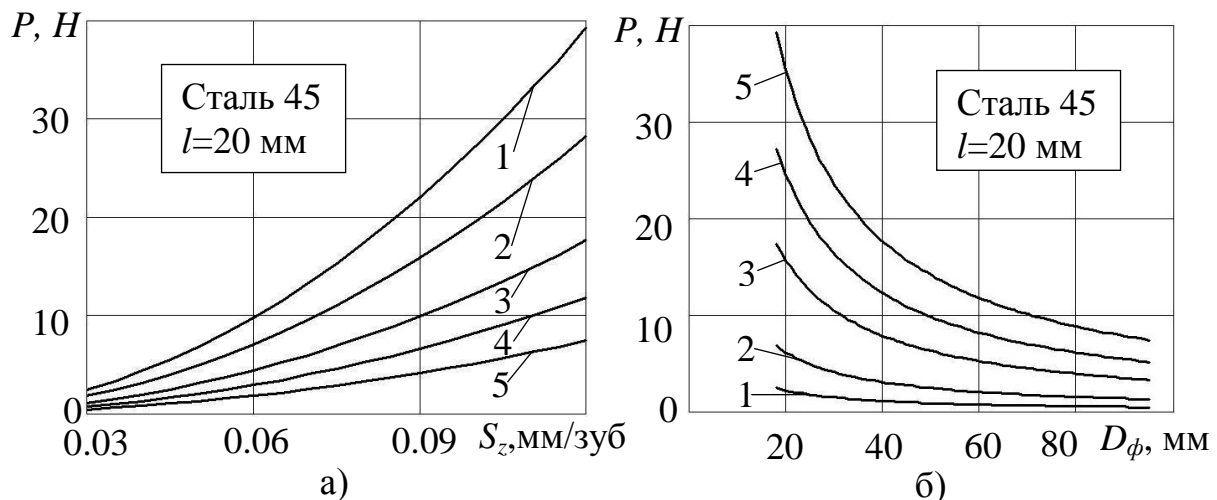


Рис. 5. Графическая интерпретация зависимости силы повторного взаимодействия элемента стружки с фрезой P от: а) подачи на зуб фрезы S_z (1 – $D_\phi = 18$ мм; 2 – $D_\phi = 25$ мм; 3 – $D_\phi = 40$ мм; 4 – $D_\phi = 60$ мм; 5 – $D_\phi = 95$ мм); б) диаметра фрезы D_ϕ (1 – $S_z = 0.03$ мм/зуб; 2 – $S_z = 0.05$ мм/зуб; 3 – $S_z = 0.08$ мм/зуб; 4 – $S_z = 0.1$ мм/зуб; 5 – $S_z = 0.12$ мм/зуб)

- зависимость силы повторного взаимодействия элемента стружки с режущим инструментом P от подачи на зуб S_z и от диаметра фрезы D_ϕ имеет существенно нелинейный характер во всём возможном диапазоне значений режимных параметров при фрезеровании профильных пазов, установленных действующим стандартом [6];

- возрастание силы повторного взаимодействия элемента стружки с режущим инструментом P определяется уменьшением диаметра фрезы D_ϕ и увеличением подачи на зуб S_z .

Так, уменьшение диаметра фрезы D_ϕ в 5.3 раза приводит к увеличению силы P в 5.3 раза, а увеличение подачи на зуб S_z в 4 раза приводит к увеличению силы P в 13 раз.

Ограничениями представленной математической модели (исходя из изложенного выше) являются:

- геометрические параметры фрез для фрезерования профильных пазов и режимные параметры процесса фрезерования профильных пазов, предусмотренные стандартом [6] (диаметры фрез $D_\phi = 12.5 \dots 95$ мм и диапазон подачи на зуб фрезы $S_z = 0.03 \dots 0.12$ мм/зуб);

- физико-механические свойства обрабатываемых материалов (марки стали, которые по действующей классификации могут быть отнесены к пластичным материалам).

Выводы

1. На основе теоретических положений основных разделов механики упругих деформированных систем (теории статически неопределимых систем и теории замкнутых тонкостенных цилиндрических круговых оболочек) выполнено моделирование процесса повторного взаимодействия элемента стружки с режущим инструментом при фрезеровании профильных пазов для случая распределённого его нагружения.

2. Выполнен анализ функциональной зависимости, устанавливающей связь между геометрическими и режимными параметрами процесса фрезерования и внутренними силовыми факторами, в существенной мере влияющими на погрешность обработки профильных пазов для случая распределённого нагружения элемента стружки.

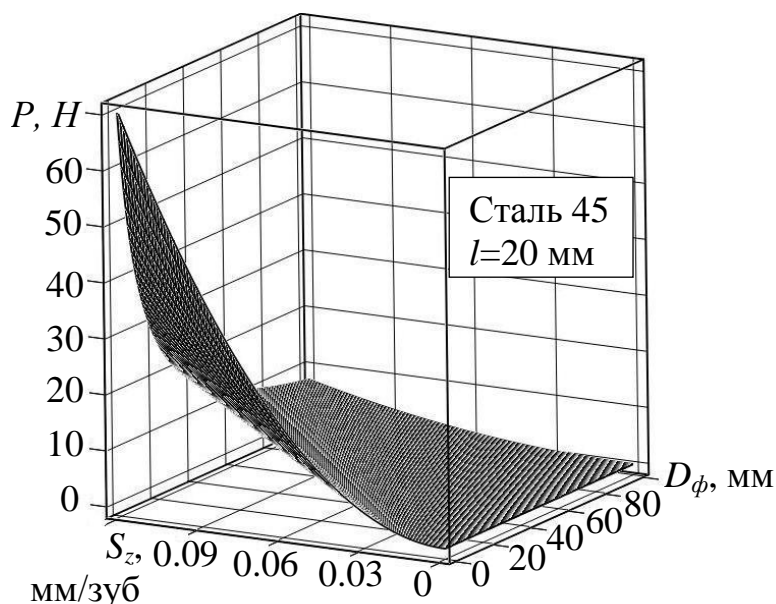


Рис. 6 – График поверхности изменения силы повторного взаимодействия элемента стружки с режущим инструментом P как функция подачи на зуб фрезы S_z и диаметра фрезы D_ϕ

Перечень источников литературы: 1. Нечпаев В.Г. Анализ повторного взаимодействия стальной стружки с инструментом при фрезеровании профильных пазов/ Нечпаев В.Г., Гнитько А.Н., Мышов М.С.// Надежность инструмента и оптимизация технологических систем. Сборник научных трудов. – Краматорск, вып. №28, 2011. – С. 32-38. 2. Нечпаев В.Г. Анализ повторного взаимодействия стальной стружки с инструментом при фрезеровании профильных пазов/ Нечпаев В.Г., Гнитько А.Н., Мышов М.С.// Надежность инструмента и оптимизация технологических систем. Сборник научных трудов. – Краматорск, вып. №28, 2011. – С. 32-38. 3. Нечпаев В.Г. Структура формирования погрешностей при фрезеровании

профильных пазов/ Нечепаяев В.Г., Мышов М.С.// Известия ТТИ ЮФУ–ДонНТУ. Материалы Тринадцатого Международного научно - практического семинара «Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы». В 3-х кн. – Таганрог. Изд-во ТТИ ЮФУ. Кн. 3. 2012, № 12. – С. 229- 238. 4. Писаренко Г. С. и др. Соппротивление материалов. – Киев: Вища школа. Головное изд-во., 1979. - 696 с. 5. Шевченко Ф.Л. Механіка пружних деформівних систем. Частина 2. Складний напружений стан: Навчальний посібник. – Донецьк: ДонНТУ, 2007. – 306 с. 6. ГОСТ 7063-72 (СТ СЭВ 115-79). Фрезы для обработки Т-образных пазов. Технические условия. – Взамен ГОСТ 7063-63; введ. 01.01.74. – М.: Изд. стандартов, 1972. – 12 с.

Рецензент: **Ковалёв В.Д.**, д.т.н., проф., ДГМА

МОДЕЛЮВАННЯ ПОВТОРНОГО ДЕФОРМУВАННЯ ЕЛЕМЕНТА СТРУЖКИ ПРИ ФРЕЗЕРУВАННІ ПРОФІЛЬНИХ ПАЗІВ У ВИПАДКУ РОЗПОДІЛЕНОГО ЇЇ НАВАНТАЖЕННЯ
Нечепаєв В.Г., Мишов М.С.

Виконано моделювання процесу повторного деформування елемента стружки інструментом при фрезеруванні профільних пазів у випадку розподіленого її навантаження. Отримано рівняння для визначення сили повторної взаємодії елемента стружки с фрезею як функцію діаметра фрези, подачею на зуб та довжини стружки. Виконана графічна інтерпретація отриманих результатів.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВТОРНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТА СТРУЖКИ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ПРОФИЛЬНЫХ ПАЗОВ ДЛЯ СЛУЧАЯ РАСПРЕДЕЛЁННОГО ЕГО НАГРУЖЕНИЯ
Нечепаев В. Г., Мышов М.С.

Выполнено моделирование процесса повторного деформирования элемента стружки инструментом при фрезеровании профильных пазов в случае распределённого её нагружения. Получено выражение для определения силы повторного взаимодействия элемента стружки с фрезой как функции диаметра фрезы, подачи на зуб и длины стружки. Выполнена графическая интерпретация полученных результатов.

MODELLING OF REPEATED PROCESS CHIP ELEMENT DEFORMATION WHEN MILLING PROFILE SLOTS IN CASE OF DISTRIBUTED CHIP LOADING
Nechepayev V.G., Myshov M.S.

Modelling of repeated process chip element deformation was made with cutting tool when milling profile slots in case of distributed chip loading. The expression for determination of repeated interaction force of chip component with cutting tool was given as a function of cutter diameter, tooth loading and chip length. The graphical interpretation of received results was performed.

Ключевые слова: фрезерование, стружка, повторное взаимодействие, силовые факторы, профильные пазы, распределённое нагружение.

Ключові слова: фрезерування, стружка, повторна взаємодія, силові фактори, профільні пази, розподілене навантаження.

Keywords: milling, chip, repeated interaction, force factors, profile slots, distributed loading.

Дата надходження статті: 10 травня 2013 р.

УДК 621.91.01

Юхимчук В.М., Пасічник В.А., Татарин Я.В.
НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна
itm@kpi.ua

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КОМБІНОВАНОГО ОСЬОВОГО ІНСТРУМЕНТУ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

В технологічній підготовці виробництва (ТПВ) одну із важливих задач становить вибір методів механічного оброблення конструктивних елементів деталей та вибір відповідного інструментального забезпечення, що може забезпечити вихідні параметри якості виробу за умови мінімальних сумарних витрат. Зокрема вибір типу конструкції інструментального забезпечення, його матеріал, геометричні параметри різальної частини, режими оброблення мають відбуватися автоматизовано на відповідному етапі проектування а також базуватися на технічній та економічній доцільності та задовольняти критерії оптимальності відповідних рішень.

Проблему підвищення продуктивності механічного оброблення в автоматизованому виробництві можна вирішувати в тому числі за рахунок концентрації технологічних операцій та переходів, що стає можливим за рахунок застосування комбінованого різального інструменту [1]. Використання комбінованого різального інструменту (PI) дозволяє скоротити в першу чергу допоміжний час, час на заміну і налагодження інструменту і тим самим знизити загальну собівартість виготовляемого виробу. Визначено [2], що використання комбінованих осьових інструментів дозволяє підвищити технологічну інтенсивність формоутворення в 1,36–1,69 рази, а циклову – у 6,77–8 разів, що підвищує ефективність їх застосування для оброблення отворів на верстатах із ЧПК дозволяє шляхом зниження часу циклу роботи верстата за керуючою програмою у 0,514–0,617 рази. Крім того, незважаючи на підвищення складності виготовлення та експлуатації комбінованого інструменту, вартість виготовлення такого інструменту може бути нижчою від вартості окремих різальних інструментів для оброблення в межах даної технологічної операції [3].

Усю сукупність конструкцій комбінованого осьового інструменту розділяють відповідно до типу інструменту (однотипний – різнотипний), кількості ступенів (зазвичай від 1 до 6), конструктивним виконанням (цільні, збірні, насадні) та схемою різання (послідовна, паралельна, комбінована) [3]. Сьогодні виробники металорізальних інструментів *Sandvik Coromant*, *Seco tools*, *Walter* та ін. [4,5,6], найчастіше пропонують або суцільні комбіновані інструменти з механічним кріпленням твердосплавних пластин або збірні комбіновані інструменти. Тип інструменту визначається порядком виконання технологічних переходів, які назначаються відповідно до необхідних параметрів точності та шорсткості оброблюваних поверхонь отвору, та точності їх взаємного розташування. Як правило, однотипні комбіновані інструменти при обробленні співвісних поверхонь працюють за паралельною схемою (ступінчасті зенкери та розвертки). За послідовною схемою працюють ступені різнотипних комбінованих інструментів, с різними режимами різання (свердло-зенкер, зенкер-розвертка, зенкер-розвертка-зенківка, свердло-мітчик). Комбінована схема роботи характерна для оброблення ступінчастих отворів – трьохступінчатий зенкер, свердло-зенкер та ін.[3]. Існуючі класифікації комбінованого різального інструменту представляються у вигляді простих схем, але без формалізованого опису, що унеможлиблює автоматизовано синтезувати варіанти комбінованих PI на основі вхідних даних та використання їх у системах автоматизованого проектування.

Ефективність використання комбінованого різального інструменту знижується через вагому перешкоду – відсутність надійних рекомендацій щодо вибору режимів різання для таких інструментів. Рекомендації щодо призначення оптимальних режимів різання для комбінованого інструменту знайти досить складно – довідники та каталоги дають змогу або виб-

рати рекомендовані режими оброблення у вигляді дискретних табличних даних для різних умов технологічних процесів або надають розрахункові емпіричні формули у вигляді математичних моделей для найбільш розповсюдженого не комбінованого інструменту. Аналіз рекомендованих режимів по каталогах інструментального оснащення фірми *Sandvik Coromant* та *Hoffman Group* та інших показав, що режими різання надаються для одного технологічного переходу, а для інших вводиться певний коефіцієнт, проте сам спосіб розрахунку коефіцієнтів не описується і не доступний для аналізу.

Саму проблему призначення оптимальних режимів різання для осьового різального інструменту пропонується вирішувати різними шляхами. Наприклад, для формалізованого розрахунку режимів різання пропонується узагальнений алгоритм, що базується на послідовному виконанні завдань: аналіз геометричних характеристик оброблюваного отвору, аналіз фізико-механічних характеристик та методу виготовлення заготовки, аналіз параметрів якості оброблюваного отвору, що визначає послідовність технологічних переходів оброблення та обґрунтування вибору технологічного оснащення [7]. Критерієм оптимальності знайдених режимів різання є максимальна продуктивність оброблення, що базується на призначенні максимальної допустимої величини подачі та швидкості різання для певних умов оброблення. На жаль, алгоритм не розраховує оптимальні режими різання для комбінованого осьового інструменту та приймає період стійкості інструменту за сталу величину.

Досліджувались питання ефективності використання комбінованого різального інструменту та втрат від зниження інтенсивності режимів різання для нелімітуючих ступенів комбінованого інструменту [2]. В цій роботі пропонується призначати режими різання для комбінованих інструментів розраховуючи середньозважений діаметр інструменту, який враховує співвідношення діаметрів та довжин ступенів інструмента, які визначають його жорсткість. Ефективність оброблення отворів комбінованими осьовими інструментами оцінюється критерієм інтенсивності формоутворення поверхонь деталі.

Відомі й роботи де розглядається питання багатокритеріальної оптимізації режимів різання. Так в роботі [8] проведений аналіз використання варіації стійкості як показника, що характеризує роботу РІ і оптимізація якого веде до зниження витрат штучного часу оброблення та напруженості праці.

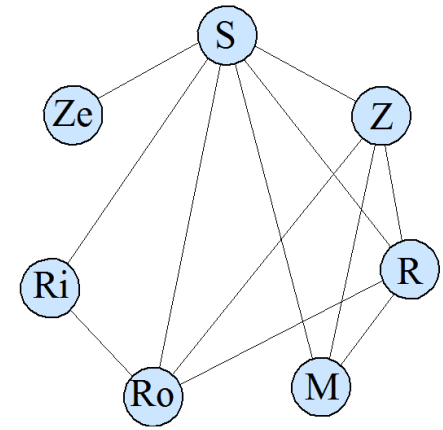
Метою даної статті є подальший розвиток систем автоматизованого проектування різального інструменту, зокрема комбінованого, в частині виявлення додаткових резервів підвищення ефективності його застосування. Для цього в першу чергу потрібно представити формалізований опис класифікації такого інструменту, розробити матрицю варіантів можливих суміщень простих РІ в комбіновані. Також потрібно розробити методику оптимізації режимів різання комбінованими РІ з забезпеченням більш повного використання ресурсу стійкості комбінованого інструменту.

Для автоматизованого синтезу інструментального забезпечення в САПР ТП системах необхідно, по-перше, формалізувати опис варіанти конструкцій комбінованого РІ відповідно до вхідних даних, в якості яких виступає множина елементарних поверхонь $\{EP\}$ оброблюваної деталі з характеристиками розмірів, точності, шорсткості та додаткових вимог. Така множина є основою для вибору з множини $\{IZ\}$ - інструментального забезпечення, що формується на основі таких типів осьових різальних інструментів: S – свердло, Z – зенкер, R – розвертка, M – мітчик, Ro – розкатка, Ri – різець, Ze – зенківка

Для формалізації формування комбінацій інструментів будемо використовувати таку матрицю можливих комбінацій (рис. 1, а), елементи якої відображають наступне: 1 – комбінація можлива; 0 – комбінація неможлива. Для неавтоматизованого вибору комбінацій можна використовувати граф (рис. 1, б), який є відображенням вищезазначеної матриці. Наявність ребра між вершинами графу відображають можливість комбінації.

	<i>S</i>	<i>Z</i>	<i>R</i>	<i>M</i>	<i>Ro</i>	<i>Ri</i>	<i>Ze</i>
<i>S</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Z</i>	1	1	1	1	1	0	0
<i>R</i>	1	1	1	1	1	0	0
<i>M</i>	1	1	1	1	0	0	0
<i>Ro</i>	1	1	1	0	1	1	0
<i>Ri</i>	1	0	0	0	1	1	0
<i>Ze</i>	1	0	0	0	0	0	1

а)



б)

Рис. 1. Комбінації елементарних різальних інструментів:
а) матриця; б) граф

Комбінаторна задача повинна вирішуватись циклічно і попарно. Це означає, що виявити можливість комбінації двох елементарних РІ слід повторити цей процес для кожного з елементів сформованої множини.

Якщо розглянути комбінований отвір (рис. 2), який складається з множини елементарних поверхонь EP_i . Нумерацію елементарних поверхонь зручно вести в порядку, що є зворотнім до подачі s , яка буде використовуватися при обробленні.

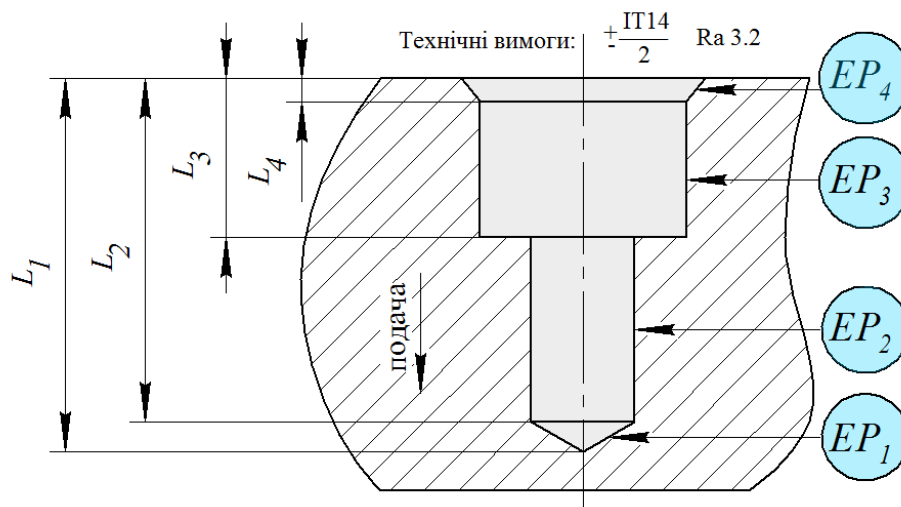


Рис. 2. Схема комбінованого отвору

Можливе застосування таких елементарних РІ:

$$\begin{aligned}
 EP_1 &: \{S, Z, R, Ze\}; \\
 EP_2 &: \{S, Z, R, Ro, Ri, Ze\}; \\
 EP_3 &: \{\dots, \dots\}; \\
 EP_4 &: \{\dots, \dots\}.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Залежно від вимог до параметрів точності поверхонь, множини (1) повинні бути звужені з урахуванням вимог до точності і шорсткості та представлені найбільш економічно доцільним інструментом (табл. 1).

Таблиця 1

Параметри точності і шорсткості ЕП, що забезпечуються елементарними РІ

Тип РІ	Квалітет точності IT	Шорсткість Ra
S	9	6.3
Z	8	1.6
R	7	0.16
M	5	
Ro	6	0.1
Ri	7	0.32
Ze	7	6.3

Після звуження множини інструментів вона матиме вид:

$$\begin{aligned}
 EP_1 &: \{S\} \\
 EP_2 &: \{S\} \\
 EP_3 &: \{Ze\} \\
 EP_4 &: \{Ze\}
 \end{aligned} \tag{2}$$

На наступному етапі, спираючись на матрицю можливих комбінацій (рис. 1, б), необхідно аналізувати можливі комбінації, починаючи від найменшого індексу до найбільшого. В результаті отримуємо комбінований РІ, необхідний для оброблення даного комбінованого отвору. Наприклад:

$$\left\{ \begin{array}{l} S \wedge S - \text{так} \\ S \wedge Ze - \text{так} ; \\ Ze \wedge Ze - \text{так} \end{array} \right. \tag{3}$$

Таким чином структура комбінованого РІ може бути записана так:

$$\{S \wedge S \wedge Ze \wedge Ze\} \tag{4}$$

Після синтезу комбінованого РІ з його розмірними характеристиками слід перейти до вибору режимів різання. При визначенні й встановленні режимів різання найбільш складний, але можливий при обробленні на верстаті з ЧПК, є варіант, коли додавання в роботу кожного нового елементарного РІ супроводжується коригуванням таких параметрів режиму різання, як n та s (за умови, що ці параметри забезпечують дотримання вимог до точності та шорсткості). Тоді для рис. 2 послідовність роботи може виглядати так:

- оброблення EP_1 з режимами $s = s_1; n = n_1$;
- оброблення EP_1 та EP_2 з режимами $s = s_2; n = n_2$;
- оброблення EP_1, EP_2 та EP_3 з режимами $s = s_3; n = n_3$;
- оброблення EP_1, EP_2, EP_3 та EP_4 з режимами $s = s_4; n = n_4$.

Враховуючи, що основний час роботи інструмента можна визначити за формулою:

$$t = \frac{L}{n \cdot s},$$

де L – довжина шляху оброблення; n – частота обертання інструмента (об/хв); s – подача інструменту (мм/об), визначимо час роботи кожного елементарного РІ:

$$\begin{aligned}
 PI1: t_1 &= \frac{(L_1 - L_2)}{n_1 \cdot s_1} + \frac{(L_2 - L_3)}{n_2 \cdot s_2} + \frac{(L_3 - L_4)}{n_3 \cdot s_3} + \frac{L_4}{n_4 \cdot s_4}; \\
 PI2: t_2 &= \frac{(L_2 - L_3)}{n_2 \cdot s_2} + \frac{(L_3 - L_4)}{n_3 \cdot s_3} + \frac{L_4}{n_4 \cdot s_4};
 \end{aligned}$$

$$PI3: t_3 = \frac{(L_3 - L_4)}{n_3 \cdot s_3} + \frac{L_4}{n_4 \cdot s_4};$$

$$PI4: t_4 = \frac{L_4}{n_4 \cdot s_4}$$

Загальна формула для обчислення часу роботи кожної ступені комбінованого PI:

$$t_n = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(L_i - L_{i+1})}{n_i \cdot s_i} + \frac{L_n}{n_n \cdot s_n} \quad (6)$$

Призначення оптимальних режимів різання повинне досліджуватись не тільки шляхом розрахунку максимальної продуктивності роботи комбінованого інструмента, але із точки зору оптимального та економічно вигідного використання самого інструменту. При роботі такого інструменту призначаються режими різання для всього інструменту, і за період стійкості комбінованого інструменту приймається найменша стійкість одного з його ступенів тобто період стійкості є сталим, проте в дійсності він є різним за рахунок різного часу роботи всіх частин комбінованого інструменту. Відповідно, кожна частина інструменту буде виходити з роботи окремо від іншого, так як переточування, пов'язане зі зміною розмірів інструмента, і для комбінованого повинно відбуватися одночасно. Виникають додаткові економічні затрати і, крім того, зайвий ресурс стійкості окремих частин комбінованого інструменту свідчить про зайві витрати на етапі виготовленні самого інструменту.

Для вирішення цієї проблеми пропонується використати корегування стійкості інструменту для того, щоб забезпечити одночасну втрату стійкості всіх частин комбінованого інструменту. Очевидно, що та ступінь, яка працює довше повинна мати більшу розрахункову стійкість, проте їх співвідношення для всіх ступенів повинно визначатися за залежністю:

$$\frac{T_i}{T_j} = \frac{t_i}{t_j} = const, \quad (7)$$

де T_i, T_j - стійкість ступенів комбінованого інструменту на технологічних переходах i та j , t_i, t_j - основний час оброблення на відповідних технологічних переходах.

Прийнявши стійкість для одного з технологічних переходів за базову $T_{баз}$, перерахунок стійкості для інших переходів можна здійснити за формулою:

$$T_k = T_{баз} \frac{t_k}{t_{баз}}, k = 1..n, \quad (8)$$

де k – індекс технологічного переходу, n – загальна кількість технологічних переходів оброблення комбінованого отвору.

Зміна періоду стійкості для кожної частини PI обов'язково вплине на режими її роботи (4), причому вплине в бік можливої їх інтенсифікації, що у свою чергу змінить час роботи кожної частини, розрахований по (6) і, як наслідок, змінить розрахункову стійкість (8).

Тому оптимізація режимів різання може бути реалізована у вигляді циклічного розрахунку по залежностям (5)-(8), кожний крок якого буде спрямований на підвищення продуктивності, проте все в меншій і меншій степені.

Висновки

Розроблений процес формування варіантів комбінації елементарних PI у комбінованому PI у вигляді матриці та графу сполучень типів осьових різальних інструментів. Якості вихідних даних використовується множина елементарних поверхонь $\{EP\}$ с оброблюваного отвору та параметри їх якості (точність, шорсткість та ін.).

Запропонований алгоритм підвищення ефективності механічного оброблення комбінованим PI за рахунок коригування періоду стійкості елементарних PI, з яких він складається. Пропонується змінювати режими різання в процесі роботи такого інструменту, викорис-

товуючи можливості верстата з ЧПК, шляхом пропорційного обчислення стійкості ступенів комбінованого РІ відповідно до часу їх роботи, - задля зменшення додаткових витрат на переточування і переналагоджування такого комбінованого РІ.

В подальшому планується розробка формалізованого алгоритму синтезу комбінованого інструментального забезпечення, уточнення методики оптимізації режимів різання та розробка програмного забезпечення, що його реалізує.

Перелік джерел літератури: 1. Родин П.Р. Металлорежущие инструменты: [Текст] учебник для вузов / П.Р. Родин. - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. - 455 с. 2. Карпусь В.Є. Інтенсифікація процесів механічної обробки: [Текст] монографія / В.Є. Карпусь, В.О. Іванов, О.В. Котляр та ін.; за ред. В.Є. Карпуся. - Суми: Сумський державний університет, 2012. - 436 с. 3. Малышко И.А. Осевые комбинированные инструменты (рекомендации по проектированию и эксплуатации) [Текст] / И.А. Малышко. - Донецк: ПКТИ, 1996. - 135 с. 4. Основной каталог продукции / АВ Sandvik Coromant. - 2012. 5. Общий каталог / Walter. - 2012. 6. SECO [Электронный ресурс] / SECO Tools. - Электрон. каталог продукции. - 2012. - Режим доступа: <http://ecat.secotools.com/>. 7. Біланенко В.Г. Формалізація розрахунку режимів різання для оброблення осьовими інструментами [Текст] / В.Г. Біланенко, О.О. Мельник // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за напрямком «Інженерна механіка»). - 2007. - № 20. - С. 25-29. 8. Мироненко Е.В. Исследование стабильности эксплуатации режущего инструмента при многокритериальной оптимизации // Вестник двигателестроения. - 2011. - № 1. - С. 85-88. 9. Челищев Б.Е. Автоматизация проектирования технологии в машиностроении [Текст] / Б.Е. Чилищев, И.В. Боброва, А. Гонсалес-Сабатер; Под. ред. акад. Н.Г. Бруевича. - М.: Машиностроение, 1987. - 264 с. ил.

Рецензент: **Ковалёв В.Д.**, д.т.н., проф., ДГМА

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КОМБІНОВАНОГО ОСЬОВОГО ІНСТРУМЕНТУ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

Юхимчук В.М., Пасічник В.А., Татарин Я.В.

У роботі представлений підхід до синтезу комбінованого різального інструменту з елементарних осьових інструментів, виходячи з множини елементарних поверхонь оброблюваного отвору та параметрів їх якості (точність, шорсткість та ін.). Запропонований алгоритм підвищення ефективності механічного оброблення комбінованим різальним інструментів за рахунок коригування періоду стійкості частин комбінованого різального інструмента. Пропонується змінювати режими різання в процесі роботи такого інструменту шляхом пропорційного обчислення стійкості ступенів комбінованого різального інструменту відповідно до часу їх роботи.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО ОСЕВОГО ИНСТРУМЕНТА НА СТАНКАХ С ЧПК

Юхимчук В.Н., Пасечник В.А., Татарин Я.В.

В работе представлен подход к синтезу комбинированного режущего инструмента из элементарных осевых инструментов, исходя из множества элементарных поверхностей обрабатываемого отверстия и параметров их качества (точность, шероховатость и др.). Предложен алгоритм повышения эффективности механической обработки комбинированным режущим инструментом за счет корректировки периода стойкости частей комбинированного режущего инструмента. Предлагается менять режимы резания в процессе работы такого инструмента путем пропорционального вычисления периодов стойкости ступеней комбинированного режущего инструмента в соответствии с реальным временем их работы

IMPROVING THE EFFICIENCY OF COMBINED AXIAL TOOL ON CNC

Yukhimchuk V.M., Pasichnyk V.A., Tataryn Y.V.

This paper presents the synthesis algorithm combined cutting tool with elementary cutting tools based on a set of elementary surfaces of machined hole and parameters of quality (accuracy, roughness, etc.). An algorithm of increasing of machining combined cutting tools based by adjusting lifetime of part combined cutting tool. Change of cutting modes during machining are proposed to realize by proposition of cutting tool element lifetime.

Ключові слова: синтез, комбінований різальний інструмент, режими різання, автоматизоване проектування, оптимізація, стійкість різального інструменту.

Ключевые слова: синтез, комбинированный режущий инструмент, режимы резания, автоматизированное проектирование, оптимизация, стойкость режущего инструмента.

Key words: synthesis, combined cutting tool, cutting modes, computer-aided design, optimization, life time of cutting tool.

Дата надходження статті: 12 травня 2013 р.

УДК 621.91:678.5

Глоба О.В., Булах І.О., Милокост С.М.
 НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна
itm@kpi.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ПРОЦЕСУ СВЕРДЛІННЯ ПКМ З ЗАСТОСУВАННЯМ ОСЦИЛЮЮЧОГО РУХУ ІНСТРУМЕНТУ

Вступ

В сучасному суспільстві спостерігається підвищення попиту на полімерні композиційні матеріали (ПКМ), що застосовуються у всіх галузях промисловості, а найбільше в машино- та авіабудуванні. Це спричинює постійну появу нових матеріалів, які відрізняються характерними лише їм властивостями. Через це, відомі конструкції інструментів та підібрані для металів або ПКМ певного типу режими різання є неприцездатними для нових типів матеріалів.

Враховуючи сучасний розвиток технологій обробки полімерних композиційних матеріалів, а також різноманітність будови матеріалу, до них застосовується ряд технологічних процесів. Свердління отворів у ПКМ являється найбільш розповсюдженою операцією обробки.

Характерним при обробці ПКМ є незначне зношування по передній поверхні, що пояснюється малими силами. В той же час, зношування по задній поверхні значне, що пояснюється контактними явищами через велике пружне відновлення оброблювальної поверхні. Щоб збільшити стійкість інструменту, необхідно зменшити інтенсивність його зношування, що залежить від виду інструментального матеріалу, геометрії інструменту і ретельності його заточування, а також режиму різання.

Сучасна промисловість, зокрема авіабудування, потребують високої надійності кріплення панелей з ПКМ. Тому важливо забезпечити якомога вищу точність і якість отворів (Н9-Н10). Відомі конструкції інструментів нездатні забезпечити якість такого рівня. Контроль якості отворів також є проблемою через габаритність виробів з ПКМ. Тому актуальним завданням є знаходження геометрії інструменту, а також підбір найбільш оптимального режиму різання, що дозволить отримати високу якість отворів і не застосовувати контролюючі методи.

Метою роботи являється дослідження залежності інтенсивності зношування та якості отворів в композиційному матеріалі (вуглепластику) від геометрії інструменту, а саме від величини головного кута в плані свердла з новою конструкцією та режиму різання (зокрема з використанням пристосування, що збуджує осцилюючі коливання) на основі запису та наступного аналізу віброакустичного сигналу в процесі свердління. Також виконаний порівняльний аналіз результатів даного експерименту та досліджень, проведених для спіральних двоперих та триперих, двохступінчатих свердел (спроєктованих по методиці Tsao [1]) при свердлінні вугле- та склопластиків та матеріалу Twintex.

Результати експериментів дадуть можливість оптимізувати геометрію свердла, підвищити його стійкість та якість оброблюваних отворів. Актуальним є дослідження рівня зношування інструменту для своєчасної його заміни, а також побудова математичних моделей процесу, що дозволять прогнозувати особливості різання при зміні певного параметру.

Основна частина

Однонаправлене свердління, що застосовується при обробці ПКМ, призводить до появи розшарування матеріалу, що значно знижує якість отворів. Для уникнення появи розшарування в роботі застосовувався осцилюючий рух інструменту, що забезпечував двонаправлене свердління.

Для проведення експерименту була розроблена конструкція свердла, зображена на рис.1. Дана конструкція раніше не застосовувалась для обробки отворів у ПКМ.

Досліджувалися 3 зразки інструменту з різними подвійними головними кутами в плані – 110°, 120°, 130° (надалі зразки 1, 2 і 3 відповідно). Діаметр свердла 8 мм, матеріал – P18, твердість – HRC 60. Матеріал обрано через необхідність отримати видимий результат при малій серії експерименту.



Рис. 1. Зображення інструменту



Рис 2. Двохступінчате свердло

Раніше було проведено дослідження залежності величини та швидкості зношування, а також якості отворів від геометрії інструменту для дво- та триперого та двоступінчастого (рис.2) свердел [2]. В даній роботі проводиться порівняння результатів досліджень.

На рис. 3 та рис. 4 показаний вигляд експериментальної установки. Величина зношування розраховувалась шляхом комп'ютерного аналізу віброакустичного сигналу. За допомогою датчика 6, встановленого на зразку вуглепластику (товщина 6 мм, перехресне армування (викладка 0-90°) органічною сіткою) 8, був отриманий сигнал, що пройшов через підсилювач 2 та перетворювач 3 на комп'ютер. Далі отриманий сигнал фільтрувався у програмі Cool edit pro 2.0, що дозволяє обробляти сигнал, записаний з мікрофона чи іншого пристрою (в нашому випадку з датчика), а потім представляти сигнал у вигляді текстового файлу. Отриманий файл оброблявся у програмі в середовищі Math Cad. Дана програма була запропонована Кокаровцевим В.В. [3], що досліджував процес металообробки, та потім адаптована для композиційних матеріалів.

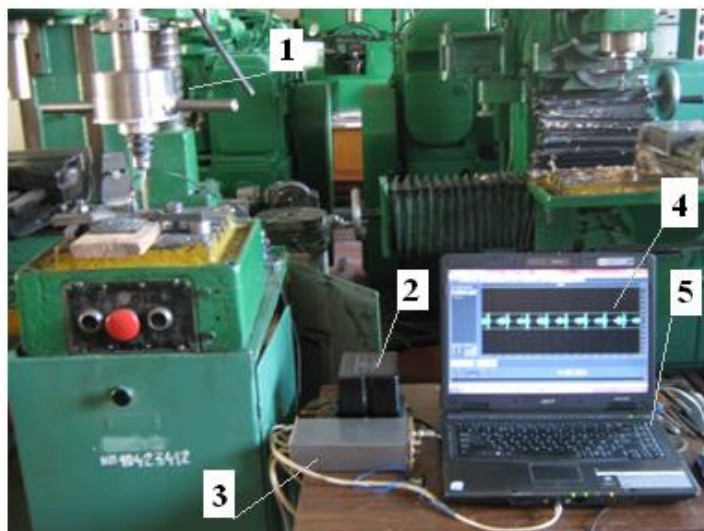


Рис. 3 Вигляд експериментальної установки

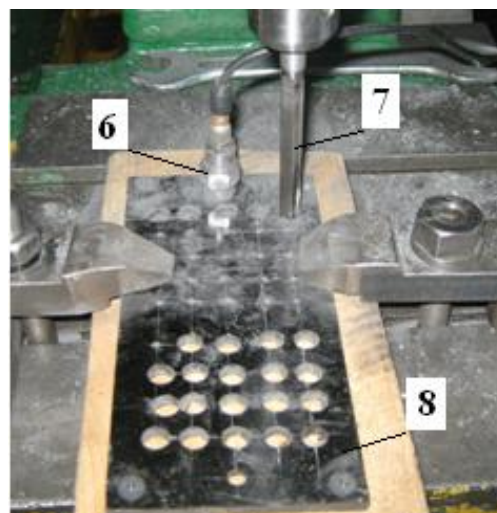


Рис. 4 Елемент установки

- 1- Пристосування для отримання осцилюючих коливань; 2- Підсилювач; 3- Перетворювач; 4- Вигляд зафіксованого вібросигналу; 5- Комп'ютер; 6- Віброакустичний датчик; 7- Свердло; 8- Зразок вуглепластику

В процесі свердління змінювалася частота обертання шпинделя верстата (480 об/хв та 880 об/хв), а також застосовувалося експериментальне пристосування 1, що здатне збуджувати осцилюючі коливання, за рахунок чого процес обробки відбувається

двонапрямлено, зі зміною частоти обертання відповідно до частоти обертання шпинделя. Пристосування створює власні коливання, що було враховано при розрахунку величини зношування інструменту (за рахунок запису та подальшого віднімання холостого ходу установки).

Якість отворів. Відхилення отворів від круглої форми.

На рис. 5 та рис.6 зображений вигляд отворів на вході та виході інструменту при обробці на різних режимах.

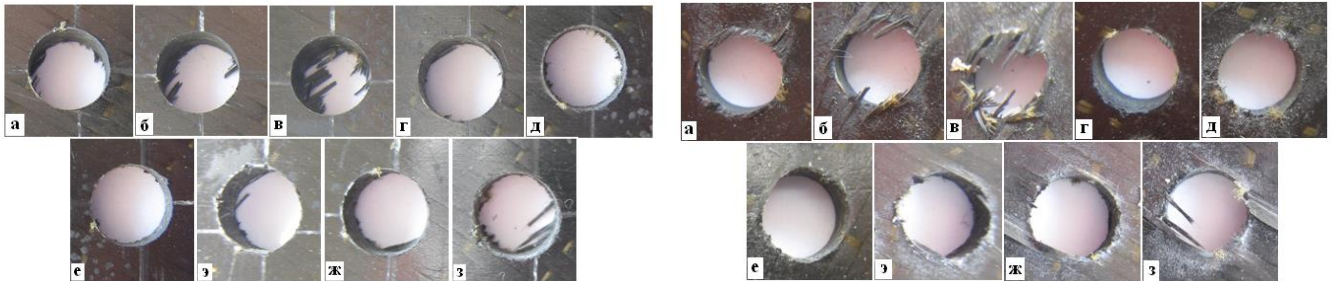


Рис. 5 Зображення отворів на вході свердла

Рис. 6 Зображення отворів на виході свердла

а. зразок 1, $n=480$ об/хв., без пристосування; б. зразок 2, $n=480$ об/хв., без пристосування; в. зразок 3, $n=480$ об/хв., без пристосування; г. зразок 1, $n=480$ об/хв., з пристосуванням; д. зразок 2, $n=480$ об/хв., з пристосуванням; е. зразок 3, $n=480$ об/хв., з пристосуванням; є. зразок 1, $n=880$ об/хв., з пристосуванням; ж. зразок 2, $n=880$ об/хв., з пристосуванням; з. зразок 3, $n=880$ об/хв., з пристосуванням;

Після вимірювання отворів були побудовані круглограми (рис. 7) та розраховано відхилення отворів від круглої форми для кожного з режимів.

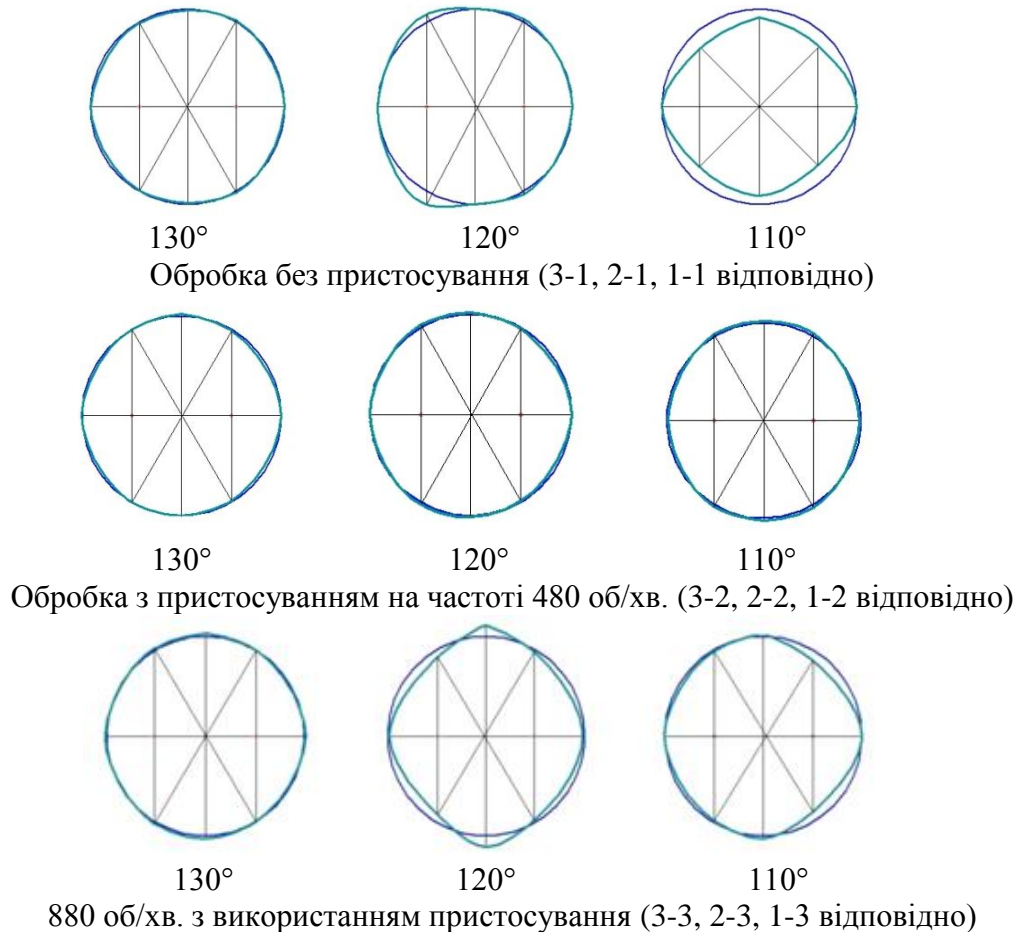


Рис. 7. Круглограми отворів після обробки на різних режимах

Результати розрахунків відхилення утворених отворів від круглої форми відображені на діаграмі (рис. 8). З діаграми видно, що при кожному режимі різання найменше відхилення від круглості дає свердло з різною геометрією.

В той же час найменше середнє відхилення від круглості отримується на режимі 2 ($n=480$ об/хв з використанням осцилюючих коливань). Це робить перспективним більш точний підбір параметрів різання та геометрії інструменту саме для цього режиму.



Рис. 8. Відхилення отворів від круглої форми

Безпосередньо після обробки за допомогою термопари проводилося вимірювання температури інструменту. Було виявлено, що при обробці з частотою 480 об/хв., зразок 1 нагрівається лише по перемичці та ріжучій кромці ($20-30^{\circ}\text{C}$), у зразку 2 нагрівання розповсюджувалось вище по довжині свердла ($35-40^{\circ}\text{C}$), у зразку 3 спостерігалось більш сильне нагрівання ближче до осі свердла ($50-60^{\circ}\text{C}$). Також було встановлено, що при підвищенні частоти обертання шпинделя верстата температура нагрівання інструмента підвищувалась. Велике підвищення температури є небажаним, тому важливо контролювати цей процес для знаходження методів його уникнення.

Зношування інструменту.

На графіках (рис.9 та рис.10) показані залежності величини зношування інструменту від шляху, пройденого свердлом. На рис. 10 приведені графіки для триперого та чотирьох зразків двоступінчатих свердел. На рис. 9 показана залежність для 3 зразків експериментального інструменту.

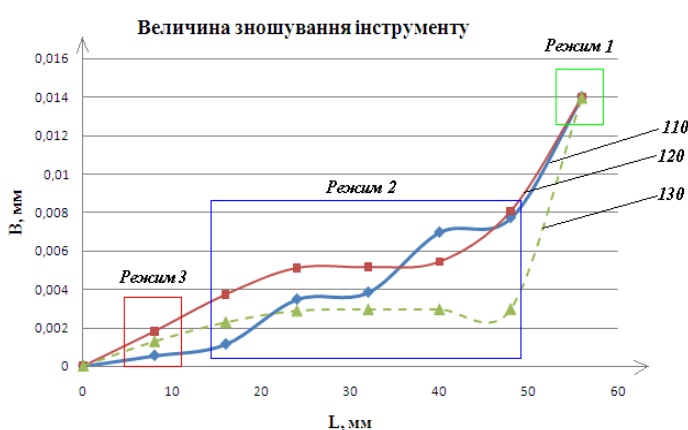


Рис. 9 Результати досліджень експериментальних зразків інструменту

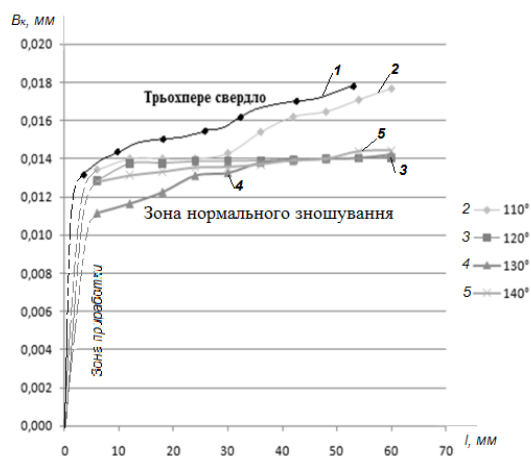


Рис. 10 Графіки, отримані після дослідження триперого та двоступінчатих свердел

Видно, що найбільше зношування відбувається при обробці в режимі 1 (без пристосування на частоті 480 об/хв). Найменше зношування відбувається в режимі 3, проте якість отворів в даному режимі низька.

На рисунках 11 та 12 показані діаграми величини зношування та часу обробки експериментальними зразками інструменту на різних режимах.

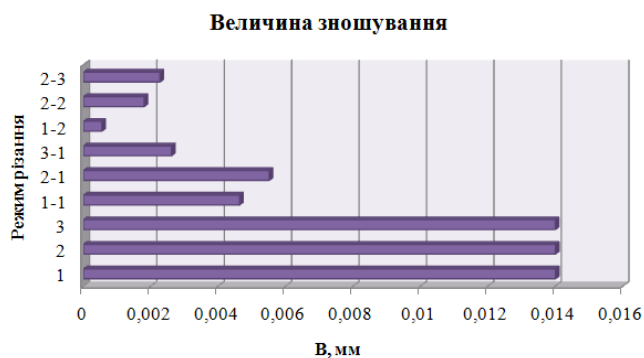


Рис. 11 Діаграма по величині зношування інструменту

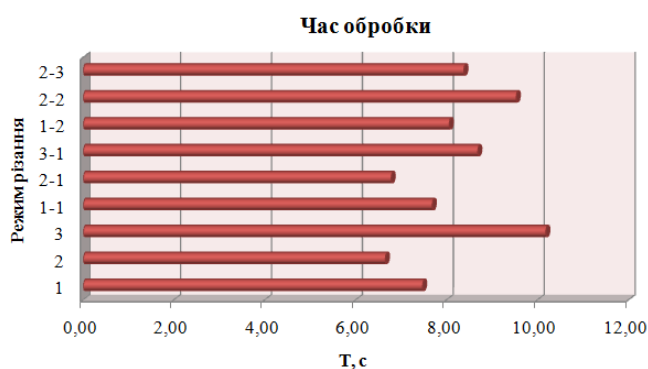


Рис. 12 Діаграма по часу обробки інструментом

Фундаментальним в процесі дослідження обробки ПКМ є побудова математичних моделей, які б враховували параметри процесу та властивості матеріалу, що дозволить робити прогноз результату обробки при зміні певного параметру процесу.

На основі досліджень було побудовано математичну модель за допомогою методу групового урахування аргументів (МГУА). Цей метод являється найбільш оптимальним на даний момент методом індуктивного моделювання і одним з найбільш ефективних методів структурно-параметричної ідентифікації складних процесів і систем по даним спостережень та експериментів. Важливим фактором при використанні методу МГУА є можливість отримання математичних моделей різного виду при однакових вихідних параметрах, а також можливість вибору подачі параметру, умови оптимізації отриманої множини моделей тощо.

Можливість застосування методу МГУА для процесів обробки матеріалів була доведена в дослідженнях проф. Равської Н.С., проф. Остаф'єва В.А., Ковальової Л.І., Кикотя В.С., Глоби О.В. [4], та ін. Експерименти по використанню методу МГУА для процесів фрезерування, свердління різноманітних матеріалів показали високу точність і працездатність отриманих математичних моделей і можливість прогнозування результатів експерименту.

Отримана математична модель по результатам експерименту:

$$B = 0,4244 \cdot (3,410^{-3} + 1,00308 \cdot (L \cdot 0,1 \cdot 10^{-3} - t \cdot 0,4 \cdot 10^{-3}) + 1,306 \cdot (9,8 \cdot 10^{-3} - k \cdot 9,72 \cdot 10^{-3})) + 0,7076 \cdot (21,04 \cdot 10^{-3} - n \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} - f \cdot 7,564 \cdot 10^{-5}) + 0,577 \cdot ((4,4210^{-3} - t \cdot 0,571 \cdot 10^{-3} + 1,015 \cdot (13,9 \cdot 10^{-3} - k \cdot 10,1 \cdot 10^{-3})) \cdot 1,357 \cdot ((4,78 \cdot 10^{-3} - t \cdot 0,62 \cdot 10^{-3} - 0,3711) + 1,29 \cdot (L \cdot 9,95 \cdot 10^{-5} - 4,66 \cdot 10^{-3}) + 1,01 \cdot (17,7 \cdot 10^{-3} - n \cdot 0,76 \cdot 10^{-5} - k \cdot 9,7 \cdot 10^{-3})))$$

L – шлях, пройдений свердлом

t – час обробки

k – коефіцієнт, що вказує на наявність (1) або відсутність (0) осцилюючих коливань

n – частота обертання шпинделя

f – подвійний головний кут в плані свердла

B – величина зношування

Коефіцієнт працездатності моделі: $k^* = 0,086944$

Висновки

В даній роботі подані результати дослідження процесу свердління полімерного композиційного матеріалу інструментом з новою конструкцією та з використанням осцилюючого руху інструменту. На основі аналізу віброакустичного сигналу була розрахована величина зношування інструменту, а також досліджена якість отворів та відхилення від круглої форми. Показано, що при кожному режимі обробки найкращу якість

та найменшу величину зношування дає інструмент з різною геометрією. Проведене порівняння отриманих результатів з результатами експериментів з триперим та двохступінчатими свердлами різної геометрії. Порівняно з попередніми дослідженнями, температура інструменту після обробки знизилася на 10%. При використанні осцилюючого руху свердла було виявлено зниження величини зношування інструменту. Перспективним є на основі отриманих даних підбір більш точної геометрії свердла для досягнення вищої якості, а також врахування ступеня нагрівання інструменту при математичному моделюванні.

Перелік літературних джерел: 1. C.C. Tsao Influence of Geometry in Drilling Carbon Fiber Reinforced Plastics, - Advanced in machining and Manufacturing Technology IX, - Swizerland, 2008, P. 236-240. 2. Глоба О.В., Булах І.О., Милокост С.М. Вплив геометрії свердла на його стійкість і точність виконання отворів при свердлінні композиційних матеріалів (матеріали другої технічної конференції українського відділення SAMPE, 15.11.12, АО УкрНДІАТ). 3. Кокаровцев В.В. Методы контроля и управления процессом металлообработки на основе виброакустического сигнала – диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук, - Киев, 1994. 4. Остафьев В.А., Глоба А.В., Глоба Л.С., Кикоть В.С. Новый метод определения зависимостей процессов резания. Деп.НИИМаш, № 65-84, 1984.

Рецензент: **Клименко Г.П.**, д.т.н., проф., ДГМА

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ПРОЦЕСУ СВЕРДЛІННЯ ПКМ З ЗАСТОСУВАННЯМ ОСЦИЛЮЮЧОГО РУХУ ІНСТРУМЕНТУ

Глоба О.В., Булах І.О., Милокост С.М.

У даній роботі викладені результати експерименту по свердлінню ПКМ за допомогою інструменту з новою конструкцією, а також з використанням осцилюючого руху свердла. За допомогою аналізу віброакустичного сигналу була розрахована величина зношування інструменту. Досліджено якість отворів та відхилення від круглості. Проведене порівняння отриманих результатів з результатами експериментів з триперим та двохступінчатими свердлами різної геометрії. Отримана математична модель процесу різання за допомогою методу МГУА для прогнозування результату обробки при зміні певного параметру процесу.

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА СВЕРЛЕНИЯ ПКМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОСЦИЛЛИРУЮЩЕГО ДВИЖЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА

Глоба А.В., Булах И.А., Милокост С.Н.

В данной работе изложены результаты эксперимента по сверлению ПКМ с помощью инструмента с новой конструкцией, а также с использованием осциллирующего движения сверла. С помощью анализа виброакустического сигнала была рассчитана величина износа инструмента. Исследовано качество отверстий и отклонения от округлости. Проведено сравнение полученных результатов с результатами экспериментов с трёхперыми и двухступенчатыми сверлами различной геометрии. Получена математическая модель процесса резания с помощью метода МГУА для прогнозирования результата обработки при изменении определенного параметра процесса.

INVESTIGATION THE PROCESS OF DRILLING PCM WITH USING THE OSCILLATING MOVEMENT OF THE TOOL

Globa A.V., Bulakh I.A., Mylokost S.N.

This paper presents the results of experiments on a PCM drilling with the new construction tool, and using the oscillating motion of the drill. Through the analysis of vibro-acoustic signal the wear amount of the tool was calculated. The quality and the deviations from circularity of the holes were investigated. The comparison of the results with two-stage drills with different geometry and drills with three cutting edges and experimental tools was done. A mathematical model of the cutting process using GMDH method for predicting the result of processing by changing certain parameters of the process was received.

Ключові слова: ПКМ, нова конструкція свердла, осцилюючий рух, віброакустичний сигнал, якість отворів, зношування інструменту, математична модель.

Ключевые слова: ПКМ, новая конструкция сверла, осциллирующее движение, виброакустический сигнал, качество отверстий, износ инструмента, математическая модель.

Key words: PCM, the new construction of drill, the oscillating motion, vibro-acoustic signal, quality of the holes, wear amount of the toll, mathematical model.

Дата надходження статті: 17 травня 2013 р.

УДК 621.762:691:921

Гейчук В.М., Гаврушкевич А.Ю., Галатович Д.І.

*НТУУ "КПІ", м. Київ, Україна
geychukw@mail.ru, poroshin@online.ua*

МАГНІТНО-АБРАЗИВНА ОБРОБКА ЗУБЧАСТИХ КОЛІС В КІЛЬЦЕВІЙ ВАННІ: АНАЛІЗ КІНЕМАТИКИ

Вступ

Згідно ГОСТ 31381-2009 [1] для попередження виникнення та розвитку різних типів пошкоджень робочих поверхонь зубчастих коліс рекомендуються наступні заходи.

- для попередження розвитку адгезійного зношування рекомендується: підвищувати чистоту обробки робочих поверхонь зубів та виконувати припрацювання передач при частковому навантаженні;

- для підвищення стійкості при кавітаційному зношуванні (за наявності високочастотної вібрації або наявності води, повітря чи інших газів в мастилі) рекомендується використання хромонікелевих сталей та поверхневого зміцнення;

- для зниження ризику виникнення заїдання рекомендується підвищення чистоти робочих поверхонь (що приводить до зниження коефіцієнта тертя);

- для підвищення опору контактній втомності (викришуванню) рекомендується: формування залишкових напружень стискання, які знижують вплив напружень розтягування від навантажень; підвищення чистоти; попередження видавлювання мастила; зменшення контактних напружень;

- для зменшення глибинного втомного викришування в першу чергу рекомендується зменшення контактних напружень;

- для попередження тріщин при загартуванні рекомендується (крім конструктивних заходів та заходів при термообробці) перебачити наявність фасок або округлень гострих кромок, особливо торців та вершини зубів;

- для підвищення терміну служби по втомності серед дієвих заходів рекомендується зниження концентрації напружень в галтелі зуба (зменшення шорсткості, усунення слідів попередньої обробки) де часто виникають тріщини.

Одним із комбінованих способів фінішної обробки робочих та інших поверхонь зубів, який забезпечує формування поверхневого шару потрібної якості, формування залишкових напружень стиснення [2, 3], збільшення площі контактних поверхонь [4, 5] та їх маслоємності, округлення кромок зубів з заданим радіусом [6, 7], є магнітно-абразивна обробка (МАО). Своїми перевагами вирізняється спосіб обробки в магнітній системі типу "кільцева ванна" в умовах великих робочих зазорів.

Аналіз попередніх досліджень

Раніше розроблена математична модель кінематики магнітно-абразивної обробки зубчастих коліс ($m = 1 \div 2$ мм) в магнітній системі типу "кільцева ванна" [8] в умовах великих робочих зазорів. За допомогою інтегрального критерію інтенсивності [8, 9] виконано попередній аналіз кінематики процесу обробки прямозубих зубчастих коліс. Визначені раціональні кінематичні параметри процесу: кути нахилу $\xi = 40^\circ \div 70^\circ$, швидкість основної кругової подачі $V_S \approx (0.5 \div 0.6)V_P$. Згідно математичної моделі подальшими дослідженнями передбачене виконання аналізу впливу від'ємної швидкості кругової подачі та параметрів додаткової кругової подачі.

Мета роботи

Тому метою роботи є дослідження залежностей інтегрального критерію інтенсивності МАО від параметрів зубчастих коліс (модуля, кута нахилу зубів), основних розмірів кільцевої ванни (діаметру серединного циліндру) та вхідних кінематичних параметрів процесу (кутів нахилу, кутового положення в русі додаткової кругової подачі).

Результати досліджень

Попередніми дослідженнями встановлено, в зазначеному діапазоні величин модулів та величин швидкостей кругових подач (основної та додаткової) [9] ($V_S = (0.0 \div 1.0)V_P, V_a = (0.0 \div 1.0)V_P$) розподіл кінематичних параметрів по висоті зуба є досить рівномірним: максимальні розкиди значень критерію інтенсивності MAO вздовж евольвенти не перевищують 16% при максимальних швидкостях кругової подачі. Тому далі будуть приведені середні значення вихідних кінематичних параметрів (інтегрального критерію інтенсивності MAO, сумарних швидкостей різання та кутів атаки) вздовж евольвенти циліндричного зубчастого колеса з $z = 18$. При аналізі абсолютна величина швидкості головного руху дорівнює 1.

Кругові подачі мають значний вплив на величини кутів атаки. Зростання модуля додатної швидкості основної кругової подачі приводить до розширення "активної зони" в просторі параметрів $\{\varphi\alpha\}$ (рис. 1, а) для лівої робочої сторони зуба. Від'ємна швидкість основної кругової подачі приводить до протилежних змін. На правій стороні зуба проходять прямо протилежні зміни (рис. 1, б). До аналогічних залежностей приводить зміна напрямку і модуля швидкості додаткової кругової подачі. Дзеркальність значень кінематичних параметрів на обох сторонах зуба показують результати кінематичних критеріїв на деяких режимах (табл. 1). Підтверджено, що на однакових стандартних тестових режимах сума значень інтегрального критерію MAO $k_{кеф}$ для правої і лівої сторін зуба є величиною постійною, яка дорівнює $k_{кеф} = -1$, а середня для зуба в цілому - $k_{кеф\Sigma} = -0.5$. Встановлено також, що сума відносних відхилень кута атаки для обох сторін зуба також є величиною постійною, яка дорівнює $\varepsilon R_{\chi opt} = -2$, середня величина для обох сторін зуба дорівнює -1. Відповідно, сума відносних активних кутів [9] для обох сторін зуба дорівнює $t_{p\chi} = 1$.

Тобто, якщо режим $V_S/V_{P0} = +0.6, V_a/V_{P0} = +0.2$, як це було зазначено раніше (табл. 1), наближає значення критеріїв до оптимальних для лівої сторони, то для правої сторони він їх знижує до відповідних значень.

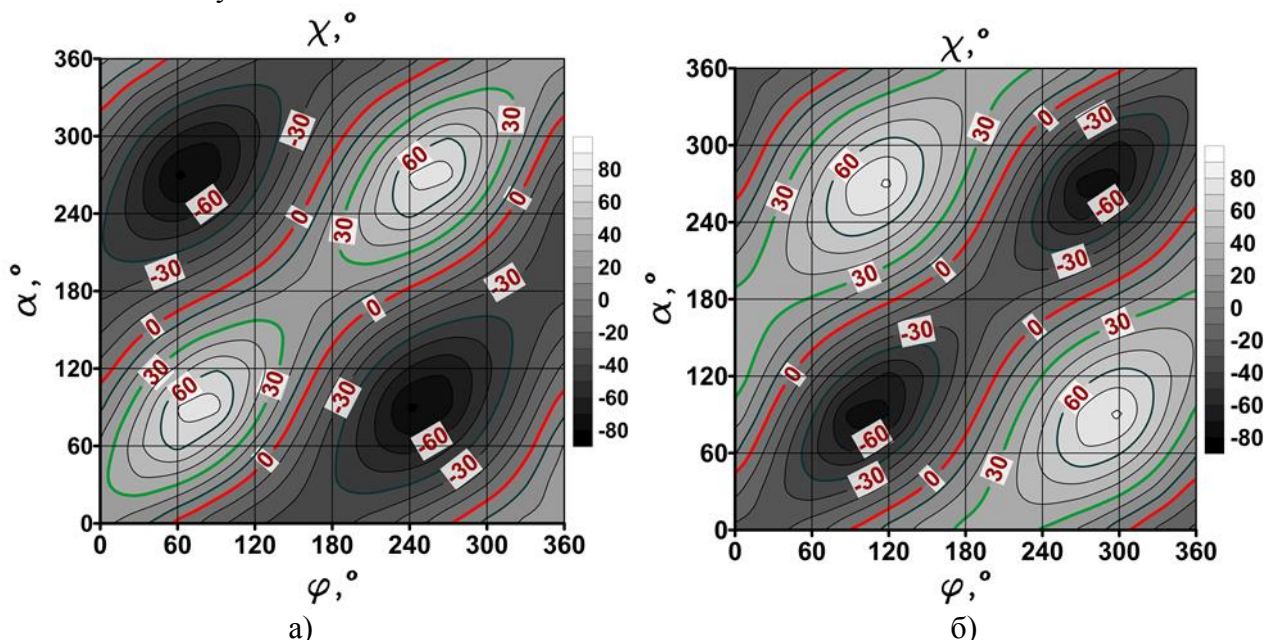


Рис. 1. Середні (вздовж евольвенти) кути атаки у просторі параметрів $\{\varphi\alpha\}$

($\beta = 0^\circ; V_a/V_{P0} \ll 1, V_S/V_{P0} = 0.1; \xi = 60^\circ; Z_K = 0 \text{ мм}$): а) на лівій; б) на правій

Аналіз результатів, представлених в табл. 1 та топограм середніх (вздовж евольвенти) кутів атаки у просторі параметрів $\{\varphi\alpha\}$ для прямозубих (рис. 1) і косозубих коліс (рис. 2 та 3) дозволив встановити, що аналогічно до MAO інших типів деталей [10] застосування додат-

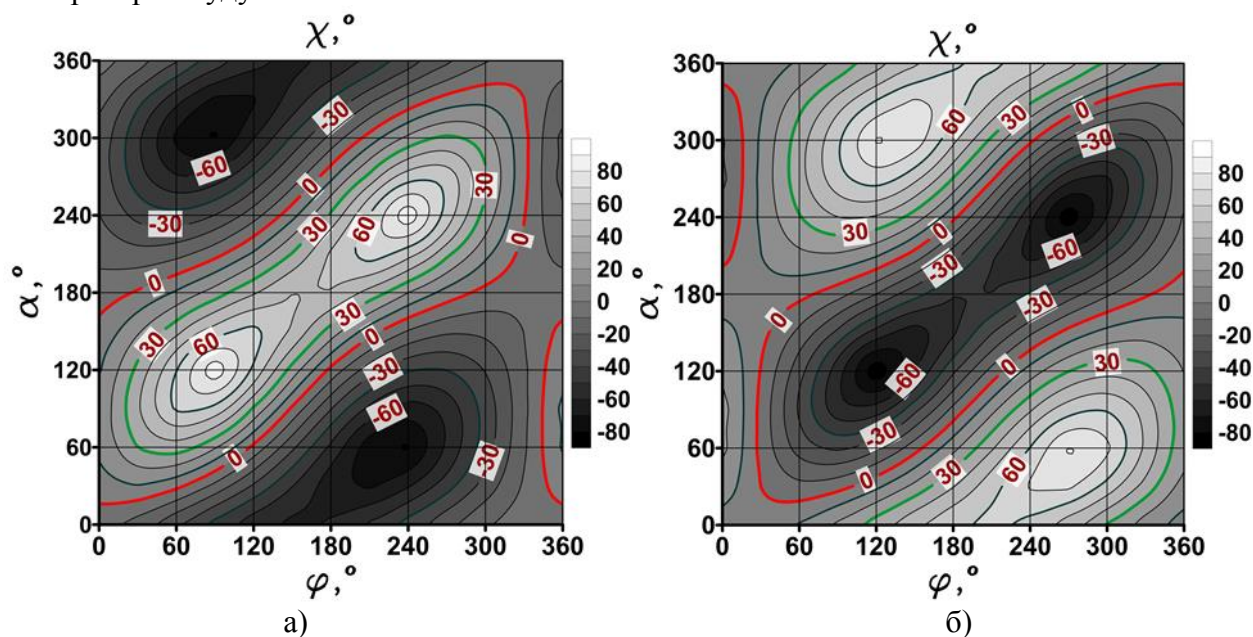
кової кругової подачі при обробці робочих поверхонь зубів є недоцільним. В значній частині положень в просторі параметрів $\{\varphi\alpha\}$ робочі поверхні зубів знаходяться в "тіньовій зоні". Площі "активної" та "неактивної" зон в просторі параметрів $\{\varphi\alpha\}$ залежать від комбінації напрямків кругових подачі та кута нахилу лінії зуба (рис. 1-3).

Таблиця 1.

Критерії кінематичної ефективності MAO зуба при різних режимах

Евольвента	V_S/V_{P0}	V_a/V_{P0}	$\varepsilon R_{\chi_{opt}}$	$t_{p\chi}$	$k_{кеф}$
Ліва	0.0	0.0	-1.057	0.477	-0.58
	+0.1	0.0	-0.895	0.523	-0.372
	-0.1	0.0	-1.22	0.431	-0.789
	+0.1	+0.1	-0.838	0.546	-0.292
	+0.1	-0.1	-0.951	0.501	-0.45
	+0.5	0.0	-0.256	0.737	0.481
	+0.6	+0.2	0.034	0.867	0.9
Права	0.0	0.0	-0.943	0.523	-0.42
	+0.5	0.0	-1.744	0.263	-1.481

Залежності інтегрального критерію інтенсивності MAO $k_{кеф}$ від кута розвороту α [9, 10] (рис. 4) ілюструють висновок про доцільність застосування фіксованих кутів розвороту при обробці робочих поверхонь рубів у кільцевій ванні. Із топограм можна визначити приблизні значення кутів розвороту, при яких кути, а отже і інтегральний критерій, буде максимальний. Із залежностей $k_{кеф} = f(\alpha)$ (рис. 4) кут розвороту, при якому значення інтегрального критерію будуть максимальні.

Рис. 2. Середні (вздовж евольвенти) кути атаки у просторі параметрів $\{\varphi\alpha\}$

($\beta = 30^\circ$; $V_a/V_{P0} \ll 1$, $V_S/V_{P0} = 0.1$; $\xi = 60^\circ$; $Z_K = 0$ мм): а) на лівій; б) на правій

Для прямозубих коліс залежність $k_{кеф} = f(\alpha)$ близька до лінійної залежності з постійним значенням $k_{кеф} = 0.5$, відхилення від якого складають не більше 0.002%. Для косозубих коліс максимальні значення інтегрального критерію спостерігаються при значеннях кута розвороту близьких до $\alpha = 180^\circ$ для правогвинтових і близьких до $\alpha = 0^\circ$ для лівогвинтових.

У [10] встановлено, що вхідними кінематичними параметрами, за допомогою яких можна керувати вихідними (сумарною швидкістю різання і кутами атаки), є кут нахилу осі

зубчастого колеса та відношення складових сумарної швидкості різання до основної її складової – швидкості головного руху. Інтегральний критерій для прямозубого колеса мало залежить від кута нахилу осі колеса ξ (рис. 5, а) і в значно більшій степені – від швидкості кругової подачі.

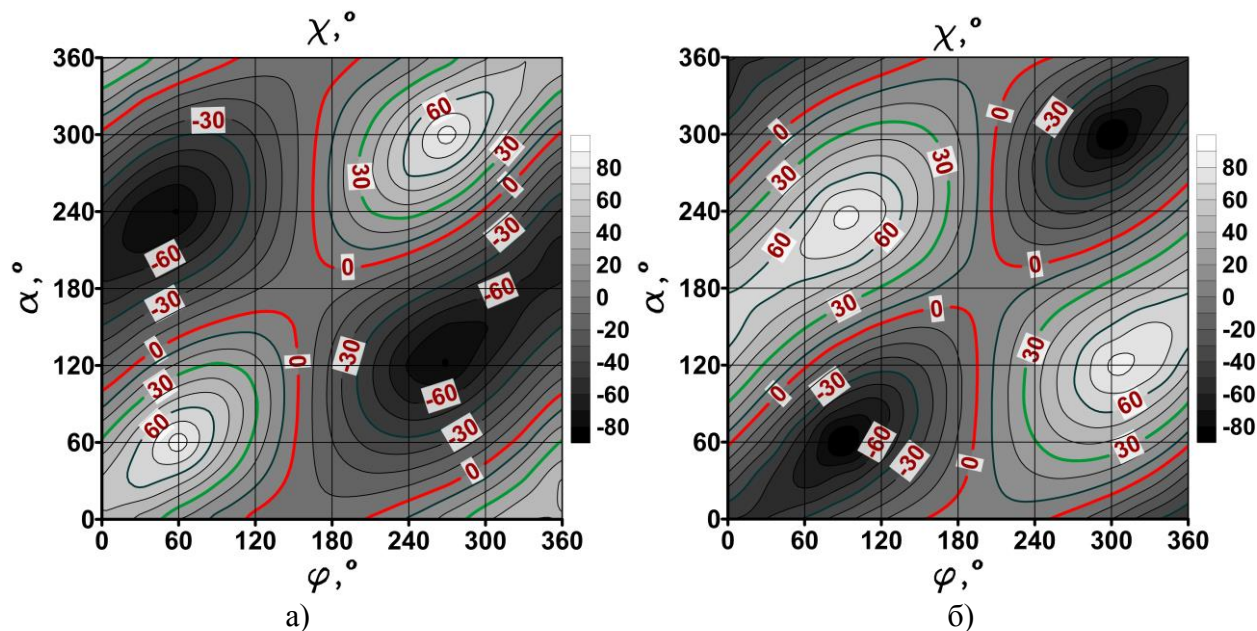


Рис. 3. Середні (вздовж евольвенти) кути атаки у просторі параметрів $\{\varphi\alpha\}$ ($\beta = -30^\circ; V_a/V_{P0} \ll 1, V_S/V_{P0} = 0.1; \xi = 60^\circ; Z_K = 0 \text{ мм}$): а) на лівій; б) на правій

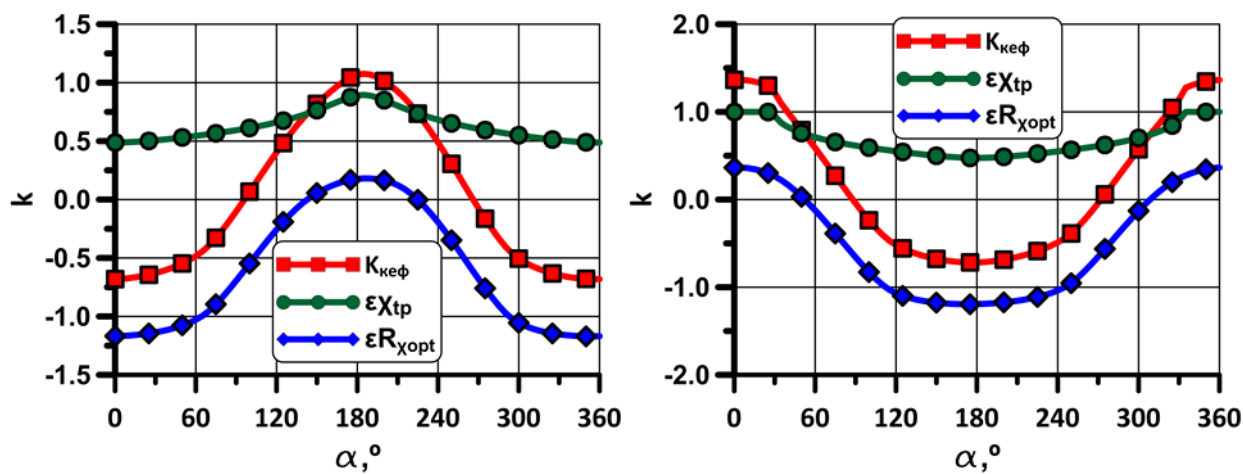


Рис. 4. Залежності інтегрального критерію інтенсивності МАО $k_{кеф}$ на лівій стороні зуба від кута розвороту α ($Z_K = 0 \text{ мм}; V_S/V_{P0} = 0.4$): а) $\beta = 30^\circ$; б) $\beta = -30^\circ$

Для косозубих коліс залежність інтегрального критерію від кута нахилу значно більша (рис. 5, а), а від швидкості кругової подачі – дещо менша. Але при цьому потрібно врахувати вплив діаметра кільцевої ванни на зазначені параметри (рис. 6).

Залежність $k_{кеф} = f(m)$ визначалась при $\beta = 0^\circ$ в положенні, коли лінія зуба перпендикулярна вектору головного руху за відсутності кругової подачі для виключення впливу цих параметрів на значення інтегрального критерію. Встановлено, що для прямозубого колеса для кутів нахилу $\xi = 0 \div 90^\circ, m = 1 \div 10 \text{ мм}$ за відсутності кругової подачі і прямолінійному головному русі (при числовому експерименті $D_{ср} = 10^6 \text{ мм}$) значення інтегрального коефіцієнта дорівнює $k_{кеф} = -0.5$ (рис. 6). Таким чином, модуль зубчастої передачі не впливає на

інтегральний коефіцієнт інтенсивності MAO. Для кільцевої ванни залежність $k_{кеф} = f(m)$ має близький до лінійного характер. Залежності, представлені на рис. 6 можуть бути апроксимовані залежностями виду $k_{кеф} = -0.5 - k_D m$, де k_D – кутовий коефіцієнт, який відповідно дорівнює (в мм^{-1}) $k_{200} = -0.131$; $k_{400} = -0.065$; $k_{600} = -0.043$; $k_{800} = -0.032$; $k_{1000} = -0.026$. Тобто при зростанні діаметра середнього циліндру кільцевої ванни значення інтегрального критерію асимптотично наближається до значення $k_{кеф} = -0.5$. До цього ж значення наближаються значення залежності інтегрального критерію від кута нахилу лінії зуба β та кута ξ нахилу заготовки $k_{кеф} = f(\beta, \xi)$ як для прямозубих коліс ($\beta = 0^\circ$) так і при вертикальному положенні заготовки, незалежно від зміни іншого параметра (рис. 7).

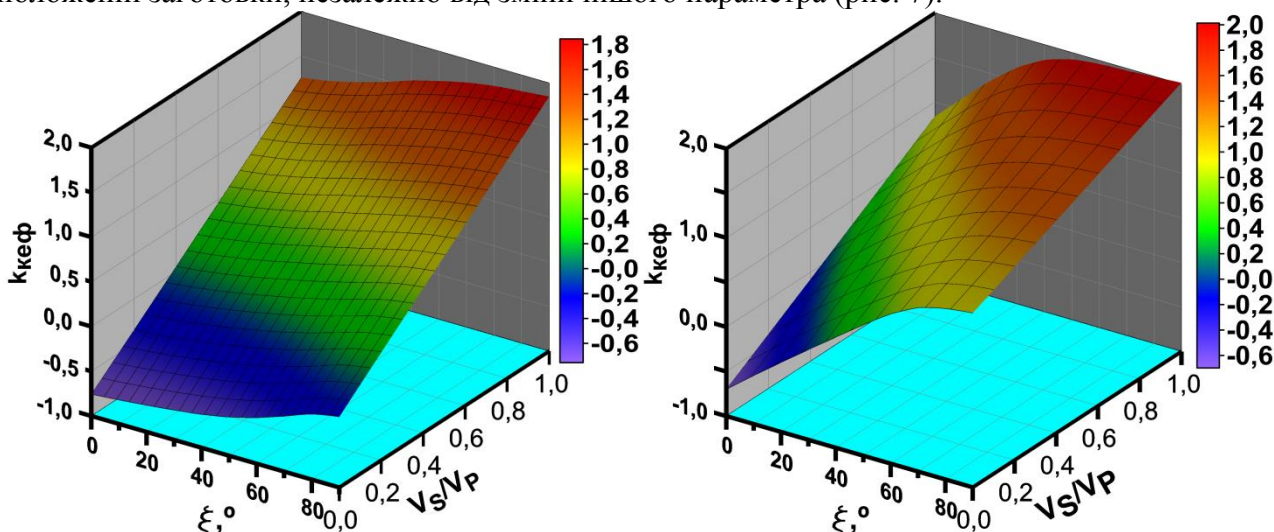


Рис. 5. Залежності інтегрального критерію інтенсивності MAO $k_{кеф}$ на лівій стороні зуба від кута нахилу ξ та швидкості кругової подачі V_a/V_{P0} ($Z_k = 5 \text{ мм}$; $D_{cp} = 200 \text{ мм}$):

а) $\beta = 0^\circ$; б) $\beta = 30^\circ$

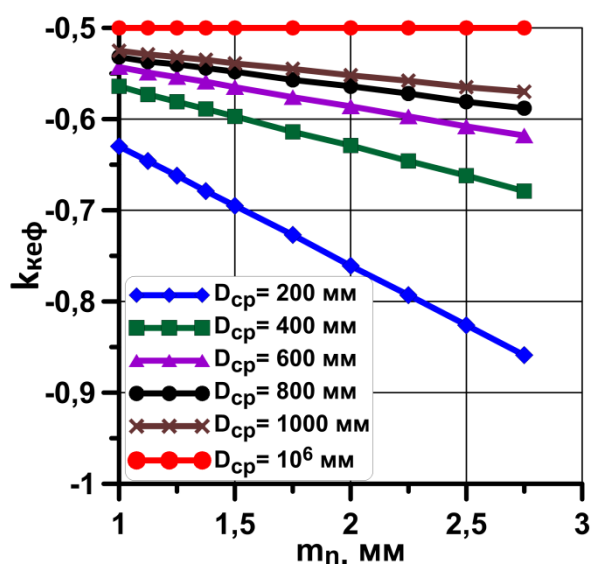


Рис. 6. Залежності максимального інтегрального критерію інтенсивності MAO $k_{кеф}$ на лівій стороні зуба від модуля та діаметра середнього циліндру ($V_s/V_{P0} \ll 0.1$; $\xi = 0^\circ$; $Z_k = 0 \text{ мм}$; $\beta = 0^\circ$)

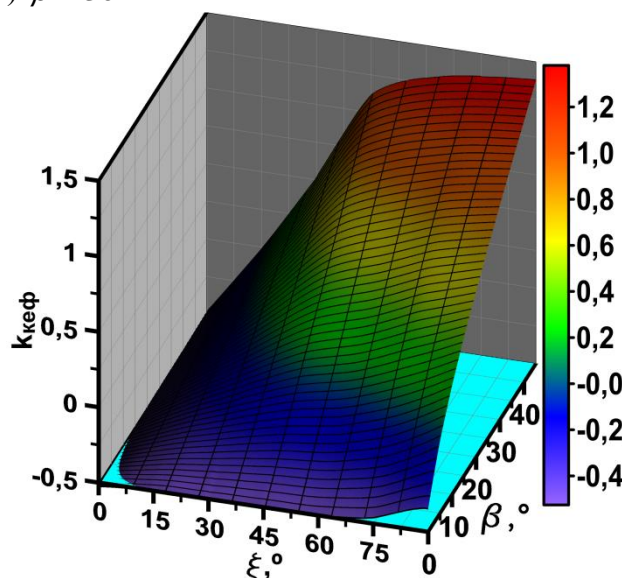


Рис. 7. Залежності інтегрального критерію інтенсивності MAO $k_{кеф}$ на лівій стороні зуба від кутів нахилу лінії зуба β та осі заготовки ξ ($D_{cp} = 200 \text{ мм}$; $V_s/V_{P0} \ll 0.1$; $m = 1.25 \text{ мм}$; $Z_k = 0 \text{ мм}$)

Таким чином встановлено, що інтенсивністю MAO в кільцевій ванні в умовах великих робочих, можна керувати за рахунок зміни таких вхідних кінематичних параметрів: кут нахилу осі заготовки ξ , кут розвороту α та швидкість кругової подачі V_S (співвідношення швидкостей V_S/V_{P0}). Вхідні кінематичні параметри (V_S/V_{P0} , ξ , α) при заданих параметрах оброблюваного зубчастого колеса, при яких інтегральний критерій інтенсивності має оптимальне значення ($k_{кеф} = 1$ [9, 10]), визначаються за залежністю $k_{кеф} = f(\alpha)$ (рис. 4 та рис. 8, а). Обмежувальним параметром при цьому є абсолютне значення сумарної швидкості, яке може відхилитись від номінального значення $V_{\Sigma}/V_{P0} = 1$ на допустиму величину. В даному випадку (рис. 8, б) максимальне відхилення складає не більше 14%. Крім цього, при прийнятному значенні сумарної швидкості різання, потрібно обмежувати величину співвідношення її складових V_S/V_P . При перевищенні певного критичного значення магнітно-абразивний порошок може перестати рухатись вздовж лінії зуба, і почати обертатись у впадинах разом з колесом. Це явище, як і критичне значення співвідношення швидкостей, потребує додаткового дослідження.

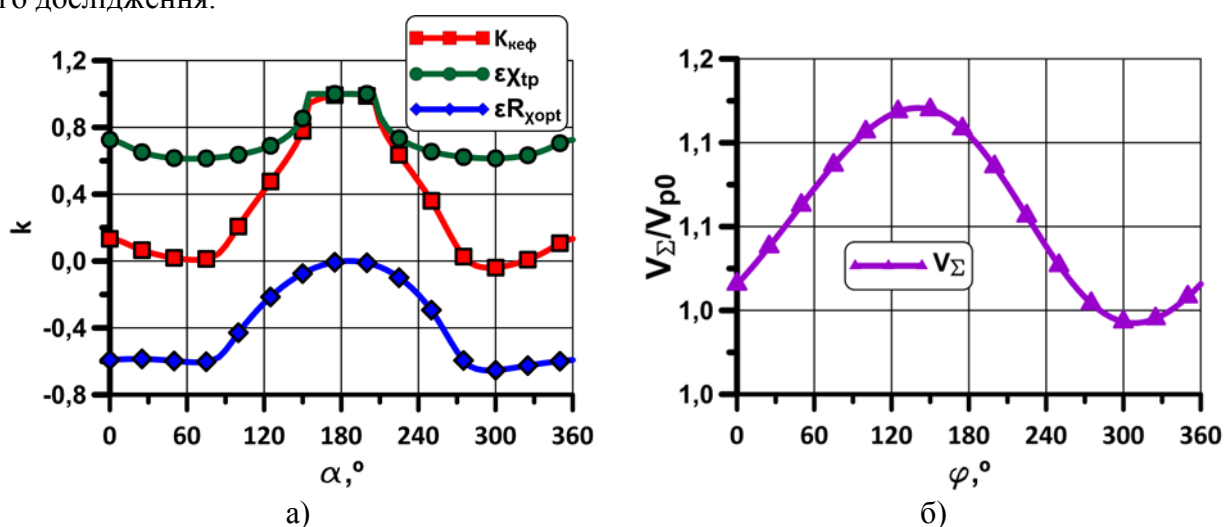


Рис. 8. Залежності вихідних кінематичних параметрів на лівій стороні зуба від кута розвороту та кутового положення в русі кругової подачі ($D_{cp} = 200$ мм; $V_S/V_{P0} = 0.4$; $\xi = 70^\circ$;

$m = 1.25$ мм; $Z_k = 0$ мм; $\beta = 10^\circ$): а) інтегрального критерію інтенсивності MAO

$k_{кеф_{max}} = 1.0$, $\alpha_{k_{max}} = 185.5^\circ$; б) сумарної швидкості різання при $\alpha_{k_{max}} = 185.5^\circ$

Висновки

1. Встановлено, що значення кутів атаки та інтегрального критерію інтенсивності MAO на лівій і правій сторонах зуба є дзеркальними. Сума значень інтегрального критерію $k_{кеф}$ для правої і лівої сторін зуба є величиною постійною, яка дорівнює $k_{кеф_{\Sigma}} = -1$, а середня для зуба в цілому - $k_{кеф_{\Sigma}} = -0.5$. При цьому сума відносних відхилень кута атаки також є величиною постійною, яка дорівнює $\epsilon R_{\chi_{opt}} = -2$, середня її величина для обох сторін зуба дорівнює -1, а сума відносних активних кутів дорівнює $t_{p_{\chi}} = 1$.

2. На значення інтегрального критерію інтенсивності MAO впливають наступні параметри (в порядку зменшення ступеню впливу): кут нахилу осі колеса ξ , швидкості основної V_S та додаткової V_a кругових подач, кут нахилу лінії зуба β , кут розвороту α , діаметр середнього циліндру кільцевої ванни D_{cp} , модуль зубчастої передачі m .

3. Встановлено, що застосування додаткової кругової подачі при обробці робочих поверхонь зубів є недоцільним. Доцільним є застосування фіксованих кутів розвороту, значен-

ня яких визначаються за оптимальним значенням інтегрального критерію інтенсивності МАО $k_{кеф} = 1$ згідно залежності критерію інтенсивності від кута розвороту α .

4. Для обробки циліндричних зубчастих коліс рекомендуються такі кінематичні параметри: кут нахилу осі колеса $\xi = 45 \div 90^\circ$; співвідношення швидкостей головного руху та кругової подачі $0.1 \leq V_S/V_{P0} \leq 0.8$, при цьому знаки напрямків повороту в головному русі та установчому русі нахилу осі колеса на кут ξ повинні співпадати. Кінцевий вибір значень кутів нахилу ξ та співвідношення швидкостей повинен виконуватись за залежностями інтегрального критерію інтенсивності МАО $k_{кеф}$ від кута розвороту α . Для визначення значення верхньої допустимої межі співвідношення швидкостей головного руху та основної кругової подачі потрібні додаткові експериментальні дослідження.

Перелік джерел літератури: **1.** ГОСТ 31381-2009 "Колеса зубчатые. Виды поврежденный. Классификация и описание". **2.** Майборода В.С. Основи створення і використання порошкового магнітно-абразивного інструменту для фінішної обробки фасонних поверхонь: дис. ...докт. техн. наук: 05.03.01/Майборода Віктор Станіславович. – Київ, 2002. – 404 с. **3.** Мрочек Ж.А. Особенности процесса магнитно-абразивной обработки поверхностей /Ж.А.Мрочек, Л.М.Кожуро, И.П.Филонов// Вестн. Бел. гос. политехн. акад. – 2002. - №2. – С.36-38. **4.** Ульяненко Н.В. Підвищення працездатності твердосплавного інструменту шляхом застосування магнітно-абразивного оброблення та нанесення зносостійких покриттів: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01. – Київ, 2006. – 167 с. **5.** Майборода В.С. Магнитно-абразивная обработка многогранных неперетачиваемых твердосплавных пластин в условиях больших рабочих зазоров / В.С. Майборода, Д.Ю. Джулий, Б.М. Фесюн, А.В. Анисимова, В.Н. Гейчук // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. – Донецьк: ДонНТУ. - 2009. - Вип. 6(154). - С.157-165. **6.** Барон Ю.М. Влияние состояния кромок лезвий на эффективность режущих инструментов / Ю.М. Барон // Инструмент и технологии. – Спб., 1997. – Вып. 5. – С. 1 - 11. **7.** Byelzaev O. Erhöhung der Leistungsfähigkeit von HSS-Spiralbohrern durch Einsatz der magnetabrasiven Bearbeitung//Dissertation. – 2008. Magdeburg. **8.** Гейчук В.М. Верстати для магнітно-абразивної обробки на базі магнітної системи типу "кільцева ванна": кінематика обробки дрібномодульних зубчастих коліс / В.М. Гейчук, В.С. Майборода, А.Ю. Гаврушкевич, О.О. Шамшур // Вісник Кременчуцького державного університету імені М.Остроградського. – 2010. - № 2(61), ч. 1. – С. 51-60. **9.** Гейчук В.М. Математична модель кінематики процесу магнітно-абразивної обробки комплексів поверхонь//Процеси механічної обробки в машинобудуванні: зб. наук. праць ЖДТУ. – Житомир.:ЖДТУ. – 2011. – Вип. 10. – С. 99-114. **10.** Гейчук В.М. Синтез кінематики процесу магнітно-абразивної обробки в кільцевій ванні: дис. ...докт. техн. наук: 05.03.01/ Гейчук Володимир Миколайович. - Київ, 2012. – 472 с.

Рецензент: **Клименко Г.П.**, д.т.н., проф., ДГМА

МАГНІТНО-АБРАЗИВНА ОБРОБКА ЗУБЧАСТИХ КОЛІС В КІЛЬЦЕВІЙ ВАННІ: АНАЛІЗ КІНЕМАТИКИ

Гейчук В.М., Гаврушкевич А.Ю., Галатович Д.І.

За допомогою раніше розроблених математичною моделлю та інтегральним критерієм інтенсивності виконано аналіз кінематики процесу обробки зубчастих коліс в магнітній системі типу "кільцева ванна". Встановлено, що на значення інтегрального критерію інтенсивності магнітно-абразивної обробки найбільший вплив мають наступні параметри: кут нахилу осі колеса, швидкості основної та додаткової кругових подач, кут нахилу лінії зуба, кут розвороту, діаметр серединного циліндру кільцевої ванни, модуль зубчастої передачі. Рекомендовані кінематичні параметри для забезпечення максимальної якості обробки та методика їх визначення.

МАГНИТНО-АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС В КОЛЬЦЕВОЙ ВАННЕ: АНАЛИЗ КИНЕМАТИКИ

Гейчук В.Н., Гаврушкевич А.Ю., Галатович Д.И.

С помощью ранее разработанных математической модели и интегрального критерия интенсивности выполнен анализ кинематики процесса обработки цилиндрических зубчатых колес в магнитной системе типа "кольцевая ванна". Определены параметры, имеющие наибольшее влияние на величину интегрального критерия интенсивности магнитно-абразивной обработки: угол наклона оси колеса, скорости основной и дополнительной круговых подач, угол наклона линии зуба, угол разворота, диаметр срединного цилиндра кольцевой ванны, модуль зубчатой передачи. Рекомендованы параметры кинематики процесса для обеспечения максимального качества обработки и методика их определения.

MAGNETIC ABRASIVE MACHINING GEAR IN THE RINGBATH: KINEMATICS ANALYSIS

Geichuk V.N., Gavrushkevich A.Y., Galatovich D.I.

Using the previously developed mathematical model and the integrated intensity of the criteria analyzed the kinematics of the processing of spur gears in the magnetic system of "ringbath". Determine the parameters that have the greatest impact on the value of the integral criterion of intensity magnetic abrasive machining: the angle of inclination of the axis of the wheel speed of the main and additional innings of circular, helix angle, the angle of rotation, the median diameter of the cylinder annular bath unit gear. Recommended parameters of the kinematics of the process to maximize the quality of treatment and methods of their determination.

Ключові слова: магнітно-абразивна обробка, кут атаки, швидкість різання, критерій інтенсивності.

Ключевые слова: магнитно-абразивная обработка, угол атаки, скорость резания, критерий интенсивности.

Keywords: magnetic-abrasive machining, angle of attack, the cutting speed, the intensity criterion.

Дата надходження статті: 18 квітня 2013 р.

УДК 612.914.22

Герасимчук О.М.
НТУУ “КПІ”, м.Київ, Україна
itm@kpi.ua

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОФІЛЮ РІЗАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ ТОРЦЕВОЇ ФАСОННОЇ ФРЕЗИ, ЗАТИЛОВАНОЇ ПО КОЛУ

Вступ

Фасонне фрезерування широко застосовуються під час оброблення фасонних циліндричних поверхонь (прямих канавок), тіл обертання та гвинтових поверхонь (гвинтових канавок). Цей спосіб оброблення дозволяє досить легко обробляти складні поверхні з високою точністю. Оброблення може здійснюватись на будь-якому фрезерному верстаті, що свідчить про економічність фасонного фрезерування. Іноді фасонне фрезерування є єдиним способом отримання заданої поверхні [1,2].

Серед інструментів, які застосовуються для оброблення фасонних поверхонь, більш прогресивними, з точки зору продуктивності оброблення, якості обробленої поверхні, схем зрізання припуску та стійкості різальних елементів є торцеві фрези. Важливим етапом у проектуванні фасонних торцевих фрез є їхнє профілювання. Тому актуальною є задача розроблення методики профілювання торцевих фасонних фрез з різними формами поверхонь різальної частини.

Метою даної роботи є вирішення задачі профілювання торцевих фасонних фрез, затіланих по колу, з плоскою передньою поверхнею, у яких $\gamma \neq 0^\circ$, $\lambda \neq 0^\circ$, призначених для оброблення фасонних циліндричних поверхонь.

Методика профілювання торцевих фасонних фрез

Методика профілювання торцевих фасонних фрез базується на загальній методиці профілювання інструментів [1,3]. Вона складається з наступних етапів: визначається вихідна інструментальна поверхня; визначається різальна кромка, як лінія перетину вихідної інструментальної поверхні з передньою площиною; створюється непереточувана задня поверхня; визначається профіль задньої поверхні в нормальному до неї перерізі.

Фасонні циліндричні поверхні можна поділити на поверхні, у яких не змінюється кут нахилу дотичної до профілю фасонної поверхні та поверхні, у яких цей кут змінюється, наприклад, фасонні канавки.

Під час оброблення поверхонь першого виду торцева фреза обертається навколо своєї осі O (рис.1), а заготовка здійснює прямолінійно-поступальний рух подачі, швидкість \bar{V} , якого паралельна до твірних фасонної циліндричної поверхні D . Вісь фрези розташована в площині, що перпендикулярна до твірних циліндричної поверхні D . Внаслідок руху подачі поверхня деталі ковзає «сама по собі». Тому під час визначення вихідної інструментальної поверхні (ВП), як обвідної поверхні деталі у її русі відносно інструменту, рух подачі можна не враховувати. Вихідною інструментальною поверхнею буде обвідна поверхні деталі під час її обертання навколо осі інструменту. У цьому випадку характеристикою буде лінія АВ, яка є лінією перетину поверхні деталі D та площини I-I, яка проходить через вісь фрези та перпендикулярна до твірних поверхні деталі. В точках лінії АВ нормалі до поверхні деталі перетинають вісь обертання O . Тому, за властивістю спільних нормалей, лінія АВ буде характеристикою. Внаслідок обертання характеристики АВ навколо осі O фрези створюється вихідна інструментальна поверхня (ВП). Профіль вихідної інструментальної поверхні збігається з профілем деталі D . У зображеному на рис.1 випадку, в перетинах перпендикулярних до осі фрези O , спостерігається зовнішній контакт кола, розташованого на поверхні ВП, та твірної фасонної циліндричної поверхні деталі. Умови формоутворення виконуються та створення (оброблення) заданої поверхні деталі здійснюється без відхилень від креслення.

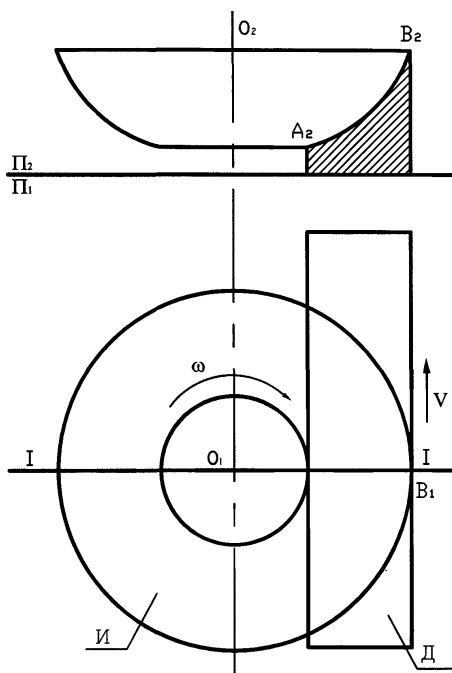


Рис.1. Схема фрезерування фасонних циліндричних поверхнь торцевими фрезами

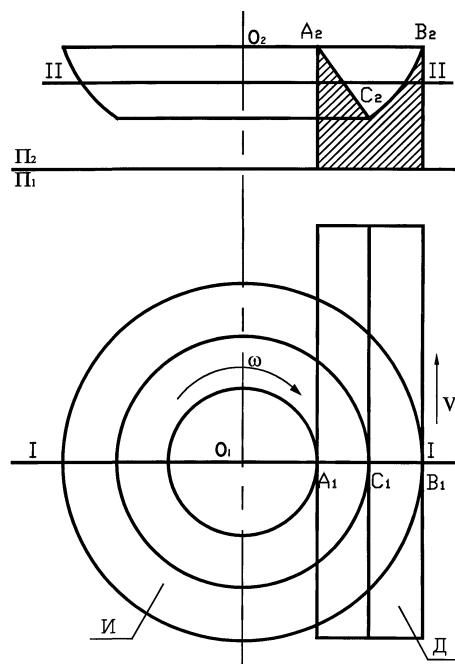


Рис. 2. Схема фрезерування фасонної канавки

По іншому здійснюється формоутворення деталі для випадку, зображеного на рис.2. У цьому випадку характеристикою буде лінія АСВ, що розташована у перетині І-І, який проходить через вісь інструменту О. Під час обертання характеристика АСВ навколо осі інструмента О створюється спряжена вихідна інструментальна поверхня ВПІ. На ділянці характеристики ВС в перетинах, перпендикулярних до осі фрези (перетин І-І), спостерігається зовнішній контакт спряжених профілів і відповідна ділянка поверхні деталі Д може бути оброблена згідно з кресленням. На ділянці характеристики АС відбувається проникнення спряжених профілів і оброблення відповідної ділянки поверхні деталі є неможливим. Певним чином впливати на другу умову формоутворення можна шляхом зміни положення осі інструмента у площині І-І. Так, у розглядуваному випадку, для того щоб обробити площину з профілем АС, можна вісь фрези встановити в перетині І-І перпендикулярно до оброблюваної поверхні. Однак, це ускладнює схему оброблення та часто взагалі є неможливим.

Таким чином, торцевими фрезами можна обробляти фасонні циліндричні поверхні, у яких не змінюється знак кута нахилу дотичної до профілю поверхні деталі.

Враховуючи, що вихідну інструментальну поверхню для розглядуваного випадку можна визначити, вважаємо її заданою. Тоді методика профілювання торцевих фасонних фрез полягає у визначенні різальної кромки, створенню задньої поверхні та визначенні профілю інструменту у нормальному до задньої поверхні перетині.

Форма різальної кромки, як лінія перетину передньої площини з вихідною інструментальною поверхнею залежить від форми передньої поверхні та її розташування відносно вихідної інструментальної поверхні. У торцевих фрез передня поверхня найчастіше є площиною, положення якої характеризується переднім кутом γ та кутом нахилу різальної кромки λ .

Одним з найпростіших способів профілювання є графічний, що базується на методах нарисної геометрії, які дозволяють під час розгляду графічних побудов отримувати аналітичні залежності для визначення координат точок профілю різальної частини інструментів.

Вирішення питань графічного профілювання та отримання аналітичних залежностей

для визначення координат точок профілю різальної частини є складовою частиною теорії проектування цих інструментів.

Визначення профілю різальної частини

Перед профілюванням відомими вважаємо: поздовжній передній кут γ_2 та поперечний передній кут γ_1 у базовій точці фрези (тобто розглядається загальний випадок, коли передня поверхня є площиною загального положення); задній кут α ; профіль оброблюваної поверхні деталі; радіус фрези у базовій точці, R_a – радіус фрези у базовій точці.

Поворотом навколо осі фрези на кут γ_1 передню площину встановлюємо у вертикально-проектуюче положення. Сліди передньої площини після поворота займуть положення P_1 та P_2 . Положення сліду P_2 характеризується кутом γ та відстанню H :

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \gamma &= \operatorname{tg} \gamma_2 \cos \gamma_1 \\ H &= R_a \cdot \sin \gamma_1 \end{aligned} \quad (1)$$

На рисунку 4 показано графічне профілювання торцевої фрези для розглядуваного випадку. За відомої вихідної інструментальної поверхні, профіль якої збігається з профілем деталі, перш за все визначимо профіль різальної кромки фрези.

В системі площин проєкцій Π_1/Π_3 зображуємо профіль деталі в натуральну величину A_3B_3 , так як площина Π_3 перпендикулярна твірним поверхні деталі. Вихідна інструментальна поверхня в системі площин проєкцій Π_1/Π_2 задана характеристикою AB , яка збігається з профілем деталі. Положення передньої площини задається відстанню H та величиною переднього кута γ , який в натуральну величину зображується на площині проєкцій Π_2 . Площина проєкцій Π_2 перпендикулярна до передньої площини P . Сліди передньої площини позначаємо P_1 та P_2 . Вихідною інструментальною поверхнею буде поверхня обертання профілю деталі AB навколо осі фрези. На рисунку вона зображена, як сукупність кіл обертання точок $A, B \dots$ навколо осі фрези O . Лінією перетину вихідної інструментальної поверхні з передньою площиною фрези є лінія CE , яка і буде різальною кромкою торцевої фасонної фрези. За відомих проєкціях різальної кромки CE на площину проєкцій $\Pi_1 - C_1E_1$ та на площину $\Pi_2 - C_2E_2$, визначається істинна форма різальної кромки. Для цього вводиться площина проєкцій Π_4 , яка паралельна до передньої площини P . За правилом заміни площин проєкцій знаходиться проєкція C_4E_4 різальної кромки на площину Π_4 . Лінія C_4E_4 буде істинною формою різальної кромки.

За аналітичного визначення форми різальної кромки, координати її довільної точки E_4 (X_{1i}, Y_{1i}) розраховуються за залежностями:

$$\begin{aligned} X_{1i} &= \sqrt{R_i^2 - (H + Y_{oi} \operatorname{tg} \gamma)^2} - \sqrt{R_{\diamond}^2 - H^2} \\ Y_{1i} &= \frac{Y_{oi}}{\cos \gamma}. \end{aligned}$$

Наступним кроком вибирається положення осі L пристосування, навколо якої обертається різальна кромка під час формування задньої поверхні обертання. Вісь L - обертання різальної кромки, розташована паралельно до осі фрези O . Радіус LC_1 обертання базової точки різальної кромки береться таким, що дорівнює R_a .

Для того, щоб в торцевому перерізі, перпендикулярному до осі фрези, отримати вибрану величину заднього кута α в точці C , точку L розташовуємо на дузі кола $\odot O_1L$, так щоб кут $\angle O_1C_1L = \alpha$. Під час обертання навколо осі L точка C описує коло C_1M_1 , яке розташоване в горизонтальній площині Π_1 . Довільна точка E різальної кромки, під час обертання навколо осі L , описує коло E_1F_1 , яке розташоване в горизонтальній площині, перпендикулярній до осі фрези. Сукупність кіл $C_1M_1; E_1F_1 \dots$ буде фасонною задньою поверхнею обертання фасонної торцевої фрези. Профіль цієї поверхні визначається в площині N , яка проходить через вісь L , паралельно до площини Π_3 .

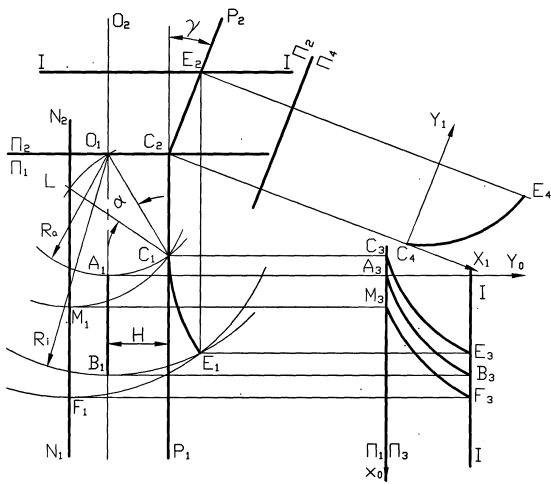


Рис.4. Графічне профілювання фасонної торцевої фрези, затілованної по колу

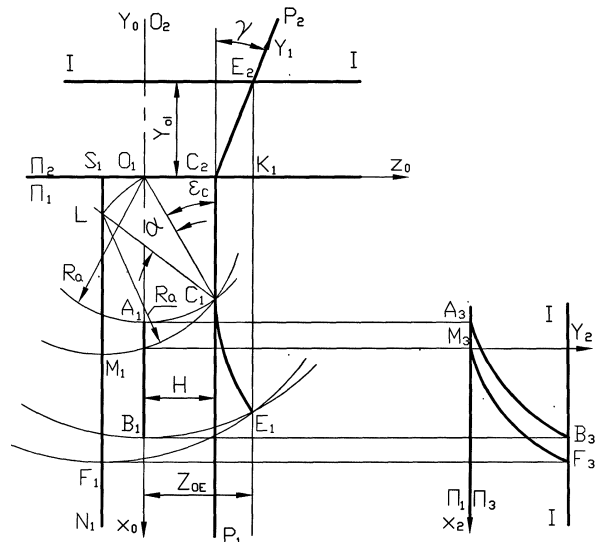


Рис.5. Визначення профілю задньої поверхні

Площина N перетинається з колом EF в точці F . Лінія MF буде осевим перетином задньої поверхні обертання, яка обробляється у відповідному пристосуванні. Проекція лінії MF на площину Π_3 буде істинною формою профілю задньої поверхні обертання.

Базуючись на графічному рішенні (рис.5), можна отримати аналітичні залежності для визначення профілю задньої фасонної поверхні обертання, яка обточується або шліфується на круглошліфувальному верстаті.

За побудою маємо:

$$S_1M_1 = R_a + LS = R_a [1 + \cos \varepsilon_C - \cos(\varepsilon_C + \alpha)],$$

де
$$\sin \varepsilon_C = \frac{H}{R_a}.$$

Координата Z_{OE} довільної точки E різальної кромки визначиться, як

$$Z_{OE} = H + Y_{O1} \operatorname{tg} \gamma.$$

Кут ε_E між радіусом O_1E_1 та віссю X_0 буде:

$$\sin \varepsilon_E = \frac{Z_{OE}}{R_i} = \frac{H + Y_{O1} \operatorname{tg} \gamma}{R_i}.$$

Координата X_{0E} визначається, як:

$$K_1E_1 = X_{0E} = R_i \cos \varepsilon$$

За побудою маємо:

$$O_1S_1 = R_a \sin(\varepsilon_C + \alpha) - R_a \sin \varepsilon_C;$$

$$LS_1 = R_a \cos \varepsilon_C - R_a \cos(\varepsilon_C + \alpha).$$

Відстань LE_1 визначиться, як:

$$LE_1 = \sqrt{(Z_{OE} + S_1O_1)^2 + (K_1E_1 - S_1L)^2} = LF_1.$$

Підставивши у цей вираз отримані раніше величини, отримаємо:

$$LF_1 = \sqrt{[H + Y_{O1} \operatorname{tg} \gamma + R_a \sin(\varepsilon_C + \alpha) - R_a \sin \varepsilon_C]^2 + [R_i \cos \varepsilon_E - R_a \cos \varepsilon_C - R_a \cos(\varepsilon_C + \alpha)]^2}$$

Визначається відстань M_1F_1 , яка є координатою X_{2F} довільної точки F профілю задньої поверхні обертання:

$$M_1F_1 = LF_1 - R_a = X_{2F}.$$

Координата Y_{2F} точки F профілю задньої поверхні обертання буде дорівнювати координаті Y_{0i} відповідної точки профілю деталі:

$$Y_{2F} = Y_{0i}.$$

Визначення координати X_{2F} можна здійснювати також в такій послідовності:

$$\operatorname{tg} \rho = \frac{S_1 K_1}{X_{OE} - S_1 L} = \frac{Z_{OE} + S_1 O_1}{X_{OE} - S_1 L}.$$

Підставивши отримані раніше величини, отримаємо:

$$\operatorname{tg} \rho = \frac{H + Y_{0i} \operatorname{tg} \gamma + R_a \sin(\varepsilon_C + \alpha) - R_a \sin \varepsilon_C}{R_i \cos \varepsilon_E - R_a \cos \varepsilon_C + R_a \cos(\varepsilon_C + \alpha)}.$$

Відстань LE_1 визначиться, як:

$$LE_1 = LF_1 = \frac{R_i \cos \varepsilon_E - R_a \cos \varepsilon_C + R_a \cos(\varepsilon_C + \alpha)}{\cos \rho}.$$

Координата X_{2F} довільної точки F профілю фасонної задньої поверхні обертання буде:

$$X_{2F} = \frac{R_i \cos \varepsilon_E - R_a \cos \varepsilon_C + R_a \cos(\varepsilon_C + \alpha)}{\cos \rho} - R_a.$$

Таким чином, профілювання торцевої фрези, затилованої по колу, у якій $\gamma \neq 0^\circ$, $\lambda \neq 0^\circ$, здійснюється в такій послідовності:

1. Задаються вихідні дані: профіль деталі; радіус базової точки R_a ; передній кут γ ; розмір H - зміщення горизонтального сліду передньої площини від осі фрези; задній кут α ; координати базової точки A профілю деталі:

$$- X_A = R_a; Z_A = 0; Y_A = 0.$$

2. Вибираються на профілі деталі ряд точок з координатами:

$$X_{0i} = R_i; Y_{0i}; Z_{0i} = 0.$$

3. Визначаються координати X_{1i} , Y_{1i} точок різальної кромки в системі $X_1 Y_1$ (рис.5):

$$X_{1i} = \sqrt{R_i^2 - (H + Y_{0i} \operatorname{tg} \gamma)^2} - \sqrt{R_a^2 - H^2} \quad (2)$$

$$Y_{1i} = \frac{Y_{0i}}{\cos \gamma}.$$

Сукупність отриманих точок з координатами X_{1i} , Y_{1i} буде різальною кромкою фрези.

Визначення профілю задньої поверхні обертання здійснюється у наступній послідовності:

1. Вибираються ряд довільних точок на різальній кромці;

2. Визначається координата Z_{OE} довільної точки різальної кромки (рис.6):

$$Z_{OE} = H + Y_{0i} \operatorname{tg} \gamma. \quad (3)$$

3. Визначаються допоміжні кути ε_C та ε_E :

$$\sin \varepsilon_C = \frac{H}{R_a}, \quad \sin \varepsilon_E = \frac{H + Y_{0i} \operatorname{tg} \gamma}{R_i}. \quad (4)$$

4. Визначається кут ρ :

$$\operatorname{tg} \rho = \frac{H + Y_{0i} \operatorname{tg} \gamma + R_a \sin(\varepsilon_C + \alpha) - R_a \sin \varepsilon_C}{R_i \cos \varepsilon_E - R_a \cos \varepsilon_C + R_a \cos(\varepsilon_C + \alpha)}. \quad (5)$$

5. В системі $X_2 Y_2$ визначаються координати X_{2F} та Y_{2F} довільних точок профілю задньої поверхні обертання:

$$X_{2F} = \frac{R_i \cos \varepsilon_E - R_a \cos \varepsilon_C + R_a \cos(\varepsilon_C + \alpha)}{\cos \rho} - R_a. \quad (6)$$

$$Y_{2F} = Y_{0i} \quad (7)$$

Сукупність знайдених точок з координатами X_{2F} та Y_{2F} буде профілем фасонної задньої поверхні обертання торцевої фрези.

Висновки.

На основі аналізу кінематичної схеми різання та умов формоутворення для торцевого фрезерування визначено вихідну інструментальну поверхню під час обробки цими інструментами фасонних циліндричних поверхонь. Показано, що торцевими фрезами можна обробляти фасонні циліндричні поверхні, у яких не змінюється знак кута нахилу дотичної до профілю деталі. Вирішено задачу профілювання фасонних торцевих фрез, затілених по колу, призначених для обробки фасонних циліндричних поверхонь. Задачу вирішено для загального випадку – коли передня площина є площиною загального положення. Графічно та аналітично визначено профіль різальної кромки та профіль задньої поверхні торцевих фасонних фрез, затілених по колу.

Розроблений алгоритм може бути використаний під час проектування торцевих фасонних фрез, що дає можливість конструювання інструментів з технологічними поверхнями різальної частини.

Перелік джерел літератури: 1. Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов: Учебник.-К.: Вища школа, 1990.-424 с.; 2. Кудевицкий Я.В. Фасонные фрезы. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1978, 176 с.; 3. Равська Н.С., Родін П.Р. Основні положення теорії проектування множини інструментів для обробки заданої поверхні. – Вісник ЖІТІ – Технічні науки, 2001 р., с.262-265; 4. Герасимчук О.М. Профілювання фасонних торцевих фрез, затілених під кутом. Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ, Вип.№26, 2010. – 55с-63 с.

Рецензент: **Гузенко В.С.**, к.т.н., проф., ДГМА

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОФІЛЮ РІЗАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ ТОРЦЕВОЇ ФАСОННОЇ ФРЕЗИ,
ЗАТИЛОВАНОЇ ПО КОЛУ
Герасимчук О.М.

Базуючись на загальній теорії проектування різальних інструментів, вирішена задача профілювання торцевих фрез, затилованих по колу, які призначені для оброблення фасонних циліндричних поверхонь. Визначено вихідну інструментальну поверхню під час обробки цими інструментами фасонних циліндричних поверхонь. На основі графічного розв'язку отриманий алгоритм визначення профілю різальної кромки та профілю задньої поверхні обертання. Задачу вирішено для загального випадку – коли передня площина є площиною загального положення.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОФИЛЯ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ТОРЦЕВОЙ ФАСОННОЙ ФРЕЗЫ,
ЗАТЫЛОВАННОЙ ПО ОКРУЖНОСТИ
Герасимчук Е.М.

На основе общей теории проектирования режущих инструментов, решена задача профилирования торцевых фрез, затылованных по окружности, предназначенных для обработки фасонных цилиндрических поверхностей. Определена исходная инструментальная поверхность при обработке этими инструментами фасонных цилиндрических поверхностей. На базе графического решения получен алгоритм определения профиля режущей кромки и профиля задней поверхности вращения. Задача решена для общего случая – когда передняя плоскость является плоскостью общего положения.

DETERMINATION OF THE END CUTTING PROFILE FORM MILLS, THE RELIEF
AROUND THE CIRCUMFERENCE
O.M. Gerasymchuk

On the basis of the general theory of designing cutting tools, solved the problem of profiling end mills, zatylovannyh the circumference intended for shaped cylindrical surfaces. Determined the initial tool surface in the processing of these tools shaped cylindrical surfaces. Solutions based on the graphic profile of an algorithm for determining the profile of the cutting edge and the back of the rotation. The problem is solved for the general case - when the front of the plane is the plane in general position.

Ключові слова: торцеві фрези, фасонне фрезерування, профілювання, вихідна інструментальна поверхня, затилювання по колу.

Ключевые слова: торцевые фрезы, фасонное фрезерование, профилирование, исходная инструментальная поверхность, затылование по окружности.

Key words: end mills, mold milling, profiling, original instrumental surface relief, rear surface-to-surface rotation.

Дата надходження статті: 18 травня 2013 р.

УДК 621.91.01:681.518

Калиниченко В. В.
ДГМА, г. Краматорск, Україна

ПРИНЦИПЫ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ИНСТРУМЕНТА С ИЗНОСОСТОЙКИМ ПОКРЫТИЕМ НА ОСНОВЕ КОНТРОЛЯ ИНТЕНСИВНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ПОКРЫТИЯ ПРИ РЕЗАНИИ

Постановка проблемы

Важной тенденцией развития современного машиностроения является внедрение автоматизированных станочных комплексов с ЧПУ. Наиболее слабым звеном в таких комплексах является режущий инструмент, отказы которого преобладают в структуре причин нарушения работоспособности технологических систем механообработки.

Основным направлением обеспечения высокой надежности режущего инструмента при высокопроизводительной обработке резанием является нанесение на его рабочие поверхности износостойких покрытий. Высокие показатели работоспособности инструмента с покрытием могут быть обеспечены только лишь при высокой сопротивляемости покрытий процессам локального разрушения под действием термомеханических нагрузок при резании. В связи с этим приобретает актуальность комплексное исследование процесса резания инструментом с покрытием, включающее исследование процессов разрушения покрытия.

Важным направлением развития комплексного исследования процессов резания является внедрение прогрессивных методов и систем диагностики состояния режущего инструмента. В настоящее время диагностика состояния режущего инструмента является важной компонентой информационного обеспечения производства, без которой невозможна эффективная работа автоматизированных технологических систем механической обработки.

Работа выполнена в соответствии с тематикой кафедральной госбюджетной НИР кафедры металлорежущих станков и инструментов Донбасской государственной машиностроительной академии «Повышение качества станко-инструментальных систем для автоматизированного производства в условиях тяжелого машиностроения».

Анализ исследований и публикаций по рассматриваемой проблеме

Вопросам диагностики процесса резания и состояния режущего инструмента посвящены многочисленные научные публикации, в частности работы В. К. Старкова, Е. Г. Нахапетяна, В. Н. Подураева [1–3]. В этих работах систематизированы основные принципы диагностики процесса резания и состояния режущего инструмента, приведены сведения о конкретных методах и технических средствах диагностики. Анализ публикаций свидетельствует о большом количестве применяемых методик диагностики состояния режущего инструмента и разнообразии диагностируемых информационных параметров.

Среди информационных параметров состояния режущего инструмента особое место занимает величина износа по контактными поверхностям (в первую очередь, по главной задней поверхности). Именно величина износа по главной задней поверхности определяет достижение критерия отказа инструмента в большинстве случаев лезвийной обработки. С другой стороны, интенсивность изнашивания инструмента тесно связана с интенсивностью всех физических процессов при резании и оказывает значительное влияние на точность и качество обработанной поверхности. Вместе с тем, недоступность зоны изнашивания инструмента для визуального наблюдения требует применения методов диагностики, основанных на контроле параметров интенсивности протекания явлений, сопровождающих разрушение микрообъемов инструментального материала при изнашивании. В качестве таких методов диагностики все чаще применяются методы, основанные на контроле акустических параметров процесса изнашивания. Среди публикаций по данной теме можно выделить работы В. Н. Подураева, А. В. Кибальченко, А. Г. Деревянченко, В. А. Залогов, Л. Н. Девина и других авторов [3–8].

Обзор нерешенных частей проблемы

Вопросы контроля и диагностики состояния режущего инструмента при резании достаточно подробно рассматриваются в специальной литературе [1–8]. Вместе с тем, анализу специфических аспектов диагностики состояния режущего инструмента, в частности контроля износа рабочих поверхностей при обработке инструментом с износостойким покрытием уделяется недостаточное внимание. Начальная стадия изнашивания инструмента с покрытием сдерживается за счет выполнения покрытием функции своеобразного барьера, препятствующего непосредственному взаимодействию инструментального материала основы с обрабатываемым материалом. Момент непосредственного начала изнашивания инструментального материала основы и показатели дальнейшей интенсивности изнашивания зависят от интенсивности разрушения покрытия на локальном участке поверхности контакта с обрабатываемым материалом. В связи с перечисленными обстоятельствами комплексная система диагностики состояния режущего инструмента с износостойким покрытием должна предусматривать не только контроль величины износа инструмента, но и контроль состояния и интенсивности локального разрушения покрытия.

Целью работы является разработка системы принципов диагностики состояния режущего инструмента с износостойким покрытием на основе контроля интенсивности локального разрушения покрытия под воздействием термомеханических явлений в зоне резания.

Основная часть

На основании анализа сведений, приведенных в работе [1], была разработана общая схема классификации применяемых в современной механообработке методов контроля состояния режущего инструмента, представленная на рисунке 1.



Рис. 1. Общая схема классификации методов контроля состояния режущего инструмента в современной механической обработке

Поскольку интенсивность изнашивания режущего инструмента с износостойким покрытием обусловлена интенсивностью предваряющего процесс изнашивания локального разрушения покрытия, то для комплексной диагностики состояния такого инструмента следует применять методы, позволяющие контролировать на основе общих физических принципов интенсивность обоих указанных выше процессов. Как изнашивание основы инструмента, так и разрушение покрытия происходят вследствие накопления в деформированном материале основы или покрытия повреждений и трещин с последующим нарушением целостности и диспергированием разрушаемого материала. Накопление повреждений, образование трещин, разрыв связей в материалах сопровождаются высвобождением энергии упругих колебаний, порождающих акустические импульсы различной амплитуды и частоты [1, 3]. Исходя из этого, автор статьи рекомендует использовать для комплексной диагностики состояния инструмента с покрытием метод контроля параметров акустической эмиссии (АЭ), генерируемых при нарушении целостности материала в зоне резания. По результатам анализа работ [1, 3, 8] можно отметить следующие достоинства предложенного метода диагностики: возможность контроля различных параметров состояния инструмента и интенсивности физических процессов при резании; достаточно высокая чувствительность к изменению состояния инструмента; высокая разрешающая способность сигнала; значительное отличие частот колебаний сигнала АЭ в зоне резания от частот колебаний работающих узлов станка; возможность применения в режиме реального времени без прерывания обработки на станке.

На основании анализа сведений, приведенных в работах [1, 3, 8], была разработана общая схема комплексной диагностики состояния режущего инструмента с износостойким покрытием (рисунок 2). Важной особенностью предложенной схемы является исследование характеристик АЭ, отражающих ход протекания как локального разрушения покрытия, так и последующего изнашивания основы инструмента. Ввиду различия физических механизмов указанных процессов и механических свойств материалов покрытия и основы, колебания АЭ, соответствующие разрушению покрытия и изнашиванию основы, будут происходить в различных диапазонах частот. В качестве математического аппарата выделения диапазонов частот сигналов АЭ, генерируемых в ходе процессов разрушения покрытия и изнашивания инструмента, предлагается использовать вейвлет-анализ спектра АЭ [9], обеспечивающий наиболее эффективную фильтрацию фрагментов спектра эмиссии, характерных для различных физических процессов в зоне резания.

В ходе анализа спектра АЭ в исследуемых диапазонах частот выявляют значения амплитуды A импульсов АЭ и активности \dot{N}_Σ сигналов АЭ, определяемой по формуле [8]:

$$\dot{N}_\Sigma = \frac{dN_\Sigma}{dt},$$

где N_Σ – количество импульсов АЭ за некоторый интервал времени наблюдения t .

Резкие всплески амплитуды импульсов АЭ сопровождают проявление таких актов разрушения целостности материала, как когезионное растрескивание покрытия, его отрыв от подложки и достижение катастрофического износа основы инструмента. В связи с этим, фиксацию моментов начала и окончания разрушения покрытия и катастрофического износа инструмента рекомендуется осуществлять на основании регистрации пиков амплитуды АЭ на зависимостях амплитуды от времени $A = f(\tau)$ в частотных диапазонах, соответствующих частотам протекания рассматриваемых процессов разрушения покрытия или изнашивания.

Рост числа источников АЭ при увеличении очага разрушения покрытия и площадки износа инструмента обуславливает монотонное возрастание зависимостей $\dot{N}_\Sigma = f(\tau)$ при разрушении покрытия и изнашивании инструмента. Для процесса изнашивания данная зависимость характеризуется плавным возрастанием показателя активности АЭ на этапе

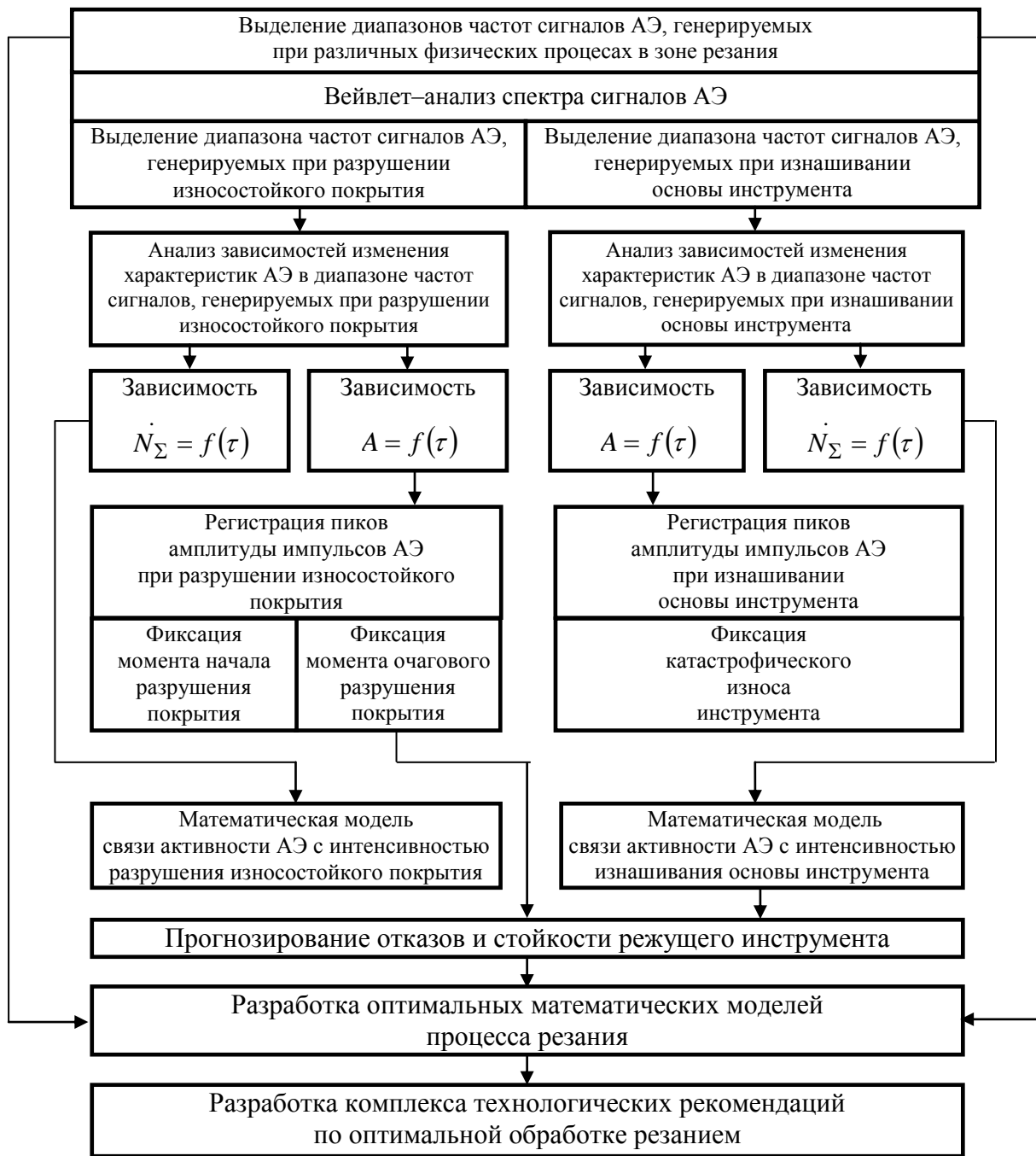


Рис. 2. Общая схема комплексной диагностики состояния режущего инструмента с износостойким покрытием на основе контроля интенсивности разрушения покрытия при резании

нормального изнашивания с переходом к резкому возрастанию в зоне катастрофического износа (перелом на кривой $\dot{N}_{\Sigma} = f(\tau)$ будет опережать перелом на кривой износа $h = f(\tau)$) [3]. При разрушении покрытия рост активности АЭ будет происходить ступенчато, что обусловлено скачкообразным ростом площади очага разрушения покрытия при микроразрывах слоев, сопровождающих когезионное растрескивание и адгезионный отрыв покрытия. На основании анализа зависимостей $\dot{N}_{\Sigma} = f(\tau)$ и закономерностей процессов разрушения покрытия и изнашивания основы инструмента устанавливаются математические модели связи активности АЭ с интенсивностью указанных процессов.

Эти модели могут быть успешно использованы для прогнозирования отказа и показателей стойкости инструмента по известным времени разрушения покрытия и интенсивности изнашивания основы. Прогнозирование момента очагового разрушения покрытия может быть осуществлено на основании известного времени когезионного растрескивания покрытия по ширине и установленной модели связи процессов локального разрушения покрытия с активностью генерируемой при разрушении покрытия АЭ.

Наряду с контролем интенсивности изнашивания инструмента и разрушения покрытия, данные спектра АЭ используются для определения самого широкого круга параметров процесса резания, что может найти применение при разработке математических моделей оптимального процесса резания и технологических рекомендаций на их основе.

Выводы

В статье сформулированы принципы и разработана общая схема диагностики состояния режущего инструмента с износостойким покрытием на основе контроля интенсивности разрушения покрытия при резании. В качестве метода диагностики состояния инструмента был предложен метод контроля параметров акустической эмиссии (АЭ), генерируемой при разрушении покрытия и изнашивании основы инструмента. Принципы, положенные в основу разработанной автором общей схемы диагностики, предусматривают: выделение с помощью вейвлет-анализа диапазонов частот сигналов АЭ, соответствующих разрушению покрытия и изнашиванию основы инструмента; регистрацию пиков амплитуды АЭ в соответствующих диапазонах частот для фиксации моментов начала и окончания разрушения покрытия и катастрофического износа инструмента; определение интенсивности процессов разрушения покрытия и изнашивания инструмента с помощью данных об изменении показателей активности АЭ с течением времени; прогнозирование отказа и показателей стойкости инструмента на основании данных, полученных во время анализа спектра АЭ.

Перечень источников литературы: 1. Старков, В. К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве / В. К. Старков. – М.: Машиностроение, 1989. – 296 с. – ISBN 5-217-00583-1. 2. Нахапетян, Е. Г. Контроль и диагностирование автоматического оборудования / Е. Г. Нахапетян. – М.: Наука, 1990. – 272 с. 3. Подураев, В. Н. Технологическая диагностика резания методом акустической эмиссии / В. Н. Подураев, А. А. Барзов, В. А. Горелов. – М.: Машиностроение. – 1988. – 56 с. – ISBN 5-217-00259-X. 4. Кибальченко, А. В. Применение метода акустической эмиссии в условиях гибких производственных систем / А. В. Кибальченко. – М.: ВНИИТЭМР, 1986. – 56 с. 5. Деревянченко, А. Г. Підвищення ресурсу інструментів при прецизійній обробці на основі автоматизованого діагностування станів їх різальної частини: автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.03.01 / А. Г. Деревянченко ; ХГПУ. – Х., 1999. – 35 с. 6. Залого, В. О. Оцінка ступеня зносу інструменту методом вібродіагностики / В. О. Залого, В. В. Нагорний // Вісник ЖДТУ. – 2012. – № 3 (58). – С. 20–26. 7. Девин, Л. Н. Диагностика технологических процессов резания с помощью датчиков акустической эмиссии / Л. Н. Девин, Н. Е. Стахив, А. Г. Сулима // Вісник двигунобудування. Науково-технічний журнал. – 2007. – № 2 (16). – С. 150–153. 8. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн. 2. Акустические методы контроля: Практ. пособие / И. Н. Ермолов, Н. П. Алешин, А. И. Потапов; Под ред. В. В. Сухорукова. – М.: Высш. шк. – 1991. – 283 с. – ISBN 5-06-002038-X. 9. Курдюков, В. И. Перспективы применения вейвлет-анализа для диагностирования износа режущего инструмента / В. И. Курдюков, А. К. Остапчук, В. Е. Овсянников [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2009. – Вып. 4. Ч. 1. – С. 253–256.

Рецензент: **Мироненко Е. В.**, д.т.н., проф., ДГМА

ПРИНЦИПИ ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ІНСТРУМЕНТУ ЗІ ЗНОСОСТІЙКИМ ПОКРИТТЯМ
НА ОСНОВІ КОНТРОЛЮ ІНТЕНСИВНОСТІ РУЙНУВАННЯ ПОКРИТТЯ ПРИ РІЗАННІ
Калініченко В. В.

В роботі представлена загальна схема діагностики стану інструменту зі зносостійким покриттям на основі контролю інтенсивності руйнування покриття при різанні. В якості методу діагностики запропонований метод контролю параметрів акустичної емісії (АЕ). Принципи діагностики передбачають: виділення за допомогою вейвлет-аналізу діапазонів частот сигналів АЕ, що відповідають руйнуванню покриття та зношуванню основи інструменту; реєстрацію піків амплітуди АЕ у відповідних діапазонах частот для фіксації моментів початку та закінчення руйнування покриття і катастрофічного зносу інструменту; визначення інтенсивності процесів руйнування покриття та зношування інструменту за допомогою аналізу даних про зміну активності АЕ з плином часу; прогнозування відмови та показників стійкості інструменту на підставі даних, отриманих під час аналізу спектру АЕ.

ПРИНЦИПЫ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ИНСТРУМЕНТА С ИЗНОСОСТОЙКИМ
ПОКРЫТИЕМ НА ОСНОВЕ КОНТРОЛЯ ИНТЕНСИВНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ПОКРЫТИЯ
ПРИ РЕЗАНИИ
Калиниченко В. В.

В работе представлена общая схема диагностики состояния инструмента с износостойким покрытием на основе контроля интенсивности разрушения покрытия при резании. В качестве метода диагностики предложен метод контроля параметров акустической эмиссии (АЭ). Принципы диагностики предусматривают: выделение с помощью вейвлет-анализа диапазонов частот сигналов АЭ, соответствующих разрушению покрытия и изнашиванию основы инструмента; регистрацию пиков амплитуды АЭ в соответствующих диапазонах частот для фиксации моментов начала и окончания разрушения покрытия и катастрофического износа инструмента; определение интенсивности процессов разрушения покрытия и изнашивания инструмента с помощью данных об изменении активности АЭ с течением времени; прогнозирование отказа и показателей стойкости инструмента на основании данных, полученных во время анализа спектра АЭ.

PRINCIPLES OF DIAGNOSTICS OF CONDITION OF CUTTING TOOL
WITH WEARPROOF COVERAGE ON THE BASIS OF CONTROL
OF COVERAGE DESTRUCTION INTENSITY AT CUTTING
Kalinichenko V. V.

The general scheme of diagnostics of condition of cutting tool with wearproof coverage based on control of the intensity of coverage destruction at cutting in this work is presented. As a diagnostic method is proposed the method of control of the parameters of acoustic emission. Principles of diagnostics include: allocation of using wavelet-analysis of the frequency bands of acoustic emission signals corresponding to the coverage destruction and the wear of cutting tool basics; registration of amplitude peaks of acoustic emission in the relevant frequency bands to fix the moment of the beginning and end of coverage destruction and catastrophic wear of cutting tool; definition of intensity of processes of coverage destruction and wear of cutting tool with the help of the data on change of acoustic emission over time; prediction of failure and capability of cutting tool on the basis of the data obtained by analyzing the spectrum of acoustic emission.

Ключові слова: Різальний інструмент, зносостійке покриття, стан, руйнування, зношування, інтенсивність, діагностика, акустична емісія.

Ключевые слова: Режущий инструмент, износостойкое покрытие, состояние, разрушение, изнашивание, интенсивность, диагностика состояния, акустическая эмиссия.

Key words: Cutting tool, wearproof coverage, condition, destruction, wear, intensity, diagnostics, acoustic emission.

Дата надходження статті: 30 листопада 2012 г

УДК 621.91:536.2

Кравченко Ю.Г.
ДВНЗ «НГУ», м. Дніпропетровськ, Україна

ВЗАЄМОВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ ПЕРЕДНЬОЇ ТА ЗАДНЬОЇ ПОВЕРХОНЬ ЛЕЗА

Вступ

Аналітичне визначення температури різання пов'язане з всією системою теплообміну в процесі стружкоутворення. Найбільш важливою і складною задачею в теплофізиці різання є розрахунок інтенсивностей (густини) теплових потоків q_γ через передню A_γ та q_α через задню A_α поверхні лева.

Різні умови процесів деформації і тертя та перепад відповідних температур на поверхнях A_γ і A_α спричиняють природний перетік теплових потоків через тіло лева. При цьому температура стружки значно (навіть у декілька разів) перевищує температуру контактної зі сторони A_α поверхні різання R заготовки. Тому остання служить своєрідним охолоджувачем для лева, забираючи в свою масу частину тепла, що поступає зі сторони стружки через A_γ .

На основі цього явища А.Н. Резников [1,2] застосував систему рівнянь контактних температур на A_γ і A_α :

$$\left. \begin{aligned} \theta_{\gamma s} + (\theta_{\gamma\mu} - \theta_{\text{сл}}) &= \theta_{\gamma\text{л}} \cdot M_\gamma + \theta_{\alpha\text{л}} \cdot N_\alpha \\ \theta_{\alpha s} + (\theta_{\alpha\mu} - \theta_{\text{зл}}) &= \theta_{\alpha\text{л}} \cdot M_\alpha + \theta_{\gamma\text{л}} \cdot N_\gamma \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де в лівій частині $\theta_{\gamma s}$ і $\theta_{\alpha s}$ – залишкова температура стружки і контактної поверхні R від роботи пластичної деформації в площині зсуву P_ϕ ; $\theta_{\gamma\mu}$ і $\theta_{\alpha\mu}$ – температура тертя стружки і заготовки з контактними поверхнями A_γ і A_α лева; $\theta_{\text{сл}}$ і $\theta_{\text{зл}}$ – зниження контактної температури за рахунок теплообміну між парами тертя. В правій частині (1) зазначені (залежні від густини теплових потоків) контактні температури лева $\theta_{\gamma\text{л}} = f(q_\gamma)$ і $\theta_{\alpha\text{л}} = f(q_\alpha)$ з коефіцієнтами M і N впливу відповідних температурних полів $\theta_{\alpha\text{л}}$ на $\theta_{\gamma\text{л}}$ та $\theta_{\gamma\text{л}}$ на $\theta_{\alpha\text{л}}$. Вирази для коефіцієнтів M і N визначені емпірично по експериментальним даним і методом моделювання у вигляді графічних і табличних функцій з урахуванням розмірів контактних ділянок тертя. Розв'язання рівнянь (1) дає значення q_γ і зі знаком « \leftrightarrow » q_α .

Попереднє отримання компактною формулою середнього значення контактної температури різального клину [3] внаслідок функціонування смугового безперервного джерела (СБД) теплоти дозволяє значно спростувати розрахунок температурного поля лева і температури різання в цілому на інженерному рівні.

Мета роботи – вивести формулу температурного поля лева в головній січній площині P_τ і визначити аналітично взаємовплив контактних температур на передній та задній поверхнях.

Постановка задачі

Визначається розподіл температури по глибині лева (прямого клина) в головній січній площині P_τ від дії СБД нагріва поверхонь A_γ і A_α згідно рис.1.

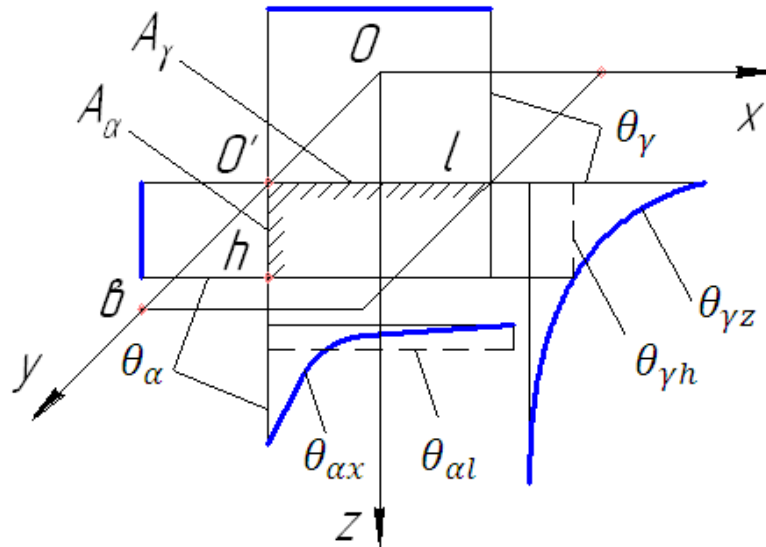


Рис. 1. Схематизація температурних полів θ_γ і $\theta_{\alpha l}$ на передній A_γ ($l \times b$) та θ_α і $\theta_{\gamma h}$ на задній A_α ($h \times b$) контактних поверхнях леза (l – довжина контакту стружки з A_γ , h – величина зносу леза по A_α , b – ширина січної зрізу)

Напівплощини $хоу$ (A_γ) і $уoz$ (A_α) – адіабатичні і мають рівномірний розподіл контактних температур θ_γ і θ_α .

Температурне поле леза на ділянках $o'l$ і $o'h$ площини P_τ розраховується методом суперпозиції незалежних полів

$$\left. \begin{aligned} \theta_{\gamma x} &= \theta_\gamma + \theta_{\alpha l} \\ \theta_{\alpha z} &= \theta_\alpha + \theta_{\gamma h} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

на основі вихідних даних середнього значення контактних температур [3] θ_γ і θ_α з урахуванням температур $\theta_{\alpha l}$ і $\theta_{\gamma h}$ додаткового впливу взаємоперпендикулярних напрямків джерел теплоти. Визначення середнього значення температури $\theta_{\alpha l}$ (або $\theta_{\gamma h}$) на фіксованій глибині l (або h) є предметом даного дослідження.

Початковою основою розрахунків прийнято відомий вираз [4, 5] для температурного поля від лінійного миттєвого джерела (ЛМД) на адіабатичній поверхні напівобмеженого тіла з ординатою $-\infty < y_1 < \infty$ та аплікатою $z_1 = 0$ (кількість теплоти імпульсу $Q_{\text{лм}}$ в Дж/м подвоюється)

$$\theta_{\text{лм}} = \frac{Q_{\text{лм}}}{2\pi\lambda\tau} \exp\left[-\frac{(x-x_1)^2 + z^2}{4\omega\tau}\right], \quad (3)$$

де λ і ω – коефіцієнти тепло- і температуропровідності; τ – час спостереження температури після імпульсу теплоти; x_1 – абсциса ЛМ джерела; x і z – координати точки, яка розглядається.

При розрахунку використано розкладання інтегральної показникової функції для малих значень t в числовий ряд [5, 6, 7]

$$-E_i(-t) = \int_t^\infty e^{-s} \frac{ds}{s} = -c - \ln t - \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{t^n}{n \cdot n!} \quad (4)$$

з постійною Ейлера $c = 0,5772$.

Основний зміст роботи

Аналітичні розрахунки складаються із двох частин.

1. Температурне поле в січній площині клина при нагріві однієї із сторін. Рішення виконувалося по другому напрямку розрахунку [3] шляхом двох інтегральних переходів від ЛМД до СБД.

Температурне поле по глибині z від лінійного безперервного джерела (ЛБД) потужністю $q_{\text{лб}}$ (Вт/м) визначається інтегруванням $\theta_{\text{лм}}$ (3) по змінній $\tau_i / 4, 5/$

$$\theta_{\text{лб}} = \int_0^{\tau} \theta_{\text{лм}} \cdot d\tau_i = \frac{q_{\text{лб}}}{2\pi\lambda} \int_0^{\tau} \exp\left[-\frac{(x-x_1)^2 + z^2}{4\omega(\tau-\tau_i)}\right] \frac{d\tau_i}{\tau-\tau_i},$$

де τ_i – момент часу імпульсу теплоти; τ – момент часу фіксації температури; $\tau - \tau_i$ – час розповсюдження теплоти від i -го імпульсу.

Застосування підстановки $\frac{(x-x_1)^2 + z^2}{4\omega(\tau-\tau_i)} = s \left(\tau - \tau_i = \frac{(x-x_1)^2 + z^2}{4\omega s} \right)$,
 $d\tau_i = \frac{[(x-x_1)^2 + z^2] \cdot ds}{4\omega s^2}$, $s_1 = \frac{(x-x_1)^2 + z^2}{4\omega\tau}$ і $s_2 = \infty$) призводить до виразу

$$\theta_{\text{лб}} = \frac{q_{\text{лб}}}{2\pi\lambda} \int_{s_1}^{\infty} e^{-s} \frac{ds}{s}. \quad (5)$$

Для прямого безкінечного клину температурне поле діючого і відбитого СБД [1,4] густиною $q_{\text{сб}}$ (Вт/м²) визначається інтегруванням $\theta_{\text{лб}}$ (5)

по змінній x_1 [4,5] з застосуванням чергової заміни $\frac{(x-x_1)^2 + z^2}{4\omega\tau} = p$

$$\left(x - x_1 = \sqrt{4\omega\tau \cdot p - z^2}, \quad dx_1 = -\frac{2\omega\tau \cdot dp}{\sqrt{4\omega\tau \cdot p - z^2}}, \quad p_1 = \frac{(x+l)^2 + z^2}{4\omega\tau} \quad \text{і} \right.$$

$$\left. p_2 = \frac{(x-l)^2 + z^2}{4\omega\tau} \right)$$

$$\theta_{\text{сб}} = \int_{-x}^x \theta_{\text{лб}} \cdot dx_1 = \frac{q_{\text{сб}}}{2\pi\lambda} \int_{-l}^l \left(\int_{s_1}^{\infty} e^{-s} \frac{ds}{s} \right) dx_1 = \frac{q_{\text{сб}} \cdot \omega\tau}{\pi\lambda} \int_{p_2}^{p_1} \left(\int_p^{\infty} e^{-s} \frac{ds}{s} \right) \frac{dp}{\sqrt{4\omega\tau \cdot p - z^2}}. \quad (6)$$

Внутрішній інтеграл (6) замінюємо числовим рядом (4) при $n = 1$ для малих значень p і тоді зовнішній інтеграл набуває вигляду

$$I_{\Sigma} = \int_{p_2}^{p_1} (-c - \ln p + p) \frac{dp}{\sqrt{4\omega\tau \cdot p - z^2}}. \quad (7)$$

Кожен інтеграл складових ряду (7) обчислюється окремо [8, 9] з урахуванням $4\omega\tau \cdot p - z^2 = a \cdot p + b$.

$$I_1 = \int_{p_2}^{p_1} \frac{dp}{\sqrt{ap+b}} = \frac{2}{a} \sqrt{ap+b} \Big|_{p_2}^{p_1} = \frac{l}{\omega\tau}.$$

$$I_2 = \int_{p_2}^{p_1} \frac{\ln p \cdot dp}{\sqrt{ap+b}} = \ln p \cdot \frac{2}{a} \sqrt{ap+b} \Big|_{p_2}^{p_1} - \int_{p_2}^{p_1} \frac{2}{a} \sqrt{ap+b} \cdot \frac{dp}{p} =$$

$$= \frac{1}{\omega\tau} \left[\frac{x+l}{2} \ln \frac{(x+l)^2 + z^2}{4\omega\tau} - \frac{x-l}{2} \ln \frac{(x-l)^2 + z^2}{4\omega\tau} - 2l + \right.$$

$$\left. + z \left(\arctg \frac{x+l}{z} - \arctg \frac{x-l}{z} \right) \right].$$

$$I_3 = \int_{p_2}^{p_1} \frac{p \cdot dp}{\sqrt{ap + b}} = \frac{2(ap - 2b)}{3a^2} \sqrt{ap + b} \Big|_{p_2}^{p_1} = \frac{l}{12(\omega\tau)^2} (l^2 + 3x^2 + 3z^2).$$

Сумарно замість (7) маємо

$$I_{\Sigma} = \frac{l}{\omega\tau} \left[-c + 2 - \frac{x+l}{2l} \ln \frac{(x+l)^2 + z^2}{4\omega\tau} + \frac{x-l}{2l} \ln \frac{(x-l)^2 + z^2}{4\omega\tau} - \frac{z}{l} \left(\arctg \frac{x+l}{z} - \arctg \frac{x-l}{z} \right) + \frac{1}{12\omega\tau} (l^2 + 3x^2 + 3z^2) \right]. \quad (8)$$

Після упорядкування і підстановки (8) в (6) отримуємо вираз для розрахунку температурного поля в січній площині P_{τ} від дії СБД теплоти на поверхні A_{γ}

$$\theta_{сб} = \frac{q_{сб} \cdot l}{\pi\lambda} \left[2,809 + \frac{l^2 + 3x^2 + 3z^2}{12\omega\tau} - \frac{l+x}{2l} \ln \frac{(l+x)^2 + z^2}{\omega\tau} - \frac{l-x}{2l} \ln \frac{(l-x)^2 + z^2}{\omega\tau} - \frac{z}{l} \left(\arctg \frac{l+x}{z} + \arctg \frac{l-x}{z} \right) \right]. \quad (9)$$

Слід відмітити, що функція $f(z, x)$ в квадратних дужках виразу (9) при $z = 0$ видозмінюється відповідно на функцію /3/ розподілу температури на поверхні леза

$I_{\psi} = 2,809 + \ln F_0 - (1 + \psi) \cdot \ln(1 + \psi) - (1 - \psi) \cdot \ln(1 - \psi) + (1 + 3\psi^2)/12F_0$
з безрозмірним параметром $\psi = x/l$ і критерієм Фур'є $F_0 = \omega\tau/l^2$.

2. Середнє значення температури по ширині СБД теплоти і фіксованій глибині від поверхні нагріву. Визначається подвійним інтегруванням [8, 9] функції $f(z, x)$ (9) по змінним x і z

$$T = \frac{1}{h} \int_0^h \frac{1}{l} \int_0^l f(z, x) dz dx. \quad (10)$$

2.1. Роздільне інтегрування (10) по x .

$$I_1 = \frac{1}{l} \int_0^l x^2 dx = \frac{1}{3} l^2.$$

$$I_2 = \frac{1}{l} \int_0^l (l+x) \ln \frac{(l+x)^2 + z^2}{\omega\tau} dx = \frac{4l^2 + z^2}{2l} \ln \frac{4l^2 + z^2}{\omega\tau} - \frac{l^2 + z^2}{2l} \ln \frac{l^2 + z^2}{\omega\tau} - \frac{3}{2} l.$$

$$I_3 = \frac{1}{l} \int_0^l (l-x) \ln \frac{(l+x)^2 + z^2}{\omega\tau} dx = \frac{l^2 + z^2}{2l} \ln \frac{l^2 + z^2}{\omega\tau} - \frac{z^2}{2l} \ln \frac{z^2}{\omega\tau} - \frac{1}{2} l.$$

$$I_4 = \frac{1}{l} \int_0^l \arctg \frac{l+x}{z} dx = 2 \arctg \frac{2l}{z} - \arctg \frac{l}{z} - \frac{z}{2l} \ln(4l^2 + z^2) + \frac{z}{l} \ln(l^2 + z^2).$$

$$I_5 = \frac{1}{l} \int_0^l \arctg \frac{l-x}{z} dx = \arctg \frac{l}{z} - \frac{z}{2l} \ln(l^2 + z^2) + \frac{z}{2l} \ln z^2.$$

Після першого інтегрального переходу отримуємо

$$T = \frac{1}{h} \int_0^h \left(3,809 + \frac{l^2}{6\omega\tau} + \frac{z^2}{4\omega\tau} - \frac{4l^2 + z^2}{4l^2} \ln \frac{4l^2 + z^2}{\omega\tau} + \frac{z^2}{2l^2} \ln \frac{4l^2 + z^2}{z^2} + \frac{z^2}{4l^2} \ln \frac{z^2}{\omega\tau} - \frac{2z}{l} \arctg \frac{2l}{z} \right) dz. \quad (11)$$

Вдруге зазначимо, що підінтегральний вираз (11) при $z = 0$ відповідає функції [3] середнього значення температурного поля на контактній поверхні леза $\bar{Y}_l = 2,423 + \ln F_0 + 1/6F_0$.

2.2. Інтегрування (11) по z .

$$I_1 = \frac{1}{h} \int_0^h z^2 dz = \frac{1}{3} h^2.$$

$$I_2 = \frac{1}{h} \int_0^h \ln(4l^2 + z^2) dz = \ln(4l^2 + h^2) - 2 + \frac{4l}{h} \operatorname{arctg} \frac{h}{2l}.$$

$$I_3 = \frac{1}{h} \int_0^h z^2 \ln(4l^2 + z^2) dz = \frac{h^2}{3} \ln(4l^2 + h^2) - \frac{2}{9} h^2 + \frac{8}{3} l^2 - \frac{16l^3}{3h} \operatorname{arctg} \frac{h}{2l}$$

$$I_4 = \frac{1}{h} \int_0^h z^2 \ln \omega \tau dz = \frac{1}{3} h^2 \ln \omega \tau.$$

$$I_5 = \frac{1}{h} \int_0^h z^2 \ln z^2 dz = \frac{2}{3} h^2 \ln h - \frac{2}{9} h^2.$$

$$I_6 = \frac{1}{h} \int_0^h z \cdot \operatorname{arcctg} \frac{z}{2l} dz = l - \pi \frac{l^2}{h} + \frac{4l^2 + h^2}{2h} \operatorname{arcctg} \frac{h}{2l}.$$

Після підстановки складових другого інтегрування в (11), ряду математичних перетворень і групування алгебраїчних функцій знаходимо розрахункову формулу

$$T_\gamma = 4,476 + 2\pi \frac{l}{h} + \frac{h^2}{12l^2} \ln \frac{4l^2 + h^2}{h^2} + \frac{2l^2 + h^2}{12\omega\tau} - \ln \frac{4l^2 + h^2}{\omega\tau} - \frac{16l}{3h} \operatorname{arctg} \frac{h}{2l} - \frac{4l^2 + h^2}{lh} \operatorname{arctg} \frac{2l}{h}. \quad (12)$$

Функція (12) залежить від теплопровідності інструментального матеріалу ω , часового теплонасищення тіла леза τ , довжини контакту стружки l з A_γ і величини зносу h по A_α .

При визначенні функції T_α середнього значення температурного поля зі сторони задньої поверхні A_α від дії СБД густиною q_α на ширині h слід в (12) поміняти місцями l на h та h на l .

2.3. Інтегрування функції $f(x, z)$ (9) в зворотньому порядку змінних

$$T = \frac{1}{l} \int_0^l \frac{1}{h} \int_0^h f(x, z) dx dz. \text{ З метою підтвердження достовірності попередніх}$$

розрахунків було проведене додаткове інтегрування T (10) спочатку по z

$$T_z = 3,809 + \frac{l^2 + h^2}{12\omega\tau} + \frac{x^2}{4\omega\tau} + \frac{\pi}{2lh} (l^2 + x^2) - \frac{l+x}{2l} \ln \frac{(l+x)^2 + h^2}{\omega\tau} - \frac{l-x}{2l} \ln \frac{(l-x)^2 + h^2}{\omega\tau} - \frac{(l+x)^2}{lh} \operatorname{arctg} \frac{h}{l+x} - \frac{(l-x)^2}{lh} \operatorname{arctg} \frac{h}{l-x} - \frac{(l+x)^2 + h^2}{2lh} \operatorname{arcctg} \frac{h}{l+x} - \frac{(l-x)^2 + h^2}{2lh} \operatorname{arcctg} \frac{h}{l-x},$$

а потім по x

$$T_x = 4,476 + \frac{2\pi l}{3h} + \frac{h^2}{12l^2} \ln \frac{4l^2 + h^2}{h^2} + \frac{2l^2 + h^2}{12\omega\tau} - \ln \frac{4l^2 + h^2}{\omega\tau} - \frac{8l}{3h} \operatorname{arctg} \frac{h}{2l} - \frac{4l^2 + 3h^2}{3lh} \operatorname{arctg} \frac{2l}{h}. \quad (13)$$

Вирази (12) і (13) відрізняються лише трьома множниками складових функцій і мають однакові значення порівняльних розрахунків.

Результати розрахунків

Кінцеві розрахунки зводяться до середніх значень контактних температур на поверхнях леза A_γ і A_α з урахуванням додаткової температури їх взаємовпливу (2)

$$\left. \begin{aligned} \theta_{\gamma x} &= \frac{q_\gamma \cdot l}{\pi \lambda} U_\gamma + \frac{q_\alpha \cdot h}{\pi \lambda} \cdot T_\alpha \\ \theta_{\alpha z} &= \frac{q_\alpha \cdot h}{\pi \lambda} U_\alpha + \frac{q_\gamma \cdot l}{\pi \lambda} \cdot T_\gamma \end{aligned} \right\}, \quad (14)$$

де функції U_γ і U_α через критерії $F_{ol} = \frac{\omega \cdot \tau}{l^2}$ і $F_{oh} = \frac{\omega \cdot \tau}{h^2}$ визначаються відповідно по формулі /3/

$$U = 2,423 + \ln F_o + \frac{1}{6 \cdot F_o},$$

а функції T_γ і T_α – по формулі (12).

Пошукові значення густини теплопоглинання лезом q_γ і q_α визначаються розв'язанням системи рівнянь (1) з аналітично розрахованою правою частиною (14).

Всі інші розрахункові моделі з застосуванням середньої температури в січній леза $\theta_{лт} = f(T_\gamma, T_\alpha)$, еквівалентного значення густини $q' = f(\theta_{лт})$ та балансу теплових потоків $q_\gamma \cdot l = q_\alpha \cdot h$ виявилися недостовірними.

Висновки

1. Таким чином було здійснене аналітичне рішення задачі визначення взаємовпливу контактних температур на передній і задній поверхнях леза на основі спільного температурного поля в головній січній площині.

2. Виведена формула температурного поля по ширині і глибині дії смугового безперервного джерела теплоти на поверхні прямого клину.

3. Отримано середнє значення функції залежності температури в головній січній площині леза від довжини контакту зі стружкою на передній і величини зносу на задній поверхнях.

Перелік джерел літератури: 1. Резников А.Н. Теплофизика резания. – М.: Машиностроение, 1969. – 288с. 2. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с. 3. Кравченко Ю.Г. Распределение контактной температуры на режущем клине. – Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч. – Техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2010. – Вып. 78. – с. 88-96. 4. Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. – М.: Машгиз, 1951. – 296с. 5. Карслоу Г.С., Егер Д.К. Теплопроводность твердых тел. – М.: Наука, 1964. – 487с. 6. Янке Е., Эмде Ф., Лёш Ф., Специальные функции – М.: Наука, 1977. – 344с. 7. Справочник по специальным функциям /Под ред. М. Абрамовица и И. Стиган. – М.: Наука, 1979. – 830с. 8. Двайт Г.Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы. – М.: Наука, 1978. – 224с. 9. Брычков Ю.А., Маричев О.И., Прудников А.П. Таблицы неопределенных интегралов: Справочник. – М.: Наука, 1986. – 192с.

Рецензент: **Клименко Г.П.**, д.т.н., проф., ДГМА

ВЗАЄМОВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ ПЕРЕДНЬОЇ
ТА ЗАДНЬОЇ ПОВЕРХОНЬ ЛЕЗА
Кравченко Ю.Г.

Виведені формули температурного поля леза в головній січній площині по глибині від поверхні нагріву і його середнього значення. Визначена система рівнянь взаємовпливу контактних температур на передній та задній поверхнях.

ВЗАИМОВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПЕРЕДНЕЙ И ЗАДНЕЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЛЕЗВИЯ
Кравченко Ю.Г.

Выведены формулы температурного поля лезвия в главной секущей плоскости по глубине от поверхности нагрева и его среднего значения. Определена система уравнений взаимовлияния контактных температур на передней и задней поверхностях.

TWO-WAY INFLUENCE TEMPERATURE FIELDS AT THE FRONT AND BACK SURFACES AF BLADE
Kravchenco U.G.

The formulas describing dependences of blade temperature field at the head secant plane from heating surface and its average value are derived. The equation system of contact temperature two-way influence at the front and back surfaces are obtained.

Ключевые слова: температурное поле лезвия, контактные температуры, источник теплоты.

Ключові слова: температурне поле леза, контактні температури, джерело теплоти.

Keywords: blade temperature field, contact temperature, heat source.

Дата надходження статті: 30 квітня 2013 р.

УДК 621.923

Левченко Е.А.

СевНТУ, г. Севастополь, Украина

tm@sevntu.com.ua

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БОКОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТРЕЗНОГО КРУГА ПРИ АБРАЗИВНОЙ РАЗРЕЗКЕ ТРУБ

Введение

Текущее состояние рабочей поверхности абразивного инструмента может быть охарактеризовано соответствующими статистическими характеристиками его формы, изменение которых формируется в процессе износа отрезного круга.

Анализ причин износа, включающий специфику физико-механических процессов, протекающих в зоне контакта абразивного зерна с обрабатываемым материалом, дает возможность установить наличие нескольких обособленных режимов износа, выявить характерные области их распространения, а также возможные схемы перехода из одного режима в другой.

В процессе резки, вследствие изнашивания поверхности режущего инструмента, происходит изменение числа активных вершин, проходящих через зону контакта круга и заготовки. Это изменение происходит с каждым оборотом отрезного круга в результате различных процессов изнашивания вершин, вступления в работу новых вершин из нижележащих слоев. Таким образом, моделирование вероятности процесса износа отрезного круга оказывает огромное влияние на прогнозирование стойкости режущего инструмента и эффективность процесса резки в целом.

Одним из наиболее существенных факторов, влияющих на процесс абразивной резки, является форма режущих кромок и их ориентация. Исходная форма вершины зерна может быть представлена параболоидом вращения [1]. В начальный период работы отрезного круга на вершинах абразивных зерен образуются площадки износа, которые непрерывно возрастают и обеспечивают влияние условий, действующих на зерна, чему соответствует усилие разрушения зерна и связки. При достаточной прочности зерен и связки площадки износа на абразивных зернах могут достигнуть значительных размеров, образуя усеченную вершину. Форма площадок износа определяется как исходной формой каждого из зерен, так и общими характеристиками формы абразивного отрезного круга. В плоскости вектора скорости резания вершина зерна имеет площадку с радиусом округления, равным радиусу режущего инструмента.

Число режущих кромок на рабочей поверхности инструмента за период его стойкости может изменяться – увеличиваться и уменьшаться в процессе резки вследствие того, что часть зерен с режущими кромками разрушается и вырывается из связки круга, что в дальнейшем приведет к изменению геометрических параметров отрезного круга. В литературе [2, 3] приводятся многочисленные данные о стойкости отрезных кругов, рассмотрены методы ее повышения, эффективность которых нуждается в экспериментальной проверке.

Целью настоящей работы является комплексная оценка влияния различных факторов на стойкость отрезного круга, а также экспериментальная проверка режущей способности боковых поверхностей инструмента для различных условий обработки с целью повышения качества разрезаемых деталей.

Основная часть

Качественные показатели процесса абразивной резки (производительность, сила и мощность резания, стойкость круга, температура в зоне резания и, следовательно, качество поверхностного слоя) в значительной степени определяются режущей способностью боковых поверхностей отрезных кругов (рис. 1).



Рис.1. Внешний вид боковых режущих поверхностей отрезных кругов

Наиболее удачным критерием оценки режущей способности отрезных кругов является отношение съема Q_M металла в единицу времени к величине радиальной силы P_y [4]:

$$k_p = \frac{Q_M}{P_y},$$

где Q_M – интенсивность съема металла в единицу времени, $\text{м}^3/\text{с}$; P_y – величина радиальной силы резания, Н.

Физический смысл критерия k_p заключается в том, что режущая способность круга характеризуется объемом металла, снятым в единицу времени, и величиной радиальной силы, прижимающей обрабатываемую поверхность к отрезному кругу.

Для исследования режущей способности торцов отрезных кругов было изготовлено специальное приспособление, позволяющее шлифовать образцы на испытательном комплексе с постоянной силой P_y (рис. 2). Для оценки режущей способности боковых поверхностей отрезного круга определялось не менее пяти значений k_p . При проведении исследований были использованы образцы диаметром 42,4 мм из стали 1пс.

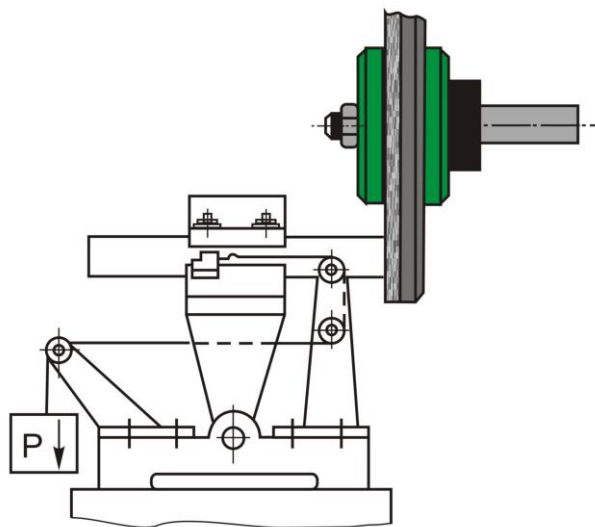


Рис. 2. Общий вид приспособления для исследования режущей способности боковых поверхностей отрезных кругов

Известно, что повышение твердости шлифовальных кругов приводит к снижению их режущей способности [5, 6], что объясняется уменьшением степени их самозатачивания. Из экспериментальных данных видно, что изменение твердости отрезных кругов практически не влияет на режущую способность их боковых поверхностей (рис. 3). Это можно объяснить тем, что твердость кругов несущественно влияет на микрорельеф выступающих из связки зерен, а при выбранной силе прижима боковая режущая поверхность круга работает в режиме затупления и поэтому по мере работы новых граней не образуется.

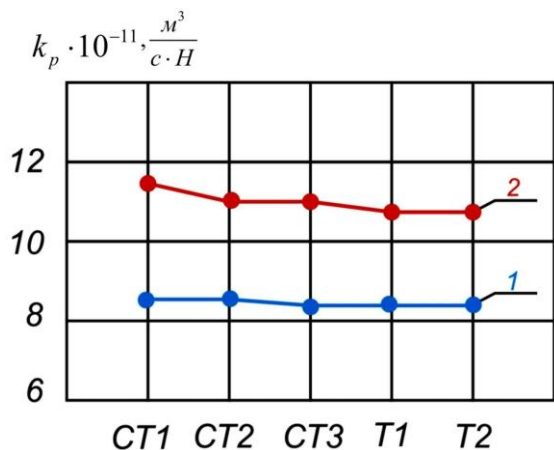


Рис. 3. Зависимость режущей способности боковых поверхностей кругов от их твердости:

$V_K = 80 \text{ м/с}$; $D_K = 400 \text{ мм}$; $P_x = 50 \text{ Н}$;
материал трубы – сталь 08кп;
1, 2 – круги зернистостью 14А 80Н и 14А 63Н

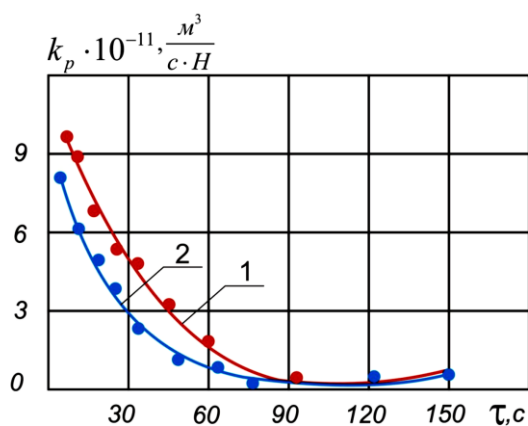


Рис. 4. Зависимость режущей способности боковых поверхностей кругов от времени:

$V_K = 80 \text{ м/с}$; $D_K = 400 \text{ мм}$; $P_x = 50 \text{ Н}$;
материал трубы – сталь 08кп;
1, 2 – круги зернистостью 14А 80Н и 14А 63Н

Это наглядно иллюстрируется зависимостью коэффициента режущей способности от времени притупления боковой режущей поверхности отрезного круга (рис. 4). Анализ зависимости режущей способности боковых поверхностей круга от времени показывает, что с увеличением времени разрезки коэффициент режущей способности быстро падает.

Падение режущей способности сопровождается притуплением режущих зерен, практически, без процесса самозатачивания.

Отсюда следует вывод, что нельзя повышать твердость круга выше определенного предела, так как отрезной круг по периферии будет изнашиваться очень медленно и режущие зерна на боковых поверхностях будут затупляться быстрее, чем круг успеет износиться по диаметру и в работу вступят новые зерна.

С увеличением зернистости кругов для принятых условий и режимов резания режущая способность, ввиду увеличения радиуса закругления зерен, уменьшается [7, 8].

На рис. 5 приведены снимки площадок износа d_u абразивного зерна, характерные для начала разрезки (а, б), относительно стабильной работы (в, г) и потери стойкости (д, е).

Суть эксперимента заключается в измерении длины площадок износа абразивных зерен вдоль рабочей боковой поверхности круга. В соответствии с этим, через каждые 5 с работы круга на его поверхность наносился слой мела для выявления зерен, находящихся на вершине круга. После чего, с помощью установленного на станине станка бинокулярного микроскопа МБИ – 56, изучалась его рабочая поверхность. Ось объектива микроскопа выставлялась строго по радиусу круга. Через выбранные интервалы времени производилась выборка из 50 измерений.

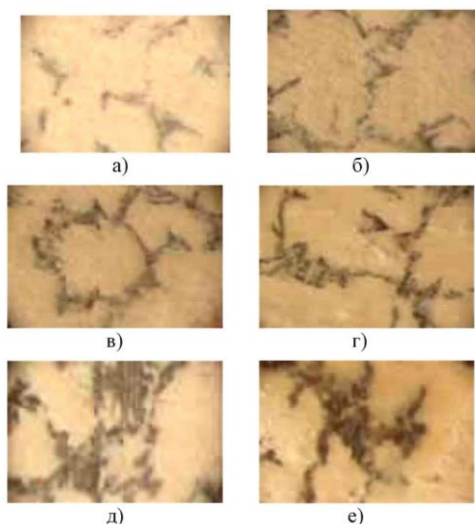


Рис. 5. Снимки площадок износа d_u абразивных зерен $\times 80$ (14A/40-125)

На рис. 6 показана величина длины площадки износа d_u в зависимости от времени работы круга 14A/40 – 125. На рис. 7, 8 показаны экспериментальные графики зависимостей средней длины площадки износа d_u зерен кругов.

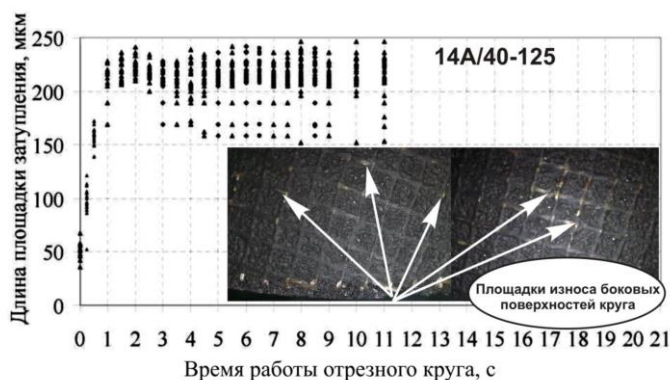


Рис. 6. Поле распределения площадок износа d_u абразивных зерен, расположенных на боковых поверхностях круга

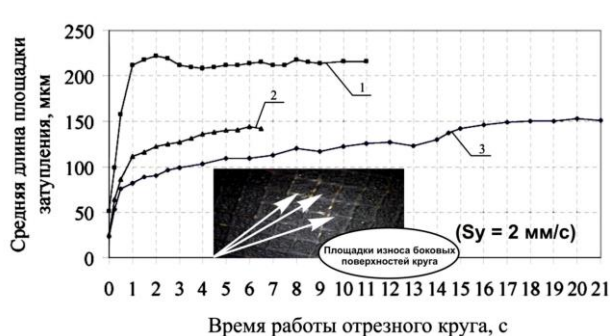


Рис. 7. Зависимость средней длины площадки износа d_u от времени работы и характеристики круга ($S_y = 2$ мм/с):
 1 – 14A/40–125; 2 – 54CF36BF;
 3 – 63C24P5BF1C80

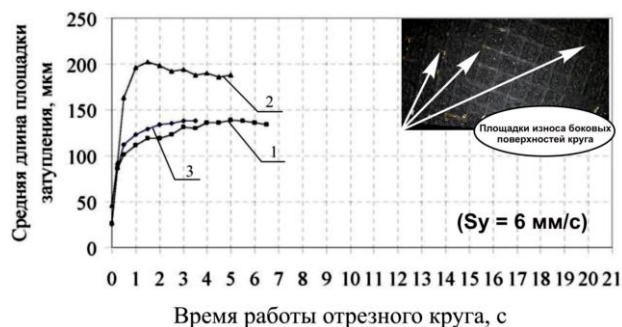


Рис. 8. Зависимость средней длины площадки износа d_u от времени работы и характеристики круга ($S_y = 6$ мм/с):
 1 – 14A/40–125; 2 – 54CF36BF;
 3 – 63C24P5BF1C80

Как показали результаты экспериментальных исследований, реальный процесс абразивной резки носит нелинейный характер, т.е. наряду с затупленными зернами в работу вступают острые зерна круга, расположенные на рабочих боковых поверхностях режущего инструмента круга. В результате режущие свойства круга определяются разбросом значений площадок износа на абразивных зернах.

Из графиков (рис. 7, 8) видно, что интенсивный износ абразивных зерен происходит в первые 2 – 3 секунды работы круга. Время относительной стабилизации процесса резки протекает в последующие 2 – 12 секунд, в зависимости от режимов обработки и характеристики круга. После чего наступает динамическая расстабилизация процесса резания.

Выводы

1. В результате проведенных экспериментальных исследований по изучению режущей способности боковых сторон отрезного круга было установлено, что состояние рабочих поверхностей инструмента оказывает существенное влияние на его стойкость. Для обеспечения высокой стойкости отрезных кругов особенно важно правильно выбрать их твердость. Твердость, прежде всего, определяет силу удержания зерен связкой: чем больше твердость, тем с большей силой удерживаются зерна. Как показали результаты исследований это повышение не бесконечно. При увеличении твердости выше некоторого предела коэффициент режущей способности снова начнет снижаться, несмотря на рост силы удержания связкой. С увеличением времени работы абразивного инструмента износ вершины зерна непрерывно увеличивается.

2. Возрастание площадок износа вызывает рост сил резания. Силовое воздействие отрезного круга на разрезаемую заготовку заключается в сумме воздействий, воспринимаемых заготовкой от каждого единичного абразивного зерна. Величина времени действия силового импульса от единичного зерна зависит от величины площадки износа, а также от длины дуги контакта режущего инструмента с заготовкой и режимов обработки. При этом прекращение процесса микрорезания зернами наступает в том случае, если прочность абразивных зерен и сила закрепления их в связке превышают силу резания, возникающую в процессе обработки. В этом случае площадки износа на вершинах зерен возрастают столь значительно, что круг теряет режущую способность, возрастают вибрации в технологической системе, появляются прижоги, что делает невозможным дальнейшую эксплуатацию инструмента.

3. Полученные результаты экспериментальных исследований по изучению режущей способности отрезных кругов дают возможность моделировать работу абразивного круга в виде единичного абразивного зерна, задаваясь размером площадки износа, соответствующим времени работы круга, режимам обработки и температуре, возникающей в процессе резания.

Перечень источников литературы: 1. Новосёлов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю.К. Новосёлов. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2012. – 304 с. 2. Кузнецов Ю.М. Відрізання прутків і труб: теорія і практика / Ю.М. Кузнецов, С.В. Чікін, Р.І. Мачуга; під ред. Ю.М. Кузнецова // – К.: ТОВ «ГНОЗІС», 2008. – 333 с. 3. Козлов А.М. Формирование микрорельефа при обработке абразивным инструментом / А.М. Козлов, В.В. Ефремов // Известия вузов: сер. Машиностроение. – 2004. – №1. – С. 59–64. 4. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей. / С.Н. Корчак. – М.: Машиностроение, 1974. – 280 с. 5. Веселовский С.И. Разрезка материалов. / С.И. Веселовский. – М.: Машиностроение, 1973. – 360 с. 6. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов / Е.Н. Маслов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с. 7. Ефремов В.Д., Ящерицын П.И. Технологическое обеспечение качества рабочих кромок инструмента и деталей. / В.Д. Ефремов, П.И. Ящерицын. – Мн.: БАТУ, 1997. – 251 с. 8. Качество и производительность абразивно-алмазной обработки: учеб. пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, А.А. Якимов. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 212 с.

Рецензент: **Мироненко Е.В.**, д.т.н., проф. ДГМА

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БОКОВЫХ
ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТРЕЗНОГО КРУГА ПРИ АБРАЗИВНОЙ
РАЗРЕЗКЕ ТРУБ
Левченко Е.А.

Статья содержит экспериментальные исследования режущей способности боковых поверхностей отрезных кругов. Приведены результаты исследований по изучению площадок износа, формирующиеся на абразивных зернах в процессе резания на рабочей поверхности абразивного инструмента. Представлен анализ влияния характеристики инструмента на режущую способность боковых поверхностей круга. Установлено, что с увеличением зернистости кругов для принятых условий и режимов резания режущая способность в виду увеличения радиуса закругления абразивных зерен, уменьшается.

ДОСЛІДЖЕННЯ РІЗАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ БІЧНИХ ПОВЕРХОНЬ ВІДРІЗНОГО
КРУГА ПРИ АБРАЗИВНІЙ РОЗРІЗЦІ ТРУБ
Левченко О.О.

Стаття містить експериментальні дослідження різальної здатності бічних поверхонь відрізних кругів. Наведено результати досліджень з вивчення площадок зносу, що формуються на абразивних зернах в процесі різання на робочій поверхні абразивного інструменту. Представлено аналіз впливу характеристики інструмента на різальну здатність бічних поверхонь круга. Встановлено, що зі збільшенням зернистості кругів для прийнятих умов та режимів різання різальна здатність завдяки збільшенню радіусу закруглення абразивних зерен, зменшується.

STUDY OF CUTTING CAPACITY SIDE SURFACES WITH CUTTING
DISCS GRINDING CUTTING PIPE
Levchenko E.A.

This article contains experimental study of cutting power flanks cutting discs. The results of studies on the wear pads formed on the abrasive grains in the process of cutting the working surface of the abrasive tool. The analysis of the influence of characteristics of the instrument on the side surfaces of the cutting ability of the circle. Found that with the increase in grain circles to accept the terms and cutting cutting capacity in mind increasing radius of curvature of grains is reduced.

Ключевые слова: режущая способность, твердость, площадки износа, связка, зернистость, процесс микрорезания, радиус закругления.

Ключові слова: різальна здатність, твердість, площадки зносу, зв'язка, зернистість, процес мікрорізання, радіус закруглення.

Key words: cutting capacity, hardness, wear pad, bunch, grain, microcutting process, the radius of curvature.

Дата надходження статті: 6 травня 2013 р.

УДК 621.9.02

Поперечный А.В., Солодкий В.И.

НТУУ "КПИ", Киев, Украина

itm@kpi.ua

ИЗМЕНЕНИЕ УГЛОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ ЧЕРВЯЧНОЙ ФРЕЗОЙ

Формообразование зубчатых колес обкаточным фрезерованием червячной фрезой, обладая рядом преимуществ по сравнению с другими методами зубонарезания, относится к числу наиболее сложных операций механической обработки металлов.

Режущие кромки червячной фрезы в процессе обработки совершают сложное движение подачи с изменяющимися в процессе обработки скоростями, в силу чего области контакта режущих кромок и поверхности детали в процессе формообразования непрерывно изменяются [1,2].

Наиболее существенным недостатком червячных фрез является неравномерная загрузка режущих кромок зуба. Так при встречном фрезеровании наиболее загружен крайний зуб фрезы, вступающий первым в резание и снимающий самую толстую стружку. Неравномерность загрузки зубьев червячной фрезы является основным фактором, препятствующим повышению режимов фрезерования [3].

Передвижение фрезы вдоль ее оси незначительно увеличивает длину суммарной режущей кромки, доводимой до заданного износа. Наибольшему износу подвержены зубья, расположенные ближе к центру заготовки. Износ происходит на одной из боковых кромок ближе к вершине зуба. Его характер зависит от направления витков фрезы и нарезаемых зубьев и в общем случае он является неравномерным вдоль кромок инструмента.

Сечение стружки и углы резания, а также продолжительность контакта зуба с нарезаемой заготовкой могут привести к усиленному износу на отдельных участках режущих зубьев. В результате этого инструмент приходится перетачивать в то время, когда почти все режущие кромки, за исключением небольшого числа, в той или иной мере способны производить резание [4].

В общем случае загрузка режущих кромок инструмента, наряду с величинами толщин среза и значениями скоростей резания, в значительной мере зависит от характера изменения углов в процессе формообразования. Для успешного выполнения задачи по созданию новых конструкций червячных фрез, необходимо знать характер изменения углов резания в процессе формообразования.

Целью данной работы является исследование характера изменения геометрических параметров и загрузки локальных участков режущей кромки зубьев червячной зуборезной фрезы.

Геометрические параметры в процессе резания, будем определять как угол между плоскостью касательной к задней боковой поверхности зуба и плоскостью резания. Для переднего угла между плоскостью, перпендикулярной к задней боковой поверхности зуба, и плоскостью перпендикулярной плоскости резания. Характер изменения углов в процессе резания зависит от положения плоскости резания по отношению к задней плоскости зуба червячной фрезы.

Введем систему трехмерную координат XYZ в которой будем проводить исследования. Ось Y ориентирована перпендикулярно к передней поверхности зуба фрезы. Она направлена от поверхности инструмента. Ось X совпадает с осью инструмента и направлена вдоль его оси. Ось Z ориентирована перпендикулярно оси инструмента и каждый проходит через исследуемую точку K , расположенную на режущей кромке зуба. В совокупности оси XYZ образуют правую тройку ортов.

За расчетную плоскость мы принимаем плоскость, параллельную плоскости XOY и проходящую через исследуемую точку K режущей кромки, считая, что характер изменения исследуемых величин в этой плоскости с незначительным численным отклонением.

Определим задний угол α в плоскости, которую назовем условной плоскостью измерения

$$\alpha = \alpha_U + (\tau_K - \rho_K) \text{ - для правой стороны зуба;} \quad (1)$$

$$\alpha = \alpha_U - (\tau_K - \rho_K) \text{ - для левой стороны зуба.} \quad (2)$$

Где: ρ_K – угол между следами плоскости резания и плоскости пересечения их с условной плоскостью измерения; τ_K – угол подъема винтовой линии в точке K режущей кромки.

Значение угла ρ_K можно определить, используя свойство параллельности следов пересечения плоскости резания с условной плоскостью измерения и координатной плоскостью XOY (рис.1). На координатной плоскости XOY рассмотрим точку Q пересечения касательной к кромке в исследуемой точке K с плоскостью XOY . Вектор относительной скорости пересекает плоскость XOY в точке M . Следовательно, след плоскости резания проходит через точки $Q(x_q, y_q)$ и $M(x_m, y_m)$. В этом случае тангенс угла ρ_K наклона прямой, проходящей через две точки, выражается уравнением

$$\operatorname{tg} \rho_K = \frac{x_m - x_q}{y_m - y_q}. \quad (3)$$

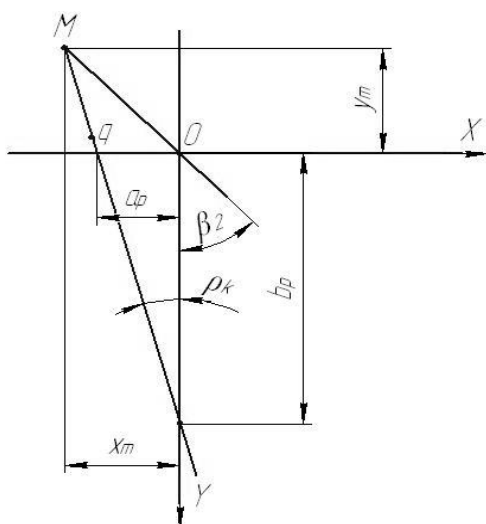


Рис. 1. След плоскости резания на координатной плоскости XOY

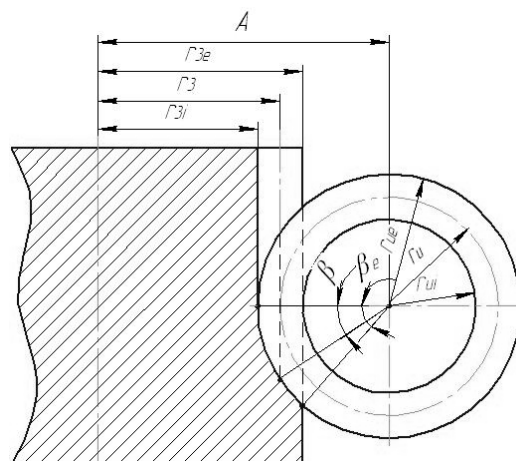


Рис. 2. Изменение угла контакта в процессе обработки

Учитывая, что $\operatorname{tg} \beta_2 = \frac{x_m}{y_m}$ и принимая $x_q = \pm r_{uk} \operatorname{tg} \alpha_g$ для правой или левой стороны зуба угол ρ_K можно определить как

$$\operatorname{tg} \rho_K = \operatorname{tg} \beta_2 \pm \frac{r_{uk}}{y_m} \operatorname{tg} \alpha_g = \operatorname{tg} \beta_2 \pm \operatorname{tg} \beta_2 \operatorname{tg} \alpha_g \quad (4)$$

где: знак (+) для правой, а знак (-) для левой стороны зуба. Наличие знака (\pm) в составе полученной формулы позволяет утверждать, что исследуемый параметр ρ_K будет иметь одинаковые отклонения в разные стороны от некоторого "центрального" значения. Следовательно, все полученные значения исследуемого параметра тоже будут симметричными относительно друг друга.

Зная величину расстояния H_0 от рассматриваемой точки до среднего сечения фрезы (рис.2 и 3) можно найти величины углов β_1 и β_2 определяющие положение касательной к кромке в точке K относительно осей координат

$$\operatorname{tg}\beta_1 = \frac{A \sin\varphi_n \sin\beta - H_o \cos\beta}{\frac{r_{uk}Z}{n_u} - \sin\varphi_n(A \cos\beta - r_{uk}) - H_o \sin\beta}, \quad (5)$$

$$\operatorname{tg}\beta_2 = \frac{\cos\varphi_n(A - r_{uk} \cos\beta)}{\frac{r_{uk}Z}{n_u} - \sin\varphi_n(A \cos\beta - r_{uk}) - H_o \sin\beta}. \quad (6)$$

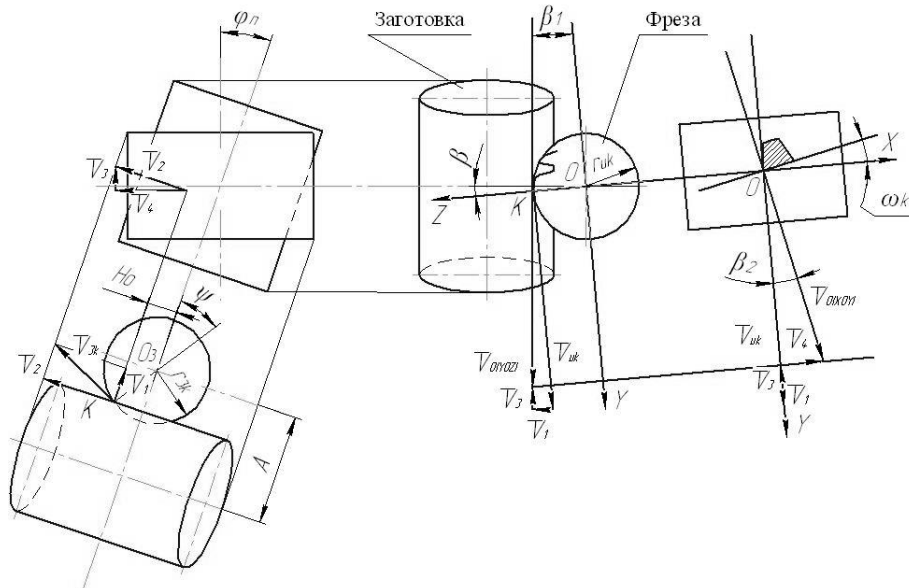


Рис. 3. Проекция вектора относительной скорости на координатные плоскости

Подставляя полученные выражения в (4) получим после математических преобразований формулы для расчета угла между следами плоскости резания и плоскости пересечения их с условной плоскостью измерения в окончательном виде

- для правой стороны зуба

$$\operatorname{tg}\rho_k = \frac{\cos\varphi_n(A - r_{uk} \cos\beta) + A \sin\varphi_n \sin\beta \operatorname{tg}\alpha_g - H_o \cos\beta \operatorname{tg}\alpha_g}{\frac{r_{uk}Z}{n_u} - \sin\varphi_n(A \cos\beta - r_{uk}) - H_o \sin\beta}; \quad (7)$$

- для левой стороны зуба

$$\operatorname{tg}\rho_k = \frac{\cos\varphi_n(A - r_{uk} \cos\beta) - A \sin\varphi_n \sin\beta \operatorname{tg}\alpha_g + H_o \cos\beta \operatorname{tg}\alpha_g}{\frac{r_{uk}Z}{n_u} - \sin\varphi_n(A \cos\beta - r_{uk}) - H_o \sin\beta}. \quad (8)$$

Полученные математические зависимости позволяют исследовать характер изменения задних углов в процессе резания в зависимости от межосевого расстояния A , расстояния точки от среднего сечения, угла контакта, угла установки, числа зубьев заготовки и числа заходов.

Анализируя эти формулы, можно сделать следующий вывод что, величины геометрических параметров в рабочем и в статическом состоянии равны для точек режущих кромок червячной фрезы, лежащих в среднем сечении при установке фрезы под углом $\varphi_n=0$ относительно заготовки, в момент их пересечения делительного цилиндра заготовки. Значение угла $\varphi_n=0$ получается при обработке колес с винтовыми зубьями, угол наклона которых равен углу τ_q подъема витков фрезы на делительном цилиндре с направлением зубьев одноименным с направлением витков фрезы.

Рассмотрим влияние величины радиуса рассматриваемой точки на изменение заднего угла. Обозначим величину $\tau_k - \rho_k = \Delta$. Где τ_k – угол подъема винтовой линии в исследуемой точке K . Она характеризует изменение углов в процессе резания. Ввиду незначительности углов τ_k и ρ_k можно считать, что

$$\Delta = \operatorname{tg}\tau_k - \operatorname{tg}\rho_k, \quad \operatorname{tg}\tau_k = \frac{m_s n_u}{2r_{uk}}, \quad \operatorname{tg}\rho_k = \frac{m_s n_u}{2r_{uk}} \left(1 - \frac{2(A - r_{uk} \cos\beta)}{m_s z} \right). \quad (9)$$

Для определения характера влияния радиуса r_{uk} расчетной точки инструмента определяем первую производную

$$\frac{\partial \Delta}{\partial r_{uk}} = -\frac{m_s n_u}{2r_{uk}^2} \left(1 - \frac{A - r_{uk} \cos\beta}{r_{uk}} \right) + \frac{2m_s n_u \cos\beta}{2r_{uk}}. \quad (10)$$

Анализируя полученное выражение можно утверждать, что наибольшее значение параметра Δ (величины характеризующей изменение углов подъема винтовой линии) наблюдается при условии максимального значения радиуса r_{uk} и наоборот.

Для выяснения влияния угла β контакта инструмента и детали необходимо учесть то обстоятельство, что в числителе формул (7) и (8) преобладающее значение имеет первый член $\cos\varphi_n(A - r_{uk} \cos\beta)$, в то время как остальные члены рассматриваемых формул относительно его малы. В тоже время в знаменателе преобладающее значение имеет член $(r_{uk}z)/n_u$.

Следовательно, при выявлении тенденции изменения углов можно пользоваться упрощенной формулой

$$\operatorname{tg}\rho_k = \frac{\cos\varphi_n(A - r_{uk} \cos\beta)}{\frac{r_{uk}z}{n_u}} = \frac{\cos\varphi_n(A - r_{uk} \cos\beta)n_u}{r_{uk}z}. \quad (11)$$

При больших значениях угла φ_n , член $\sin\varphi_n(A \cos\beta - r_{uk})$ находящийся в знаменателе, может оказать некоторое влияние на весь знаменатель, в особенности при малом значении дроби z/n_u , и при большом отрицательном значении угла φ_n т. е. при нарезании колес с малым числом зубьев многозаходной червячной фрезой с большим углом наклона зубьев. В этом случае при анализе необходимо использовать формулу

$$\operatorname{tg}\rho_k = \frac{\cos\varphi_n(A - r_{uk} \cos\beta)}{\frac{r_{uk}z}{n_u} - \sin\varphi_n(A \cos\beta - r_{uk})}. \quad (12)$$

Сравнительный анализ результатов расчетов, проведенный для упрощенных математических зависимостей показал, что погрешность результатов не превышает 4-х процентов, которая соизмерима с погрешностью измерений исследуемых параметров.

Выводы

В статье выполнен теоретический анализ изменения геометрических параметров в процессе формообразования фасонных деталей червячной фрезой. Анализируя формулы (8) и (9) видно, что с увеличением расстояния H_0 от рассматриваемой точки до среднего сечения фрезы для левой стороны угол ρ_k между следами плоскости резания и плоскости пересечения их с условной плоскостью измерения увеличивается.

В тоже время, для правой стороны профиля зуба инструмента с увеличением расстояния H_0 происходит уменьшение угла между плоскостью резания и задней поверхностью зуба фрезы.

Анализируя формулы (7) и (8) определяющие положение касательной к кромке можно утверждать, что с увеличением расстояния H_0 рассматриваемой точки от среднего сечения задний угол в процессе резания увеличивается.

Анализируя влияние переменных факторов можно утверждать, что с точки зрения постоянства величин геометрических параметров червячных фрез необходимо, чтобы в процессе формообразования разность углов подъема винтовой линии на делительном цилиндре и в рассматриваемой точке режущей кромки была минимальной.

Перечень источников литературы: **1.** Яшина Т.В., Солодкий В. І. Торцева фреза з кінчною передньою поверхнею / Т.В. Яшини, В.І. Солодкий// Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Зб. наук. праць. Краматорск: ДДМА – 2011, вип. 29, С. 34-39. **2.** Родин П.Р. Основы формообразования поверхностей резанием / П.Р. Родин. – К. Выща школа, 1990. – 424 с. **3.** Смирнов Н.Н. Зуборезные многозаходные червячные фрезы с различными схемами резания : / Н.Н. Смирнов. – М. : Машиностроение, 2012. – 168 с. **4.** Майданюк С.В. Вплив геометричних параметрів на статичні геометричні параметри різальної частини відрізних фрез з різнонаправленими кромками / С.В.Майданюк // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Зб. наук. праць. Краматорск: ДДМА – 2011, вип. 29, С. 19-22.

Рецензент: **Клименко Г.П.**, д.т.н., проф. ДДМА

ИЗМЕНЕНИ УГЛОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ
ЧЕРВЯЧНЫМИ ФРЕЗАМИ

Поперечный А.В., Солодкий В.И.

Рассмотрен характер изменения углов в процессе резания при обработке детали червячными фрезами. Величины угловых параметров определены как углы между следами пересечения плоскости измерения для заднего угла, плоскости касательной к задней боковой поверхности зуба и плоскостью резания. Получены математические зависимости, которые описывают характер изменения углов в результате влияния переменных факторов. Исследован характер изменения задних углов в процессе резания в зависимости от радиуса фрезы, межосевого расстояния, угла установки инструмента от носительно заготовки.

ЗМІНА КУТІВ РІЗАННЯ ПРИ ОБРОБЦІ ДЕТАЛЕЙ
ЧЕРВ'ЯЧНИМИ ФРЕЗАМИ

Поперечний О.В., Солодкий В.І.

Розглянуто характер зміни кутів у процесі різання при обробленні деталі черв'ячними фрезами. Величини кутових параметрів визначені, як кути між слідами перетину площини вимірювання для заднього кута, площини дотичної до задньої бічної поверхні зуба і площиною різання. Отримано математичні залежності, які описують характер зміни кутів у результаті впливу змінних факторів. Досліджено характер зміни задніх кутів у процесі різання в залежності від радіуса фрези, міжосьової відстані, та кута установки інструменту відносно заготовки.

CHANGES OF CUTTING CORNERS FOR DETAILS HOB CUTTER

Poperechniy A.V, Solodkiy V.I.

We consider the nature of the change in the process of cutting corners in processing parts worm mills. The values of the angular parameters are defined as the angles between the tracks crossing the plane of the measurement for the clearance angle, the plane tangent to the rear side of the tooth surface and the plane of cutting. The mathematical relationships that describe the behavior of the corners due to the impact of variable factors. The character of changes in the rear corners of the cutting process, depending on the cutter radius, center distance, the angle of the tool relative to the workpiece.

Ключевые слова: червячные фрезы, углы резания, установочные параметры.

Ключові слова: черв'ячні фрези, кути різання, настановні параметри.

Key words: hobbing cutters, cutting corners, setting the parameters of the instrument.

УДК 621.9.048.6.04

Студенец С.Ф.

ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев, Украина

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РЕЖУЩИХ ПРОТЯЖЕК, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ В ДЕТАЛЯХ ИЗ ЧУГУНОВ

В современном машиностроении большой удельный вес среди конструкционных материалов, используемых для изготовления ответственных корпусных деталей, деталей типа тел вращения с внутренними полостями, зубчатых колес имеют чугуны, применение которых не снижается, несмотря на появление новых конструкционных материалов. Широкое использование чугуна обусловливается его дешевизной, высокими механическими свойствами и хорошей обрабатываемостью. Для обработки отверстий различного профиля в таких деталях широко применяется режущее протягивание. Протягивание является одним из наиболее перспективных методов высокопроизводительной обработки точных поверхностей. Совмещение в одной операции нескольких видов механической обработки, получение стабильного качества протянутых поверхностей, сравнительно невысокие требования к квалификации рабочего-станочника - все это обуславливает высокую эффективность процесса протягивания. В тоже время режущие протяжки - сложный, многолезвийный, дорогостоящий, специальный инструмент. Экономическая эффективность его использования в значительной степени зависит от срока его эксплуатации, длительность которого обеспечивается не только выбором рациональных геометрических параметров режущего клина, режимов резания, элементов конструкции и правильной эксплуатацией, но и в значительной мере свойствами инструментального материала.

В металлообрабатывающей промышленности для изготовления режущих протяжек и прошивок, предназначенных для обработки деталей из чугунов, в качестве инструментального материала используются твердые сплавы марки ВК и быстрорежущие стали.

Применение твердых сплавов в качестве инструментального материала для режущих протяжек позволяет значительно увеличить их стойкость, стабильно обеспечивая при этом высокое качество протянутой поверхности [1]. Однако условия эксплуатации режущих протяжек имеют ряд особенностей, существенно ограничивающих эффективность применения твердых сплавов для изготовления протяжек, среди которых: низкие скорости резания до 15 м/мин, высокие требования к изгибной прочности, работа инструмента в условиях растяжения. Существенным фактором, сдерживающим применение твердого сплава, является хрупкое разрушение режущих кромок, носящее случайный характер и ведущее к нестабильности процесса протягивания, снижению качества протянутой поверхности и, как следствие, к браку деталей. К преждевременным отказам твердосплавных режущих протяжек приводят

контактные процессы, протекающие на рабочих поверхностях зубьев при входе и выходе протяжки из детали т.е. в периоды нестабильного процесса резания. Характер взаимодействия зуба протяжки со срезаемым слоем в период входа и выхода из зоны резания обуславливает выкрашивание режущих кромок твердосплавного инструмента. В настоящее время процессы контактного взаимодействия инструмента со срезаемым слоем в краевых зонах протягиваемой детали недостаточно исследованы, что затрудняет создание эффективных способов увеличения стойкости твердосплавных режущих протяжек. Существуют и технологические трудности изготовления твердосплавных протяжек. Кроме того, исходные компоненты твердых сплавов (вольфрам, кобальт) отнесены к разряду дефицитных материалов, стоимость которых непрерывно возрастает.

Основным недостатком быстрорежущих протяжек, используемых при обработке отверстий в деталях из чугуна является их низкая стойкость при ограниченном количестве допускаемых переточек, которая в сочетании с высокой стоимостью изготовления приводит к значительному увеличению затрат на инструмент.

Широкое развитие получило такое перспективное направление повышения эффективности режущего протягивания, как применение комбинированных методов протягивания, сочетающих холодное пластическое деформирование и резание. Существует два пути совершенствования этого метода: оптимальное разделение между резанием и деформированием комплексной функции увеличения качественных параметров при обработке и использование положительного эффекта от взаимного влияния различных способов воздействия комбинированного метода на процесс обработки каждого из них [2].

В качестве примера первого подхода может служить режуще-деформирующая схема протягивания круглых отверстий, широко применяемая в машиностроении. Задача повышения качества обработанной поверхности с использованием этого способа решается в два этапа. На первом этапе достигается заданная точность отверстия, которая выполняется группой режущих элементов. Второй этап - получение требуемой шероховатости и величины упрочнения поверхностного слоя достигается за счет использования блока деформирующих элементов.

Второй подход реализуется путем применения деформирующе-режущей схемы протягивания. Для этого используется способность деформирующих элементов формировать упрочненный поверхностный слой, значительно улучшающий последующий процесс резания [3]. Особенностью данной схемы протягивания является увеличение динамической устойчивости протяжки при одновременной работе режущей и деформирующей групп элементов в отверстии, что снижает интенсивность износа инструмента. В работе [4] предложено схему для обработки отверстия в тормозном цилиндре легкового автомобиля из серого чугуна СЧ 18, сочетающую достоинства первого и второго подходов к созданию комбинированных инструментов, деформирующе-режуще-деформирующую. Эффективность такой схемы

подтверждена при обработке гильз двигателей внутреннего сгорания из антифрикционных легированных чугунов, в том числе с применением взаимного расположения режущих и деформирующих элементов, учитывающего параметры волны внеконтактной деформации [5]. Общей особенностью комбинированного протяжного инструмента, является сборная конструкция инструмента. Применение протяжек с такой конструкцией ограничивается диаметром обрабатываемого отверстия [6,7].

В связи с изложенным, проблема повышения работоспособности протяжек из быстрорежущих сталей является весьма актуальной. В настоящее время существует ряд методов, направленных на повышение работоспособности протяжек из быстрорежущих сталей, которые можно разделить на следующие группы:

- конструктивный метод;
- применение смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС);
- нанесение на поверхности инструмента, контактирующие с обрабатываемым материалом, различных износостойких покрытий.

Конструктивный метод повышения эффективности использования режущих протяжек традиционно применяется в инструментальном производстве и заключается в выборе оптимальных параметров режущей части, использовании рациональных схем резания и совершенствовании конструкции протяжек и прошивок. Применение этого метода позволяет повысить точность обработки, улучшить качество протянутой поверхности, увеличить стойкость инструмента, повысить его прочность и жесткость, получить экономию инструментального материала, снизить стоимость изготовления инструмента, упростить заточку и увеличить количество допускаемых переточек [8, 9, 10, 11, 12, 13].

Основными геометрическими параметрами режущей части протяжек, оказывающими наибольшее влияние на стойкость инструмента и качество обработанной поверхности являются передний γ и задний α углы зубьев протяжек. Величину переднего угла протяжки, аналогично другим видам инструментов, определяют в зависимости от механических свойств материала обрабатываемого изделия. С увеличением прочности и твердости обрабатываемого материала величина угла α уменьшается. Однако, следует отметить различия оценок влияния величины переднего угла на стойкость протяжек и качество обработанной поверхности, приводимых в различных источниках. Задний угол протяжки α оказывает основное влияние на величину износа инструмента, так как протяжки изнашиваются в основном по задней поверхности, и его величина определяется в зависимости от точности обработки, назначения зубьев и возможности компенсации износа при переточках.

Особое место среди конструктивных способов повышения работоспособности режущих протяжек занимает выбор эффективной схемы резания [8, 14]. При протягивании отверстий применяют две схемы резания: профильную и групповую (прогрессивную). Протяжки изготовленные по этим схемам могут быть непрерывного и переменного резания. Широкое применение

получили протяжки групповой схемы переменного резания. Как отмечают авторы работы [R9] протяжки переменного резания «просты в изготовлении, обладают наибольшей суммарной стойкостью по сравнению с другими конструкциями, не требуют затрат вспомогательного времени на очистку их от стружки, обеспечивают наилучшее качество обработанной поверхности и наибольшую точность, дают наибольшую экономию быстрорежущей стали».

Применение конструктивных способов, обладающих рядом достоинств, позволяет повысить эффективность применения режущих протяжек из быстрорежущих сталей. Однако область использования ряда способов ограничивается такими параметрами, как: увеличение длины инструмента, снижение прочности и жесткости, в особенности на протяжках обрабатывающих отверстия диаметром не выше 20 мм, технологическая сложность и себестоимость изготовления инструмента, производительность обработки протягиванием. Использование конструктивного метода не ограничивает, а предполагает использование других направлений. При комплексном применении методов необходимо учитывать их взаимное влияние.

Износ инструмента из быстрорежущей стали при резании чугунов, обладающих склонностью к адгезии в условиях достаточно высоких контактных напряжений в соприкасающейся паре инструмент-деталь, носит преимущественно адгезионно-абразивный характер [7, 12]. При таком виде износа основным фактором является смазывающее действие СОТС - снижение сил трения и адгезии на контактных поверхностях инструмента и обрабатываемого материала.

Тепловыделение при резании таких хрупких материалов как чугун всегда меньше, чем при обработке пластичных сталей. Кроме того, на чистовых операциях, к которым относится и режущее протягивание, при малых сечениях срезаемого слоя выделение тепла также невелико. Поэтому охлаждающее действие СОТС в этом случае малоэффективно. Наилучшим смазывающим эффектом обладают химически-активные среды, содержащие соединения фосфора, хлора и серы; поверхностно-активные среды, в состав которых входят жирные кислоты и спирты.

Но использование химически-активных сред при эксплуатации быстрорежущих протяжек при обработке чугунов наряду с повышением качества протянутой поверхности во многих случаях снижает стойкость инструмента вследствие увеличения абразивного износа. Эти среды уменьшают адгезионное взаимодействие инструментального и обрабатываемого материала, в результате этого снижаются размеры и увеличивается нестабильность нароста, который выполняет защитные функции по отношению к передней и задней поверхностям зубьев протяжки. Кроме того, как показано в работе [9], нарост позволяет осуществлять процесс резания при радиусе округления режущей кромки зуба протяжки значительно превосходящем толщину срезаемого слоя. Таким образом для быстрорежущих инструментов эффективными являются такие СОТС, которые снижая адгезию не ослабляют контактные поверхности инструмента. Этим требованиям

удовлетворяют поверхностно-активные среды и умеренно-химически активные среды на масляной основе. Распространение при протягивании чугунов получили следующие виды СОТС: керосин, керосин в смеси с сульфозфрезолом, сульфозфрезол; 10 %-ная эмульсия, активированные эмульсии различных составов и др. Применение СОТС при режущем протягивании чугунов имеет некоторые отличия от протягивания сталей. При использовании эмульсий и сульфозфрезола получается меньший диаметр протянутого отверстия (усадка), чем при обработке без СОТС [9]. Кроме того, одни и те же виды СОТС по разному воздействуют на процесс протягивания близких по химическому составу и физико-механическим свойствам марок чугуна.

Лучший результат получается при подводе СОТС через кольцевые каналы, которые подают ее по всему периметру зубьев протяжки. При протягивании глубоких отверстий существуют два основных способа подвода СОТС [15]. Первый заключается в том, что в теле протяжки выполняют осевое отверстие, которое сообщается с радиальными канавками, имеющими выход к рабочим поверхностям зубьев. Подача СОТС осуществляется от насоса, через гибкий шланг, соединенный штуцером с тяговой головкой станка. Однако этот способ не применяется для протяжек малого диаметра, так как выполнить в них осевые отверстия без потери жесткости инструмента весьма сложно, а иногда невозможно. Второй способ лишен этого недостатка и заключается в подаче СОТС через шлицы, выполненные на направляющих, и стружкоделительные канавки на зубьях протяжки.

Использование СОТС сопровождается следующими побочными явлениями, ограничивающими их применение: некоторые технологические среды оказывают вредное влияние на организм человека, например керосин; коррозионное воздействие СОТС на обрабатываемый или инструментальный материал, а также элементы станка; потеря СОТС своих свойств в результате хранения, образование клейких пленок при высыхании, вспенивание и блокировка насосных систем. Поэтому, применение СОТС при протягивании чугунов быстрорежущими протяжками целесообразно только в случае, когда требования к качеству обработанной поверхности являются первостепенными.

Распространенным методом повышения работоспособности режущих инструментов из быстрорежущих сталей, путем изменения состояния, состава, структуры и свойств поверхностного слоя инструмента, является нанесение различных износостойких покрытий. Нанося покрытие с заданными свойствами, изменяя его структуру, химический и фазовый состав, можно управлять контактным взаимодействием в зоне резания и, таким образом, оказывать влияние на выходные параметры процесса - износостойкость инструмента и качество обработанной поверхности.

Как показал анализ работ, посвященных проблеме модификации поверхности протяжек из быстрорежущих сталей методом нанесения покрытий, ее эффективным решением может являться применение износостойких диффузионных покрытий, позволяющих получать требуемые свойства на рабочих поверхностях инструмента, при сохранении высоких механических свойств сердцевины.

Одним из таких методов получения износостойких покрытий, интенсивно развивающихся в последнее время, является ионное азотирование в безводородных средах, успешно зарекомендовавшее себя, как эффективный способ повышения работоспособности таких видов инструментов, как: сверла, метчики, плашки, фрезы, развертки, токарные резцы. Технология азотирования в тлеющем разряде позволяет проводить регулируемые процессы насыщения и получать диффузионные слои заданного состава и строения. Применение безводородного ионного азотирования для повышения работоспособности инструмента из быстрорежущих сталей обеспечивает: повышение твердости рабочих поверхностей инструмента, в особенности на острых кромках, не снижая пластичности, дает возможность эксплуатации упрочненного инструмента при повышенных режимах резания и обработка материалов с более высокой твердостью [15]. Ионное азотирование в безводородных средах отличается высокой технологичностью процесса, возможностью получения требуемых физико-механических свойств, структуры, фазового состава и эксплуатационных параметров покрытия, экономичность, безопасность условий труда и экологичность. Кроме того, данный вид поверхностной обработки обладает специфическими особенностями формирования износостойкого диффузионного слоя, позволяющими эффективно использовать его для повышения работоспособности длинномерного инструмента из быстрорежущей стали с криволинейной формой рабочих поверхностей.

Выполненный комплекс исследований по изучению износостойкости режущих протяжек из сталей Р6М5 для обработки отверстий в деталях из серого чугуна (НВ 1,6...2,2 ГПа) с диффузионным покрытием, полученным методом безводородного ионного азотирования, показал, что нанесение таких покрытий является эффективным методом повышения работоспособности протяжек, увеличивающим их стойкость до 10 раз по сравнению с инструментом без покрытия.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что модификация поверхности режущих протяжек, изготовленных из быстрорежущих сталей, методом ионного азотирования в безводородной среде, позволяет решать проблему повышения стойкости инструмента при обработке отверстий в деталях из чугуна, а следовательно относится к основным направлениям повышения работоспособности протяжного инструмента, применяемого для обработки чугунов.

Перечень источников литературы: 1.1. Розенберг А.М., Твердосплавные режущие протяжки и прошивки / А. М. Розенберг, В.П. Деледивка, Р.А. Маслов // Синтет. Алмазы, 1970, Вып. 1.- с. 19-23. 2. Кузнецов А.М. Стратегия поиска наилучшего сочетания резания и деформирования при протягивании/ А.М. Кузнецов, Ю.М. Уляхин // Сб. науч. тр. «Повышение эффективности протягивания (совершенствование процесса обработки)». - Рига: Риж. политехи, ин-т, 1988.-С.64-74. 3. Посвятенко Э.К. Научное обоснование эффективности процесса деформирующе-режущего протягивания. Дис. д-ра техн. наук: 05.03.01. –Киев: Ин-т сверхтвердых материалов им. В.Н.Бакуля АН Украины, 1993. –433 с. 4. Чернявский А.В. Повышение эффективности обработки отверстий в деталях из чугуна деформирующим

протягиванием : автореф. дис.на соискание научн. степени канд. техн. наук : спец. 05.03.01 « Процессы механической обработки, станки и инструмент»/ А.В. Чернявский. - АН УССР Институт сверхтвердых материалов. - Киев, 1988. – 17 с. 5. Розенберг О.А. Особенности использования комбинированного протяжного инструмента для обработки внутренних полостей крупных чугуновых цилиндров / О.А. Розенберг, С.Ф. Студенец, В.В. Мельниченко //Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент - техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. - К.: Изд-во ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2008. – Вып. 11. - С. 428-433.

6. Розенберг А. М., Твердосплавный протяжной инструмент для обработки отверстий / А. М. Розенберг, О.А. Розенберг // ГОСИНТИ, ОМТ, серия III, № 12/3-69, 1969. – С. 3 – 17. **7.** Подураев В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов./ В.Н. Подураев. –М.: Высш. школа, 1974. -587 с. **8.** Протяжки для обработки отверстий / Д.К.Маргулис, М.М. Тверской, В.Н. Ашихмин и др. -М.: Машиностроение, 1986.-232 с. **9.** Маргулис Д.К.Высокопроизводительное протягивание/ Д.К. Маргулис. -Челябинск: Южно-Уральское кн.изд.,1965.-112 с. **10.** Грановский Г.И. Расчет и конструирование протяжек/ Г.И. Грановский.-М.:Машгиз,1960.-252 с. **11.** Розенберг А.М., Розенберг О.А. Механика пластического деформирования в процессах резания и, деформирующего протягивания/ А. М. Розенберг, О.А. Розенберг. — Киев: Наук, думка, 1990. 320 с. **12.** Пронкин Н.Ф. Протягивание труднообрабатываемых материалов / Н.Ф. Пронкин.- М.:Машиностроение,1978.-119 с. **13.** Черненко А.Ф.Оптимизация расчета протяжек группового резания/ А.Ф. Черненко //Станки и инструмент,1988.-N 4.-с.24-25. **14.** Родин П.Р. Металлорежущие инструменты / П.Р. Родин. - 3-е изд., перераб. и доп.- К.: Вища школа, Головное изд-во,1986.-455 с. **15.** Кацев П.Г. Справочник протяжника/ П.Г. Кацев, Н.П. Епифанов.-М.:Машгиз,1963.-256 с. **16.** Каплун В. Г. Научные основы технологии упрочнения деталей машин и инструмента ионным азотированием в безводородных средах : Автореферат диссертации на соискание ученой степени д-ра техн. наук: 05.02.01. - Киев, 1991. - 40 с.

Рецензент: **Ковалёв В.Д.**, д.т.н., проф., ДГМА

**ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РЕЖУЩИХ
ПРОТЯЖЕК, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ В ДЕТАЛЯХ ИЗ
ЧУГУНОВ**

Студенец С.Ф.

В современном машиностроении большой удельный вес среди конструкционных материалов, используемых для изготовления ответственных корпусных деталей, деталей типа тел вращения с внутренними полостями, зубчатых колес имеют чугуны, применение которых не снижается, несмотря на появление новых конструкционных материалов. Широкое использование чугуна обуславливается его дешевизной, высокими механическими свойствами и хорошей обрабатываемостью. Для обработки отверстий различного профиля в таких деталях широко применяется режущее протягивание. Протягивание является одним из наиболее перспективных методов высокопроизводительной обработки точных поверхностей.

**ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ РІЗАЛЬНИХ
ПРОТЯГАНЬ, ЗАСТОСОВУВАНИХ ДЛЯ ОБРОБКИ ОТВОРІВ У ДЕТАЛЯХ ІЗ ЧУГУНОВ**

Студенець С.Ф.

У сучасному машинобудуванні велику питому вагу серед конструкційних матеріалів, використовуваних для виготовлення відповідальних корпусних деталей, деталей типу тіл обертання з внутрішніми порожнинами, зубчастих коліс мають чавуни, застосування яких не знижується, незважаючи на появу нових конструкційних матеріалів. Широке використання чавуну обумовлюється його дешевизною, високими механічними властивостями і хорошою оброблюваністю. Для обробки отворів різного профілю в таких деталях широко застосовується ріжуче протягування. Протягування є одним з найбільш перспективних методів високопродуктивної обробки точних поверхонь.

**MAIN AREAS OF INCREASING EFFICIENCY OF CUTTING BROACHES ARE USED FOR
PROCESSING HOLES IN PARTS OF CAST IRON**

Studenetz S.

In modern engineering large proportion of structural materials used for the manufacture of critical body parts, parts such as bodies of rotation with internal cavities, the gears are cast iron, the use of which is not reduced, despite the emergence of new structural materials. Extensive use is determined by its cheapness iron, high mechanical properties and good processability. For holes in various fields such detail is widely used cutting drawing. Broaching is one of the most promising methods for high-precision machining of surfaces.

Ключевые слова: протяжка, режущий инструмент, деталь, механические свойства, отверстие.

Ключові слова: протяжка, ріжучий інструмент, деталь, механічні властивості, отвір.

Key words: broaching, cutting tools, detail, mechanical properties, the hole.

Дата надходження статті: 18 травня 2013 р.

УДК 621.9.025

Гах В.М., Носков В.В., Гах И.О., Носков К.В.
ДГМА, ПАО НКМЗ, г.Краматорск, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА КРУПНЫХ ТОКАРНЫХ СТАНКАХ

Введение

В соответствии теорией проектирования режущего инструмента [1] первым этапом создания нового конкурентоспособного инструмента широкого назначения является исследование условий, среды его функционирования и определение параметров, характеризующих эту среду. Следующим этапом работы является составление технического задания [2], то есть определение требований, предъявляемых к конструкции инструмента для конкретных условий его эксплуатации.

Целью работы является определение требований, предъявляемых к конструкции сборных резцов для черновой обработки конструкционных сталей на крупных токарных станках.

Исследование условий эксплуатации режущего инструмента

Здесь следует отметить, что к крупным токарным станкам относятся станки с наибольшим диаметром обрабатываемого изделия $D_C = 800$ мм и $D_C = 1000$ мм.

Информация об условиях эксплуатации инструмента собиралась в основном в механическом цехе №2 ПАО НКМЗ с наибольшей концентрацией крупных токарных станков. Другими источниками информации служили системный банк механообработки, собранный на 34 предприятиях [3] и работа [4].

Номенклатура крупных токарных станков механического цеха №2, а также применяемость проходных резцов и марок твердых сплавов приводятся в таблице 1.

Крупные станки цеха четко разделены на черновые и чистовые – на трех станках из семи выполняются только чистовые операции. На станках с $D_C = 800$ мм применяются напайные и сборные резцы с высотой державки $H=40$ мм, а на станках с $D_C = 1000$ мм – резцы с $H=50$ мм. Основной маркой твердого сплава является Т5К10 или его импортные аналоги той же группы применяемости (P30...P35) – сплав 6630 фирмы Прамет, сплав JS907 фирмы Искар, сплав СТ35М фирмы МКТС + Сандвик Коромант.

Самые тяжелые операции (наружное черновое точение, корка, удар) как правило выполняются напайными резцами с $\varphi=60^\circ$, оснащенными пластинами из твердого сплава Т5К10, так как они отличаются наиболее высокими показателями прочности и жесткости (большие габариты режущей пластины, неразъемное соединение пластины и державки) и допускают работу с большими подачами и глубинами резания. Последнее также связано с тем, что стандартная стружечная канавка сменных многогранных пластин не обеспечивает удовлетворительного стружкодробления, а на напайном резце радиус стружечной канавки выбирается в зависимости от условий обработки. Кроме того напайные резцы снабжены наварным стружколомом.

Применение сборных резцов на получистовых и чистовых операциях объясняется меньшими подачами и глубинами резания и более высокими требованиями к точности обработки. Применяемые сборные резцы имеют главный угол в плане 75° и 95° .

Таблица 1

Номенклатура крупных станков и применяемость проходных резцов

Станок		Обозначение резца и пластины	Применяемость, %
Дс, мм	Модель		
800	Masturn 70CNC	Резец T5K10-40x40 СТП 39.11-81, пластина 01411 [5]	5
		Резец PCLNN-40x40S19, пл. CNMG 190616-SN 6630	65
		Резец PSBNR-40x40 S19, пл. SNMG 190616-SR JC907	30
800	Masturn 70CNC	Резец T5K10-40x40 СТП 39.11-81, пластина 01411	10
		Резец PCLNN-40x40S19, пл. CNMG 190616-SN 6630	60
		Резец PSBNR-40x40 S19, пл. SNMG 190616-SR JC907	30
1000	1H65-10	Резец T5K10-50x40 СТП 39.11-81, пластина 01431	50
		Резец PCLNN-50x50U19, пл. SNMG 190616-SR JC907	5
		Резец PSBNR-50x50U25, пл. SNMG250724-SR CT35M	45
1000	1M65	Резец T5K10-50x40 СТП 39.11-81, пластина 01431	10
		Резец PCLNN-50x50U19, пл. SNMG 190616-SR JC907	10
		Резец PSBNR-50x50U25, пл. SNMG250724-SR CT35M	80
1000	165	Резец T5K10-50x40 СТП 39.11-81, пластина 01431	40
		Резец PCLNN-50x50U19, пл. SNMG 190616-SR JC907	50
		Резец PSBNR-50x50U25, пл. SNMG250724-SR CT35M	10
1000	165	Резец T5K10-50x40 СТП 39.11-81, пластина 01431	60
		Резец PCLNN-50x50U19, пл. SNMG 190616-SR JC907	15
		Резец PSBNR-50x50U25, пл. SNMG250724-SR CT35M	25
1000	DUS 1000	Резец T5K10-50x40 СТП 39.11-81, пластина 01431	20
		Резец PCLNN-50x50U19, пл. SNMG 190616-SR JC907	40
		Резец PSBNR-50x50U25, пл. SNMG250724-SR CT35M	40

Последние работают как проходные и подрезные. Такой выбор главного угла в плане связан с высокими требованиями к прочности пластин; применяются в основном два типа СМП: ромбические CNMG190616 ($\varepsilon=80^0;100^0$) и квадратные SNMM250724. Эти пластины отличаются более высокой прочностью по сравнению, например, с трехгранными пластинами.

Типовыми представителями деталей, обрабатываемых на крупных токарных станках, являются ролики, валы, ходовые винты, прокатные валки. В таблице 2 представлена информация о заготовках – основным типом заготовок являются поковки (от 50 до 80%). Для крупных станков характерна обработка деталей большой длины при относительно малом диаметре, что в некоторых случаях снижает жесткость и виброустойчивость технологической системы. Припуск на обработку имеет большую величину – достигает 20 и более мм на сторону. Примерно половину времени черновой и получистовой обработки занимает точение заготовок по корке и около 20% – обработка с перерывами в процессе резания. Поверхность заготовок имеет многочисленные дефекты – заковы и следы автогенной резки со стороны торцов, трещины, твердые включения.

Таблица 2

Применяемость заготовок, обрабатываемых на крупных токарных станках

Станок		Типы заготовок, %			Длина (max), мм	Масса (max), т	При-пуск (max), мм	Операции, %	
Дс, мм	Модель	прокат	поковка	отливка				черно-вая	чисто-вая
800	Masturn 70CNC	40	50	10	1500	0,5	15	15	85
800	Masturn 70CNC	40	55	5	1500	0,5	15	10	90
1000	1H65-10	15	80	5	2500	1,0	10	0	100
1000	1M65	19	80	1	2500	1,0	10	0	100
1000	165	10	80	10	2500	1,0	20	100	0
1000	165	15	80	5	2500	1,0	20	70	30
1000	DUS1000	15	80	5	2500	1,0	10	0	100

В таблице 3 приведена информация о применяемости обрабатываемых материалов. Основным конструкционным материалом являются углеродистые стали (HB163...271) – сталь 45, сталь 30Л, сталь 09Г2С, сталь 40ХН, сталь 45А. Большие трудности возникают при обработке резанием заготовок из легированных сталей (HB 231...274) – общая их применяемость составляет 22,5%. Их типичными представителями являются стали 38Х2Н2МА, 20ХНЗА, 60С2ХФА. Поэтому при планировании инструментообеспечения необходимо ориентироваться и на эти стали.

Таблица 3

Применяемость материала заготовок на крупных токарных станках [4]

Группа материалов	Применяемость, %	Группа материалов	Применяемость, %
Стали углеродистые	70,0	Чугуны	3,0
Стали легированные	22,5	Цветные металлы и сплавы	0,5

В таблице 4 показана применяемость резцов разных видов. Наибольшую часть составляют проходные резцы с $\varphi=60^{\circ}$. Далее в порядке уменьшения располагаются проходные упорные ($\varphi=90^{\circ}$), отрезные и прорезные, подрезные, галтельные и др. Здесь следует отметить, что на крупных станках одним и тем же резцом выполняют обтачивание и подрезание (см. табл. 1, резцы PCLN с $\varphi=95^{\circ}$).

Следует отметить, что в ряде случаев сплав Т5К10 и его импортные аналоги применяют там, где следовало бы использовать сплав Т15К6. Обратное предположение маловероятно, так как использование сплава Т15К6 там, где нужно применять сплав Т5К10, вызывает резкий рост числа поломок и делает работу не только неэкономичной, но и крайне

Таблица 4

Применяемость резцов на крупных токарных станках [4]

Тип резца	Применяемость, %	Главный угол в плане ф, град.	Применяемость, %
Проходной прямой	37	30	3
Проходной упорный	19	45	24
Отрезной и прорезной	17	60	40
Расточной	11	90	33
Подрезной	10	Материал пластины	Применяемость, %
Другие	6	T5K10	57
		T15K6	10
		Другие	33

затруднительной для рабочего в связи с частой заменой инструмента. Резцами из T5K10 нередко работают даже в области наибольшей эффективности применения сплава T15K6 (сечение среза до 5...10 мм²), что не позволяет использовать важный резерв роста производительности труда. Причины этого заключаются как в плохом материально-техническом обеспечении, малоэффективной организации труда, так и в отсутствии оптимальной конструкции инструмента, обеспечивающей быструю замену режущего элемента.

В таблице 5 приводятся значения рабочих режимов резания – на черновых операциях сечение среза достигает 20...30 мм². Эту информацию необходимо учесть для оценки нагрузки на проектируемый инструмент.

Таблица 5

Режимы резания, показатели безотказности и долговечности на крупных токарных станках

Дс, мм	Операция	Тип резца	t, мм	S, мм/об	v, м/мин	T, мин	K	ΣT, мин
800	Наружное точение черновое, корка	Напайной	15	1,3	60	27,0	2,4	64,8
		Сборный	12	1,0	80	27,5	3,0	82,5
	Наружное точение чистовое	Сборный	3,5	0,4	150	35,0	4,0	140,0
1000	Наружное точение черновое, корка	Напайной	20	1,5	40	25,0	2,3	57,5
		Сборный	15	1,2	80	26,5	2,9	76,8
	Наружное точение чистовое	Сборный	5	0,4	120	30,0	3,5	105,0

В таблице 6 приведена структура отказов резцов на различных операциях. При черновом точении имеет место большое количество поломок пластин (от 25 до 30% в

зависимости от операции). В случае непрерывного течения заготовок из конструкционных сталей напайными резцами пластина твердого сплава разрушается по всей толщине. При увеличенной толщине пластины, при резании материалов повышенной прочности и твердости или при прерывистом резании увеличивается количество поломок пластин не на всю толщину. При работе напайными резцами имеет место большое количество выкрашиваний режущих кромок, доля которых при определенных условиях превышает количество поломок пластин. При работе сборными резцами количество выкрашиваний существенно меньше, что можно объяснить меньшим уровнем нагрузки и наличием пластин с округленными режущими кромками.

Таблица 6

Структура отказов на крупных токарных станках [4]

D_c , мм	Виды отказов	Число отказов по операциям, %		
		черновое точение	чистовое точение	отрезание
800	изнашивание	40	85	47
	выкрашивание	30	10	33
	поломка	25	2	15
	другие отказы	5	3	5
1000	изнашивание	35	80	42
	выкрашивание	30	12	34
	поломка	30	4	19
	другие отказы	5	4	5

На операциях отрезки и глубокой прорезки взаимодействие стружки со стенками канавки вызывает рост напряжений у вспомогательных режущих кромок, поэтому относительное количество выкрашиваний на этих операциях возрастает. При проектировании нового инструмента необходимо предусмотреть мероприятия по повышению прочности режущей пластины – увеличение ее толщины, применение более прочных марок твердых сплавов, применение упрочняющей геометрии и др.

Выводы

На основании анализа условий эксплуатации инструмента было разработано техническое задание на проектирование сборных резцов для черновой обработки конструкционных сталей на крупных токарных станках:

- число типоразмеров державок должно быть не более двух: $H=40$ мм и $H=50$ мм;
- резец должен содержать державку, перетачиваемую режущую пластину, быстрорежущую опорную пластину, быстрорежущий прихват-стружколом и крепежный винт;
- число типоразмеров режущих пластин должно быть не более двух: $l=25$ мм и $l=32$ мм;
- в каждый комплект должны входить: державка, 10 режущих пластин, 2 опорных пластины, 2 прихвата-стружколома, 2 крепежных винта;
- главный угол в плане $\varphi=60^0$;
- должна обеспечиваться работа с режимами резания: глубиной резания для $H=40$ мм – до 15 мм и для $H=50$ мм – до 20 мм, подачей и скоростью резания – согласно нормативам режимов резания [6];

- показатели безотказности должны быть не ниже предусмотренных нормативами – средний период стойкости 40 мин, гамма-процентный период стойкости 20 мин;
- показатели долговечности должны быть не менее: среднее число периодов стойкости режущей пластины – 4, опорной пластины – 20, прихвата-стружколома – 20;
- показатели ремонтпригодности должны быть не более: время замены режущей пластины – 1 мин, время замены опорной пластины – 2 мин, время замены прихвата-стружколома – 1,5 мин.

Перечень источников литературы: **1.** Теория проектирования инструмента и его информационное обеспечение: маркетинг, квалиметрия, надежность и оптимизация / Г.Л. ХаеТ, В.С. Гузенко, Л.Т. ХаеТ и др. – Краматорск: ДГМА, 1994. – 370 с. **2.** ДСТУ 3974-2000. Система розроблення та постановки продукції на виробництво. Правила виконання дослідно-конструкторських робіт. Загальні положення.–К.: Держ-стандарт України, 2001. – 34 с. **3.** ХаеТ, Г.Л. Банк прецедентов механообработки на тяжелых станках/ Г.Л. ХаеТ, А.Л. Еськов, А.Д. Локтев // Надежность режущего инструмента и оптимизация технологических систем. – Вып. 6. – Краматорск : ДГМА, 1996. – С. 56-62. **4.** Сборный твердосплавный инструмент / Г.Л. ХаеТ, В.М. Гах, К.Г. Громаков и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 256 с. **5.** СТП 39-88. Резцы с пластинами из твердых сплавов. – Краматорск: НКМЗ, 1988. – 250 с. **6.** Общемашиностроительные нормативы режимов резания: Справочник: В 2-х т.: Т.1/ А.Д. Локтев, И.Ф. Гушин, В.А. Батуев и др. – М.: Машиностроение, 1991. – 640 с.

Рецензент: **Мироненко Е.В.**, д.т.н., проф., ДГМА

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕЖУЩЕГО
ИНСТРУМЕНТА НА КРУПНЫХ ТОКАРНЫХ СТАНКАХ

Гах В.М., Носков В.В., Гах И.О., Носков К.В.

В статье приводится анализ условий эксплуатации режущего инструмента на крупных токарных станках (станок, материал и тип заготовки, деталь, инструмент, элементы режима резания, соотношение видов отказов инструмента и др.). Сформулированы основные требования предъявляемые к конструкции сборных резцов для черновой обработки конструкционных сталей на крупных токарных станках.

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ НА
КРУПНИХ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ

Гах В.М., Носков В.В., Гах І.О., Носков К.В.

В статті приводиться аналіз умов експлуатації різального інструменту на крупних токарних верстатах (верстат, матеріал і тип заготовки, деталь, інструмент, елементи режиму різання, співвідношення видів відмов інструменту та ін.) Сформульовано основні вимоги що висувуються до конструкції збірних різців для чорнкової обробки конструкційних сталей на крупних токарних верстатах

RESEARCH THE OPERATING CONDITION CUTTING TOOL AT MAJOR LATHES

Gah V.M., Noskov V.V., Gah I.O., Noskov K.V.

The article analyzes the conditions of cutting tools on large lathes (machine, material and type of workpiece, part, tool, cutting regime elements, the ratio of instrument failure, etc.). The basic requirements for the design teams of cutters for roughing structural steels for large lathes.

Ключевые слова: станок, заготовка, деталь, резец, твердый сплав, скорость резания, подача, глубина резания

Ключові слова: верстат, заготівка, деталь, різець, твердий сплав, швидкість різання, подача, глибина різання

Keywords: machine, provision, part, tool, carbide, cutting speed, feed rate, cutting depth

Дата надходження статті: 18 травня 2013 р.

УДК 621

Ковалёв Д.Г., Мироненко Е.В.

ДГМА, г.Краматорск, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ СРЕДНЕГО ПЕРИОДА СТОЙКОСТИ СО СКОРОСТЬЮ РЕЗАНИЯ НА ТЯЖЕЛЫХ КАРУСЕЛЬНЫХ СТАНКАХ

Уравнение, связывающее период стойкости резцов со скоростью резания играет важнейшую роль в оптимизации режимов резания и расчете таблиц нормативов. Как известно [1,3,4,5], в широком диапазоне скоростей резания зависимость $T-V$ имеет максимум. Поэтому были проведен анализ данных для уточнения формы зависимости $T-V$ для резцов, работающих на тяжелых карусельных станках с большими сечениями среза.

Результаты экспериментальных исследований, проведенных при получистовом обтачивании детали из стали 40X2H2MA инструментом оснащенным спроектированным резцовым блоком представлены на рис.5.0.1.

В диапазоне скоростей резания, которые обычно применяются при точении подобных материалов ($S=1.0-1.6$ мм/об и $V=30-45$ м/мин) зависимость $T-V$ в двойной логарифмической сетке для практических целей может быть принята прямолинейной, причем для всех указанных значений подач.

Анализ известных зависимостей показывает, что кривые $T-V$, полученные по результатам производственных испытаний инструмента имеют следующий характер: в начале возрастание, максимум и затем убывание со стабилизацией наклона (рис. 1). Простейшая кривая, удовлетворяющая условиям:

$$T' = \frac{k}{V} - \alpha \quad (1)$$

где

α – коэффициент, отражающий скорость падения периода стойкости и линейный характер этого падения в зоне относительно больших скоростей резания;

k – коэффициент показывающий степень падения периода стойкости в области малых скоростей резания.

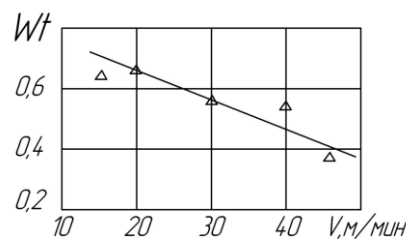


Рис. 1. – Зависимость коэффициента вариации периода стойкости от скорости резания при обработке конструкционных сталей (HB 240-280; $S=1,0-1,2$ мм/об)

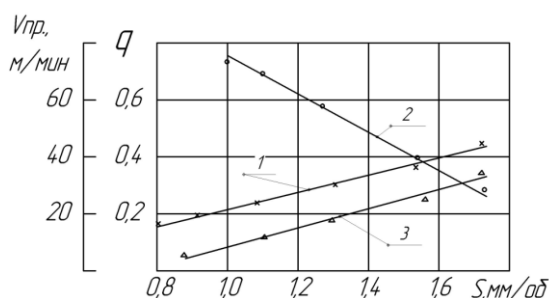


Рис. 2. - Зависимость доли поломок – 1, предельного периода стойкости – 2 и предельной скорости – 3 от подачи

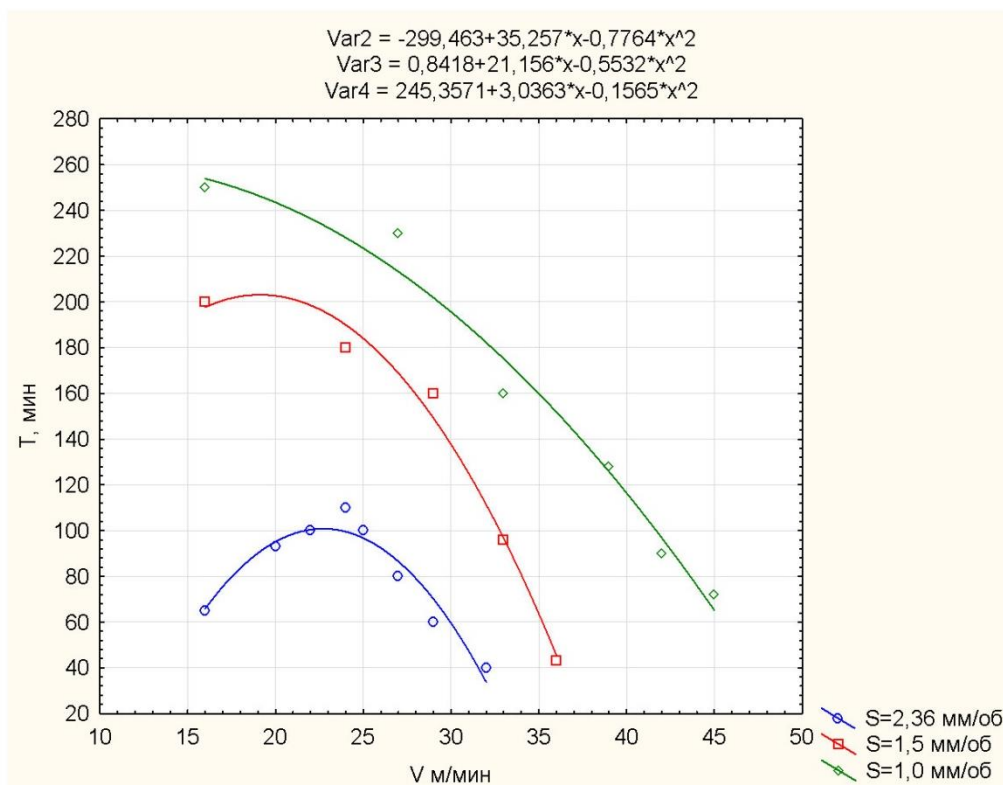


Рис. 3. Зависимость , полученная при испытаниях разработанного резцового блока, при точении стали 40X2H2МА на станке модели 1532Т (Dу=6300мм), t=24мм

При этом должно выполняться условие $T(V_{np.})=T_{np.}$ (рис. 3).

В качестве математической модели, описывающей зависимость $T - V$, возьмем дифференциальное уравнение:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dT}{dV} = \frac{k}{V} - \alpha \\ T(V_{np.}) = T_{np.} \end{array} \right.$$

Решая его получаем

$$dT = k \frac{dV}{V} - \alpha dV;$$

$$\int dT = k \int \frac{dV}{V} - \alpha \cdot dV;$$

$$T = k \ln V + \ln e^{-\alpha V} + \ln e$$

$$T = cV^k e^{-\alpha V}$$

(2)

Аналогичную зависимость мы видим [2]

Покажем, что подобрав α можно определить k и C .

Из условия $T'(V_{np.}) = 0$ найдем $k = \alpha V_{np.}$ (3)

Из условия $T(V_{np.}) = T_{np.}$ с учетом $k = \alpha V_{np.}$ получаем

$$C = \frac{T_{np} \cdot e}{V_{np}^{\alpha V_{np}}}$$

Осуществляя подбор теоретической кривой в пакете STATISTICA применительно к условиям, в которых найдены зависимости $T-V$, получим приведенные ниже формулы

Рассматриваемые теоретические данные показывают достаточную точность расчетов и вполне удовлетворительную сходимость с данными, полученными экспериментально.

Таблица 1

Полученные формулы при различных подачах	
S=1.0мм/об	$T = 0,776 \cdot V^2 \cdot e^{-0.1V}$
S=0.8мм/об	$T = 27,33 \cdot V^{0,42} \cdot e^{-0.035V}$
S=0.5мм/об	$T = 44,32 \cdot V^{0,27} \cdot e^{-0,027V}$
S=2.36мм/об	$T = 8,75 \cdot 10^{-5} \cdot V^7 \cdot e^{-0.35V}$
S=1.5мм/об	$T = 8,13 \cdot V^{1,875} \cdot e^{-0.35V}$
S=1.0мм/об	$T = 124,87 \cdot V^{0,66} \cdot e^{-0,066V}$

Выводы

Установлено что кривая зависимости периода стойкости от скорости резания $T-V$, полученная в ходе производственных испытаний имеет в области практически применяемых значений перегиб этой зависимости или даже максимум.

Особенности зависимости $T-V$ в эксплуатации связаны преимущественно с увеличением доли отказов в связи с разрушением режущей пластины.

Выявлено что тяжелых условиях резания неэффективно работать в зоне малых скоростей, т.к. это не дает на тяжелых карусельных станках увеличения периода стойкости, приводит к росту отказов из-за выкрашивания или разрушения пластины и увеличения вариации периода стойкости.

Перечень источников литературы: 1. Аваков А.А. Физические основы теории стойкости режущих инструментов. –М.: Машгиз. 1960. –308с. 2. Грановский Г.И. Обработка результатов экспериментальных исследований резания металлов. - М.: Машиностроение, 1982. - 112с. 3. Хаег Г.Л., Еськов А.Л., Мироненко Е.В. Выбор и эксплуатация инструмента при использовании гибких инструментальных систем // Машиностроит. Пр-во. Сер. Инструментальное, технологическое и метрологическое оснащение металлообрабатывающего пр-ва: Обзорн.информ., вып. 3 – М.: ВНИИТЭМР, 1991. – 72 с. 4. Вильсон А.Л., Этан А.О. К вопросу оптимизации режимов резания с учетом стохастического характера стойкостных зависимостей // Вестник машиностроения. 1984, № 11, С. 42 -45. 5. Эльязберг М.Е. К теории и расчету устойчивости процесса резания металла на станках. //Станки и инструмент. М.: Машиностроение, 1971. – № 11. – С.6 – 11; №12. – С.1 – 6; 1972. – № 1. – С.1 – 7

Рецензент: **Ковалёв В.Д.**, д.т.н., проф., ДГМА

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ СРЕДНЕГО ПЕРИОДА СТОЙКОСТИ СО СКОРОСТЬЮ РЕЗАНИЯ НА ТЯЖЕЛЫХ КАРУСЕЛЬНЫХ СТАНКАХ

Ковалёв Д.Г., Мироненко Е.В.

В статье рассматривается связь среднего периода стойкости со скоростью резания на тяжелых карусельных станках в условиях пониженной жесткости, применительно к резцовым блокам со сменной многогранной неперетачиваемой пластиной. Построены зависимости показателей периода стойкости и скорости резания для практических условий применения данного инструмента.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗВ'ЯЗКУ СЕРЕДНЬОГО ПЕРІОДУ СТІЙКОСТІ ЗІ ШВИДКІСТЮ РІЗАННЯ НА ВАЖКИХ КАРУСЕЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ

Ковальов Д.Г., Мироненко Є.В.

У статті розглядається зв'язок середнього періоду стійкості зі швидкістю різання на важких карусельних верстатах в умовах зниженої жорсткості, стосовно до різцевим блокам зі змінною багатогранної неперетачиваемой пластиною. Побудовані залежності показників періоду стійкості і швидкості різання для практичних умов застосування даного інструменту.

RESEARCH OF CONNECTION OF MIDDLE PERIOD OF FIRMNESS AT A SPEED OF CUTTING ON THE HEAVY MERRY-GO-ROUND MACHINE-TOOLS

Kovalev D.G., Mironenko E.V.

In the article connection of middle period of firmness is examined at a speed of cutting on heavy merry-go-round machine-tools in the conditions of the lowered inflexibility, as it applies to chisel blocks with a removable many-sided throw-away plate. Dependences of indexes of period of firmness and cutting speed are built for the practical terms of application of this instrument.

Ключевые слова: Инструмент, период стойкости, карусельный станок, жесткость, скорость резания.

Ключові слова: Інструмент, період стійкості, карусельний верстат, жорсткість, швидкість різання.

Keywords: utensils, stoykosty period, karuselnyy machine, zhestkost, velocity rezanyya.

Дата надходження статті: 28 травня 2013 р.

РОЗДІЛ 2 ЯКІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ МЕТАЛОРІЗАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

УДК 621.923

Гусев В.В., Калафатова Л.П., Олейник С.Ю.
ДонНТУ, г. Донецк, ДГМА, г. Краматорск, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ ОПРАВКИ НА ВИБРАЦИИ В ЗОНЕ КОНТАКТА АЛМАЗНОГО КРУГА И ИЗДЕЛИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ ИЗ ХРУПКИХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Введение

Крупногабаритные тонкостенные оболочки вращения из хрупких неметаллических материалов (ХНМ) применяются в авиационной и ракетной отраслях промышленности. Основные эксплуатационные требования, предъявляемые к таким деталям, это обеспечение заданных геометрических характеристик изделия - тонкостенной сложнопрофильной высокоточной оболочки вращения из ХНМ, за счет чего обеспечиваются аэродинамические и радиотехнические свойства деталей при сохранении их высокой прочности даже при высоких температурах.

Заданная высокая точность профиля изделия обеспечивается на операциях механической обработки, которые включают черновые и чистовые операции шлифования внутреннего и наружного контуров, на которых удаляется основной припуск (до 8-9 мм на сторону). При этом алмазно-абразивная обработка ведется способом глубинного шлифования (глубина резания 0,5... 1,5 мм), которое сопровождается хрупким разрушением обрабатываемого материала и формированием нарушенного обработкой дефектного слоя. Алмазное шлифование тонкостенных оболочек вращения происходит в условиях динамической нестабильности процесса, которая обусловлена неравномерной жесткостью подсистемы «шпиндель-оправка-заготовка» по длине оболочки; неравномерностью сил резания в процессе шлифования при перемещении круга по формируемой поверхности изделия; быстрым износом шлифовальных кругов; биением и огранкой алмазного инструмента [1, 2]. В результате формируется профиль изделия, который характеризуется волнистостью с переменными шагом и высотой для различных участков заготовки вдоль её оси. Окончательная механическая обработка поверхности осуществляется доводкой алмазными брусками, которая в виду сложности профиля изделия производится вручную, что увеличивает трудоемкость получения готовой детали. Поэтому важной технологической задачей является повышение качества поверхности детали после алмазно-абразивной обработки.

Для обеспечения заданных прочностных свойств после механической обработки в зависимости от наличия, глубины и структуры нарушенного обработкой поверхностного слоя изделия проводится операция химического травления, на которой полностью удаляется нарушенный обработкой слой, с последующим ионным упрочнением сформированной поверхности.

Спектр колебаний технологической системы (ТС) во время алмазного шлифования обусловлен сложным комплексом взаимодействия свободных, вынужденных, параметрических и автоколебательных процессов. Спектр собственных частот технологической подсистемы «шпиндель-приспособление-заготовка» также достаточно разнообразен и зависит от конструктивных характеристик подсистемы, включая конструкции приспособления - оправки и обрабатываемой заготовки, а также от расположения их друг относительно друга, то есть, от базирования и фиксации заготовки на оправке.

В работах [1, 3] был осуществлен анализ динамического поведения технологической системы алмазного шлифования. По его результатам были разработаны расчетные схемы упругой системы алмазно-абразивной обработки, на основании которых была создана модель динамического поведения ТС с учетом параметрических колебаний заготовки-оболочки [4, 5]. Используя разработанную модель, проведено исследование влияния различных технологических параметров на интенсивность вибраций в зоне контакта инструмента и заготовки.

Вибрации ТС в данном случае рассматриваются как фактор, напрямую влияющий на качество поверхностного слоя, в данном случае его геометрическую характеристику - волнистость. В связи с этим расчет динамических характеристик был приведен к зоне контакта шлифовального круга и заготовки как к пространству, в котором происходит формирование геометрии поверхности изделия.

Ранее было установлено, что основными в спектре колебаний являются вибрации вынужденной и параметрической природы возникновения. При этом вынужденные колебания в большей степени зависят от биения и огранки алмазного шлифовального круга; конструкции приспособления-оправки, характеризующейся его жесткостью, и от величины силы резания. Развитие параметрических колебаний полностью зависит от конструктивных особенностей заготовки – тонкостенной оболочки вращения и её установки на оправке, которое характеризуется расположением опор приспособления относительно поверхностей оболочки, а также от режимов обработки, влияющих на уровень силовой нагрузки на поверхность оболочки при резании и скорость перемещения этой нагрузки по поверхности заготовки.

Рассмотрим подробнее характеристики параметрических колебаний [6, 7]. По внешним проявлениям параметрические колебания сходны с вынужденными, но отличаются тем, что поддерживаются за счет изменения параметров самой системы. При определенных соотношениях между частотами возмущающей силы (в данном случае это радиальная составляющая силы резания) и собственными частотами системы малое начальное возмущение приводит к развитию колебаний большой амплитуды. Резонанс, появляющийся при совпадении частот вынужденных колебаний и собственных колебаний системы, проявляется в виде возрастающих колебаний устойчивой системы. Параметрический резонанс представляет собой возрастающие колебания около неустойчивого положения равновесия, то есть он связан с неустойчивостью равновесного состояния системы, при котором любое случайное возмущение приводит к её раскачиванию. Также при параметрическом резонансе амплитуда колебаний возрастает по экспоненциальному закону, а при обычном резонансе – по линейному.

Малая расстройка механической системы (некоторое изменение параметров, например, их ужесточение или повышение сопротивления) не может стабилизировать ее неустойчивость, тогда как при вынужденных колебаниях амплитуда нарастает до бесконечности только в случае точного резонанса, когда $\omega_g = \omega_c$ (где ω_g , ω_c - вынужденная и собственная частоты механической системы). Добавление линейного затухания также не стабилизирует неустойчивость, а лишь расширяет границы зон устойчивости на диаграмме Айнса-Стретта, на которой в координатах a и q , являющихся коэффициентами уравнения Матье, изображены области устойчивых и неустойчивых состояний исследуемой системы [7]. Области неустойчивости в пространстве параметров a и q , при которых уравнение Матье имеет неограниченное решение, заштрихованы.

Работы, посвященные исследованию параметрических колебаний тонкостенных оболочек при воздействии на них подвижной нагрузки, направлены на исследование устойчивости конструкции оболочек к резонансам параметрического характера. Дифференциальные уравнения, используемые для определения радиального перемещения срединной поверхности рассматриваемого участка оболочки под действием подвижной нормальной локальной нагрузки, приводят к уравнению Матье. Это уравнение детально исследовано математиками и его решения составляют особый класс специальных функций – функции Матье [8]. Попадание коэффициентов уравнения Матье в область неустойчивости говорит о том, что будут наблюдаться низкочастотные колебания с возрастающей амплитудой, величина которой

ограничивается нелинейными свойствами системы. В области устойчивости будут наблюдаться колебания с частотой возбуждающей силы.

Применительно ко всему сказанному можно сделать выводы, что линейное повышение жесткости и демпфирования подсистемы «шпиндель-оправка-заготовка» (увеличение количества опор, «увеличение толщины оболочки») не обязательно приведет к повышению устойчивости системы относительно параметрических колебаний оболочки, поэтому в расчетах необходимо учитывать нелинейные эффекты.

Целью работы является исследование возможности сокращения вибраций в зоне контакта алмазного круга и заготовки при изменении расположения опор оправки (без увеличения их количества) относительно устанавливаемой на ней заготовки – сложнопрофильной оболочки.

Основная часть

В данной работе на основе разработанной динамической имитационной модели в системе Matlab Simulink [5] проводится оценка амплитуды и частоты колебаний в зоне контакта алмазного круга и заготовки, а также рассчитываются коэффициенты уравнения Матье a и q по данным работ [9] для установления устойчивости ТС алмазной обработки тонкостенных оболочек к параметрическим колебаниям.

При наружном шлифовании оболочки (рис. 1) заготовка устанавливается на оправку. Конструкция приспособления, применяемого на операции шлифования рассматриваемых изделий, представляет собой двухопорную оправку 1, на цилиндрической части соединительных поверхностей которой расположены ребра жесткости. В качестве опорных элементов применяют гетинаксовые втулки.

Повышение точности формирования поверхности изделия за счет изменения конструкции оправки рассматривалось ранее в работе [10], однако в расчетах не учитывалось, что причиной низкочастотных вибраций являются параметрические колебания стенки оболочки, поэтому указанные разработки в основном направлены на снижение статической деформации стенки.

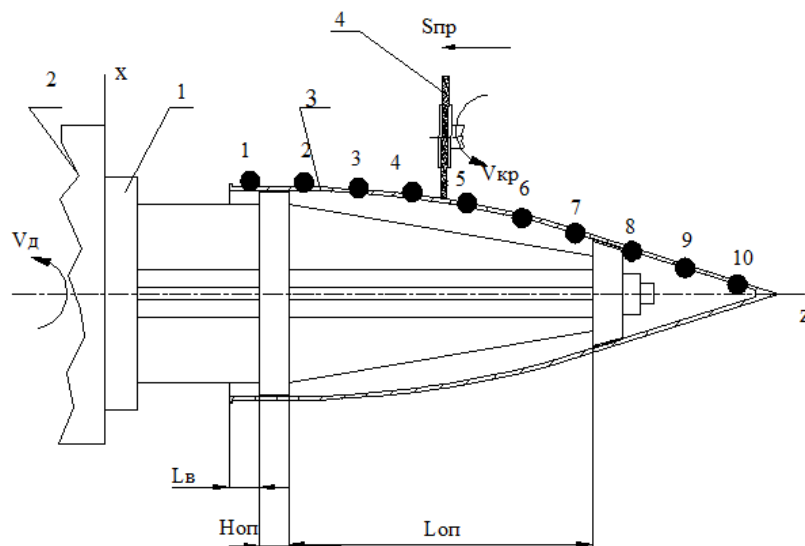


Рис. 1. Схема установки заготовки на операции наружного шлифования изделия:
1 – приспособление-оправка; 2 – шпиндельный узел станка; 3 – формируемый контур изделия; 4 – алмазный круг АІ 200х10х3х76 А 315/250-4- М2-01

Геометрические характеристики заготовки: диаметр цилиндрической части 350 мм, общая длина 907 мм, толщина стенки 7 мм, угол полураствора конуса 17° . На рис. 1 точкам обозначены зоны расчета устойчивости и характеристик параметрических колебаний при контакте круга с заготовкой в процессе резания. Расположение оправки относительно поверхности заготовки определим через три параметра: длину вылета заготовки относительно оправки (L_B), толщину опор (H_{on}), расстояние между опорами (L_{on}).

Динамическое поведение оболочки зависит от расположения опор оправки по отношению к внутренней поверхности заготовки. Для определения наиболее устойчивой установки оболочки рассмотрим различные варианты расположения опор. Выбор исходных конструкций оправок обусловлен: 1) конструкторско-технологическими возможностями установки заготовки на оправку (невозможность установить заготовку по её внутреннему параболическому профилю); 2) максимальным числом вариантов возможных расположений опор.

В таблице 1 приведены исходные данные рассматриваемых вариантов конструкции оправок и результаты расчетов собственных частот и форм колебаний. Собственные частоты и формы колебаний (Ω_c – низшая собственная частота подсистемы «оправка-заготовка», Ω_{c_0} – низшая собственная частота заготовки-оболочки, n – количество волн по окружности заготовки, m – количество волн вдоль оси заготовки) получены расчетным путем в программе Solid Works Simulation.

Сравнительные характеристики величины амплитуды колебаний в зоне контакта круга с заготовкой вдоль ее оси представлены: для первых трех вариантов конструкции опор на рис. 2, для 4, 5, 6 вариантов – на рис. 3. Расчеты сделаны для режимов резания: глубина $t_0 = 1$ мм, подача $s = 0,5$ мм/об, частота вращения детали $n = 73$ об/мин, скорость круга $v_k = 40$ м/с. Первый вариант (вариант 1), применяемый в производственных условиях, принят за «базовый».

Таблица 1

Исходные данные рассматриваемых вариантов конструкции оправок

№ варианта	L_B , мм	H_{on} , мм	L_{on} , мм	Расчетные собственные частоты и формы колебаний элементов ТС			
				Ω_c , Гц	Ω_{c_0} , Гц	n	m
I Перемещение оправки внутрь заготовки без изменения расстояния между опорами							
1	0	50	500	130	1304	3	1
2	50			140	1356		
3	100			151	1274		
II Перемещение опоры по цилиндрической поверхности с уменьшением расстояния между опорами							
4	50	50	450	125	1428	3	1
5	100		400	120	1565		
III Минимально возможное расстояние между опорами оправки (L_{on}) для данной конструкции заготовки-оболочки							
6	100	50	370	120	1581	3	1

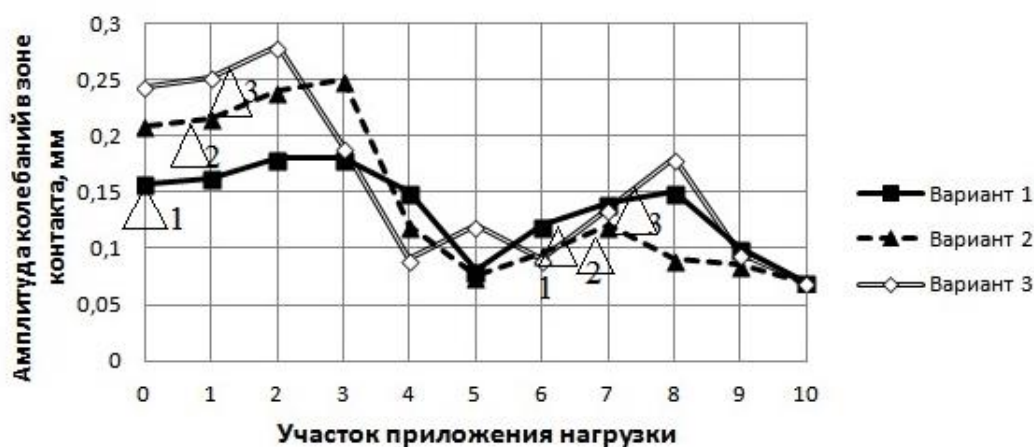


Рис. 2. Изменение амплитуды колебаний в зоне контакта круга и заготовки вдоль оси заготовки для вариантов 1, 2, 3



Рис. 3. Изменение амплитуды колебаний в зоне контакта круга и заготовки вдоль оси заготовки для вариантов 4, 5, 6

Из рисунка 2, 3 видно, что минимальная амплитуда колебаний на участках 10 – 7 (см. рис. 1) - до конусной опоры, наблюдается для варианта 2 (см. рис. 2). Для дальнейшего определения конструкции оправки закрепим местоположение этой опоры. Минимальная амплитуда на параболическом участке заготовки (точки 7 – 3) наблюдается для варианта 1 (см. рис. 2, 3). Таким образом, конструкцию оправки, при которой возможны минимальные вибрации при её «двухопорном» варианте, можно описать через уровень параметров: $L_B = 0$, $H_{on} = 50$ мм, $L_{on} = 550$ мм. Расстояние между опорами увеличивается, что делает её менее жесткой по сравнению с уже рассмотренными конструкциями оправок, где это расстояние L_{on} колебалось от 370 до 500 мм.

На рис. 4 представлен фрагмент диаграммы Айнса-Стретта для условий крепления заготовки, приведенных в таблице 1.

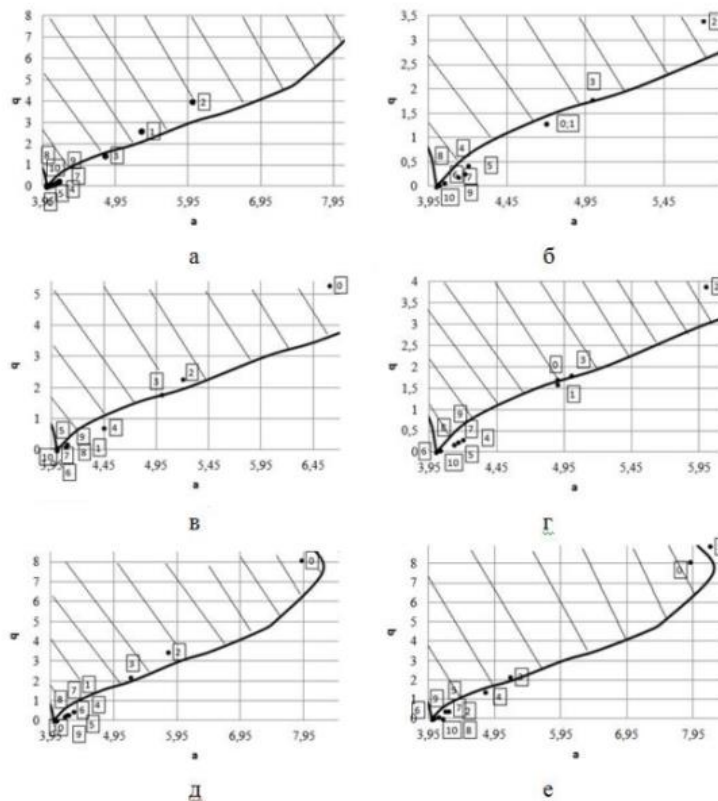


Рис. 4. Фрагмент диаграммы Айнса-Стретта для условий, приведенных в таблице 1. Область неустойчивости заштрихована

Диаграмма устойчивости (см. рис.4, где а, б, в, г, д, е - соответственно варианты конструкции опор 1, 2, 3, 4, 5, 6 согласно табл. 1) показала, что наиболее неустойчивыми являются участки заготовки 1, 2 и 3, причем даже минимально возможное относительное расположение опор, как в варианте б, не убирает полностью неустойчивые состояния оболочки. На участках 10 - 4 получено устойчивое состояние заготовки - тонкостенной оболочки.

Поэтому далее был дополнительно проведен расчет для условий, когда в конструкцию оправки вносились изменения за счет перемещения опоры в цилиндрической части заготовки. То есть, рассматривались конструкции оправок с неподвижной опорой в конической части заготовки и переменным положением относительно нее опоры в цилиндрической части (табл. 2).

Таблица 2

Исходные данные рассматриваемых вариантов конструкции оправок

№ варианта	L_B , мм	H_{on} , мм	L_{on} , мм	Ω_c , Гц	Ω_{c0} , Гц	n	m
1	0	50	550	130	1345	3	1
2	10		540		1348		
3	20		530		1355		
4	30		520		1361		
5	40		510		1370		

Результаты расчета величин амплитуд колебаний для всех вариантов конструкций оправок (см. табл. 2) представлены на рис. 5.



Рис. 5. Изменение амплитуды колебаний в зоне контакта круга и заготовки вдоль оси заготовки для условий в таблице 2

Изменение положения цилиндрической опоры с последующим изменением величин L_B и L_{on} показало максимальное расхождение амплитуд в точках 1 (размах значений составил 0,13 мм), 2 (размах значений – 0,13 мм), 3 (размах значений – 0,14 мм), где наблюдаются неустойчивые состояния оболочки относительно параметрических колебаний.

Чтобы оценить данные по конструкциям оправок, представленные на рис. 5, получим для каждого варианта оправок среднее значение амплитуды колебаний по длине оболочки, размах их вариации и среднее линейное отклонение величины амплитуды колебаний (табл. 3).

Таблица 3

Статистические оценки амплитуды колебаний в зоне контакта заготовки и круга для вариантов оправок (по табл. 2)

№ варианта	Среднее значение амплитуды, мм	Размах вариации амплитуд, мм	Среднее линейное отклонение амплитуды колебаний, мм
1	0,132	0,16	0,036
2	0,104	0,14	0,021
3	0,102	0,07	0,005
4	0,122	0,17	0,025
5	0,128	0,14	0,035

На діаграмме Айнса-Стретта для умовий табл. 2 (рис. 6) представлені устойчиві і неустойчиві відносно параметричних коливань області оброблюваної оболочки.

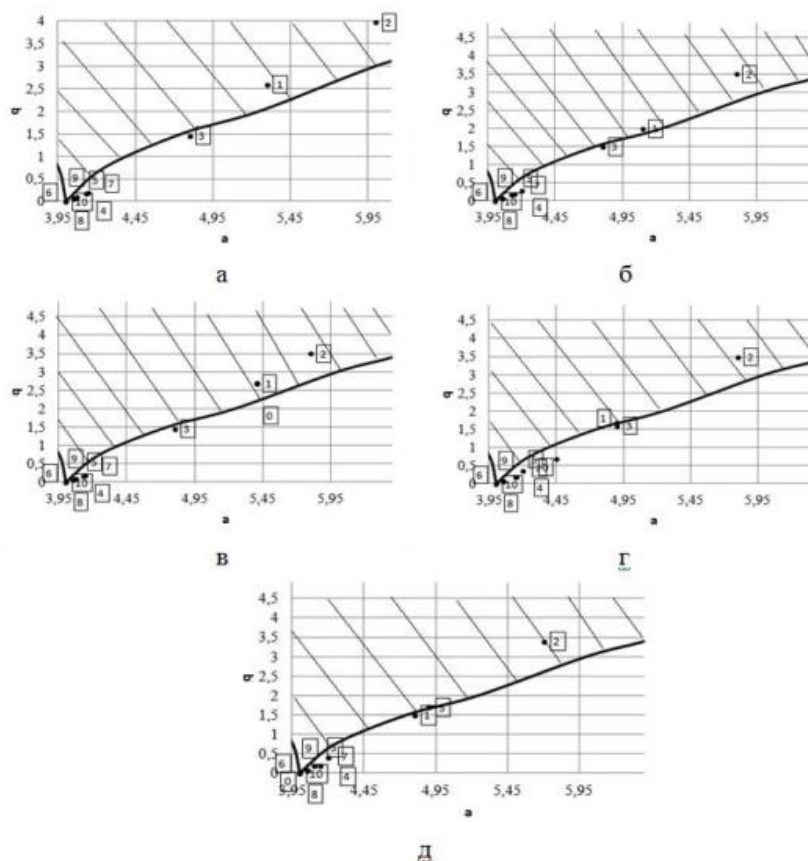


Рис. 6. Фрагмент діаграмми Айнса-Стретта для умовий табл. 2. Область неустойчивості заштрихована

Діаграма стійкості (см. рис. 6, де а, б, в, г, д - відповідно варіанти конструкції опор 1, 2, 3, 4, 5 згідно табл. 2) показала, що неустойчивими до параметричним коливанням для розглянутих варіантів конструкції оправки являються частки заготовки 1 і 2.

Из рис. 5 и табл. 3 видно, что наиболее приемлемым вариантом конструкции оправки является вариант 3 с параметрами $L_B = 20$ мм, $H_{On} = 50$ мм, $L_{On} = 530$ мм.

На рис. 7 представлена сравнительная характеристика «новой» конструкции оправки и «базовой»



Рис. 7. Изменение амплитуды колебаний в зоне контакта круга и заготовки вдоль оси заготовки для конструкции оправок «базовой» и «новой»

Параметры колебаний для конструкций оправок «базового» и «нового» вариантов составят, соответственно, следующие значения: средняя величина амплитуды колебаний 0,133 мм и 0,102 мм, что составляет снижение амплитуды на 23%; размах вариаций значений амплитуд колебаний в зоне контакта 0,11 мм и 0,07 мм; среднее линейное отклонение 0,014 мм и 0,005 мм. Таким образом, за счет изменения конструкции оправки достигнуто существенное снижение вибраций в зоне контакта, что положительно скажется на точности и качестве обработки изделия.

Выводы

В работе была исследована возможность уменьшения вибраций в зоне контакта алмазного круга и заготовки за счет изменения расположения опор оправки (без увеличения их количества) относительно устанавливаемой на ней заготовки. Расчеты интенсивности колебаний были выполнены при помощи динамической модели, реализованной в пакете Matlab Simulink. В результате с учетом условий, ограничивающих расстановку опор, была получена конструкция «двухопорной» оправки, при которой возможно снижение амплитуды колебаний до 23 % по сравнению с базовым вариантом конструкции оправки. Однако и при использовании «новой» конструкции оправки существуют зоны неустойчивости к параметрическим колебаниям заготовки-оболочки (точки 1 и 2 на рис. 1). Для получения более устойчивой установки заготовки-оболочки в приспособлении необходим расчет трехопорных и четырехопорных оправок.

Перечень источников литературы: 1. Гусев В.В. Исследование динамических характеристик элементов системы СПИД при шлифовании деталей сложной пространственной формы из ситаллов / В.В. Гусев, Л.П. Калафатова, И.С. Каракуц, Д.В. Поколенко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – 2007. – №21. – С. 148 – 155. 2. Гусев В.В. Влияние динамики процесса алмазного шлифования на формирование поверхностного слоя изделий из ситаллов / В.В. Гусев, Л.П. Калафатова, Д.В. Поколенко // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2007. - № 2. – С. 14 – 17. 3. Гусев В.В. Повышение качества алмазного шлифования тонкостенных оболочек из ситалла путем снижения вибраций в технологической системе / В.В. Гусев, Л.П. Калафатова, С.Ю. Олейник // Наукові праці ДонНТУ. - 2010. - №7 (166). - С. 156-167. 4. Гусев В.В. Обоснование расчетной схемы для исследования динамического состояния технологической системы алмазно-абразивной обработки тонкостенных оболочек из ситалла / В.В. Гусев, Л.П. Калафатова, С.Ю. Олейник // Сучасні технології в машинобудуванні. - 2011. - №6. - С. 14-23. 5. Гусев В.В. Исследование динамического состояния технологической системы алмазно-абразивной обработки тонкостенных оболочек из ситаллов / В.В. Гусев, Л.П. Калафатова, С.Ю. Олейник // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вип. 128/2012. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. — Севастополь, 2012. - С. 60-67. 6. Вольмир А.С. Нелинейная динамика пластинок и оболочек / А.С. Вольмир – М.: Наука, 1972. – 432 с. 7. Шмидт Г. Параметрические колебания / Пер. с нем. В.М. Старжинского. – М.: Мир, 1978. – 336 с. 8. Вибрации в технике: справочник: в 6 т. / [ред. Челомей В.Н.]. — М.: Машиностроение, 1978. Т. 1: Колебания линейных систем / [ред. Болотин В. В.]. - 1978. - 352 с. 9. Якушев Н. З. Коническая оболочка под действием подвижных нагрузок / Н. З. Якушев, Р. С. Якушев // Исследования по теории пластин и оболочек. - 1975. - № 11. - С. 303-316. 10. Пат. 2258596 С1 Российская Федерация, В24В5/16. Устройство для механической обработки крупногабаритных сложнопрофильных керамических изделий / Суздальцев Е.И., Хамицаев А.С., Харитонов Д.В; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие «Обнинское научно-производственное предприятие «Технология». - № 2003134137/02; заявл. 24.11.03; опубл. 20.08.05, Бюл. № 23. – 4 с.

Рецензент: **Ковалев В.Д.**, д.т.н., проф., ДГМА

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ ОПРАВКИ НА ВИБРАЦИИ В ЗОНЕ
КОНТАКТА АЛМАЗНОГО КРУГА И ИЗДЕЛИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ
КРУПНОГАБАРИТНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ ИЗ ХРУПКИХ
НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Гусев В.В., Калафатова Л.П., Олейник С.Ю.

В статье рассчитана амплитуда колебаний в зоне контакта алмазного шлифовального круга и детали для возможных вариантов конструкции оправки. Для всех вариантов конструкций определена устойчивость заготовки тонкостенной оболочки к возникновению параметрических колебаний. По результатам расчетов определена конструкция оправки, при которой возможно снижение уровня вибраций в зоне контакта во время шлифования.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКЦІЇ ОПРАВКИ НА ВІБРАЦІЇ В ЗОНІ КОНТАКТУ
АЛМАЗНОГО КРУГА І ЗАГОТОВКИ ПІД ЧАС ШЛІФУВАННЯ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ
ТОНКОСТІННИХ ОБОЛОНОК ОБЕРТАННЯ З КРИХКИХ НЕМЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ.

Гусев В.В., Калафатова Л.П., Олійник С.Ю.

У статті розрахована амплітуда коливань у зоні контакту алмазного шліфувального круга і деталі для можливих варіантів конструкції оправки. Для всіх варіантів конструкцій визначена стійкість заготовки тонкостінної оболонки до виникнення параметричних коливань. За результатами розрахунків визначена конструкція оправки, при якій можливе зниження рівня вібрацій в зоні контакту під час шліфування.

RESEARCH OF INFLUENCE OF CONSTRUCTION OF MOUNTING ON THE
VIBRATION IN THE AREA OF CONTACT OF DIAMOND GRINDING WHEEL AND
WORKPIECE AT GRINDING OF THE LARGE CAPACITY THIN-WALLED SHELLS FROM
BRITTLE NON-METAL MATERIALS.

Gusev V. V., Kalafatova L. P., Oleynik S. Yu.

In the article, amplitude of vibrations in the area of contact of diamond grinding wheel and part is calculated for the variants of construction of mounting. Stability of the parametric oscillations the thin-walled shell is work out for all variants constructions. The construction of mounting at which the decrease of vibrations in the area of contact during grinding is certain.

Ключевые слова: алмазное шлифование, ситаллы, тонкостенные оболочки, динамика технологической системы, волнистость поверхности.

Ключові слова: алмазне шліфування, ситали, тонкостінні оболонки, динаміка технологічної системи, хвилястість поверхні.

Keywords: diamond grinding, glass-ceramic, thin-walled shells, dynamics of the technological system, waviness of surface.

Дата надходження статті: 30 квітня 2013

УДК 621.9

Ковалев В. Д., Мельник М. С.
ДГМА, г Краматорск, Украина

ПОВЫШЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ОПОР ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С ДВУМЯ ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩИМИ ЗВЕНЬЯМИ.

Введение

Преимущества применения гидростатических направляющих и шпиндельных опор в тяжелых металлорежущих станках общеизвестны. Это в первую очередь низкий коэффициент трения, не зависящий от скорости скольжения, высокая демпфирующая способность, практически полное отсутствие износа, а также в ряде случаев меньшая стоимость в сравнении с крупногабаритными опорами качения высокой точности. Однако им присущ существенный недостаток – пониженная жесткость масляного слоя и зависимость его толщины от температуры.

Обзор состояния проблемы.

Кроме основных параметров, таких как площадь опорной поверхности, толщина масляного слоя, вязкость масла и т.д., на жесткость гидростатических опор существенное влияние оказывает применяемая схема питания и регулирования. Проблема пониженной жесткости сильнее всего проявляется в опорах с дроссельной системой питания. Согласно [1] жесткость масляного слоя незамкнутой гидростатической опоры с дроссельным питанием описывается выражением:

$$C = \frac{3F \left(1 - \frac{p_k}{p_n}\right)}{h}$$

где F – грузоподъемность опоры или одного кармана
 p_k – номинальное давление в кармане
 p_n – номинальное давление насоса
 h – номинальная толщина масляного слоя.

Из данного выражения видно, что повышать жесткость можно двумя путями: увеличивая давление насоса и уменьшая толщину масляного слоя. При этом максимальная теоретическая жесткость при заданной толщине масляного слоя достигается при $p_n \rightarrow \infty$, что на практике, разумеется, не реализуемо и энергетически не выгодно. Уменьшение толщины масляного слоя тоже имеет свой предел и ограничено точностью изготовления сопрягаемых поверхностей направляющих и жесткостью конструктивных элементов направляющих.

Жесткость направляющих с системой питания насос-карман выше, чем при дроссельной схеме питания и соответствует жесткости последних при $p_n \rightarrow \infty$, то есть описывается выражением

$$C = \frac{3F}{h}$$

Известны также регуляторные схемы питания с положительной обратной связью по давлению [1], [2]. В них используются мембранные или золотниковые регуляторы, представляющие собой, по сути, автоматически управляемые дроссели, работающие в режиме регулирования расхода, причем регулирование расхода производится приблизительно пропорционально давлению в кармане. Изменяя коэффициент пропорциональности можно повышать жесткость масляного слоя, а также добиться перекомпенсации или отрицательной жесткости, когда при увеличении нагрузки на опору толщина масляного слоя будет увеличиваться. Идеальный режим работы регулятора – это режим, при котором характеристики регулятора обеспечивают постоянство сопротивления истечения масла через

карман, а значит и постоянство толщины масляного слоя независимо от нагрузки. Этот режим соответствует бесконечно большой жесткости масляного слоя.

Вместе с тем регуляторные схемы питания также не лишены недостатков. В первую очередь это существенная зависимость толщины масляного слоя от вязкости масла, а значит и от температуры, что вызвано существенной нелинейностью расходной характеристики регулятора. Во вторых обеспечить на практике желаемые характеристики регулятора с высокой точностью достаточно сложно, что обусловлено несовершенством методик расчета. Например, определение гидравлического сопротивления регулятора в функции от давления с учетом упругих деформаций мембраны, корпуса и крепежных элементов, а также с учетом возможного изменения режима движения жидкости в дросселирующем зазоре и вихреобразования на кромках проточных каналов представляется сложной наукоемкой задачей, для решения которой нет простых и в тоже время точных инженерных методик. Второй недостаток зачастую преодолевается созданием конструкций регуляторов с возможностью регулирования параметров.

Все перечисленные схемы питания с точки зрения теории автоматического управления представляют собой системы автоматического регулирования (САР) толщины масляного слоя. Причем первые две являются простыми однопетлевыми САР с отрицательной обратной связью по гидравлическому сопротивлению кармана и пропорциональным регулированием. Регуляторная схема питания является компенсационной САР с нелинейным элементом. Первый вид САР относится к статическим и характеризуется обязательным наличием статической ошибки, пропорциональной величине возмущающего воздействия. Эта ошибка заложена в принципе действия пропорциональных САР: управляющее воздействие на объект управления появляется только тогда когда появляется ошибка управления. Следовательно путем увеличения глубины обратной связи можно только уменьшить величину ошибки но нельзя полностью устранить.

Принцип действия компенсационных САР состоит в измерении не ошибки, а возмущающего воздействия и создании на его основе управляющего воздействия равного по величине и противоположного по знаку возмущающему воздействию. Данный тип САР потенциально позволяет свести ошибку управления к нулю. На практике величина ошибки такой САР определяется точностью параметров звеньев САР, а обеспечение этой точности, как указывалось выше, сопряжено с существенными конструкторскими и технологическими трудностями.

В теории автоматического управления известны так называемые астатические САР, в которых управляющее воздействие формируется на основе измерения ошибки управления, но при этом они позволяют в установившемся режиме свести эту ошибку к нулю. Для этого в состав САР должен входить интегральный или пропорционально-интегральный регулятор, то есть звенья, поведение которых описывается одним из следующих уравнений:

$$y = k_i \int \Delta x dt \quad \text{– для интегрального регулятора,}$$

$$y = k_p \Delta x + k_i \int \Delta x dt \quad \text{– для пропорционально-интегрального регулятора,}$$

где y – выходной сигнал звена (например давление или гидравлическое сопротивление), Δx – входной сигнал звена – ошибка управления (в данном случае – отклонение толщины масляного слоя от заданной),

k_i , k_p – коэффициенты соответственно интегральной и пропорциональной передачи;

t – время.

В [2] описывается пример схемы питания гидростатической опоры с применением интегрального регулятора (рис.1). Для этого опора оснащается индуктивным датчиком толщины масляного слоя, сигнал от которого суммируется с некоторой постоянной величиной от задающего устройства. Суммарный сигнал управляет частотой вращения маломощного серводвигателя, вал которого связан с валом дифференциального механизма.

Второй вал дифференциального механизма приводится от синхронного электродвигателя со строго фиксированной частотой вращения. Направления вращения двигателей выбраны так, что выходной вал дифференциального механизма вращается с разностной частотой и приводит в движение золотник, регулирующий подачу масла в карман опоры. Таким образом, изменение положения золотника направлено в сторону уменьшения ошибки и происходит до тех пор, пока ошибка не равна нулю.

Важным достоинством этой схемы питания является возможность уменьшения ошибки в установившемся режиме до нуля, и независимость этой возможности от точности параметров звеньев системы. Однако это выполняется только для установившегося режима, когда возмущающие факторы не изменяются во времени. Если же скорость изменения нагрузки (возмущающего фактора) соизмерима или превосходит скорость перестройки золотника для данной величины возмущения, то жесткость такой опоры практически равна жесткости аналогичной опоры с дроссельной схемой питания и таким же давлением насоса. То есть применение такой системы дает положительный эффект по точности обработки только при весьма стабильном процессе резания, что на практике имеет место крайне редко.

Целью работы является: создание системы автоматического регулирования давления в карманах гидростатической опоры, обеспечивающей условно-бесконечную жесткость масляного слоя как в статическом так и в динамическом режиме.

Повысить быстродействие САР можно путем применения дифференциальной составляющей в регуляторе, т.е. за счет применения пропорционально интегрально дифференциального (ПИД) регулятора, поведение которого описывается уравнением:

$$y = k_n \Delta x + k_i \int \Delta x dt + k_d \frac{d(\Delta x)}{dt}$$

За счет третьего слагаемого САР получает возможность учитывать скорость изменения ошибки и пропорционально ей корректировать управляющее воздействие. Это позволяет уменьшить время реакции системы на быстроменяющееся возмущение и соответственно уменьшить время переходного процесса. Однако полностью устранить динамическую ошибку и в этом случае нельзя, поскольку коррекция управляющего воздействия имеет место только тогда, когда

$$k_d \frac{d(\Delta x)}{dt} \neq 0,$$

т.е. когда скорость изменения ошибки не равна нулю и толщина масляного слоя уже изменяется под действием возмущающего воздействия. Кроме того, степень повышения быстродействия и качество переходного процесса зависят от точности расчета и установки коэффициента дифференциальной передачи k_d .

Согласно принципу действия компенсационных САР для полного устранения динамической ошибки система должна в каждый момент времени получать точную информацию о величине и направлении возмущающего воздействия и без запаздывания создавать компенсирующее воздействие, равное по величине и противоположное по направлению. Для случая гидростатических направляющих возмущающим воздействием являются внешние силовые нагрузки, действующие на подвижный узел, а точнее их составляющие перпендикулярные рабочей поверхности направляющих. К таким нагрузкам относятся: силы резания, вес заготовки или инструмента, силы инерции и моменты от перечисленных сил. Компенсирующим воздействием будет изменение давления в карманах гидростатической опоры, которое приведет к соответствующему изменению гидростатической подъемной силы. Управление давлением в карманах гидростатической опоры на практике реализовано различными способами и не представляет технической или технологической сложности. Следовательно, основной проблемой является точное измерение мгновенного значения нагрузки, действующей на гидростатическую опору.

Анализ современных средств измерения силовых параметров показал, что непосредственное измерение силы без вмешательства в систему невозможно. Все измерительные преобразователи построены на принципе косвенного измерения силы через упругую деформацию. Установка такого преобразователя лишает смысла создания САР, поскольку повышение жесткости масляного слоя достигается ценой снижения жесткости подвижного узла из-за встраивания нежесткого датчика. Исключение составляют пьезоэлектрические и магнитоупругие преобразователи. Однако первые не способны измерять абсолютное значение силы, и имеют большую погрешность при измерении медленноменяющихся сил, а магнитоупругие преобразователи имеют малый диапазон измерения, существенную нелинейность и временную нестабильность передаточной характеристики, а также конструкцию неудобную для встраивания, например в суппорт токарного станка. Кроме того, установка как пьезоэлектрического, так и магнитоупругого преобразователя, также приведет к снижению жесткости подвижного узла.

Решить вопрос измерения силы можно достаточно просто, если обратиться к третьему закону Ньютона:

$$\sum_x F = m \frac{d^2 x}{dt^2}$$

где $\sum_x F$ – сумма проекций всех сил, действующих на подвижный узел, на ось x , перпендикулярную рабочей поверхности направляющих;

m – масса подвижного узла.

То есть, при известной массе подвижного узла для измерения силы достаточно знать вторую производную по времени от толщины масляного слоя. При этом для случая с постоянной массой подвижного узла, то справедливо для подвижных узлов, несущих инструмент, структура САР будет аналогична структуре САР с ПИД – регулятором, отличием будет только наличие второго дифференцирующего звена. Что касается подвижных узлов несущих заготовку, где масса изменяется в процессе обработки, то здесь точность компенсации неизбежно снизится. Но и в этом случае можно измерять массу косвенно: для узлов движущихся горизонтально – через среднее давление в карманах гидростатической опоры при отсутствии резания, для узлов движущихся вертикально – через ток двигателя привода подачи за вычетом сил трения в передаче в состоянии останова и без резания.

Для практической реализации рассмотренного технического решения на существующем оборудовании наиболее подходящим вариантом являются направляющие со схемой питания насос-карман. Модернизация заключается в установке на каждый карман быстродействующего датчика зазора, например индуктивного типа, и установке на питающую магистраль кармана управляемого по давлению предохранительного клапана. Один из вариантов конструкции такого клапана показан на рис. 1.

Этот клапан отличается от обычного предохранительного клапана тем, что вместо нажимной пружины в нем установлено нажимное устройство магнитоэлектрической системы. Давление открывания такого клапана определяется выражением:

$$p_{\text{откр}} = \frac{F \pi d^2}{4}$$

где F – усилие нажимного устройства;

d – диаметр керн 2 клапана.

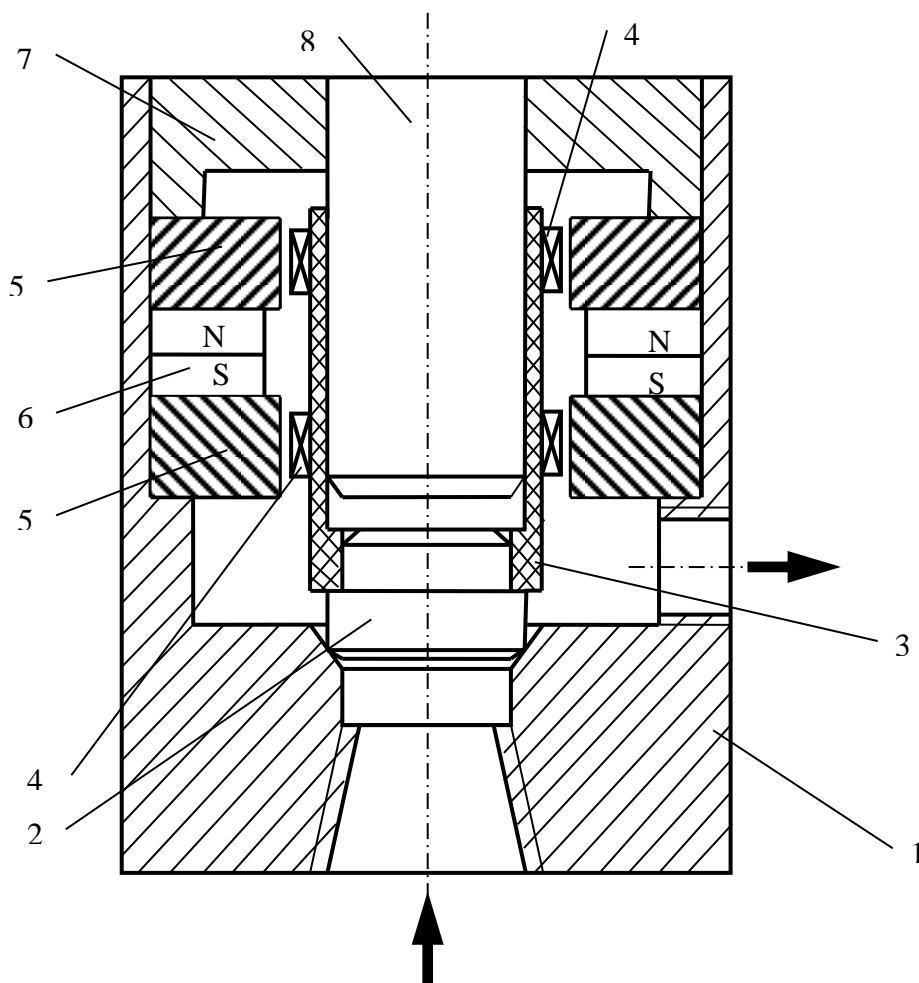


Рис. 1. Управляемый предохранительный клапан.

1 – корпус из немагнитного сплава; 2 – керн; 3 – диэлектрический каркас; 4 – катушка; 5 – магнитопровод; 6 – постоянный магнит; 7 – крышка; 8 – направляющий стержень.

В свою очередь усилие F нажимного устройства определяется по закону Ампера:

$$F = B \times I \times L$$

где B – магнитная индукция в рабочем зазоре устройства, определяемая параметрами постоянного магнита 6;

I – величина тока в катушке 4;

L – рабочая длина проводника в катушке 4.

Такое устройство справедливо будет назвать не клапаном, а регулятором, поскольку в пределах диапазона регулирования системы оно должно работать в режиме дросселирования. Этот факт обуславливает высокое быстродействие такого регулятора, которое ограничивается только временем перемещения керна 2 с каркасом 3 и катушками 4 на величину изменения дросселирующего зазора между керном и седлом корпуса, а также электромагнитной постоянной времени электрической цепи.

Структурная схема САР показана на рис 2. Она является простейшим вариантом для случая с постоянной массой подвижного узла. Для случая с переменной массой система может быть дополнена звеньями, обеспечивающими однократное или периодическое измерение массы подвижного узла в те моменты времени, когда он не нагружен больше никакими другими силами. Это особенно удобно реализовать на станках, оснащенных системой ЧПУ, которая на основе технологической информации будет вырабатывать сигнал разрешения измерения массы.

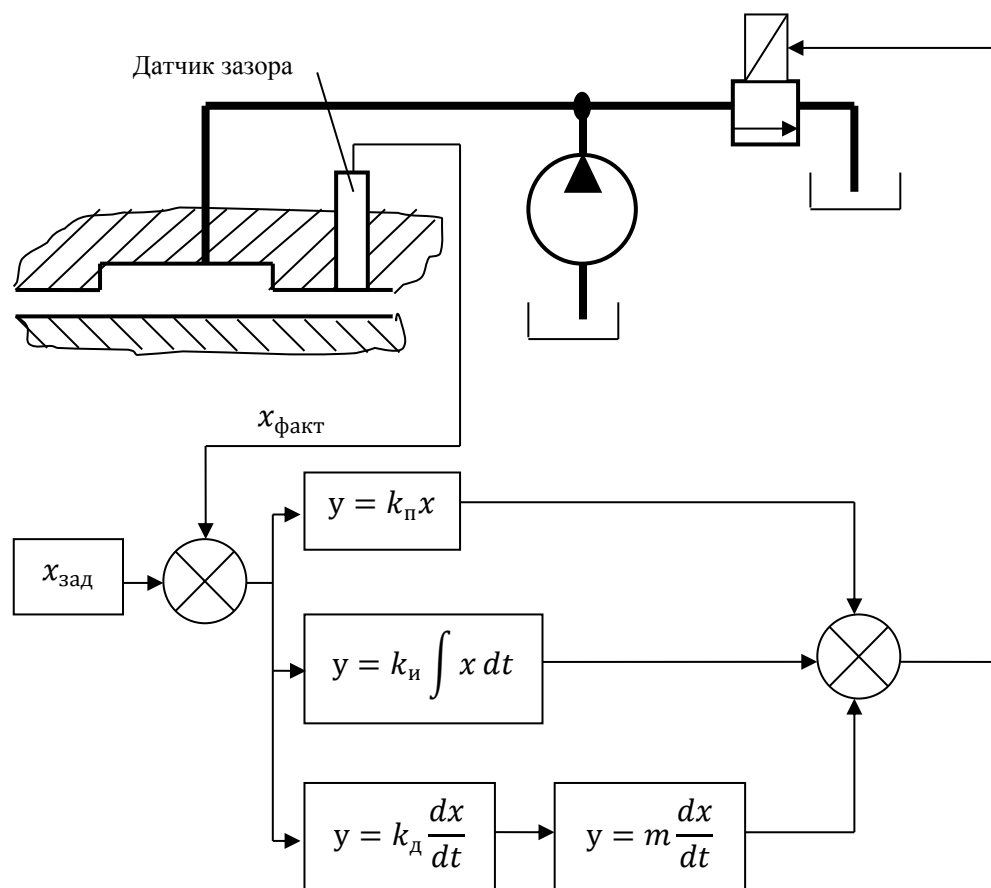


Рис. 2. Структурная схема САР

Для практической реализации вычислительных звеньев САР рационально использовать электронные средства, поскольку датчик зазора и управляемый клапан являются электромеханическими устройствами. Описание вариантов схмотехнической реализации вычислительных звеньев достаточно подробно изложено в соответствующей литературе, например в [3], [4] и выходит за рамки настоящей статьи. Следует отметить только то, что на данном уровне развития электроники целесообразно реализовывать данную систему на основе микропроцессорных устройств.

Выводы

На основе проведенных теоретических рассуждений предложенное техническое решение должно обеспечить условно-бесконечную жесткость масляного слоя в статическом режиме и сокращение динамической ошибки во время переходных процессов до уровня собственных шумов и погрешностей звеньев системы, при условии, что скорость изменения возмущающего воздействия в несколько раз меньше быстродействия наиболее медленного звена системы, в данном случае регулятора давления.

Рассмотренная проблема достаточно актуальна для тяжелых металлорежущих станков высокой точности, поскольку жесткость масляного слоя составляет весомую долю в общем балансе жесткости станка (в зависимости от конструкции от 5% до 50%), а повышение жесткости станка в целом позволяет равноценно повысить производительность без потери точности.

Дальнейшими этапами работы в данном направлении является экспериментальная проверка работоспособности и эффективности предложенного технического решения, разработка математических моделей для повторного проектирования системы, а также разработка схмотехнических и алгоритмических решений для управляющей части системы.

Перечень источников литературы: 1. Решетов Д. Н., В. В. Каминская, А. С. Лapidус, и др. Детали и механизмы металлорежущих станков/ Общие основы конструирования; направляющие и несущие системы. – (том 1)// М.: Машиностроение, 1972. – 664 с. 2. Бушуев В. В. Гидростатическая смазка в станках. – 2-е изд. пераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 176с. ISBN 5-217-00444-4. 3. Теория автоматического управления технологическими системами: учебное пособие для студентов вузов/ Петраков Ю.В., Драчев О.И. – 1-е изд. // М.: Машиностроение, 2008. – 336 с. 4. Лебедев А. М. Следящие электроприводы станков с ЧПУ / А. М. Лебедев, Р. Т. Орлова, А. В. Пальцев. – М.: Энергомашиздат, 1988. – 223с. ISBN 5-283-00582-8

Рецензент: **Гузенко В.С.**, к.т.н., проф., ДГМА

ПОВЫШЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ОПОР ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С ДВУМЯ ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩИМИ ЗВЕНЬЯМИ.

Ковалев В. Д., Мельник М. С.

Рассмотрены вопросы повышения жесткости масляного слоя в гидростатических направляющих. Выявлены недостатки существующих систем регулирования давления в карманах гидростатических опор. Предложена структура системы автоматического регулирования давления в кармане опоры с управлением по возмущающему воздействию.

ПІДВИЩЕННЯ ЖОРСТКОСТІ ГІДРОСТАТИЧНИХ ОПОР ЗА РАХУНОК ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ З ДВОМА ДИФЕРЕНЦІЮЮЧИМИ ЛАНКАМИ.

Ковальов В. Д., Мельник М. С.

Розглянуті питання підвищення жорсткості мастильного шару в гідростатичних напрямних. Виявлено недоліки існуючих систем регулювання тиску в кишнях гідростатичної опори. Запропоновано структуру системи автоматичного регулювання тиску у кишні опори з керуванням по впливу збурення.

INCREASSNG OF RIGIDITY OF HYDROSTATIC SUPPORTS BY APPLICATION OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM WITH TWO DIFFERENTIATING LINK.

Kovalev V.D., Melnik M.S.

The questions of increasing to acerbity layer lubricant in hydrostatic directing are considered. The defects of existing systems of the regulation of the pressure in pocket hydrostatic supports are revealed. The structure of the system of the automatic regulation of the pressure in pocket hydrostatic support with control on outraging influence is offered.

Ключевые слова: гидростатическая опора, регулятор, автоматическое регулирование, управление, жесткость.

Ключові слова: гідростатична опора, регулятор, автоматичне регулювання, управління, жорсткість.

Keywords: hydrostatic support, regulator, automatic regulation, control, rigidity.

Дата надходження статті: 15 травня 2013 р.

УДК 621.9

Клименко Г.П. Синельников Н.Ю.

ДГМА, г. Краматорск, Украина

УПРАВЛЕНИЕ ПРИВОДОМ ПОДАЧИ ГЛУБОКОРАСТОЧНОГО СТАНКА С ЦЕЛЮ ГАШЕНИЯ АВТОКОЛЕБАНИЙ***Введение***

Динамические процессы в механических устройствах с контактирующими и трущимися элементами в кинематических парах, таких как направляющие суппортов станков, робототехнические системы, фрикционные муфты, сцепления, подшипники скольжения валов и др., сопровождаются возникновением сложных, плохо контролируемых и трудно устранимых явлений, как фрикционные автоколебания. Результатом фрикционных автоколебаний в машинах является снижение показателей качества технологических процессов, точности позиционирования, усталостные разрушения и повышенные износы деталей.

Основные тенденции решения данных проблем – использование механических средств гашения возникающих автоколебаний (изменение геометрии инструмента и использование многолезвийных инструментов, рациональное размещение стоек и люнетов, использование виброгасителей и др.). Но при изменении какого-либо из параметров оборудования или процесса, настройки механических средств необходимо менять, что влечет за собой потерю времени [1].

Поэтому повышение точности обработки глубоких отверстий чисто технологическими приемами ограничено, так как не представляется возможным учет всех факторов (ряд которых носит случайный характер), вызывающих увод и отклонение от заданных параметров качества.

Другим путем повышения точности и производительности процесса растачивания глубоких отверстий является автоматическое управление процессом обработки. Автоматически регулируемые процессы резания показали достаточно высокую эффективность в операциях наружной обработки деталей – шлифовании, токарной и фрезерной обработке. При обработке же внутренних поверхностей методы автоматического управления процессом резания не нашли пока широкого применения, что связано со специфическими особенностями процесса обработки глубоких отверстий.

В этом случае перспективным путем повышения точности растачивания глубоких отверстий представляется применение адаптивных систем управления глубокорасточным станком.

В настоящее время известен ряд технических решений, предусматривающих применение систем управления приводом при растачивании глубоких отверстий. Работы в этом направлении ведутся в Украине и за рубежом и отражены в основном в патентных материалах и статьях. А данные о результатах широкого промышленного использования таких систем в научно-технической литературе отсутствуют.

Причиной возникновения автоколебаний в механизме подачи при обработке глубокого отверстия детали является процесс, сопровождающий трение в парах скольжения (передача винт-гайка) и сам процесс резания [2]. В связи с этим разработка системы управления приводом подачи является актуальной задачей, поскольку малая величина автоколебаний позволит сократить число проходов при растачивании и повысить как точность, так и производительность обработки. А применение современных средств автоматизации также позволит улучшить удобство обслуживания и комфортность работы.

Целью работы является повышение качества обработки глубоких отверстий на глубокорасточном станке за счет гашения автоколебаний.

Основная часть

Автоколебания – это вид колебаний, в которых изменяемая поддерживающая сила создается и управляется самими колебаниями. В процессе резания такие колебания возникнув один раз, могут поддерживаться неопределенно долго.

Основные характеристики автоколебаний – это их частота f и амплитуда A . Природа автоколебаний намного сложнее природы вынужденных и чаще всего автоколебания возникают при отсутствии видимых внешних причин.

Установлено, что частота автоколебаний практически не зависит от режима резания и геометрии инструмента. Она определяется частотой собственных колебаний доминирующей колебательной системы. В отличие от частоты, амплитуда зависит как от жесткости, демпфирующей способности и массы колебательной системы, так и от режима резания, геометрии инструмента и физико-механических свойств обрабатываемой заготовки.

Известно, что возбуждение автоколебаний возникает за счет координатных связей перемещения вершины лезвия относительно обрабатываемой заготовки в вертикальной и горизонтальной плоскости. Поэтому необходимо определить природу возникновения энергии, которая поддерживает автоколебания.

На рисунке 1 схематически показана схема резания на грубокорасточном станке и описывающие ее уравнения [3].

Относительно теории координатных связей в связи с колебаниями резца толщина срезаемого слоя постоянно меняется от α_{\min} до α_{\max} . Причем, на первой стадии движения резца от А до В он движется навстречу силе резания R и система дополнительно потребляет энергию E_1 . На следующей стадии движения от В к А движение резца совпадает с силой резания, поэтому в системы выбрасывается часть энергии E_2 . Из-за того, что средняя толщина срезаемого слоя больше на втором участке получается неравенство $E_2 > E_1$, и система получает излишек энергии, идущий на поддержание автоколебаний.

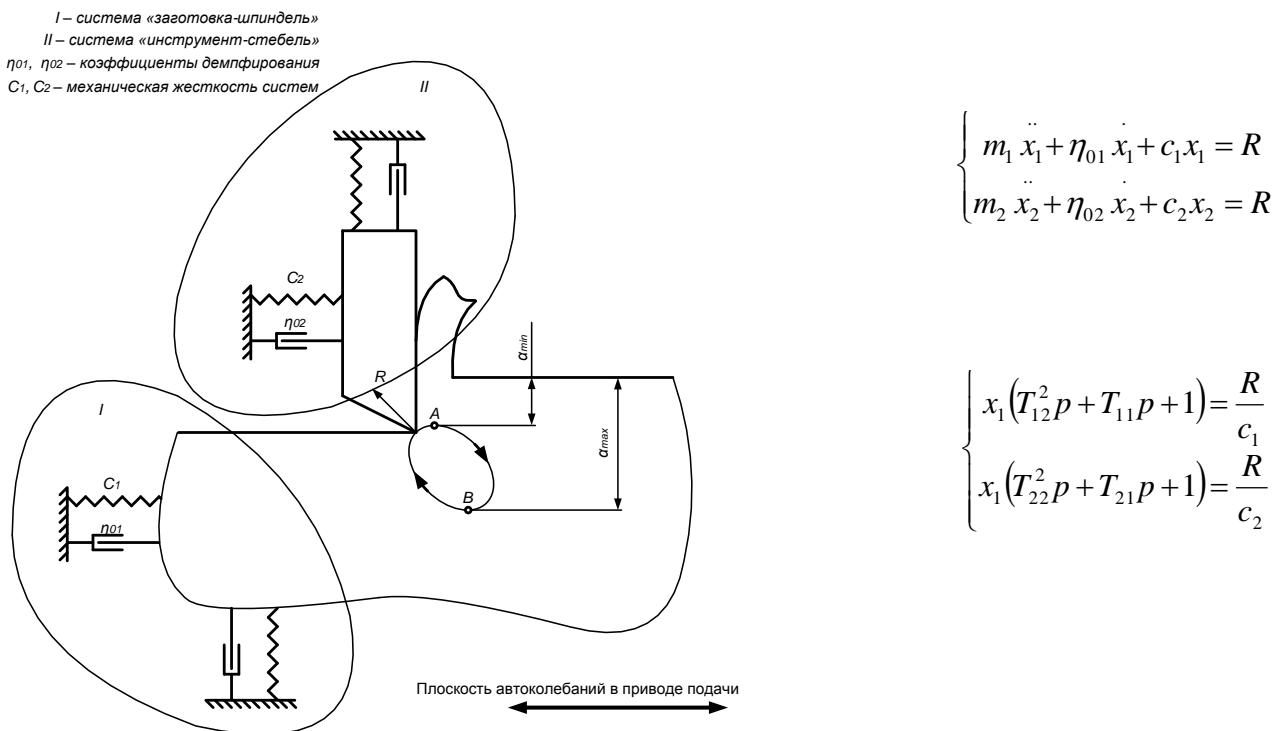


Рис. 1. Схема растачивания детали на грубокорасточном станке и описывающие процесс резания уравнения

Автоколебания в большой мере влияют на качество обрабатываемой поверхности. Для всех обрабатываемых материалов увеличение амплитуды колебаний повышает величину волнистости и шероховатости. Для процессов резания считается, что влияние амплитуды в 5-10 раз выше, чем влияние частоты автоколебаний. Но частота также влияет на величину шероховатости и волнистости обработки. На рисунке 2 показаны графики зависимостей шероховатости и волнистости от амплитуды автоколебаний [см. 1].

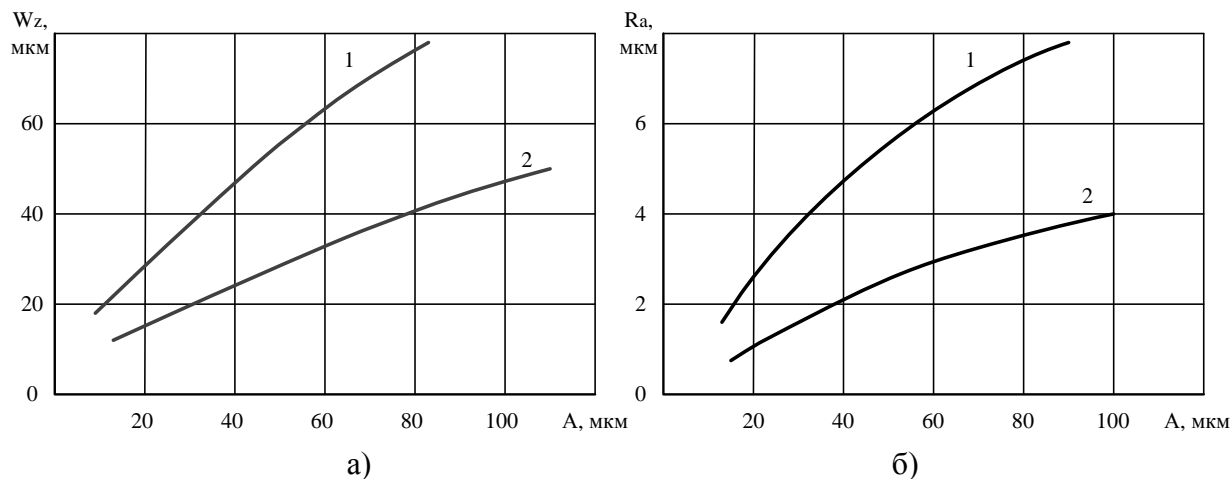


Рис. 2. Зависимость волнистости (а) и шероховатости (б) от амплитуды автоколебаний (1 – при $f = 140$ Гц, 2 – при $f = 500$ Гц)

Однако отсутствие автоколебаний в устройстве привода подачи может привести к тому, что стружка не будет удовлетворять технологическому процессу и будет сливной (трудно удаляемая бесконечная лента срезаемого слоя), либо будет слишком мелкой, что также неудовлетворительно. Следовательно, если и гасить автоколебания в системе, то до какого-то удовлетворяющего технологический процесс как по амплитуде, так и по частоте значения. На рисунке 3 показана диаграмма рекомендуемых режимов резания по амплитуде и частоте автоколебаний для удовлетворительного стружкодробления [4,5].

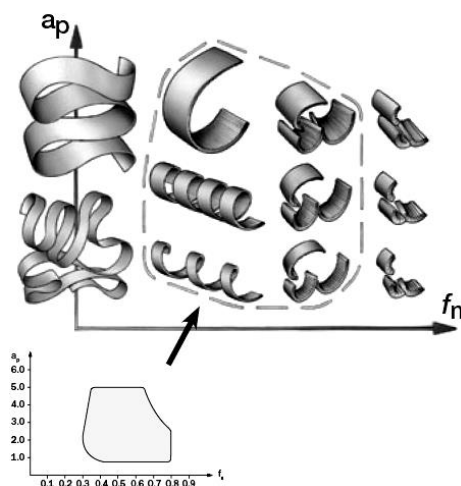


Рис. 3. Диаграмма рекомендуемых режимов резания для удовлетворительного стружкодробления

Исследование привода подачи глубокорасточного станка в условиях ПАО «НКМЗ» позволило получить осциллограммы и построить фазовый портрет переходных процессов, которые показаны на рисунке 4.

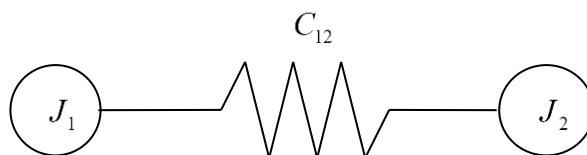


Рис. 6. Структурная схема двухмассовой механической части системы управления приводом подачи глубокорасточного станка

Рассчитаны моменты инерции механической связки «электродвигатель-боршанга» и жесткость связи между этими элементами ЭМС привода подачи. Масса вала определяется:

$$m_{\text{вала}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{вала}}^2}{4} \cdot L_{\text{вала}} \cdot \rho_{\text{ст}} \quad (\text{кг}) \quad (1)$$

где $\rho_{\text{ст}}$ – плотность стали, $L_{\text{вала}}$ – длина вала, $D_{\text{вала}}$ – диаметр вала.

Момент инерции вала определяется по формуле

$$J_{\text{вала}} = \frac{1}{2} \cdot m_{\text{вала}} \cdot r_{\text{вала}}^2 \quad (\text{кг} \cdot \text{м}^2) \quad (2)$$

Полярный момент инерции для цельного цилиндрического образца (вала) рассчитываем по формуле:

$$I_p = \frac{\pi D_{\text{вала}}^4}{32} = 0.1 D_{\text{вала}}^4 \quad (\text{м}^4) \quad (3)$$

где $D_{\text{вала}}$ – диаметр образца.

Жесткость образца на кручение длиной L рассчитывается по формуле

$$C_{12} = G \frac{I_p}{L_{\text{вала}}} \quad (\text{Н} \cdot \text{м}) \quad (4)$$

где I_p – полярный момент инерции поперечного сечения образца, м^4 ; G – модуль сдвига; $L_{\text{вала}}$ – длина образца.

По техническим характеристикам станка известно, что движение подачи может осуществляться при включенной 1 передаче, либо включенной 2 передаче. На первой передаче передаточное число редуктора равно i_1 , а на второй передаче – i_2 . Для дальнейшего исследования необходимо знать приведенные значения момента инерции и жесткости на различных передачах. Поэтому рассчитываем значения по формулам соответственно

$$C_{\text{прив}N} = \frac{C_{12}}{i_N^2}; J_{\text{прив}N} = \frac{J}{i_N^2}, \quad (5)$$

где N – номер передачи

Частота собственных колебаний режущего инструмента рассчитана с учетом того, что приведенные значения соответствуют одной из передач:

$$f = \frac{\sqrt{C_{\text{прив}N}}}{2\pi} \quad (\text{Гц}) \quad (6)$$

Особенностью моделирования системы управления приводом подачи глубокорасточного станка является то, что используется нелинейное звено в механической части, которое представляет собой фрикционные трения во время автоколебаний (т.е.

первичная нагрузка при сдвиге стебля через все механические связи с люнетами намного больше, чем нагрузки прикладываемые при установившемся движении перемещения режущего инструмента) [6].

На рисунке 7 показана полученная зависимость частоты собственных колебаний в приводе подачи при различной длине выдвижения стебля (борштанги).

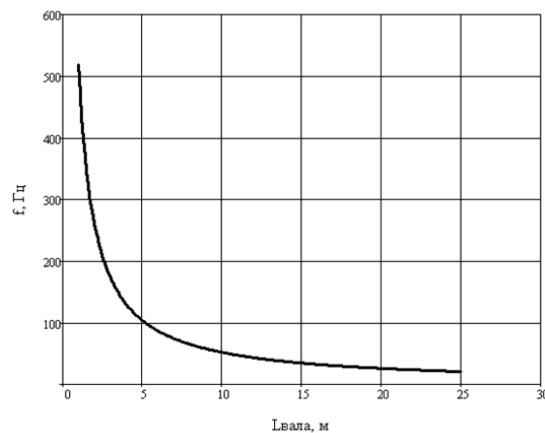


Рис. 7. Зависимость частоты собственных колебаний в приводе подачи при различной длине выбега стебля

Эта зависимость используется при корректировке жесткости стебля, на котором крепится борштанга с инструментом, при управлении приводом подачи во время технологического процесса резания.

Выводы

На основе конструкционных параметров оборудования, обобщенной модели процесса резания и снятия осциллограмм с реального оборудования проведен анализ оборудования и разработана математическая модель системы управления приводом подачи, которая учитывает: наличие фрикционных автоколебаний в механизме подачи глубокорасточного станка, отображает реальное поведение механической части механизма подачи. С помощью разработанной системы управления получена зависимость частоты собственных автоколебаний и длины выбега борштанги с режущим инструментом, которая является аналогичной зависимости длины выбега борштанги и значением коэффициента жесткости стебля, на котором она закреплена. Данная модель используется для дальнейшего исследования возможных средств гашения автоколебаний методом управления процессом обработки. Следующим шагом является синтез регулятора, который бы наиболее полно отображал в процессе регулирования возможные зависимости, связывающие параметры автоколебаний, параметры процесса резания и параметры качества обработанной детали.

Перечень источников литературы: 1. Мазур М.П. Основы теорії різання матеріалів / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К. Новосьолов, Ф.Я. Якубов. – Львів: «Новий світ» – 2000, 2010. – 422 с. 2. Анализ особенностей различных подходов при аналитическом расчете сил резания/ Ю.Н.Внуков, А.Г. Саржинская // Современные технологии в машиностроении,- Харьков: НТУ «ХПИ», 2008-№1–540 с. 3. Струтинський В.Б. Математичне моделювання процесів та систем механіки: Підручник. – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 612 с. 4. Клименко Г.П. Оптимізація регламентів експлуатації інструмента на важких верстатах / Г.П.Клименко // Прогресивные технологии и системы машиностроения. Международный сборник научных трудов. – Донецк: ООО «Лебедь», 2004, вып.27. – с.109-113 5. Клименко Г.П. Исследование качества сборных многолезвийных инструментов / Г.П. Клименко // Резание и инструмент в технологических системах. Вып.82. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2012. – с.83-90 6. Клименко Г.П. Исследование автоматического управления приводом подачи глубокорасточного станка КЖ-1910 для гашения автоколебаний /Г.П. Клименко, Н.Ю. Синельников // Материалы Всеукраинской научно-технической конференции «Современные информационные технологии, средства автоматизации и электропривод». – Краматорск: ДГМА, 2012. – с.42

Рецензент: **Мироненко Е.В.**, д.т.н., проф., ДГМА

УПРАВЛІННЯ ПРИВОДОМ ПОДАЧІ ГЛУБОКОРАСТОУВАЛЬНОГО ВЕРСТАТА З
МЕТОЮ ГАСІННЯ АВТОКОЛИВАНЬ

Клименко Г.П. Синельніков М.Ю.

У даній роботі представлені особливості аналізу і синтезу системи управління приводом подачі глибокорозточувального верстата, за умови, що під час технологічного процесу в механізмі подачі виникають автоколивання, що впливають на параметри якості оброблюваної деталі. Виконується дослідження приводу подачі на реальному обладнанні. Аналізується ряд параметрів необхідних для зв'язку «система управління-автоколивання в приводі подачі». Виходячи з цього, розробляється структурна модель управління приводом подачі для глибокорозточувального верстата, що враховує вплив автоколивань на якість оброблюваної деталі.

УПРАВЛЕНИЕ ПРИВОДОМ ПОДАЧИ ГЛУБОКОРАСТОЧНОГО СТАНКА С ЦЕЛЬЮ
ГАШЕНИЯ АВТОКОЛЕБАНИЙ

Клименко Г.П. Синельников Н.Ю.

В данной работе представлены особенности анализа и синтеза системы управления приводом подачи глибокорасточного станка, при условии, что во время технологического процесса в механизме подачи возникают автоколебания, влияющие на параметры качества обрабатываемой детали. Выполняется исследование привода подачи на реальном оборудовании. Анализируется ряд параметров необходимых для связи «система управления-автоколебания в приводе подачи». Исходя из этого, разрабатывается структурная модель управления приводом подачи для глибокорасточного станка, учитывающая влияние автоколебаний на качество обрабатываемой детали.

OFFICE SUPPLY DRIVE TO DEEP-BORING MACHINE SLAKED OF
AUTO-OSCILLATIONS

Klymenko G.P. Sinel'nikov N.Y.

This paper presents the features of analysis and synthesis and drive the deep-supplying machine, provided that during the process in the feed mechanism arise oscillations affecting quality parameters of the workpiece. Study performed feed drive on real hardware. Analyze a number of parameters required for communication "system-control – oscillations in the drive supply." On this basis, developed a structural model of the drive control flow for deep-boring machine, which takes into account the influence of oscillations on the quality of the workpiece.

Ключевые слова: Привод подачи, глибокорасточной станок, автоколебания, система управления, двухмассовая электромеханическая система.

Ключові слова: Привід подачі, глибокорасточной верстат, автоколивання, система управління, двомасових електромеханічна система.

Keywords: Feed drive, the deep-machine oscillations, the control system, two-mass electromechanical system.

Дата надходження статті: 7 травня 2013 р.

УДК 621.9

Антоненко Я.С., Ковалев В.Д., Линкевич С.А.
ДГМА, г. Краматорск, Украина
yana.s.kurilenko@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МНОГОКООРДИНАТНОЙ УПРУГОЙ СИСТЕМЫ СТАНКА НА ЖЕСТКОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Постановка проблемы

Современные тенденции развития машиностроения, переход к использованию автоматизированных станочных систем предъявляют требования к повышению точности получаемых размеров и качества обрабатываемых поверхностей деталей машин и приборов. Это связано с появлением новых все более точных машин и приборов. Не случайно начиная с 40-х годов 20-го века каждые 20 лет точность в технике повышается на порядок. При проектировании и эксплуатации технологических обрабатывающих систем непрерывно возрастают требования повышения их точностных характеристик.

В настоящее время в результате теоретических и экспериментальных исследований большого числа ученых: В.Ф. Безъязычного, А.М. Дальского, В.С. Мухина, А.А. Маталина, А.Н. Овсеевко, Э.В. Рыжова, С.С. Силина, В.К. Старкова и др. накоплен значительный материал по технологическому обеспечению качества обработки, что позволяет создавать математические модели управления процессом обработки на станках [1]. Однако, эффективность использования таких моделей не всегда дает удовлетворительный результат, так как они с недостаточной полнотой учитывают влияние сложной многокоординатной упругой системы станка на статическую и динамическую жесткость технологической системы, следовательно, на качество обработки. Кроме этого, отсутствие зависимостей, описывающих влияние упругой многокоординатной системы станка на жесткость технологической системы и точность обработки не позволяет однозначно определить номенклатуру параметров, обеспечивающих состояние станка по точности в процессе эксплуатации.

Проблемам влияния динамической жесткости и виброустойчивости станков на точность обработки в условиях вибраций при резании и колебаниях станков посвящены работы Б.М. Бржозовского, И.Г. Жаркова, В.А. Кудинова и других ученых.

Расчетом выходной точности станка с учетом деформации узлов посвящены работы В.В. Бушуева, В.Т. Портмана, В.В. Каминской, Д.Н. Решетова и др.

В работах В.А. Кудинова, А.П. Соколовского и др. для оценки влияния упругой системы станка на жесткость, она рассматривается как система со многими степенями свободы на основе так называемой «теории координатной связи», согласно которой важнейшей особенностью упругой системы, вытекающей из того, что она имеет несколько степеней свободы, является зависимость между собой отдельных координатных перемещений элементов системы или, иначе, наличие связей обобщенных координат.

Анализ расчетных схем, построенных на основании изложенной концепции показывает, что жесткость многокоординатной упругой системы станка является величиной переменной и зависит от соотношения составляющих P_z и P_y силы резания, относительного смещения элементов системы жесткостей по так называемым главным осям жесткости системы, положение главных осей жесткости в данный момент времени и других факторов [2]. Иными словами, рассматривая технологическую систему на основе синергетической теории самоорганизации систем, можно сказать, что жесткость станка, как элемента технологической системы, определяющая состояние станка по параметру точности, сама подчиняется принципу самоорганизации в пространстве рабочей зоны станка в реальном времени обработки детали.

В этой связи исследование и описание влияния многокоординатной упругой системы станка на жесткость технологической системы и качество обработки с целью

использования в математических моделях управления процессом обработки на станках, а также для определения нормируемых параметров станка по критерию жесткости, подлежащих обеспечению в процессе проектирования представляется актуальной научной проблемой.

Цель работы: повышение качества обрабатываемых деталей на основе прогнозирования точности станка в реальном времени обработки детали с учетом распределения его жесткости в пространстве рабочей зоны.

Основная часть

В настоящее время находит развитие метод управления процессом обработки на станках с ЧПУ по априорной информации, основанный на прогнозировании точности обработки с учетом внешних возмущений в технологической системе [3]. Погрешности обработки на станке, возникающие в результате смещения элементов станочной системы под действием внешних сил, в большей мере определяются жесткостью системы в направлении вектора действующей силы.

Была спроектирована сварная станина тяжелого токарного станка. Несущая система станка состоит из двух станин. Одна двухполочная станина для базирования и закрепления обрабатываемого изделия. Вторая двухполочная станина служит для перемещения суппорта. Каждая из станин состоит из двух секций, соединенных между собой шпильками. Длина каждой секции составляет 7,8 м. В данной работе рассматривалась станина изделия.

На основании расчета граничных значений распределенных нагрузок, которые действуют на станину изделия, произведено моделирование силовых деформаций методом конечных элементов с помощью инструментов пакета CosmosWorks. Разработан метод компоновки станин тяжелых токарных станков с системой сил распределенных по координатным осям нагрузок, которые действуют на станок в процессе его работы.

Произведено моделирование станины тяжелого токарного станка грузоподъемностью 100 т для определения жесткости несущей системы при действии нагрузок возникающих при обработке детали. Для обобщения модели пришлось значительно упростить расчет параметров твердотельной модели и моделировать станину по частям.

Нагружение станины изделия проводилось в двух местах: на стыках двух секций и на расстоянии 400 мм от края секции.

На рисунке 1 представлен вариант нагружения станины на стыке двух секций.

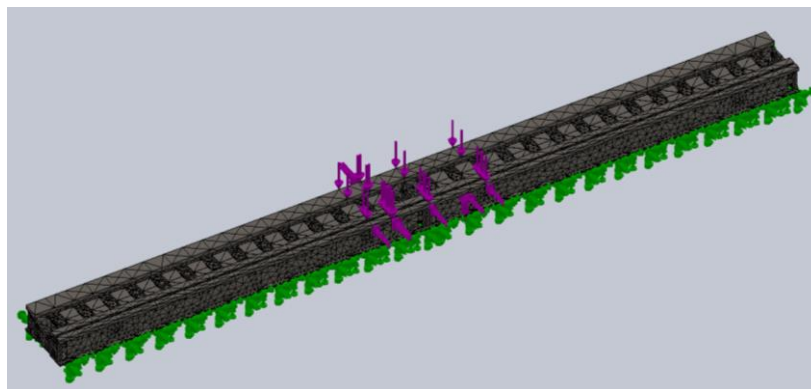
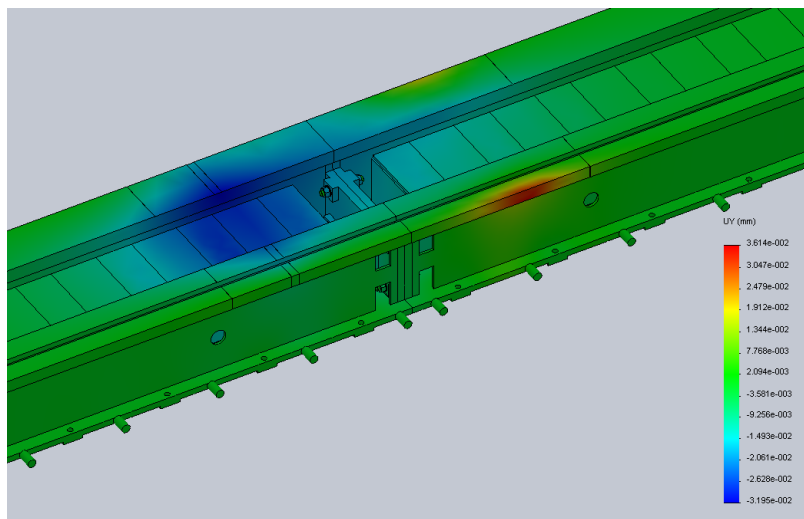
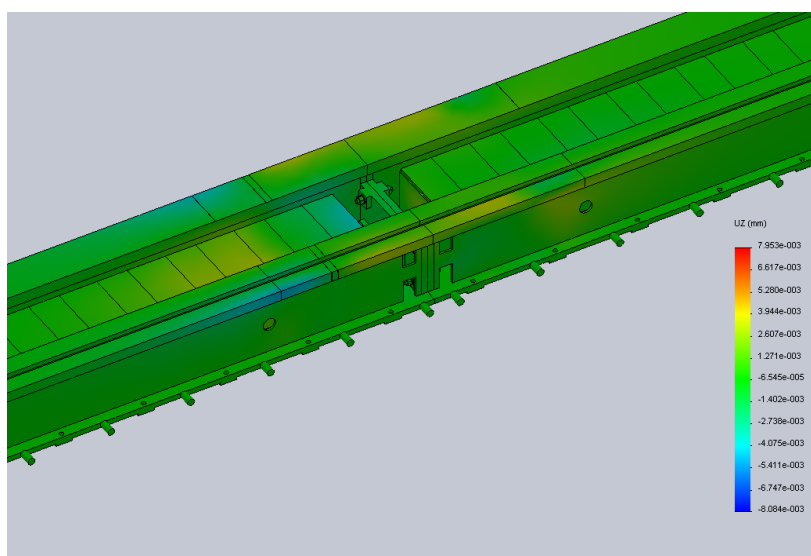


Рис. 1 – Сетка конечных элементов.

Произведен анализ перемещений по осям (рис. 2).



а) эпюра перемещений по оси Y



б) эпюра перемещений по оси Z

Рис. 2 – Анализ перемещений станины по координатным осям вследствие нагружения станины на стыке двух секций.

На рисунке 3 представлена схема нагружения станины изделия на расстоянии 400 мм от края секции.

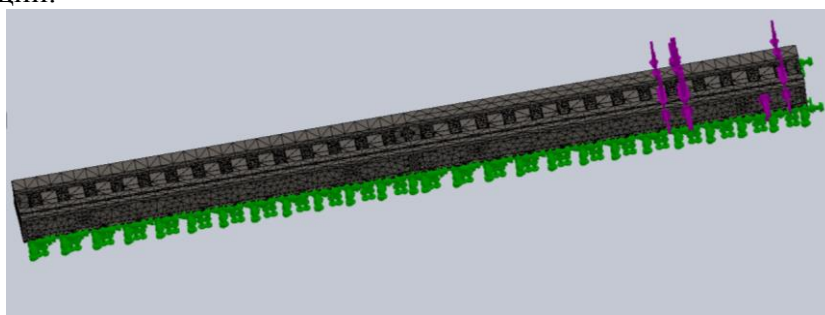
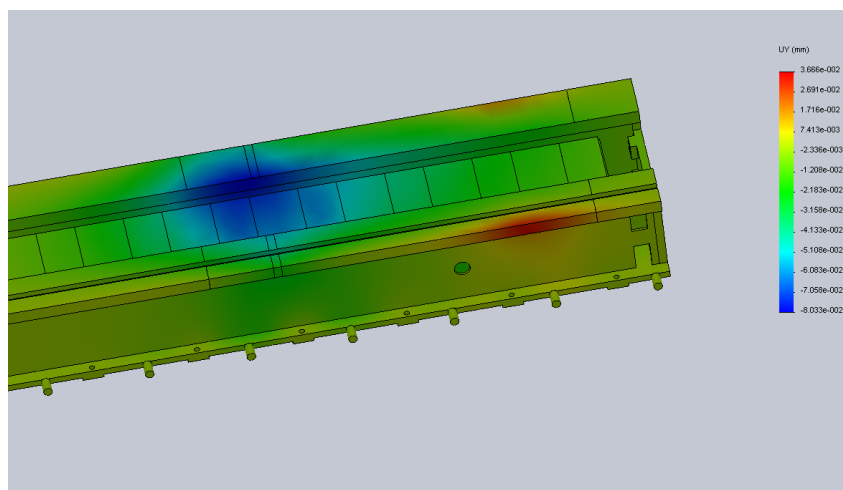
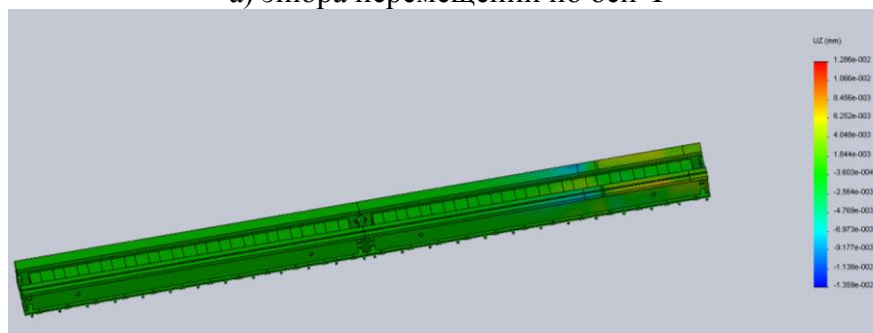


Рис. 3 – Сетка конечных элементов.

Произведен анализ перемещений по осям (рис.4).



а) эпюра перемещений по оси Y



б) эпюра перемещений по оси Z

Рис. 4 – Анализ перемещений станины по координатным осям вследствие нагружения станины на расстоянии 400 мм от края секции.

Как видно из рисунков максимальные результирующие перемещения от действия приложенных сил находятся в пределах допустимых значений для данного класса станков.

Анализ работы тяжелых станков указывает на ряд задач, которые необходимо решать при их проектировании и эксплуатации. Это повышение жесткости несущих систем станков, минимизация упругих деформаций станин за счет оптимального размещения штатных опор, с помощью которых станины устанавливаются на фундамент, а также надежный и достоверный контроль точности в рабочем пространстве станков, прогнозирование снижения точности, разработка специальных методов обеспечения точности оборудования и т.д. Одним из наиболее перспективных путей дальнейшего повышения точности станков является оснащение их системами адаптации, в частности, адаптация несущих систем станков к изменяющимся условиям функционирования, резко повышающая их точность.

Выводы:

1 Разработан метод исследования точности составных станин с помощью математического моделирования.

2 Разработана технология проектирования несущих конструкций тяжелых станков на основе использования результатов предварительного расчета с учетом контактных деформаций (внутренние силы, перемещения) как граничных условий для проектирования отдельных несущих конструкций, позволяющая получить конструкцию с геометрией поперечного сечения, имеющую минимально возможную массу при удовлетворении заданных норм производительности и точности механической обработки.

Перечень источников литературы: 1 Аверченков В.И. Основы математического моделирования технических систем / В.И. Аверченков, В.П. Федоров, М.П.Хейфец // Брянск: Изд. БГТУ, 2004.-271 с. 2 Бржозовский Б.М. Точность и надёжность автоматизированных прецизионных металлорежущих станков / Б.М. Бржозовский и др. // Саратов: Изд-во СГТУ, ч. 1, 1992.- 156 е., ч. 2.1994. 156 е., ч. 3, 1999.- 124 с. 3 Земсков Г.Г. Автоматическое обеспечение точности обработки на основе ее прогнозирования / Г.Г.Земсков, М.Б. Флек // Механизация и автоматизация производства, 1977, № 3.

Рецензент: **Мироненко Е.В.**, д.т.н., проф. ДГМА

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ БАГАТОКООРДИНАТНОЇ ПРУЖНОЇ СИСТЕМИ
ВЕРСТАТА НА ЖОРСТКІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ**

Антоненко Я.С., Ковальов В.Д., Линкевич С.А.

У роботі представлено метод компоновання станин важких токарних верстатів з системою сил розподілених по координатних осях навантажень, які діють на верстат в процесі його роботи. Цей метод визначає жорсткість багатокординатної пружної системи верстата як величину змінну, залежну від співвідношення складових P_z і P_y сили різання. Зроблено аналіз переміщень станини по координатних осях внаслідок її навантаження. Запропоновано перспективні шляхи подальшого підвищення точності верстатів.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МНОГОКООРДИНАТНОЙ УПРУГОЙ
СИСТЕМЫ СТАНКА НА ЖЕСТКОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Антоненко Я.С., Ковалев В.Д., Линкевич С.А.

В работе представлен метод компоновки станин тяжелых токарных станков с системой сил распределенных по координатным осям нагрузок, которые действуют на станок в процессе его работы. Этот метод определяет жесткость многокоординатной упругой системы станка как величину переменную, зависящую от соотношения составляющих P_z и P_y силы резания. Произведен анализ перемещений станины по координатным осям вследствие ее нагружения. Предложены перспективные пути дальнейшего повышения точности станков.

**INVESTIGATION OF THE EFFECT MULTI-AXIS MACHINE TOOL SYSTEM ON
THE RIGIDITY OF THE TECHNOLOGICAL SYSTEM**

Antonenko Y.S, Kovalev V.D, Linkevich S.A

This paper presents a method of arrangement the frames of heavy lathes with dispersed forces along the coordinate axes of the loads that act on the machine while it is running. This method determines the rigidity of multi-axis machine tool system as the value of a variable that depends on the ratio of the components P_z and P_y of the cutting force. Analyzed of movement of the frame on the coordinate axes due to its loading. The perspective ways to further improve the accuracy of machine tools are proposed.

Ключові слова: точність, жорсткість, багатокординатна пружна система, станина, технологічна система.

Ключевые слова: точность, жесткость, многокоординатная упругая система, станина, технологическая система.

Key words : accuracy, rigidity, multi-axis resilient system, frame, a technological system.

Дата надходження статті: 6 травня 2013 р.

УДК 621.91:678.5

Адаменко Ю.І., Бесарабець Ю.Й.

НТУУ "КПІ", Київ, Україна

itm@kpi.ua

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОБРОБКИ ОТВОРІВ У КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛАХ

Вступ

Завдяки комплексу високих механічних характеристик, зокрема питомій міцності, жорсткості, зносостійкості та ін. у поєднанні з низькою вагою, полімерні композиційні матеріали та гібридні металополімерні композиції знаходять все ширше застосування для виготовлення елементів конструкцій авіаційної, ракетної техніки, автомобілів, товарів військового та спортивного призначення.

Операція обробки отворів у деталях з композитів є однією з найбільш розповсюджених та відповідальних. Композиційні матеріали (КМ) мають ряд особливостей, що впливають на якість обробки отворів та стійкість інструменту – висока міцність, пружність, абразивна здатність, анізотропія властивостей, низька теплопровідність та ін. Під час свердління отворів виникає низка дефектів – розшарування, обрив волокон, відхилення розмірів та форми отвору, деструкція поверхневого шару, шорсткість поверхні та ін.

Найбільш небезпечним дефектом при виготовленні отворів є розшарування матеріалу, оскільки воно суттєво знижує характеристики міцності та жорсткості виробу і його не можна усунути на подальших чистових операціях. Розшарування є небезпечним також у процесі тривалої експлуатації виробів, оскільки через високу гігроскопічність композитів у тріщину потрапляє вода, яка при багаторазовому заморожуванні-розморожуванні призводить до руйнування виробу.

Метою даної роботи є розробка конструкції інструменту та пристосування, що забезпечує підвищення якості обробки отворів у деталях з полімерних композиційних матеріалів.

Основна частина

Розшарування виникає внаслідок розділення суміжних шарів композиту під дією зовнішніх сил. Схильність багатошарових композиційних матеріалів до розшарування вимагає особливих заходів щодо попередження їх руйнування під дією сил різання.

Основними напрямками зниження розшарування є раціональний вибір інструментального матеріалу, конструктивних та геометричних параметрів інструменту, оптимізація режимів різання, застосування спеціальних технологій та конструкцій інструментів, що враховують особливості обробки КМ.

Для уникнення розшарування необхідно, щоб осьова сила різання не перевищувала критичну, за якої і відбувається руйнування композиту, а напрямок сили різання по можливості має бути таким, щоб сила різання сприяла стисканню між собою шарів композиційного матеріалу. З цією метою матеріали обробляють пакетами, застосовують кондуктори, а також спеціальні прокладки з фібри чи фанери, які потім видаляють [1].

Недоліком таких методів обробки є те, що їх застосування можливе лише для листових деталей, тобто коли є вільний доступ до обох боків деталі. Для корпусних деталей застосування підкладок часто є неможливим і це призводить до розшарування матеріалу на виході інструменту. Для цього, аби знизити осьову силу на виході свердла, застосовують спеціальні конструкції інструментів.

Для зниження осьової сили застосовують свердла з якомога меншим діаметром серцевини, оскільки в центральній зоні свердло практично не ріже, а продавлює матеріал. Для цього ж були розроблені багатокромочні свердла з ламаною різальною кромкою, свердла пікоподібної форми та кільцеві або трубчасті свердла [2], [3]. Проте обробка отворів такими свердлами лише дещо зменшує розклинюючу дію інструменту на матеріал, проте не усуває її

повністю.

При застосуванні свердел з підрізаючими кромками радіальна складова сили різання направлена не в матеріал деталі, а до центру свердла, тобто в матеріал, який буде перетворений у стружку. Використання таких свердел забезпечує більш високу якість отворів [4].

Позитивні результати щодо якості обробки були отримані з використанням свердел, у яких різальна частина є ступінчастою [5]. При цьому спочатку перший ступінь свердла обробляє отвір меншого діаметра, а потім вступає в роботу другий ступінь свердла і обробляє отвір остаточного діаметра. Фактично відбувається свердління та розсвердлювання отвору. При цьому більшу частину осьової сили сприймає перший ступінь свердла, оскільки саме на серцевину свердла приходить більша частина осьової сили. Дефекти обробленого матеріалу, що виникли під час роботи першого ступеню будуть видалені другим ступенем свердла. Застосування такої конструкції свердла зменшує ризик сколів та розшарувань на виході інструменту. Недоліком такої конструкції є складність отримання якісної поверхні на виході інструменту з оброблюваної заготовки, оскільки напрямок дії осьової сили свердла, як під час роботи першого ступеню так і під час роботи другого ступеню, є несприятливим, адже осьова сила не стискає шари матеріалу між собою, а навпаки викликає їх розшарування.

З метою підвищення якості обробки отворів було розроблено спеціальний пристрій для свердління композитів [6]. Пристрій складається з комбінованого різального інструменту 1 та різальної втулки 2 (рис.1а). Робоча частина інструменту складається з центральної різальної пластини 3 та поворотного ножа 4. Різальна пластина призначена для обробки початкового отвору діаметром D_1 у листовій заготовці.

Направляюча частина 5 інструменту має розмір попередньо обробленого отвору D_1 і призначена для базування інструменту під час роботи другого ступеню інструменту (поворотного ножа). Поворотний ніж 4 призначений для обробки остаточного отвору D_2 . Поворотний ніж має можливість вільно повертатися відносно осі 7.

Різальна втулка має внутрішній діаметр D_2 , виконана з інструментального матеріалу і призначена для одержання якісного зрізу верхніх шарів заготовки поворотним ножом.

Під час обробки різальна втулка притискається до заготовки і на протязі всього періоду обробки є нерухомою. Свердлу надається праве обертання та пряма подача, тобто зверху донизу (рис.1б). Свердло вривається в матеріал заготовки і обробляє отвір діаметром D_1 . Геометричні параметри пластини 3 (кут в плані ϕ , передній γ та задній α кути) та режими свердління (швидкість різання та подача) вибрані такими, щоб дефектна зона матеріалу не виходила за межі остаточно обробленого отвору D_2 .

Під час правого обертання ніж працює за схемою зенкерів фірми ERIX, Швеція [7], тобто повертається навколо осі і притискається до корпусу різального інструменту. У такому положенні ніж проходить через отвір діаметром D_1 .

Після того як різальна пластина обробила отвір діаметром D_1 і вийшла з контакту із заготовкою, рух подачі продовжується до того часу, поки через отвір не пройде поворотний ніж (рис.1в). При цьому в отвір проходить направляюча частина інструменту. В цей момент напрямок обертання та напрямок подачі змінюються на протилежний. Тобто, інструменту надають лівого обертання та зворотну робочу подачу - знизу догори. Отримавши ліве обертання, поворотний ніж повертається навколо осі і займає робоче положення. Під час руху догори різальна кромка ножа 4 формує остаточно оброблений отвір діаметром D_2 . При цьому направляюча частина інструменту запобігає радіальному переміщенню інструмента відносно заготовки під дією сили різання.

Вихід різальної кромки з деталі є найбільш небезпечним з точки зору утворення розшарувань, сколів та ворсистості (рис.1г). Але саме в цей час різальна втулка та інструмент стискають шари матеріалу між собою, що запобігає появі таких дефектів. Тобто верхні шари матеріалу на виході інструменту зрізуються за принципом «ножиць», коли рухома різальна кромка притискає волокна композиційного матеріалу до нерухомої різальної втулки. Для успішного зрізання волокон величина зазору між інструментом та втулкою не повинна

перевищувати діаметра волокон композиту.

Після виходу інструменту з контакту з деталлю процес обробки отвору завершується.

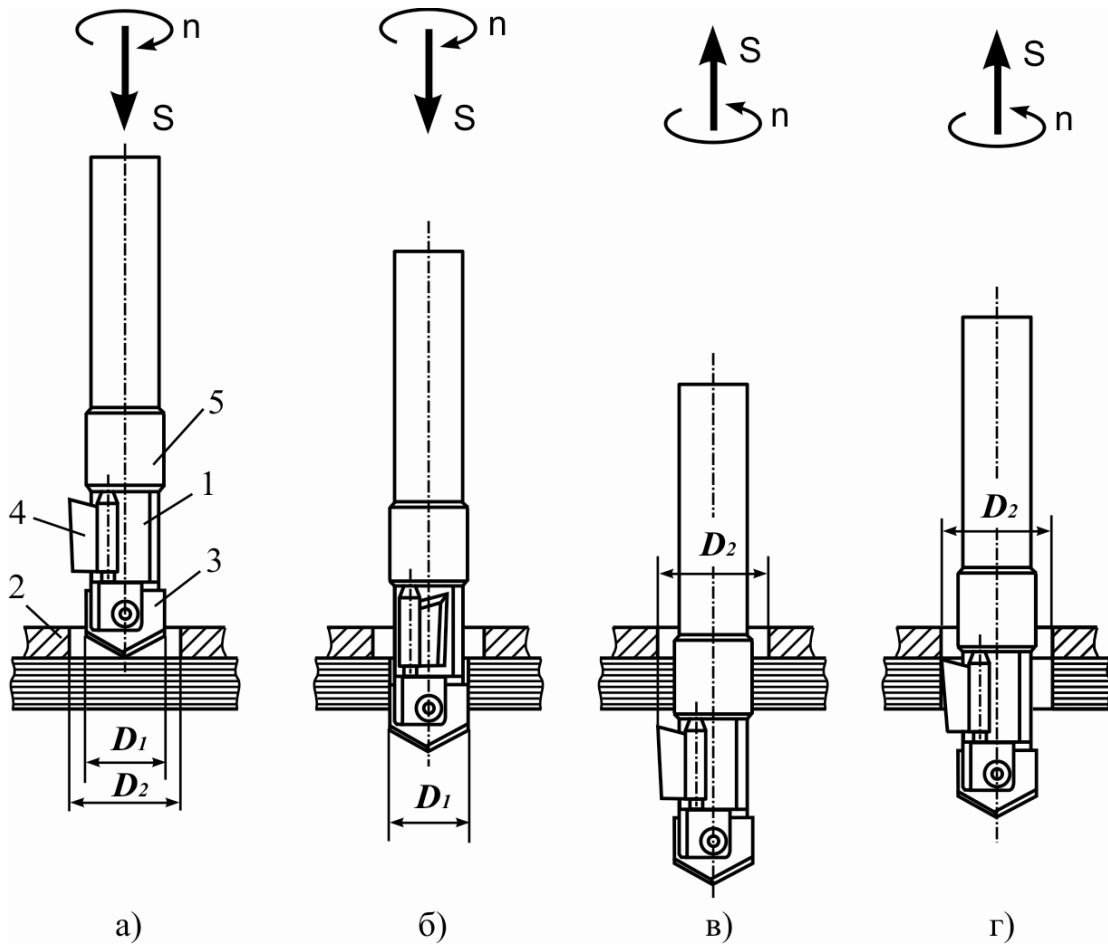


Рисунок 1 - Схема роботи пристрою

Для апробації розробленої конструкції пристосування були виконані лабораторні дослідження. Різальна части інструменту виготовлена зі швидкорізальної сталі Р6М5. Заготовка - листовий органопластик товщиною 10 мм, тканина СВМ, схема армування (0; 45). Діаметр отвору 12 мм. Обробка отвору виконувалась на настільно-свердлильному верстаті 2М112, подача ручна.

В результаті експериментальних досліджень була оброблена партія отворів із застосуванням запропонованого пристосування (рис.2а). Також була оброблена партія отворів за допомогою стандартного спірального свердла (рис.2б).



Рис 2.- Зразки обробки отворів

Як видно з рисунка, застосування пристрою забезпечує більш високу якість обробленої поверхні.

Висновки

На основі аналізу літературних джерел встановлені фактори, які треба враховувати при конструюванні інструментів для обробки отворів у композитах. Зокрема, осьова сила різання не повинна перевищувати межу міцності шарів композиту.

Запропонований оригінальний пристрій, що складається з комбінованого різального інструменту та різальної втулки. Різальна пластина призначена для обробки початкового отвору у листовій заготовці, а поворотний ніж призначений для обробки остаточного отвору. Причому поворотний ніж працює на зворотній подачі інструменту і притискає волокна композиту до різальної втулки.

Застосування пристрою продемонструвало підвищення якості обробленої поверхні порівняно з обробкою інструментами стандартної конструкції.

Перелік джерел літератури: 1. Буланов И.М., Воробей В.В. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов: Учеб. для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. 516 с. ISBN 5-7038-1319-0. 2. Hocheng H., C.C.Tsao. Comprehensive analysis of delamination in drilling of composite materials with various drill bits // Journal of Materials Processing Technology №140, 2003: 335–339. 3. Durao Luis Miguel, Antonio G. Magalhaes, Joao Manuel R. S. Tavares, A. Torres Marques. Analyzing objects in images for estimating the delamination influence on load carrying capacity of composite laminates // Electronic Letters on Computer Vision and Image Analysis 7(2): 11-21, 2008: 4. Патент UA 24726, МПК В29С 37/00, Опубл. 30.10.1998, Бюл. 5. Перове свердло з підрізаючими кромками. Родін Р.П., Равська Н.С., Лупкін Б.В., Адаменко Ю.І., Бесарабець Ю.Й. 5. PATENT US 2003/0202853 A1 Oct.30, 2003 Step drill for minimization of burrs when drilling, Sung-Lim Ko, Jae-Eun Hang. 6. Патент на корисну модель UA 77455, МПК В23В 51/08 (2006.01), Опубл. 11.02.2013, Бюл. 3. Пристрій для обробки отворів у композитах. Адаменко Ю.І., Бесарабець Ю.Й., Корбут Є.В., Грабівський О.В. 7. ERIX TOOL AB, Gamla Tuvevagen 15 C, Gothenburg, Sweden.

Рецензент: **Гузенко В.С.**, к.т.н., проф., ДГМА

ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ В
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ
Адаменко Ю.И., Бесарабець Ю.И.

Выполнен анализ факторов, которые ухудшают качество обработки отверстий в полимерных композиционных материалах. Предложена конструкция приспособления для обработки отверстий, состоящего из режущего инструмента и режущей втулки. Окончательно отверстие формируется при обратном движении инструмента. Экспериментальные лабораторные испытания показали возможность применения приспособления для обработки отверстий.

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОБРОБКИ ОТВОРІВ У
КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛАХ
Адаменко Ю.І., Бесарабець Ю.Й.

Виконаний аналіз факторів, які погіршують якість обробки отворів у полімерних композиційних матеріалах. Запропонована конструкція пристосування для обробки отворів, що складається з різального інструменту та різальної втулки. Причому, остаточно отвір формується при зворотному русі інструмента. Експериментальні дослідження в лабораторних умовах показали можливість застосування пристосування для обробки отворів.

DEVICE FOR TREATMENT OF HOLES
COMPOSITE MATERIALS
Adamenko Y, Besarabets Y

The analysis of the factors that degrade the quality of hole in polymer composites was made. The design tool for machining holes, consisting of a cutting tool and the cutting sleeve was proposed. The finally hole is formed by the reverse movement of the tool. Experimental laboratory tests have shown the possibility of using tools for holes.

Ключевые слова: композиты, обработка отверстий, качество поверхности.

Ключові слова: композити, обробка отворів, якість поверхні.

Key words: composites, processing holes, surface quality.

Дата надходження статті: 13 травня 2013 р.

УДК 621.9.

Сукова Т.А., Шевченко Э.С.
ДГМА, г. Краматорск, Украина
msi@dgma.com.ua

СОЗДАНИЕ НОВОГО РАЦИОНАЛЬНОГО МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ ТЯЖЕЛОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

В настоящее время в отечественном и мировом станкостроении выпускается широкая гамма тяжелых токарных станков с различными типоразмерами и технологическими возможностями, поэтому потребителю достаточно сложно выбрать рациональное оборудование для реализации своих производственно-технологических задач. Например, токарные станки выпускают в Германии 15 фирм, Японии 32 фирмы, США 20 фирм, в России 12 фирм [1, 2]. В Украине около 10 предприятий предлагают более 60 моделей этого вида оборудования [3].

Создание нового рационального металлорежущего оборудования для условий тяжелого машиностроения во многом зависит от качества решения задач на этапе его технологического проектирования, когда определяются технологические возможности и основные параметры машин. Очевидно, что параметры оборудования целесообразно формировать в зависимости от характеристик, подлежащих обработке на нем деталей. В условиях тяжелого машиностроения технологической основой проектирования новых тяжелых станков может быть только группа правильно подобранных деталей.

Известно достаточно много работ, посвященных разработке методов по выбору существующего и проектированию нового металлорежущего оборудования [7, 8].

Все работы по критериям выбора оборудования можно условно разделить на три основные группы:

- 1) выбор группы оборудования из большого их числа по основным параметрам: тип, мощность, размеры рабочего пространства, класс точности и др.;
- 2) выбор моделей станков на основании технико-экономических расчетов;
- 3) выбор оборудования на основании характеристик подлежащих обработке заготовок деталей.

Цель работы - разработка рекомендаций по выбору рациональной компоновки тяжелых станков на основе анализа базы знаний о предприятиях тяжелого машиностроения.

Поставленная цель сформировала следующие задачи:

- формирование представительной базы знаний о деталях;
- обоснование информационной модели детали;
- объединение деталей в конструкторско-технологические группы;
- выбор группы деталей, которые экономически целесообразно обрабатывать на проектируемом оборудовании.

Создается и анализируется база знаний обрабатываемых деталей. При разработке структуры базы знаний учитывалось требование, что база знаний должна обеспечивать быстрый доступ к каждому элементу информации [4]. Для этого в базе знаний отражены естественные логические связи между данными, на основании которых при решении задач выполняется выборка нужных элементов информации без обработки остальной информации. Структура базы знаний отражена в протоколах эксплуатационных наблюдений, содержащих параметры, характеризующие процесс механической обработки. Распределение базы знаний по назначению деталей представлено на рис. 1.

Информационная модель детали является основной структурной единицей базы знаний о деталях, позволяющая описать на информационном языке необходимые конструктивно-технологические и организационно-плановые характеристики детали (рис. 2). Формализацию характеристик деталей осуществляют, как правило, с помощью различных классификационных систем, которые представляют собой систематизированный свод

наименований объектов классификации, классификационных группировок и их кодовых обозначений. При классификации характеристик объектов, производства формализуются посредством соответствующих классификационных признаков в кодовые числа и (или) буквы, что позволяет перейти на единое обезличенное обозначение всех элементов базы знаний (вне зависимости от их функционального назначения), систематизировать сведения о характеристиках деталей путем отнесения их к той или иной классификационной группировке и сделать информационную модель детали более компактной и удобной для обработки на ЭВМ.

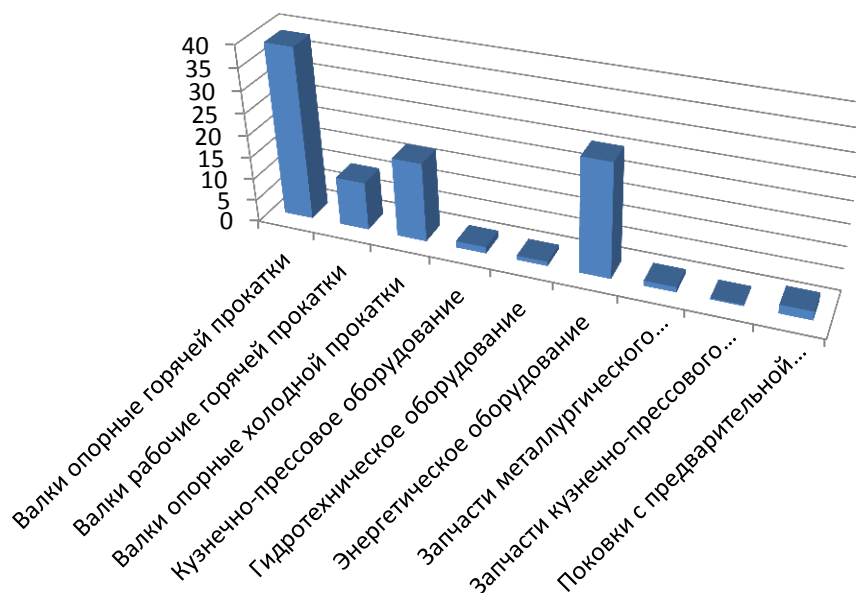


Рис. 1 – Распределение базы знаний деталей по назначению.

При наличии двух основных признаков задача группирования деталей может быть решена методами кластерного анализа [4]. Полученные в результате разбиения множества объектов группы называются кластерами. Методы нахождения кластеров называются кластер-анализом. Таким образом, необходимо решить задачу группирования множества объектов (деталей). Условное расположение объектов в виде точек на плоскости показано на рис. 2. Первым этапом решения задачи поиска кластеров является вычисление расстояний или близости между объектами или признаками.

Воспользуемся агломеративным иерархическим алгоритмом классификации (группирования). В качестве расстояния между объектами возьмем обычное евклидово расстояние, задаваемое формулой (1):

$$P_E(X_i, X_j) = \sqrt{\sum_{l=1}^k (x_{il} - x_{jl})^2}, \quad (1)$$

где x_{i1} , x_{j1} - величина 1-й компоненты у i -го (j -го) объекта ($l=1, 2, \dots, k$; $i, j=1, 2, \dots, n$). На основании расчетов находим расстояния между объектами группирования, и строится матрица расстояний R :

$$R = \{ p(x_i, x_j) \}, \quad (2)$$

технологической основы для создания нового тяжелого металлорежущего оборудования. Если условие (4) не выполняется, то данный кластер вместе с остальными участвует на следующем шаге объединения.

$$\sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot T_{штi} \geq \Phi_{до} \cdot K_3, \quad (4)$$

где Π_i - годовая программа выпуска i -той детали; $T_{штi}$ - трудоемкость изготовления i -той детали; $\Phi_{до}$ - годовой фонд работы оборудования; K_3 - коэффициент загрузки оборудования; m - число деталей в группе.

Таким образом, в результате пошагового объединения кластеров формируется от нескольких до одной группы деталей по условию годовой загрузки как минимум одного станка. Условное расположение объектов в виде точек на плоскости показано на рис. 2

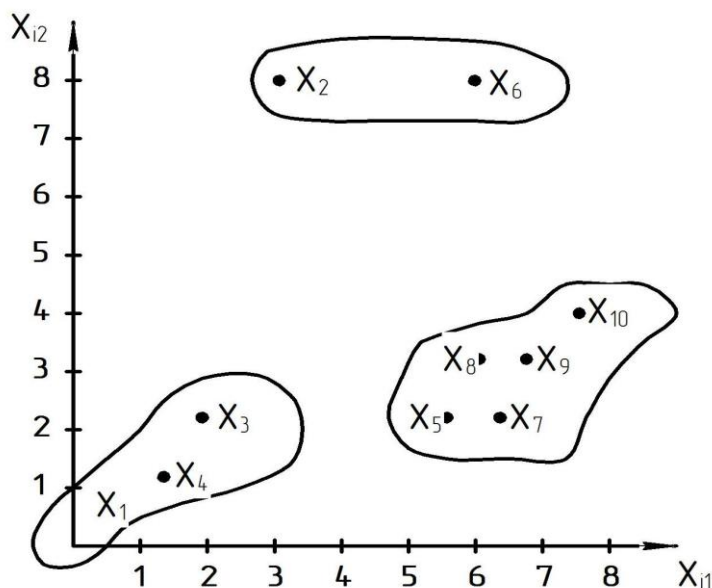


Рис. 2 – Классификация объектов на плоскости

Рассмотрим общую схему конструкторско-технологической классификации детали и представления сведений о ней в ИМД. Каждая деталь D может быть охарактеризована и соответственно описана некоторой совокупностью (множеством) признаков:

$$D = \{ P_1, \dots, P_i, \dots, P_n \}, \quad (5)$$

где P_i – i -й признак детали; n – общее количество признаков.

Каждый из n признаков в свою очередь может быть представлен двумя частями: наименованием признака X_i и его числовым значением x_i . При кодировании какого-либо объекта по определенному признаку используют соответствующую ему классификационную систему (таблицу), примерами которой могут служить конструкторские и технологические классификаторы [5, 6].

Полученная информационная модель детали являлась исходной при разработке и совершенствовании конструктивных и технологических решений в проектировании новой гаммы тяжелых станков. Результаты работы использованы при разработке компоновки тяжелого многоцелевого станка для обработки деталей ветроэнергетики.

Обосновано, что тяжелый многоцелевой станок для обработки деталей ветроэнергетики целесообразно оснащать фрезерной, сверлильной и глубокорасточной головкой. Предложены технические характеристики для новых тяжелых токарных станков, обеспечивающие высокую эффективность их работы.

Выводы

В результате полученной информационной модели детали решена задача создания оптимального набора классификационных признаков, являющихся наиболее информативными для создания оборудования нового поколения. В результате чего создан новый тяжелый многоцелевой станок с модульным принципом компоновки.

Применение модульного принципа позволяет существенно снизить материальные затраты на изготовление модельного ряда станков, сократить время сборки и настройки, а также расширить количество возможных компоновок станков. Целесообразно создавать новую техническую систему из стандартных, хорошо отработанных узлов, используя принцип модульного компоновки – комплектование разнообразных сложных нестандартных комплексов с большим отличием характеристик из небольшого количества экономически обоснованных типов и размеров одинаковых первичных (типичных, унифицированных или стандартных) общих элементов – модулей.

В результате исследований установлено, что создание нового оборудования должно основываться на изучении потребностей предприятий при выпуске современных машин, содержащих детали из новых материалов с повышенными требованиями к точности и качеству с применением новых прогрессивных инструментов и методов обработки.

Перспективным направлением развития конструкций многоцелевых тяжелых токарных станков является оснащение их фрезерными, расточными и шлифовальными модулями, что позволит совместить операции, выполняемые с одной установки детали и повысить производительность и качество изготовления.

Перечень источников литературы: 1. Анализ рынка металлообрабатывающего оборудования в Японии. – М.: ВНИИТЭМР, 1994.-48 с. 2. Анализ рынка металлообрабатывающего оборудования в США. – М.: ВНИИТЭМР, 1994.-64 с. 3. Иванов А.Н. Выставка «Металлообработка-2004» // Вестник машиностроения. – 2004.-№5.-76 с. 4. Барсегян А.А. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining. – «БХВ-Петербург», 2004.-331 с. 5. Классификатор ЕСКД. Иллюстрированный определитель деталей. – М.:Изд-во стандартов, 1986.-401 с. 6. Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения. – М.:Изд-во стандартов, 1987.-256 с. 7. Ковалев В.Д., Гаков С.А., Белов Н.А. Повышение конкурентоспособности тяжелых токарных станков за счет уменьшения их металлоемкости. Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали восьмої Міжнародної науково-технічної конференції 1-4 червня 2010 року / Під заг. ред. В. Д. Ковальова. – Краматорськ: ДДМА, 2010. – С. 51. 8. Ковалев В.Д. Перспективы развития конструкций тяжелых станков. Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали восьмої Міжнародної науково-технічної конференції 1-4 червня 2010 року / Під заг. ред. В. Д. Ковальова. – Краматорськ: ДДМА, 2010. – С. 3.

Рецензент: Гузенко В.С., к.т.н., проф. ДДМА

СОЗДАНИЕ НОВОГО РАЦИОНАЛЬНОГО МЕТАЛОРЕЖУЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ ТЯЖЕЛОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Сукова Т.А., Шевченко Э.С.

Сформирована и проанализирована представительная база знаний о предприятиях тяжелого машиностроения, и обоснована информационная модель детали. Детали объединены в конструкторско-технологические группы, которые целесообразно обрабатывать на проектируемом оборудовании. В результате чего разработаны рекомендации по выбору рациональной компоновки тяжелых станков и создан новый тяжелый многоцелевой станок с модульным принципом компоновки.

СТВОРЕННЯ НОВОГО РАЦИОНАЛЬНОГО МЕТАЛОРИЗАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ УМОВ ВАЖКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

Сукова Т.О., Шевченко Е.С.

Сформована та проаналізована показна база знань про підприємства важкого машинобудування, і обґрунтована інформаційна модель деталі. Деталі об'єднані в конструкторсько-технологічні групи, які доцільно обробляти на проектованому обладнанні. Внаслідок чого розроблені рекомендації по вибору раціональної компоновки важких верстатів і створений новий важкий багатоцільовий верстат з модульним принципом компоновки.

CREATION OF THE NEW RATIONAL METAL-CUTTING EQUIPMENT FOR CONDITIONS OF HEAVY MECHANICAL ENGINEERING

Sukova T., Shevchenko E.

Generated and analyzed a representative of the knowledge base of heavy machinery, and substantiated information model details. Details combined in design and engineering group, which is reasonable to process at the designed equipment. As a result, the recommendations on the choice of a rational arrangement of heavy machinery and a new multi-purpose heavy machine with a modular arrangement principles.

Ключевые слова: база знаний, информационная модель детали, конструкторско-технологическая группа, компоновка.

Ключові слова: база знань, інформаційна модель деталі, конструкторсько-технологічна група, компоновка.

Key words: knowledge base, information model details, design and engineering group, arrangement.

Дата надходження статті: 8 травня 2013 р.

РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.9

Михайлов А.Н., Петряева И.А., Михайлов Д.А., Михайлова Е.А.

ДонНТУ, Донецк, Украина

mntk21@mail.ru

КЛАССИФИКАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Постановка проблемы. Научно-технический прогресс постоянно требует от технологов решения вопросов кардинального повышения качества изделий машиностроения. Это особенно необходимо для изделий, работающих в сложных условиях эксплуатации, к которым предъявляются высокие требования к свойствам. В эксплуатационных условиях на изделия действует целое множество различных функций. Причем эти функции имеют различные особенности, а именно переменные параметры действия в пространстве изделия и во времени, которые могут изменяться по различным законам. При проектировании изделий, работающих в таких условиях, эти особенности не учитываются, и обычно они проектируются по предельно действующей нагрузке. Например, по максимальному удельному давлению в эпоре контактных напряжений, или по максимальному изгибающему моменту в эпоре изгибающих напряжений, и так далее. То есть проектируется изделие (деталь) не из условия зонального действия предельных нагрузок, а из условия действия предельных нагрузок для всей детали. Это в ряде случаев экономически не целесообразно и даже в некоторых случаях не допустимо.

При этом в процессе реализации технологических воздействий (технологий) и обеспечении свойств изделию также не учитываются действия переменных в пространстве и во времени эксплуатационных функций. Здесь закладываются общие свойства изделия из условия действия предельных нагрузок, максимальных удельных давлений и износа элементов изделия.

Кроме того, в технологии машиностроения при создании процессов принято изделие разбивать на исполнительные поверхности и проектировать технологический процесс применительно к этим поверхностям. При этом развитие науки и техники уже требует от

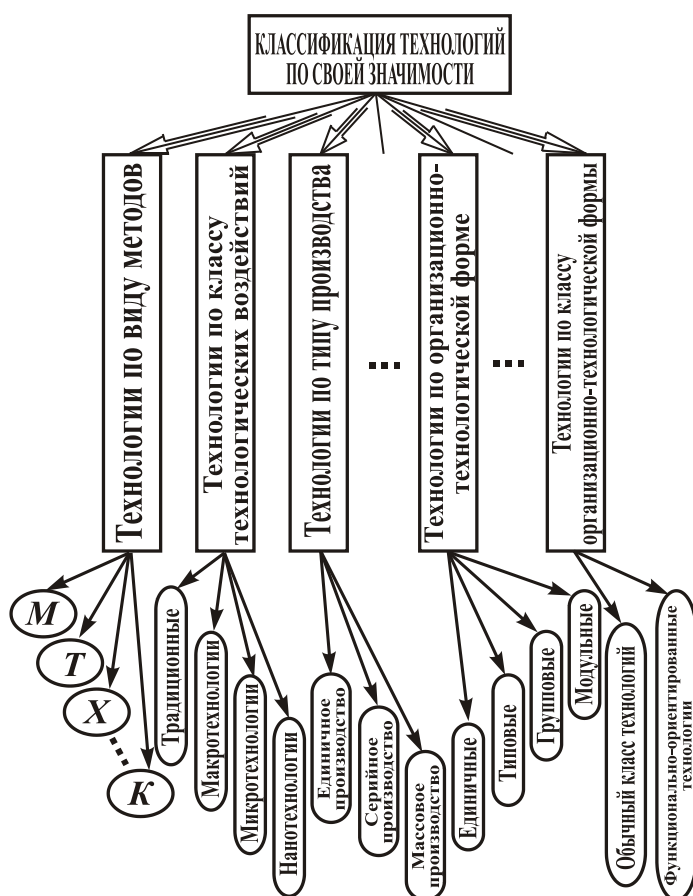


Рис. 1. Классификация множества различных по своей значимости (по различным особенностям) технологий машиностроения

технологов более тонкого обеспечения свойств, в ряде случаев с изменяющимися параметрами, на уровне зон, макро- и микро участков. Причем существующие подходы в технологии машиностроения не дают ответов в организационно-технологическом плане как это рационально выполнять и обеспечивать заданные, требуемые или предельные свойства изделиям.

Также можно заметить, что существующие технологии различного назначения обычно позволяют обеспечивать свойства изделий только в одном конкретном направлении. Например, комбинированные технологии [1] обеспечивают свойства изделий в зависимости от вида методов, нанотехнологии – в зависимости от класса технологических воздействий на наноуровне [2], технологии серийного производства – в зависимости от типа производства [3], модульные технологии – в зависимости от организационно-технологической формы технологий [4], функционально-ориентированные технологии – в зависимости от класса организационно-технологических форм технологий [5] и так далее. Это связано с тем, что в настоящее время нет основополагающих данных для совместного применения этих технологий, условно объединяемых как множество различных по своей значимости технологий (рис. 1). Вместе с тем, только комплексное использование этих технологий дает возможность вести дальнейшее повышение качества изделий. Именно комплексное их использование позволяет обеспечивать и качественно новую совокупность свойств, и качественно новую меру полезности изделий. При этом применение функционально-ориентированных технологий [5] позволяет вести управление параметрами свойств изделия по структуре различных по значимости технологий [6] в композиционных технологиях. В связи с этим, целесообразно создание универсальной технологии, которая учитывала бы достоинство различных по значимости технологий и решала вопросы более тонкой и прецизионной реализации свойств изделий в обычных условиях, на макро-, микро- и наноуровнях, с возможностью изменения свойств изделий в пространстве и / или времени на базе функционально-ориентированного подхода. Причем за счет обеспечения рекуррентно-итерационных связей между различными по значимости технологий обеспечивается на каждом уровне возможность реализации композиции свойств с учетом достоинств всех технологий.

Поэтому для решения этих вопросов потребны нетрадиционные подходы в создании принципиально новых технологий, позволяющих решать сложные задачи создания машин нового поколения с композицией свойств, получаемых за счет применения различных по значимости технологий [6].

Формулирование цели и задач работы. Целью данной работы является повышение качества изделий машиностроения на основе специальных композиционных технологий, проектирование которых базируется на сочетании различных по значимости технологий на базе принципов композиции, количество которых в композиции определяется числом направления обеспечения свойств изделию.

В соответствии с поставленной целью в данной работе определены следующие задачи:

1. Выполнить описание особенностей синтеза композиционных технологий.
2. Представить классификацию композиционных технологий.
3. Показать особенности синтеза и перспективы развития композиционных технологий.

Эти задачи и решаются в данной работе.

Основные особенности синтеза композиционных технологий. Можно отметить, что композиционная технология это не сумма нескольких технологий или их прямое соединение в единую технологию. Это нечто новое, более значимое в технологии машиностроения, позволяющее обеспечивать изделиям качественно новую совокупность свойств и меру полезности. Композиционная технология это новый класс организационно-технологической формы технологии. Процесс создания этих технологий базируются на следующих принципах композиции:

1. Совместимости структуры технологий.
2. Единства и общности структуры соединяемых технологий.
3. Способности соединяемых технологий к гибридизации.
4. Управляемости технологическими воздействиями и свойствами изделий.
5. Действия между технологиями итерационно-рекуррентных связей.

6. Способности композиционной технологии к реализации качественно новых методов технологических воздействий и принципов преобразования свойств изделий.

7. Обеспечения качественно новой совокупности свойств и меры полезности.

Композиционная технология – это специальная технология, структура которой образовывается сочетанием не менее двух различных по значимости технологий на основе принципов композиции, количество которых определяется числом направлений обеспечения свойств изделий.

Процесс сочетания и соединения технологий в композиционную технологию базируется на следующем множестве различных по значимости технологий (рис. 1):

1. На технологиях T_1 , структурирующихся по виду методов обработки (механической обработки, термической обработки, химической обработки, ..., комбинированной обработки).

2. На технологиях T_2 , образованных по классу технологических воздействий (традиционные технологии, макро-, микро- и нанотехнологии).

3. На технологиях T_3 , формирующихся по типу производства (единичное, серийное и массовое производство).

.....
 x. На технологиях T_x , подразделяющихся по организационно-технологической форме (единичные, типовые, групповые и модульные технологии).

.....
 X. На технологиях T_X , определяющихся по классу организационно-технологической формы технологий (обычные технологии, функционально-ориентированные технологии).

Таким образом, композиционная технология структурируется на множестве следующих технологий:

$$KOT = \{ T_1, T_2, T_3, \dots, T_x, \dots, T_X \} ; \tag{1}$$

KOT – композиционная технология, состоящая из X технологий;

T_x - x -я технология;

X – общее количество различных технологий (признаков).

Генерирование полного множества различных вариантов композиционных технологий можно выполнять на базе следующей морфологической матрицы:

$$KOT = \begin{pmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} & \dots & T_{1k} & \dots & T_{1K} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} & \dots & T_{2l} & \dots & T_{2L} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} & \dots & T_{3m} & \dots & T_{3M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ T_{x1} & T_{x2} & T_{x3} & \dots & T_{xp} & \dots & T_{xP} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ T_{x1} & T_{x2} & T_{x3} & \dots & T_{xr} & \dots & T_{xR} \end{pmatrix} ; \tag{2}$$

где $T_x = \{ T_{x1}, T_{x2}, T_{x3}, \dots, T_{xp}, \dots, T_{xP} \}$ - варианты x -й технологии (варианты x -го признака);

$K, L, M, \dots, P, \dots, R$ – мощности (количество) вариантов технологий 1, 2, 3, ..., x , ..., X соответственно.

Можно отметить, что каждый элемент матрицы (2) может состоять из следующих элементов или операций:

$$T_{ij} = \{ t_{ij1}, t_{ij2}, t_{ij3}, \dots, t_{ijg}, \dots, t_{ijG} \} ; \tag{3}$$

где T_{ij} - любой элемент матрицы (2.2), располагающийся в i -й строке и j -м столбце;

t_{ijg} - g -й элемент (операция) множества T_{ij} ;

G – мощность множества T_{ij} .

В морфологической матрице (2) окружностями и связями показан один из возможных укрупненных вариантов структуры композиционной технологии. Перебирая структурные варианты композиционных технологий матрицы (2) на базе морфологического подхода генерируется полное множество возможных вариантов композиционных технологий. На базе генерированного множества выполняется выбор оптимального, доминирующего или рационального варианта композиционной технологии обработки конкретного изделия машиностроения.

В целом композиционная технология базируется на композиции структур нескольких различных по значимости технологий:

$$Str_k \{ T, A \} = \bigotimes_{x=1}^X Str_x \{ T_x, A_x \}, \quad (4)$$

где $Str_k \{ T, A \}$ - структура композиционной технологии, состоящая из множества T элементов (операций) и множества A отношений (связей) на множестве T ;

$Str_x \{ T_x, A_x \}$ - структура x -ой технологии, состоящая из множества T_x элементов (операций) и множества A_x отношений (связей) на множестве T_x ;

X - общее количество (мощность множества) соединяемых технологий в композиционную технологию.

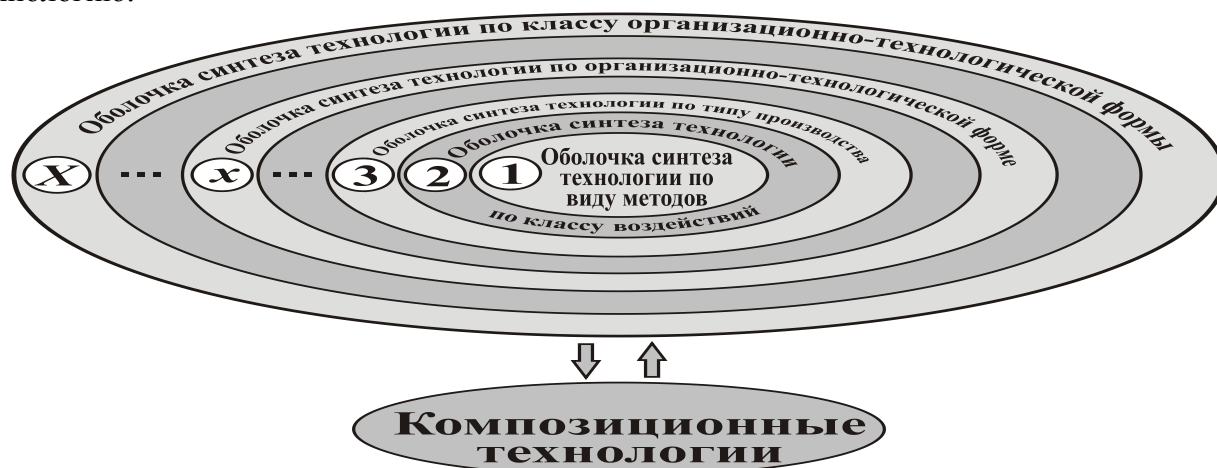


Рис. 2. Многоуровневый синтез композиционных технологий в оболочках X уровней

Следует заметить, что выполняемое объединение технологий в композиционную технологию образует общую новую структуру технологии. В композиционной технологии выполняется предварительный синтез структуры технологии, затем рекуррентный итерационный синтез и корректирование созданной первоначально структуры технологии на базе принципов и особенностей синтеза следующей технологии, потом последующей технологии и так далее. Здесь используются прямые и обратные связи между этапами проектирования композиционной технологии. При этом создается качественно новая структура технологии, и это не сумма соединяемых технологий – это композиция технологий. Композиционная технология позволяет обеспечивать изделиям качественно новые свойства по нескольким направлениям, число которых зависит от количества вариантов соединяемых технологий.

Проектирование композиционной технологии выполняется поэтапно на множестве параметров каждой технологии, которое можно представить в виде оболочек множеств особенностей проектирования технологий, представленных на рис. 2. Общий подход в создании композиционных технологий базируется на многоуровневом проектировании структуры технологии в оболочках X уровней. Здесь оболочки технологий структурируются следующим образом:

1. Оболочка синтеза технологий по виду методов.
2. Оболочка синтеза технологий по классу воздействий.
3. Оболочка синтеза технологий по типу производства.
-
- x . Оболочка синтеза технологий по организационно-технологической форме.

Х. Оболочка синтеза технологий по классу организационно-технологической формы.

Следует отметить, что между оболочками действуют итерационно-рекуррентные связи, что позволяет синтезировать и корректировать структуру композиционного технологического процесса. Итерационно-рекуррентные связи между отдельными этапами проектирования технологий позволяют, во первых - последовательно выполнять синтез структуры технологического процесса на базе всех этапов композиционных технологий, во вторых - производить возврат процесса проектирования на предыдущие этапы и корректировать разработанную ранее структуру технологического процесса, и в третьих - при синтезе технологии обходить отдельные этапы проектирования как в прямом, так и в обратном направлениях. Этот подход дает возможность вести композицию, синтезировать и корректировать композиционную технологию.

Заметим, что в оболочке первого уровня (рис. 2) выполняется синтез структуры технологического процесса на базе принципов синтеза технологий по виду методов. К этим методам можно отнести следующие: механической обработки, термической обработки, химической обработки, ..., комбинированной обработки. Для реализации технологических воздействий могут использоваться различные методы обработки изделий. Однако наиболее перспективно применение комбинированных (гибридных) методов или технологий. Применение этих технологий позволяет обеспечивать заданные, требуемые или предельные свойства изделий машиностроения. При этом комбинированные технологии дают возможность решать вопросы повышения качества изделий за счет структуры технологического процесса. Условно этот процесс можно представить как повышение качества изделия «вширь» - по структуре технологического процесса.

В оболочке второго уровня (рис. 2) выполняется синтез и корректирование структуры разработанной ранее технологии на базе принципов синтеза технологий по классу воздействий. К этим технологиям можно отнести традиционные, макро-, микро- и нанотехнологии. Здесь необходимо корректировать и дополнять разработанную ранее структуру технологии

новыми операциями. Это обусловлено тем, что макро-, микро- и нанотехнологии содержат ряд дополнительных операций. Например, нанотехнологии включают следующие дополнительные операции: обеспечение особых состояний вещества, синтез нового материала, размельчение материала, компактирование материала, сохранение дисперсности материала, управление свойствами материала изделия.

С помощью макро-, микро- и нанотехнологий решаются вопросы обеспечения заданных свойств изделий на каждой операции, например, комбинированного метода или с помощью комбинированных методов технологических воздействий, то есть условно можно представить как повышение качества изделия «вглубь». В этом случае дальнейшее повышение качества изделий машиностроения реализуется более тонко и прецизионно уже на макро-, микро- и наноуровнях. На основании этого, преобразование свойств изделий должны выполняться с помощью макро-, микро- и нанотехнологий.

В оболочке третьего уровня (рис. 2) снова выполняется синтез и корректирование структуры синтезированной технологии на базе принципов, определяющихся типом производства. В этом случае разрабатываемая технология строится на основе принципов технологий единичного, серийного и массового производства. И так далее выполняется построение композиционной технологии в оболочках других уровней.

Затем, в оболочке x -го уровня производится синтез и корректирование структуры технологии на базе принципов организационно-технологических форм технологий, а именно: единичных, типовых, групповых или модульных технологий. И так далее строится композиционная технология на следующих уровнях проектирования.

Далее, в последней оболочке X -го уровня выполняется синтез и корректирование структуры композиционной технологии на базе

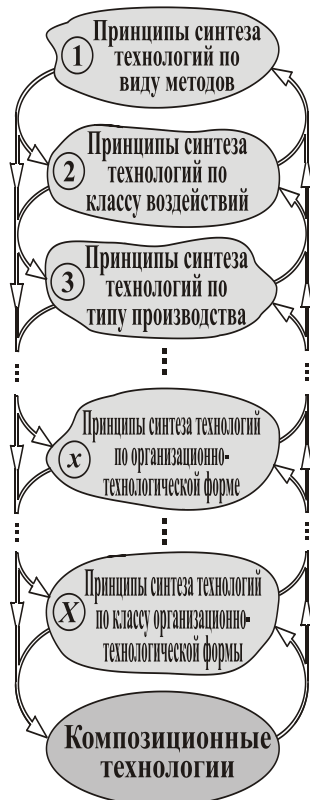


Рис. 3. Схема связей между этапами синтеза композиционных технологий

принципов определяющихся по классу организационно-технологической формы технологий. Здесь могут быть обычные или функционально-ориентированные технологии.

Можно отметить некоторые характеристики оболочек проектирования композиционной технологии:

1-й уровень – фундамент, основа или ядро формирования структуры технологии;

x-й уровень - дополнение, уточнение, корректировка структуры на базе принципов рассматриваемой технологии;

X-й уровень – управляющая технология на базе функционально-ориентированного подхода.

Функционально-ориентированные технологии [5] дают возможность вести управление свойствами изделий на различных уровнях функциональных элементов, а также позволяют полностью адаптировать изделия при изготовлении к особенностям их эксплуатации в машине или технологической системе и обеспечить заданный, требуемый или предельный их эксплуатационный потенциал. Это реализуется на базе оболочки функционально-ориентированной технологии.

Использование принципов функционально-ориентированного подхода позволяет вести управление свойствами изделия в зависимости от особенностей его эксплуатации в машине,

что дает возможность адаптировать изделие при изготовлении к особенностям эксплуатации.

Заметим, что для создания различных композиционных технологий возможно применение оболочек и других уровней. Увеличивая количество оболочек при синтезе композиционной технологии можно увеличить мощность многообразия направлений повышения качества изделий машиностроения. А также возможно исключение некоторых оболочек технологий в процессе синтеза композиционной технологии.

Перспективы развития композиционных технологий.

В процессе реализации композиционной технологии повышение свойств и качества изделий обусловлено, прежде всего, тем, что в этих технологиях свойства изделий достигаются сразу по нескольким направлениям на базе принципов композиции.

При этом за счет того, что композиционная технология

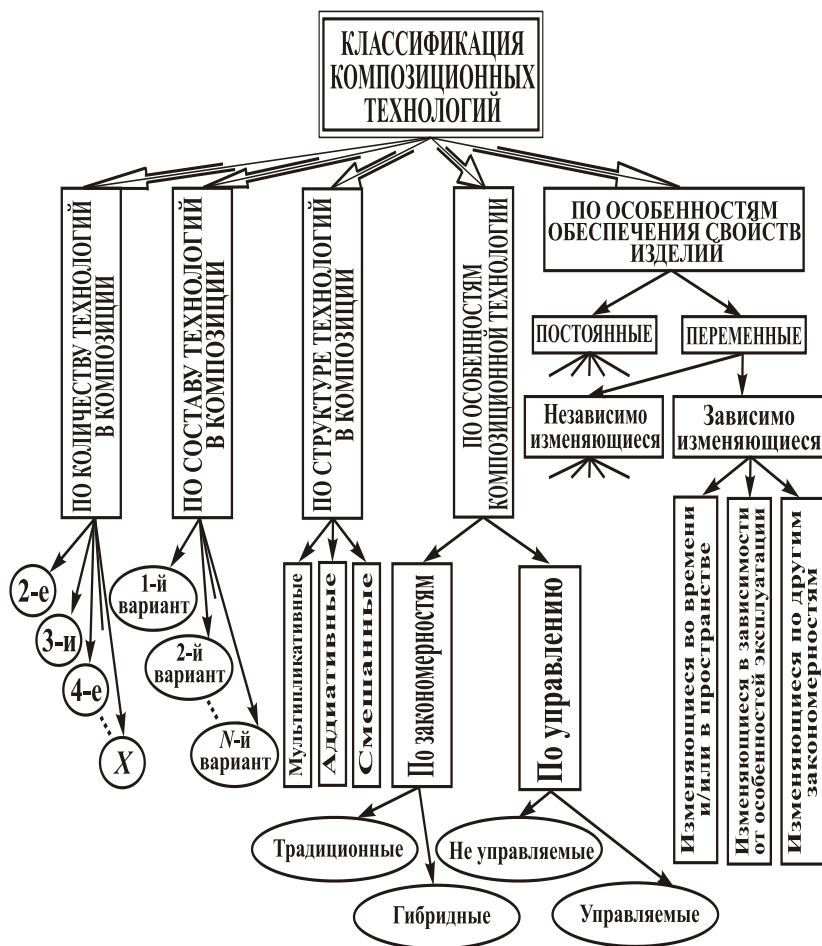


Рис. 4. Общая классификация композиционных технологий

создается на множестве различных по значимости технологий и обеспечиваются итерационно-рекуррентные связи между оболочками процесса проектирования реализуется возможность генерирования множества композиционных технологий, отличающихся друг от друга следующим (рис.4): количеством соединяемых в композицию различных по значимости технологий; составом соединяемых в композицию различных по значимости технологий; структурой технологий в композиции; особенностями обеспечения свойств изделий. В этом случае обеспечивается возможность выбора заданной технологии.

В качестве примера на рис. 5 приведены варианты трех компонентной технологии (функционально-ориентированная комбинированная технология) со следующими классами технологических воздействий: а – макротехнология, б – микротехнология, в – нанотехнология.

Композиционные технологии обеспечивают возможность изготовления изделий с нетрадиционными свойствами, а именно:

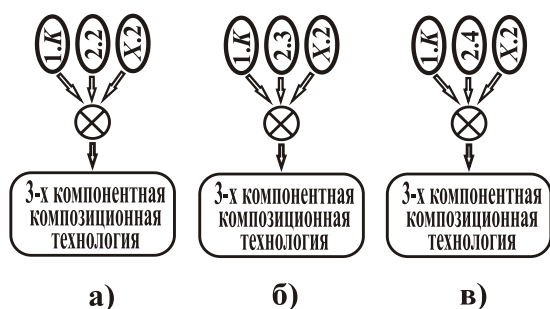


Рис. 5. Трех компонентная технология (функционально-ориентированная комбинированная) со следующими классами технологических воздействий: а –

- изменяющиеся свойства изделия в пространстве и / или времени по заданным законам;
- появляется возможность обеспечивать свойства на макро-, микро- и наноуровнях;
- появляется возможность управления свойствами изделия на базе принципов функционально-ориентированных технологий;
- формировать структуру и состав композиционных технологий в зависимости от заданных, требуемых или предельных свойств изделий.

Таким образом, композиционные технологии предназначены для изготовления изделий с нетрадиционными свойствами, а следовательно могут быть применены для проектирования машин и технологических систем нового поколения.

Выводы. Дальнейшее повышение качества изделий машиностроения, в том числе и обеспечение нетрадиционных свойств, возможно на базе композиционных технологий. Их проектирование базируется на сочетании различных по значимости технологий на базе принципов композиции, количество которых в композиции определяется числом направления обеспечения свойств изделию.

В работе разработаны основы синтеза универсальных технологий - композиционных, которые учитывают достоинства различных по значимости технологий и решают вопросы более тонкой и прецизионной реализации свойств изделий в обычных условиях, на макро-, микро- и наноуровнях, с возможностью изменения свойств изделий в пространстве и / или времени на базе функционально-ориентированного подхода.

В данной работе приведено описание особенностей синтеза композиционных технологий на базе принципов композиции. Представлена классификация композиционных технологий, которая позволяет производить выбор технологии на генерированном множестве композиционных технологий. Здесь также показаны особенности синтеза и перспективы развития композиционных технологий.

Перечень источников литературы: 1. Физико-технологические основы методов обработки / Под ред. А.П. Бабичева. – Ростов н/Д: Феникс, 2006. – 409 с. ISBN 5-222-09330-1. 2. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 416 с. ISBN 978-59221-0582-8. 3. Суслов А.Г. Технология машиностроения: Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов. – М.: Машиностроение, 2004. – 400 с. ISBN 5-217-03223-5. 4. Базров Б.М. Модульные технологии. – М.: Машиностроение, 2001. – 368 с. ISBN 5-217-03061-5. 5. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с. ISBN 966-7907-24-4. 6. Михайлов А.Н., Михайлова Е.А., Михайлов Д.А. Основы синтеза композиционных технологий машиностроения // Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні / Вісник Національного університету «Львівська політехніка». № 713 – Львів: НУ «Львівська Політехніка», 2011. С. 23 - 31. ISSN 0321-0499.

Рецензент: **Ковалёв В.Д.**, д.т.н., проф., ДГМА

КЛАССИФИКАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Михайлов А.Н., Петряева И.А., Михайлов Д.А., Михайлова Е.А.

В работе приведены данные по созданию композиционных технологий, созданных на множестве разных по значимости технологий, а именно: технологий, созданных по методу обработки, технологиях, сформированных по классу технологических воздействий (традиционные, макро-, микро- и нанотехнологии), технологиях, подразделяющихся по типу производства, технологиях, определяемых по организационно-технологической форме (единичные, типовые, групповые, модульные) и технологиях, структурированных по классу организационно-технологических форм (обычные, функционально-ориентированные). Композиционные технологии позволяют обеспечить качественно новую совокупность свойств изделий машиностроения, а именно, которые изменяются в пространстве и / или времени. В статье показаны перспективы развития и применения композиционных технологий для различных изделий машиностроения.

КЛАСИФІКАЦІЙНІ ОСОБЛИВОСТІ Й ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МАШИНОБУДУВАННІ

Михайлов О.М., Петряєва І.О., Михайлов Д.О., Михайлова О.О.

У роботі приведені дані по створенню композиційних технологій, утворених на множині різних за значимістю технологій, а саме: технологій утворених по методу обробки, технологіях формованих по класу технологічних дій (традиційні, макро-, мікро- і нанотехнології), технологіях тих, що підрозділяються за типом виробництва, технологіях тих, що визначаються по організаційно-технологічній формі (одиночні, типові, групові, модульні) і технологіях структурованих по класу організаційно-технологічних форм (звичайні, функціонально-орієнтовані). Композиційні технології дозволяють забезпечувати якісно нову сукупність властивостей виробів машинобудування, а саме що змінюються в просторі і / або часу. У статті показані перспективи розвитку і застосування композиційних технологій для різних виробів машинобудування.

CLASSIFICATION FEATURES AND MAIN CHARACTERISTICS OF COMPOSITIONAL TECHNOLOGIES IN MECHANICAL ENGINEERING

Mikhaylov A.N., Petryaeva I.A., Mikhaylov D.A., Mikhaylova E.A.

To the article data are driven on creation of the composition technologies synthesized on the great number of different on meaningfulness technologies. Composition technologies allow to provide qualitatively new totality of properties of wares of engineer with changing in space and / or to time by properties. In hired the prospects of development and application of composition technologies are shown for the different details of engineer.

Ключевые слова: Машиностроение, композиционные технологии, новый класс технологий, нетрадиционные свойства изделий, классификация технологий

Ключові слова: Машинобудування, композиційні технології, новий клас технологій, нетрадиційні якості виробів, класифікація технологій

Key words: Mechanical engineering, compositional technology, new class of technologies, unconventional product properties, technologies classification

Дата надходження статті: 18 травня 2013 р.

УДК 621.914.02

Струтинський В.Б., Покінтелиця М.І.
НТУУ «КПІ», м. Київ, СевНТУ, м. Севастополь, Україна
tm@sevntu.com.ua

ВЛАСТИВОСТІ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ, ВИГОТОВЛЕНИХ КОМПЛЕКСНИМ МЕТОДОМ ТЕРМОФРИКЦІЙНОЇ І МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ, ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В ПРОГРЕСИВНИХ КОНСТРУКЦІЯХ МАШИН

Вступ

В сучасних конструкціях машин застосовуються деталі із спеціальними властивостями поверхневого шару. Вони дають можливість суттєвим чином підвищити параметри якості деталей та окремих вузлів машин. Особливо важливе значення мають спеціальні методи обробки деталей, які забезпечують поліпшені характеристики поверхневого шару деталі при обробці. До таких методів відносяться поверхнєве пластичне деформування та термофрикційна обробка (ТФО) поверхонь.

При виконанні останніх досліджень розглянуті різноманітні методи ТФО деталей дисковим інструментом [1]. При цьому представлені результати досліджень силових параметрів, особливостей процесу стружкоутворення та теплових явищ, зносу та стійкості інструменту, виконаного у вигляді різального диску. Підтверджена висока якість обробленої поверхні та розроблені новітні конструкції інструменту [2]. Запропонований комплексний метод термофрикційної та механічної обробки, який дозволяє поєднати позитивні якості способів термофрикційної та подальшої механічної обробки для одержання поверхонь з підвищеними показниками твердості, та які мають регулярну хвилястість [3]. В основному автори використовують експериментальні методи досліджень.

Результатів досліджень особливих властивостей поверхонь деталей після використання комплексного методу термофрикційної та механічної обробки в літературних джерелах не виявлено.

Мета роботи – дослідження властивостей поверхневого шару деталей, виготовлених комплексним методом термофрикційної і механічної обробки, та визначення перспектив їх застосування в прогресивних конструкціях машин.

Основна частина

На основі проведених досліджень прогнозується значне підвищення якісних показників поверхонь одержаної деталі із необхідними властивостями відносно твердості та хвилястості. Розроблені комплексні методи термофрикційної та механічної обробки дають можливість реалізувати фінішні операції обробки з одержанням поверхонь деталей із спеціальними властивостями. До таких властивостей відноситься утворення механічних комплексів («сталь-мідь», «сталь-бронза», «сталь-спеціальна легована сталь», «сталь-окисли металів», «сталь-карбіди» або «сталь-ціаніди»). Це дає можливість здійснювати процеси цементації, азотування, поверхневого легування під час ТФО.

Проведено обробку заготовки з матеріалу сталь 45, в якій поміщені стрижні із бронзи Бр.ОФ10-1, температура плавлення якої 934°C. Стрижні розташовані в заготовці на невеликій відстані від поверхні з кроком 3 мм. Вісі стрижнів паралельні напрямку подачі (рис. 1, а).

При обробці заготовки здійснювалося пошарове знімання металу. Спочатку стружка була суцільною, а потім, при обробці комплексу «сталь-бронза», стружка набула характерної форми криволінійного листа з розрізами (рис. 1, б).

В процесі обробки послідовно руйнуються як поверхні отворів, так і бронзові стрижні. Це відбувається по етапам в залежності від товщини зрізаного шару. Характерними є початкова стадія обробки бронзового стрижня, стадія обробки в діаметральному перетині стрижнів та кінцева стадія, коли оброблюється деталь із залишками стрижнів (рис. 2).

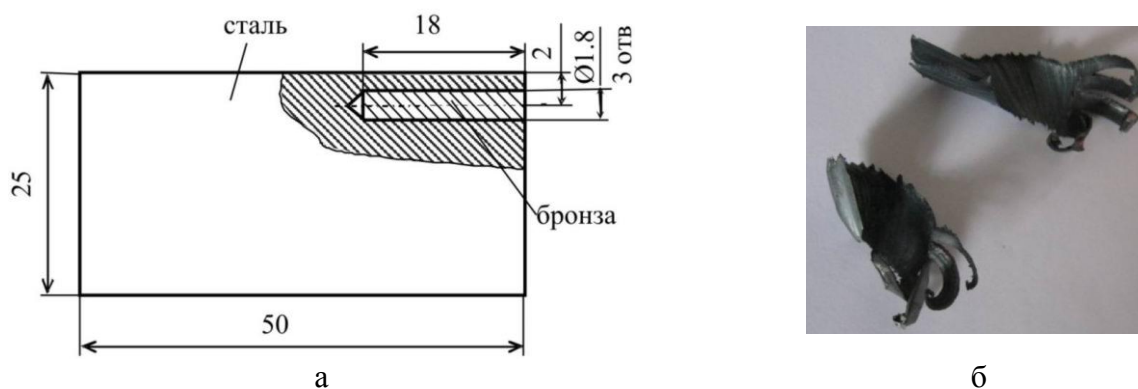


Рис. 1. Спеціальна заготовка зі сталі 45 з бронзовими стрижнями (а) та стружка при одночасній обробці сталеві заготовки і бронзових стрижнів (б)

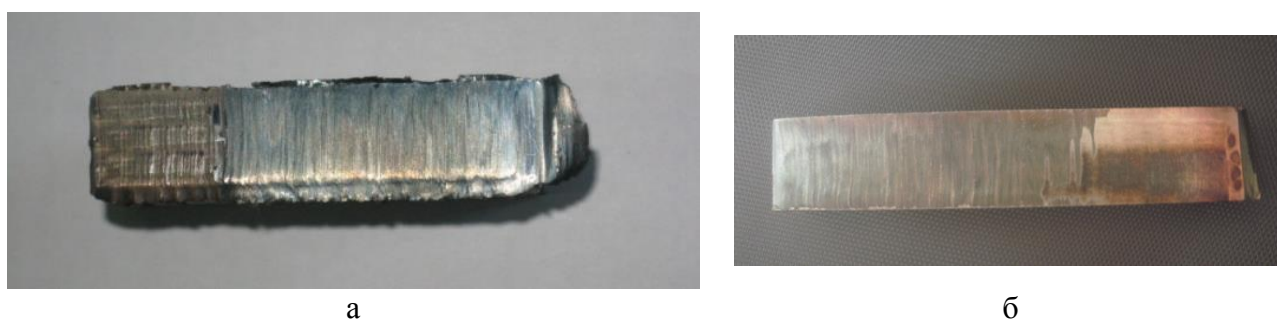


Рис. 2. Оброблена поверхня заготовки із сталі 45 з бронзовими стрижнями (а) та послідовні стадії знімання поверхневих шарів після обробки (б)

При знятті шарів металу площа бронзових ділянок збільшується з досягненням максимуму при обробці діаметрального перетину стрижнів, а потім зменшується. Деталь після ТФО піддається механічній обробці з утворенням рівномірної поверхні, на якій передуються ділянки бронзи і сталі (рис. 3).

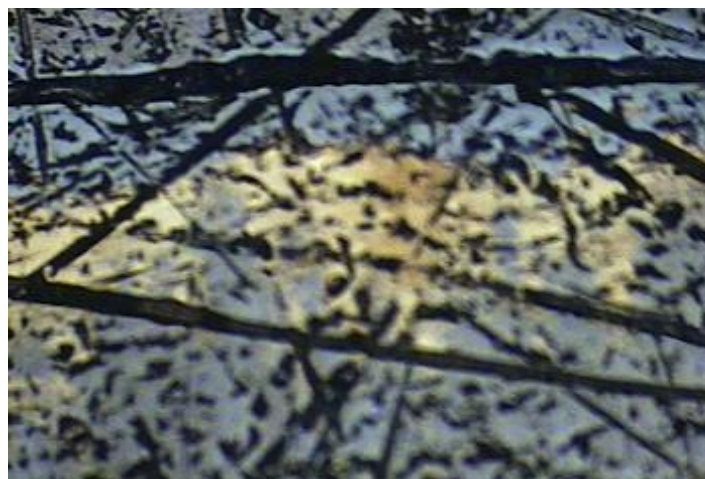


Рис. 3. Поверхня деталі, на якій наведені послідовні ділянки «сталь-бронза» після наступної механічної обробки (риски на фото – сліди абразивних зерен)

В результаті приведених досліджень встановлено, що бронзові і сталеві ділянки поверхні мають міцне з'єднання і утворюють однорідну оброблену поверхню, яка допускає подальшу механічну обробку. Це дає можливість створити нові види підшипників ковзання із підвищеним вмістом кольорових металів.

Запропонована конструкція підшипника включає в себе вал 1 з опорними елементами 2 у вигляді ряду виступів, розташованих рівномірно по периферії вала (рис. 4, а, б) [4].

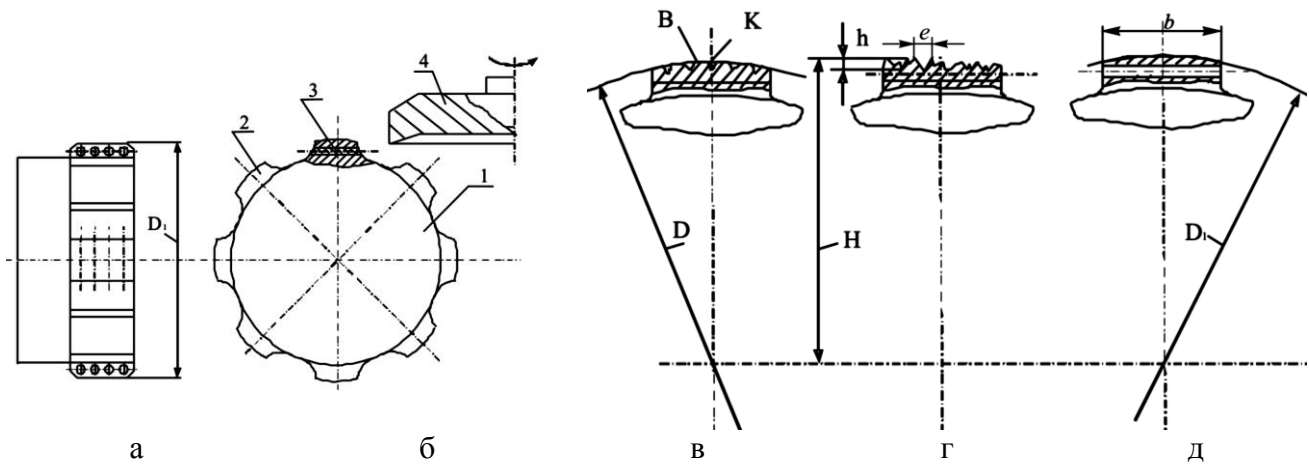


Рис. 4. Запропонована конструкція радіального підшипника ковзання: а – вигляд заготовки вала; б – вигляд збоку вала та дисковий інструмент для обробки опорних елементів; в – перетин заготовки опорного елемента із бронзовими стрижнями; г – хвиляста поверхня, одержана в результаті ТФО; д – поверхня опорного елемента, одержана в результаті комплексної обробки

В заготовку підшипника поміщено ряд бронзових стрижнів 3. Кількість стрижнів визначається шириною опорних елементів і складає 3...5. Обробка опорних елементів здійснюється дисковим інструментом 4. При цьому напрямок подачі співпадає з дотичною до колінного кола підшипника.

Знімання металу відбувається до рівня площини, відповідної діаметральній площині стрижнів. При цьому утворюється хвиляста поверхня 5. Висота хвиль h і довжина хвиль e задаються за допомогою динамічних пристосувань – вібраційного стола або спеціального інструменту з ексцентриситетом зовнішньої циліндричної поверхні. Як правило висота хвиль:

$$2h \approx (1,1 \dots 1,3) \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - b^2} \right),$$

де D – номінальний діаметр вала; b – ширина опорного елемента підшипника.

Рекомендована довжина хвиль:

$$e \cong b / (15 \dots 25).$$

Після ТФО здійснюються наступні операції комплексної обробки поверхні. Вони визначають чорнову шліфувальну операцію, чистову шліфувальну операцію та доводочні операції, наприклад, притирання по чавунній циліндричній поверхні з обертовим та поступальним рухом притира відповідно заготовки.

В результаті фінішної операції формується переривчаста циліндрична поверхня з плоскими виступами, які орієнтовані по осі вала. Глибина канавок між плоскими виступами є максимальною в середині виступу та мінімальною по краям виступу.

Аналогічним чином формуються торцеві підшипники (гідродинамічні п'яти). Опорна поверхня має вигляд кількох секторів, які оброблені за технологією комплексної термофрикційної та механічної обробки. Заготовка підшипника має вигляд вала 1 з опорними елементами 2. В опорних елементах поміщені бронзові стрижні 3 (рис. 5).

При обробці інструмент переміщується в напрямку бісектриси кута між двома сусідніми опорними елементами. За допомогою динамічних пристосувань формуються необхідні параметри хвилястості обробленої поверхні. Після фінішної механічної обробки на опорних елементах формується система плоских ділянок 5 та канавок 6.

При роботі підшипників мастило із канавок попадає на плоскі ділянки. Краї канавок мають невеликий нахил відносно плоских ділянок.

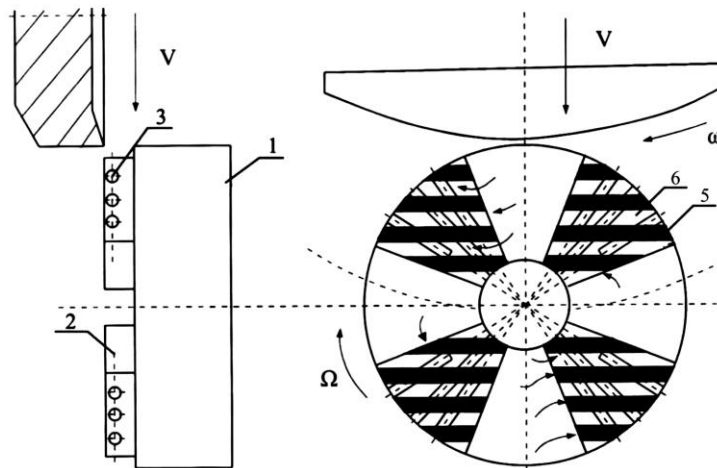


Рис. 5. Схема осевого підшипника, виготовленого з використанням комплексної термофрикційної та механічної обробки

При наявності мастила і взаємного зміщення поверхонь на поверхні канавки виникає зона підвищеного тиску (рис. 6, а). Відомо, що у конфузорному каналі течія мастила відповідає течії в гідродинамічному клині (рис. 6, б).

Для такої течії можна вважати, що сили інерції набагато менші сил в'язкості і застосувати спрощення рівнянь Нав'є-Стокса до виду [5]

$$\text{grad}p = \mu \Delta \vec{v},$$

де p – тиск в рухомій рідині; \vec{v} – швидкість частинок рідини; μ – динамічна в'язкість рідини; Δ – оператор Лапласа.

До цих рівнянь додається рівняння нерозривності потоку рідини у вигляді:

$$\text{div} \vec{v} = 0.$$

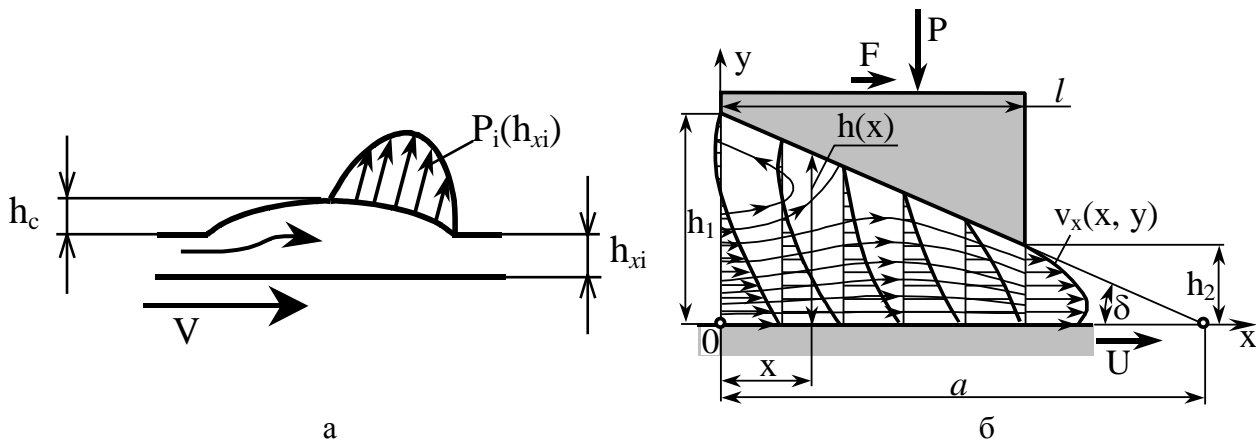


Рис. 6. Утворення гідродинамічного клина в канавці (а) та схема течії рідини в гідродинамічному клині (б)

Зазор між рухомими поверхнями є незначним і тому поперечні складові швидкості v_y малі у порівнянні із поздовжніми v_x . Поперечний перепад тиску $\partial p / \partial y$ також є незначним і ним можна знехтувати в порівнянні з поздовжнім перепадом $\partial p / \partial x$. В результаті три перші рівняння повільного руху рідини зведуться до одного:

$$\frac{dp}{dx} = \mu \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2}. \quad (1)$$

Рівняння нерозривності $\text{div} \vec{v} = 0$ приводиться до умови постійності витрати рідини по довжині щілини:

$$Q = \int_0^{h(x)} v_x dy = \text{const}, \quad (2)$$

де $h(x)$ – змінна по довжині ширина щілини.

Крайовими умовами рівняння (1) будуть:

$$\text{при } y = 0 \rightarrow v_x = U; \text{ при } y = h \rightarrow v_x = 0; \quad (3)$$

$$\text{при } x = 0 \rightarrow p = p_0; \text{ при } x = l \rightarrow p = p_0, \quad (4)$$

де l – довжина зазору; p_0 – постійний тиск рідини за межами підшипника.

Розв'язок рівняння (1) із крайовими умовами (3) має вигляд:

$$v_x = U \left(1 - \frac{y}{h}\right) - \frac{h^2}{2\mu} \frac{y}{h} \left(1 - \frac{y}{h}\right) \frac{dp}{dx}. \quad (5)$$

Гradient тиску $\frac{dp}{dx}$, що входить в (5) повинен бути таким, щоб задовольнити рівнянню нерозривності (2) та крайовим умовам (4). Підставимо значення швидкості (5) у рівняння (2). Одержимо після інтегрування:

$$Q = \frac{Uh}{2} - \frac{h^3}{12\mu} \frac{dp}{dx}.$$

Звідси визначимо похідну тиску по координаті x :

$$\frac{dp}{dx} = 12\mu \left(\frac{U}{2h^2} - \frac{Q}{h^3} \right).$$

Після інтегрування даної залежності одержимо:

$$p(x) = p_0 + 6\mu U \int_0^x \frac{dx}{h^2} - 12\mu Q \int_0^x \frac{dx}{h^3}. \quad (6)$$

Із умови $p = p_0 = 0$ при $x = l$ визначимо витрату рідини в зазорі:

$$Q = \frac{U}{2} \frac{\int_0^l \frac{dx}{h^2}}{\int_0^l \frac{dx}{h^3}}. \quad (7)$$

Таким чином, знаючи форму зазору по довжині $h = h(x)$, можна обчислити витрату Q по формулі (7) і тиск в зазорі по формулі (6).

Для підшипника, який має щілину, утворену плоскими стінками, зміна зазору визначиться лінійною функцією

$$h = \delta(a - x), \quad (8)$$

де δ, a – константи.

Виконавши обчислення витрат за формулою (7) при значенні зазору (8) одержимо:

$$Q = \frac{U\delta(a-l)}{2a-l}.$$

Розподіл тиску по довжині зазору знайдемо по формулі:

$$p(x) = p_0 + 6\mu U \frac{x(l-x)}{h^2(2a-l)}. \quad (9)$$

Якщо ввести значення зазору на вході і виході h_1 і h_2 , формула (9) набуде вигляду:

$$p(x) = p_0 + 6\mu U \frac{l}{h_1^2 - h_2^2} \frac{(h_1 - h)(h - h_2)}{h^2}. \quad (10)$$

Розподіл тиску, який відповідає залежностям (9) і (10), має характерний вигляд (рис. 7), близький до параболічного.

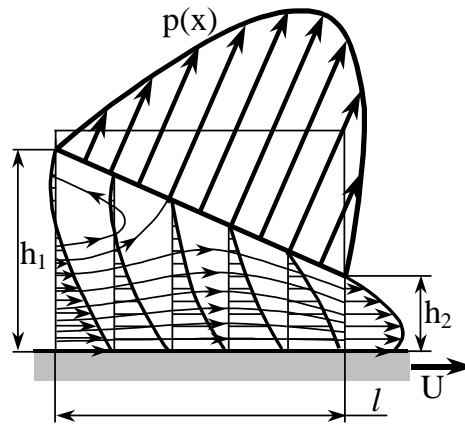


Рис. 7. Епюра тиску в клиновому зазорі гідродинамічного підшипника, утвореного поверхнею канавки

Результуюча сил тиску визначається шляхом інтегрування залежності (10) і складе:

$$P = \int_0^l p dx = \frac{6\mu U l^2}{(k-1)^2 h_2^2} \left[\ln k - \frac{2(k-1)}{k+1} \right], \quad (11)$$

де коефіцієнт $k = h_1/h_2$.

Результуюча сил тиску має екстремум при $k = 2,2$. При цьому

$$P = P_{\max} \cong 0,16 \frac{\mu U l^2}{h_2^2}.$$

Аналогічно знаходиться результуюча дотичних напружень на поверхні канавки:

$$F = - \int_0^l \mu \frac{dv_x}{dy} \Big|_{y=0} dx = \frac{\mu U l}{(k-1)h_2} \left[4 \ln k - \frac{6(k-1)}{k+1} \right].$$

Відповідне значення дотичної результуючої сили при $k = 2,2$ складе:

$$F = F_1 \approx 0,75 \frac{\mu U l}{h_2}.$$

Коефіцієнт тертя клинового гідродинамічного підшипника

$$f_T = \frac{F_1}{P_{\max}} \cong 6 \frac{h_2}{l}.$$

Коефіцієнт тертя є досить малою величиною.

Запропоновані конструкції підшипників мають певну кількість канавок. Тому сумарна несуча здатність торцевого підшипника буде визначена формулою:

$$P_{\Pi} = \sum_{i=1}^n P_i(h_{ri}),$$

де n – загальне число канавок, а несуча здатність окремої канавки визначається формулою (11).

В рухомому контактному з'єднанні (пара тертя) реалізується періодичний змінюваний в часі контакт плоских ділянок. При взаємному зміщенні контактуючих поверхонь має місце періодичне утворення та ліквідація гідродинамічних опорних елементів. При утворенні гідродинамічної опори має місце гарантоване змащення та охолодження контактуючих поверхонь. При ліквідації контакту створюються умови для видалення продуктів зносу та очищення площадок контакту.

Застосування переривчастих плоских поверхонь в рухомих контактах суттєвим чином покращує умови змащення. При формуванні поверхні у вигляді комплексу «сталь-бронза» забезпечується поверхневе легування (бронзування) пар тертя. В результаті підвищуються антизадирні властивості пар тертя. Поверхня з періодичними впадинами збільшує мастилоємність профілю і покращує умови змащення.

Переривчасті плоскі поверхні є ефективними при застосуванні в точних малорухомих контактних парах. Наявність окремих ділянок змінює розподіл напружень в контакті. Якщо контактує переривчаста і плоска поверхня, то контактний тиск розподіляється по лініях, відповідних плоским ділянкам переривчастої поверхні (рис. 8).

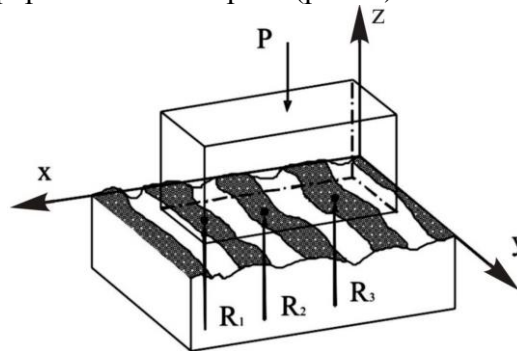


Рис. 8. Схема взаємодії деталі із плоскою поверхнею, одержаною в результаті комплексної обробки

На плоских ділянках виникають опорні реакції R_1 , R_2 , R_3 , які забезпечують рівномірний розподіл контактних напружень.

При контакті двох переривчастих плоских поверхонь, канавки яких розташовані перпендикулярно, в контактній парі формується набір обмежених площадок контакту. Утворені обмежені площадки контакту забезпечують рівномірний розподіл тиску по загальній площі контакту. При зміні взаємного кутового положення контактуючих поверхонь мають місце зміни площадок контакту. При паралельному розташуванні канавок на двох переривчастих поверхнях площадки контакту звужуються і набувають витягнутої форми. При цьому реалізується нерухомий контакт, який ефективно сприймає дотичне навантаження. Такі поверхні доцільно використовувати у з'єднаннях, які сприймають зсувні навантаження.

Висновки

1. Застосування комплексних методів обробки є ефективним при виготовленні деталей машин, зокрема підшипникових вузлів осевого і радіального типів. При цьому робочі поверхні підшипників виготовлені із композитів «сталь-бронза» і мають вигляд плоских площадок із канавками між ними. На краях площадок формуються гідродинамічні клини, які забезпечують несучу здатність підшипників.

2. Встановлено, що запропоновані комплексні методи можуть бути ефективно застосовані для точних малорухомих контактних спряжень. Вони забезпечують рівномірний розподіл контактних напружень, а в разі необхідності – надійність контакту при дії дотичного навантаження.

Література: 1. Зарубицкий Е.У. Определение температуры припуска в период врезания при термофрикционной обработке плоскостей / Е.У. Зарубицкий // Прогрессивные технологии в машиностроении. – Волгоград: ВолгГТУ, 2003. – С. 27–32 с. 2. Зарубицкий Е.У. Высокоскоростная разрезка материала пилами трения / Е.У. Зарубицкий // Создание и применение прогрессивных технологий. – Самара: СамГТУ, 2003. – С. 36–38. 3. Струтинський В.Б. Комплексні методи механічної обробки деталей, що реалізують особливості динаміки технологічної системи верстата / В.Б. Струтинський, М.І. Покінтелиця // Вестник НТУУ «КПІ». Сер.: Машиностроение: сб. науч. тр.– Киев: НТУУ «КПІ», 2012.– Вып. 64.– С. 35–42. 4. Струтинський В.Б. Динамічні процеси в металорізальних верстатах / В.Б. Струтинський, В.М. Дрозденко. – Київ.: Основа-Принт, 2010. – 440 с. 5. Емцев Б.Т. Техническая гидромеханика / Б.Т. Емцев. – М.: Машиностроение, 1987. – 440 с.

Рецензент: **Мироненко Е.В.**, д.т.н., проф. ДГМА

СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ КОМПЛЕКСНЫМ
МЕТОДОМ ТЕРМОФРИКЦИОННОЙ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ,
И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРОГРЕССИВНЫХ
КОНСТРУКЦИЯХ МАШИН

Струтинский В.Б., Покинтелица Н.И.

В работе приведены результаты исследований свойств поверхностного слоя деталей, полученных с применением комплексного метода термофрикционной и механической обработки. Предложено использовать данный метод при изготовлении деталей машин, в частности подшипниковых узлов осевого и радиального типов. Установлено, что полученные поверхности могут быть эффективно использованы для точных малоподвижных контактных сопряжений с обеспечением равномерного распределения контактных напряжений, а в случае необходимости – надежности контакта при воздействии касательной нагрузки.

ВЛАСТИВОСТІ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ, ВИГОТОВЛЕНИХ КОМПЛЕКСНИМ
МЕТОДОМ ТЕРМОФРИКЦІЙНОЇ І МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ,
ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В ПРОГРЕСИВНИХ
КОНСТРУКЦІЯХ МАШИН

Струтинській В.Б., Покінтелиця М.І.

В роботі наведені результати досліджень властивостей поверхневого шару деталей, які отримані із застосуванням комплексного методу термофрикційної та механічної обробки. Запропоновано використовувати даний метод при виготовленні деталей машин, зокрема підшипникових вузлів осевого і радіального типів. Встановлено, що отримані поверхні можуть бути ефективно застосовані для точних малорухомих контактних спряжень із забезпеченням рівномірного розподілу контактних напружень, а в разі необхідності – надійності контакту при дії дотичного навантаження.

SURFACES PROPERTIES OF DETAILS, PRODUCED BY A COMPLEX METHODS
THERMOFRICRIONAL AND MECHANICAL TREATMENT, AND THE PROSPECTS
FOR THEIR USE IN THE PROGRESSIVE CONSTRUCTIONS OF MACHINES

Strutinskiy V.B., Pokintelitsa N.I.

The paper presents the results of studies of the properties of the surface layer of details obtained using a complex method thermofrictional and mechanical treatment. Proposed to use this method in the manufacture of machine details, in particular bearing units of axial and radial types. Found that the results obtained on the surface can be effectively used for accurate low mobility of contact interfaces to ensure uniform distribution of the contact loads, and in case of necessity contact reliability under the influence of tangential load.

Ключевые слова: Термофрикционная обработка, деталь, режущий диск, волнистость, стержень, подшипник, канал, вязкость.

Ключові слова: Термофрикційна обробка, деталь, різальний диск, хвилястість, стрижень, підшипник, канал, в'язкість.

Key words: Thermofrictional treatment, detail, cutting disk, undulation, rod, bearing, channel, viscosity.

Дата надходження статті: 15 травня 2013 р.

УДК 01.534.1

Родічев Ю.М.
ІПМіц НАН України
rym3@mail.ru

ВПЛИВ ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ ВИРОБНИЦТВА СКЛА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МІЦНОСТІ

Завдяки технічному прогресу у виробництві листового скла і його обробки нові композитні матеріали та конструкції на його основі широко використовуються при створенні об'єктів нової техніки, призначені для роботи у складних умовах навантаження. До таких відповідальних конструкцій відноситься авіаційне скління. Електро-обігрівне скло кабін пілотів, являє собою складну композиційну конструкцію, що складається з багатошарового силового блоку і електро-обігрівного шару скла, міцність якої повинна бути забезпечена при тривалій експлуатації.

Проблема забезпечення працездатності несівних конструкцій такого типу обумовлена невизначеністю фактичного рівня міцності склоелементів через принципової відмінності механічного поведінки скла в порівнянні з металами, пластиками та іншими конструкційними матеріалами. Було показано, що на відміну від інших матеріалів реальна конструкційна міцність скла не є його стабільною характеристикою, тому що вона залежить від великої кількості визначальних факторів технологічного, конструкційного та експлуатаційного походження [1-3]. Рівень міцності на згин та розтяг скла може змінюватися від 20 МПа до 150 МПа залежно від стану дефектності поверхні, яка включає у першу чергу мікротріщини тріщинуватого поверхневого шару [2] та багато інших дефектів і пошкоджень, що формуються при виготовленні базового листового флоат скла, його наступному обробленні та при експлуатації. Для скла характерним є значний природний розкид значень міцності зразків та елементів конструкцій до $\pm 30...50\%$. Основою статистичної природи міцності є неоднорідність видів тріщин, інших дефектів будови та пошкоджень, що існують переважно на поверхні скла. Для призначення допускних розрахункових напружень у відповідальних силових та функціональних конструкціях з скла орієнтуються на нижню границю міцності із належним рівнем вірогідності руйнування. Чим вище культура виробництва та технічний рівень технологічного обладнання, тим менше розкид значень міцності та вище не тільки середні значення міцності а й мінімальний рівень міцності при заданій ймовірності руйнування [4-6].

Метою роботи є, на основі аналізу статистичних характеристик міцності, оцінити потенційні властивості стекел різних виробників, які можуть бути реалізовані в конструкції при належній технологічній обробці і поводженні та показати необхідність вхідного контролю скла на підприємствах.

Статистичні закономірності міцності на згин різних видів листового флоат скла оцінювали на зразках квадратної форми в умовах короткочасного навантаження на центрально-симетричний згин, коли в робочій зоні зразка реалізується стан рівномірного двовісного розтягу. За цих умов, на тріщини, орієнтовані по різних напрямках, діють однакові за величиною головні напруження розтягу. Внаслідок цього підвищується вірогідність F руйнування зразків при меншому рівні напружень порівняно з випробуваннями на поперечний згин. Цей спосіб випробувань дає можливість визначити границю міцності скла з урахуванням стану «газової» та «олов'яної» поверхонь скла. При цьому стан краю зразків не впливає на результати випробувань. Таким чином стає можливим оцінити вплив відповідних технологій виробництва листового флоат скла різних виробників на механічну поведінку саме бокових поверхонь, які, як відомо, мають помітні відмінності внаслідок впливу розплаву олова, умов просування стрічки скла у різних технологічних частинах флоат лінії, а також впливу газового середовища та інших факторів, що впливають у цілому на міцність скла. Випробуванням підлягали зразки вітчизняного скла Лісичанського заводу «Пролетар», Борського склозаводу (Росія), а також провідних виробників закордонного скла – Pilkington, Sphinx та Euroglas. То-

вщина зразків для випробувань відповідала товщині електрообігрівного шару авіаційного скління і становила 5мм. Кількість зразків однієї партії - 30 шт.

На рис.1-5 представлено результати статистичної обробки за Вейбулом значень міцності зразків розміром 5x100x100 мм у вигляді об'єднаної вибірки для "газової" та "олов'яної" поверхонь скла Лісичанського та Борського заводів, виробників Pilkington, Sphinx та Euroglas.

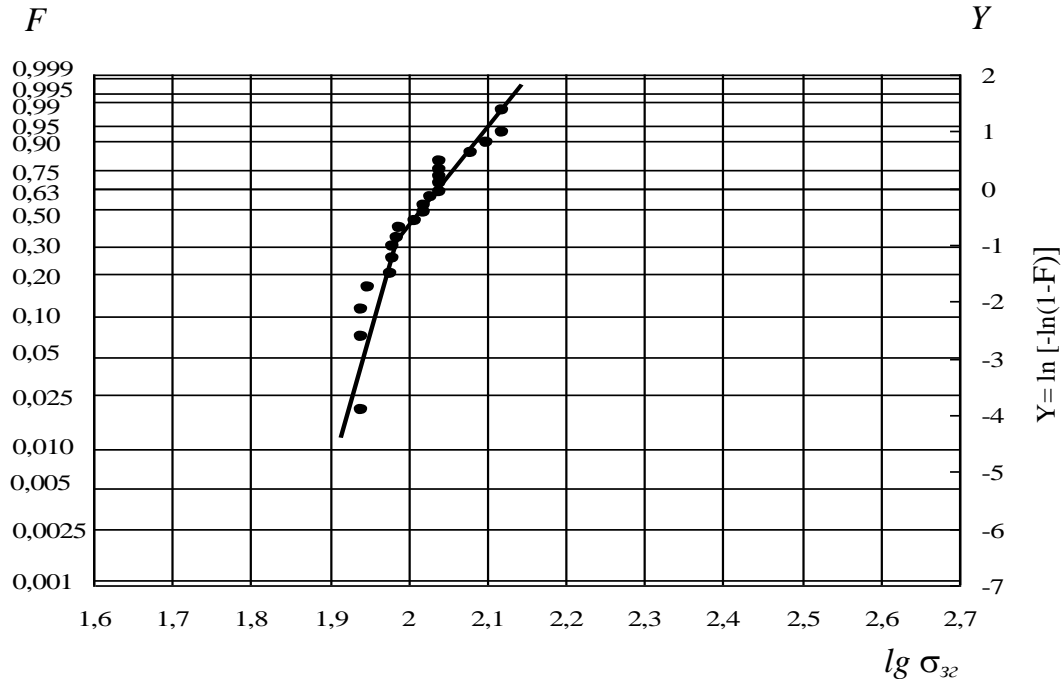


Рис.1. Емпірична функція розподілу за Вейбулом для значень міцності на згин «Лісичанського» скла: $\sigma_{32} = 105,0$ МПа, $\sigma_{min} = 88,0$ МПа, $\sigma_{max} = 131,0$ МПа, $\nu = 12,5\%$, $\sigma_{0,001} = 74$ МПа.

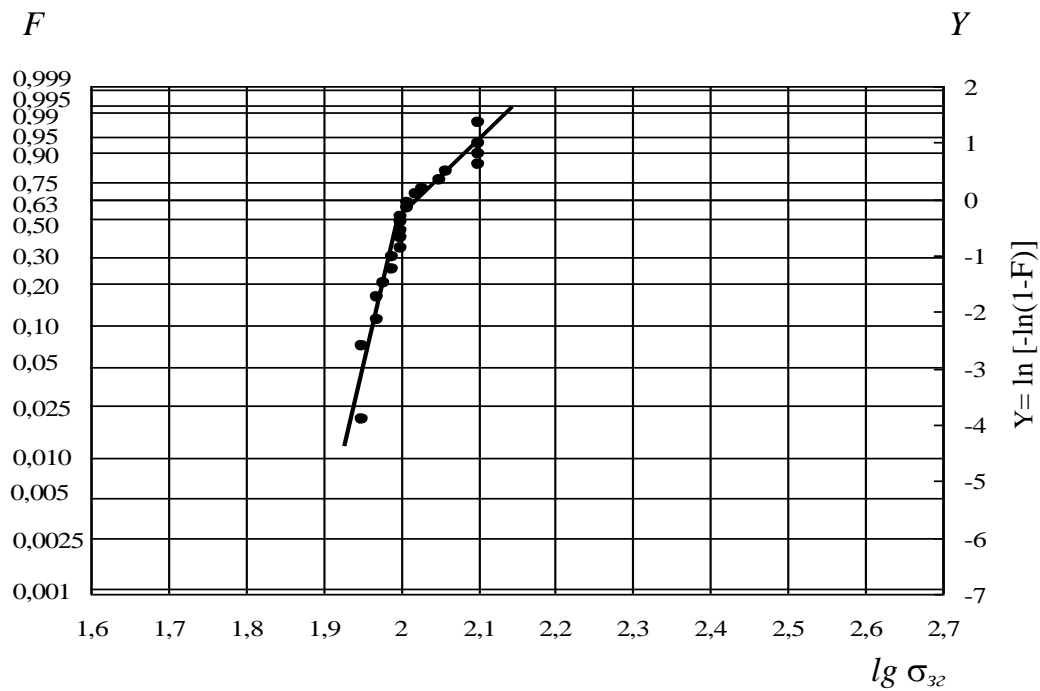


Рис. 2. Емпірична функція розподілу за Вейбулом для значень міцності на згин «Борського» скла: $\sigma_{32} = 105,0$ МПа, $\sigma_{min} = 89,0$ МПа, $\sigma_{max} = 126,0$ МПа, $\nu = 11,2\%$, $\sigma_{0,001} = 77$ МПа.

Як свідчать експериментальні данні, низькі показники міцності характерні для обох поверхонь Лісичанського та «Борського» скла. Висока стабільність низьких значень міцності вказує на високу дефектність поверхонь скла, що виробляється на цих підприємствах.

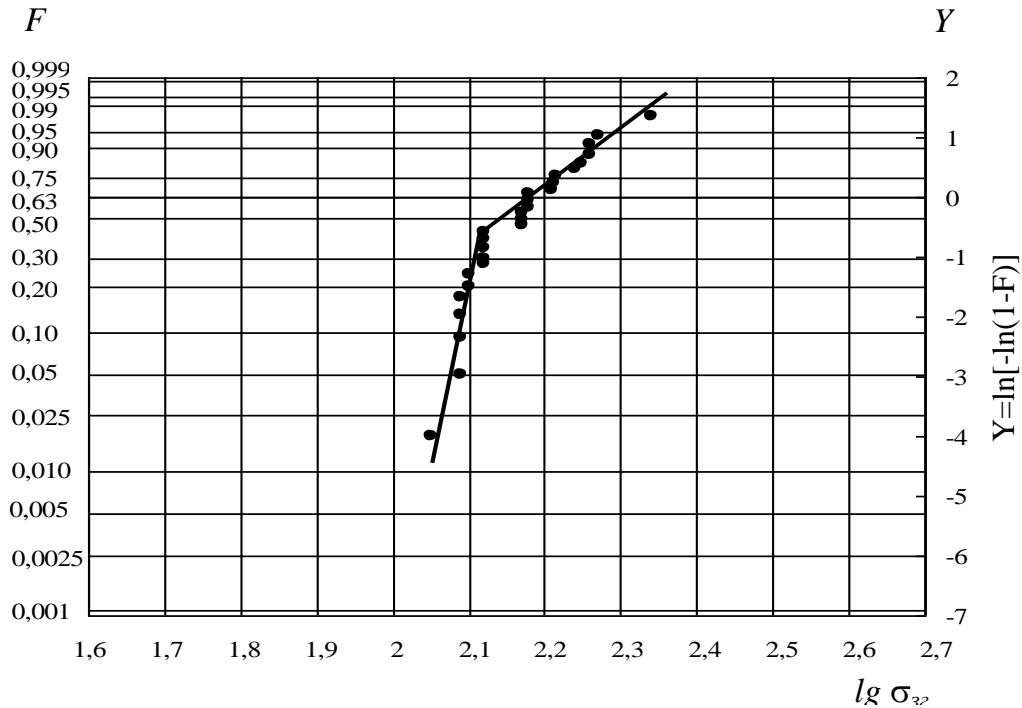


Рис.3. Емпірична функція розподілу за Вейбулом для міцності на згин скла “Pilkington”: $\bar{\sigma}_{32} = 149,0$ МПа, $\sigma_{min} = 113,0$ МПа, $\sigma_{max} = 219,0$ МПа, $v = 17,4\%$, $\sigma_{0,001} = 102$ МПа.

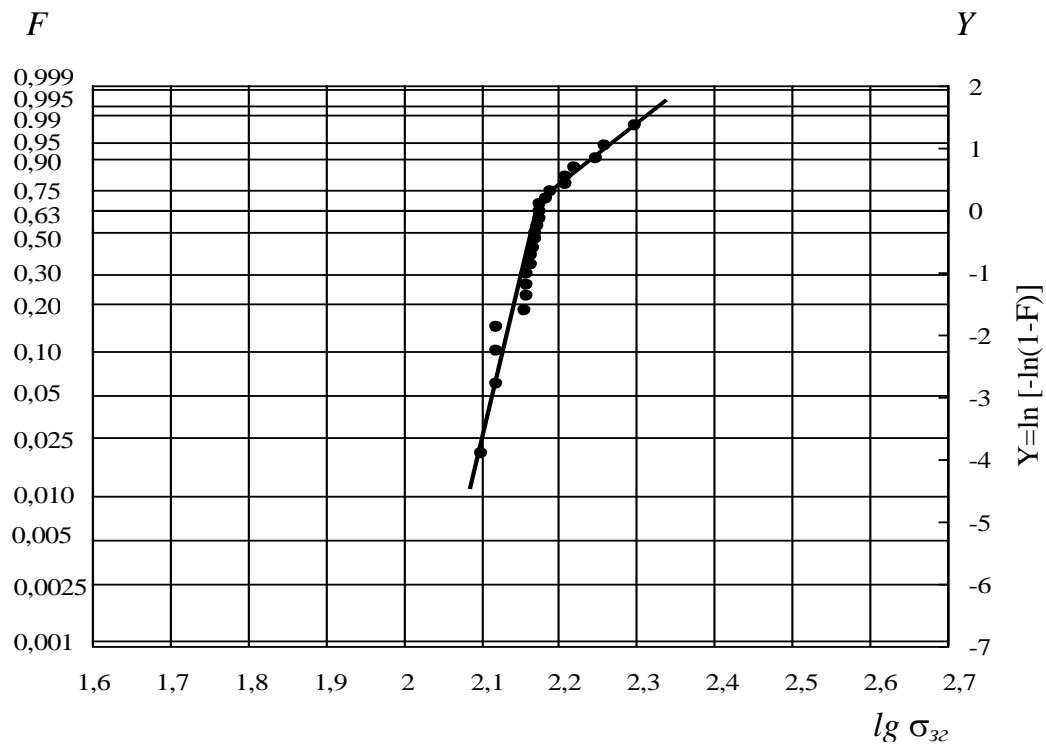


Рис. 4. Емпірична функція розподілу за Вейбулом для міцності на згин скла “Sphinx” : $\bar{\sigma}_{32} = 151,5$ МПа, $\sigma_{min} = 123,0$ МПа, $\sigma_{max} = 199,0$ МПа, $v = 10,9\%$, $\sigma_{0,001} = 110$ МПа.

Слід зазначити, що об'єднана вибірка дозволяє більш об'єктивно оцінити нижнє значення за рахунок збільшення обсягу оброблюваних результатів випробувань. При цьому, во-

на більш достовірно відображає умови руйнування елементів з даного скла, обидві поверхні якого знаходяться при дії порівнянних за рівнем розтягуючих напружень, наприклад, у випадку переважаючою ролі мембранних розтягуючих напружень.

Випробувані зразки стекол виробництва фірм Pilkington, Sphinx та Euroglas характеризуються порівнянними статистичними характеристиками міцності, що свідчить їх більш високу якість у порівнянні зі склом Борського скляного заводу і заводу «Пролетарій».

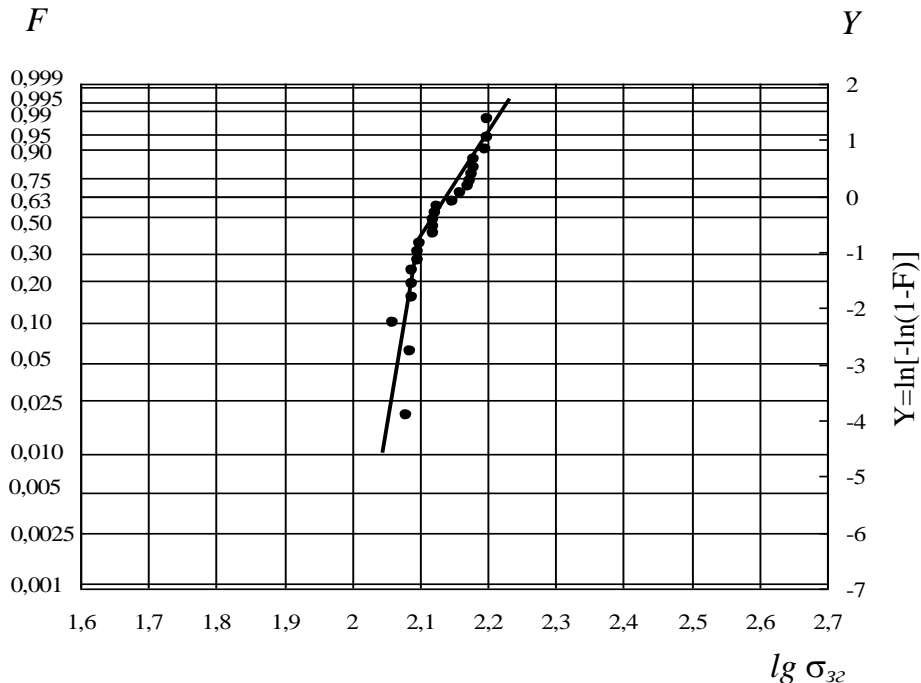


Рис. 5. Емпірична функція розподілу за Вейбулом для міцності на згин скла "Eurofloat" ("газова та олов'яна" поверхня): $\bar{\sigma}_{32} = 137,0$ МПа, $\sigma_{min} = 121,0$ МПа, $\sigma_{max} = 160,0$ МПа, $v = 9,7\%$, $\sigma_{0,001} = 105$ МПа.

Переваги стекол "Pilkington", "Sphinx" та "Eurofloat" проявляються в підвищеній стабільності результатів випробувань, більш високому середньому рівні міцності і, що особливо важливо для відповідальних конструкцій авіаційного скління, в більш високому - до 100 МПа ... 110 МПа гарантованому нижньому рівні границі міцності на згин (рис.6). Стеклам виробництва "Sphinx" та скла "Eurofloat" виробництва Euroglas притаманне мінімальне розсіюванням результатів - коефіцієнт варіації v не більше 10%.

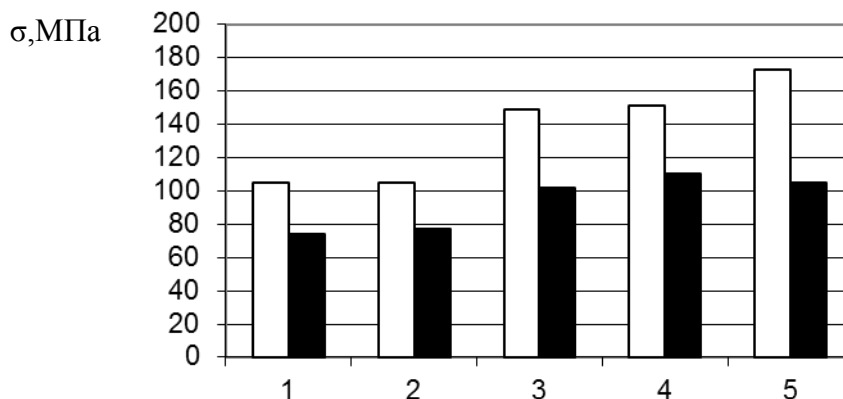


Рис. 6. Порівняльні значення середнього рівня міцності (прозорі стовпчики) і гарантованого нижнього рівня міцності (чорні стовпчики) для стекол Лісичанського заводу (1), Борського скляного заводу (2) та "Pilkington" (3), "Sphinx" (4) та "Eurofloat" (5)

Необхідно підкреслити, що ці переваги обумовлені зниженим рівнем поверхневої дефектності, більш стабільними вихідними дефектами в поверхневому тріщинуватості шарі. Результати отримано для зразків малих розмірів. Тому для оцінки реальних конструкційних властивостей цих стекел необхідні випробування великорозмірних зразків, що дозволяють оцінити ступінь негативного впливу масштабного ефекту і ефективності застосовуваної технології промислового виробництва. В деталях складної форми і великих розмірів можуть виявитися нові дефекти поверхні, і міцність виробів при цьому істотно знизиться, якщо не буде використаний в технології технічний підхід, заснований на поетапному контролі дефектності і міцності матеріалу та оптимізації технології за параметрами міцності і довговічності.

Висновки

За сукупністю статистичних параметрів, насамперед по середнім і нижнім значенням границь міцності при випробуванні малих зразків на симетричний згин і, отже, за якістю поверхні листові стекла товщиною 5 мм виробництва Лисичанського і Борського заводів значно поступаються склу кращих зарубіжних виробників - Pilkington, Sphinks і Euroglas. Тобто, для визначення раціональних способів застосування Лисичанського і Борського стекел для авіаційних конструкцій потрібні додаткові оцінки їх механічної поведінки з урахуванням ролі ефекту масштабу та інших визначальних чинників.

Отримані дані обумовлюють необхідність запровадження на виробництві вхідного контролю скла за параметрами міцності.

Основою підвищення експлуатаційної надійності скляних виробів є прогрес в технології виробництва базових видів скла.

Таким чином, високі показники міцності стекел можуть бути реалізовані в виробках тільки в разі дотримання належних правил обробки та поводження з деталями з скла, що виключають появу більш грубих технологічних або експлуатаційних дефектів і призводять до знеміцнення скляних конструкцій і зниження довговічності в складних умовах термомеханічного навантаження, характерних для авіаційних електро-обігрівних стекел.

Перелік літературних посилань: 1. Прочность неметаллических материалов/ Г.А. Гогоци, Ю.М. Родичев // Прочность материалов и конструкций; Под ред. В.Т. Трошенко. – К.: Академперіодика, 2005. – С. 929-992. 2. Конструкционная прочность стекел и ситаллов/ Г.С.Писаренко, К.К.Амельянович, Ю.И. Козуб, Г.М. Охрименко, Ю.М. Родичев, В.Г. Солуянов .- Киев: Наук. думка, 1979.-284 с. 3. Прочность элементов конструкций из стекла и ситалла/ Сб. науч. тр. Отв. ред. Г.С.Писаренко.- Киев: Наук. думка, 1983.- 220 с. 4. Rodichev Yu. M., Design and Mechanical Properties of New Laminated Glass Materials and Structural Elements// "Glass Processing Days" – Conference Proceedings/June 2001, Tampere, Finland.- P. 389-391. 5. Родичев Ю.М. Новітні технології та конструкційна міцність перспективних матеріалів на основі скла та кераміки// Скло та кераміка.- 2003.- № 2(4).- С. 11 – 13. 6. Rodichev Yu. M., Problems of Technological and Constructional Strengthening of Glass for Architecture and New Fields of Glass Industry// "Glass Processing Days" – Conference Proceedings/June 1999, Tampere, Finland.- P.162-165.

Рецензент: **Ковалів В.Д.**, д.т.н., проф., ДГМА

ВПЛИВ ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ ВИРОБНИЦТВА СКЛА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МІЦНОСТІ

Родічев Ю.М.

В роботі показано, що за сукупністю статистичних параметрів, насамперед за середнім і нижнім значенням границь міцності при випробуванні зразків на центральносиметричний згин і, отже, за якістю поверхні листові стекла товщиною 5 мм виробництва Лисичанського і Борського заводів значно поступаються склу кращих зарубіжних виробників - Pilkington, Sphinks і Euroglas. Обґрунтована необхідність запровадження вхідного контролю скла за параметрами міцності та показано, що основою підвищення експлуатаційної надійності скляних виробів є прогрес в технології виробництва базових видів скла.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ПРОИЗВОДСТВА СТЕКЛА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЧНОСТИ

Родичев Ю.М.

В работе показано, что по совокупности статистических параметров, прежде всего по средним и нижним значениям пределов прочности при испытании образцов на центрально-симметричный изгиб и, следовательно, по качеству поверхности листовые стекла толщиной 5 мм производства Лисичанского и Борского заводов значительно уступают стеклу лучших зарубежных производителей - Pilkington, Sphinks и Euroglas. Обоснована необходимость введения входного контроля стекла по параметрам прочности и показано, что основой повышения эксплуатационной надежности стеклянных изделий является прогресс в технологии производства базовых видов стекла.

EFFECT OF GLASS MANUFACTURE TECHNICAL LEVEL ON CHARACTERISTICS OF STRENGTH

Rodichev Y.M.

It is shown that the set of statistical parameters, especially the middle and lower value of ultimate strength under centrosymmetrical bending and hence the quality of glass surface of the sheets with the thickness of 5 mm manufactured at Lysychansk and Borsk plants are far below the glass top foreign manufacturers - Pilkington, Sphinks and Euroglas. The necessity of introducing incoming inspection of glass on the parameters of strength is grounded. It is shown that the basis to increase operational reliability of glass elements is progress in the technology of basic types of glass.

Ключові слова: флоат скло, міцність, статистичні характеристики, поверхнева дефектність, авіаційне скління

Ключевые слова: флоат стекло, прочность, статистические характеристики, поверхностная дефектность, авиационное остекление

Key words: float glass, , strength, statistical parameters, surface defect structure, cockpit

Дата надходження статті: 22 травня 2013 р.

УДК 658.52.011.56

Ключко А.А., Мироненко Е.В., Гаков С.А., Мельник М.С.
НТУ «Харьковский политехнический институт» г.Харьков, Украина
ДГМА, г.Краматорск, Украина

Методика выбора, назначения, технологического и метрологического обеспечения системы параметров поверхностного слоя цилиндрических крупномодульных зубчатых колес

Введение

При изготовлении цилиндрических зубчатых колес, работающих при высоких знакопеременных нагрузках в условиях высоких контактных напряжений, требуется выдерживать заданные параметры качества поверхностного слоя, в частности шероховатость поверхности, глубину и степень наклепа, остаточные напряжения. На основании обобщенных теоретических зависимостей, устанавливающих взаимосвязь критериев качества поверхностного слоя с технологическими параметрами процесса резания разработана методика расчетного определения остаточных напряжений в поверхностном слое обрабатываемых цилиндрических закаленных крупномодульных зубчатых колес червячными модульными и специальными немодульными фрезами при скоростном зубофрезеровании. Методика расчетного определения остаточных напряжений в поверхностном слое позволяет назначить режимы резания исходя из требуемой величины шероховатости, глубины наклепа, уровня остаточных напряжений.

Основная часть

Расчет остаточных напряжений, обусловленных структурными и фазовыми превращениями основывается на расчете температурных остаточных напряжений и остаточных напряжений, обусловленных силовым воздействием на поверхностный слой. Поскольку остаточные напряжения являются упругими, для сложения упругих остаточных напряжений используется метод наложения, суммарные остаточные напряжения определяются алгебраическим суммированием температурных и силовых остаточных напряжений. Для того, чтобы определить остаточные напряжения от каждого фактора в отдельности, необходимо установлена закономерность распределения температуры в поверхностном слое обрабатываемых цилиндрических закаленных крупномодульных зубчатых колес, а также определяются усилия резания, действующие на обрабатываемую поверхность.

Температурные остаточные напряжения определяются алгебраическим сложением напряжений, возникающих в поверхностном слое при нагревании и охлаждении, причем они могут появиться только в том случае, если напряжения при нагревании превышают предел текучести.

В формулах (1), (2), (3), (4) и (5) приведен расчет для определения температурных остаточных напряжений при обработке цилиндрических крупномодульных зубчатых колес червячными модульными и специальными немодульными фрезами при скоростном зубофрезеровании.

$$\sigma_{\text{ост.т}} = -\sigma_T + \frac{\beta_D A_1 E_D}{1-\mu} \left\{ \left(\frac{H-y+a_1}{a_1} \right)^{x_1} - \frac{a_1^{1+x_2} - (H+a_1)^{1+x_2}}{a_1^{x_2} (1+x_2) H} \right\} \quad (1)$$

при $y = y_{\text{он}}$; $\sigma_{\text{от.т}} < 2\sigma_T$

$$\sigma_{\text{ост.т}} = \frac{\beta_D A_1 E_D}{1-\mu} \left\{ \frac{\frac{E_D}{a_1^{x_2} (1+x_2)} [(H+a_1-y)^{1+x_2} - (H+a_1)^{1+x_2}] + (1-\mu)\sigma_T (H-y_{\text{он}})}{E_D y_{\text{он}}} + \frac{a_1^{1+x_2} - (H+a_1)^{1+x_2}}{a_1^{x_2} (1+x_2) H} \right\} \quad (2)$$

при $y < y_{\text{он}}$; $\sigma_{\text{от.т}} = 2\sigma_T$

$$\sigma_{\text{ост.т}} = \text{сприу} = y_{00}; \sigma_{\text{от.т}} = 2\sigma_T \quad (3)$$

$$\sigma_{ост.т} = -\sigma_T + \frac{\beta_D A_1 E_D}{1-\mu} \left\{ \left(\frac{H-y+a_1}{a_1} \right)^{x_2} + \frac{\frac{E_D}{a_1^{x_2(1+x_2)}} [(H+a_1-y_{00})^{1+x_2} - (H+a_1)^{1+x_2}] + 2(1-\mu)\sigma_T(H-y_{00})}{E_D y_{00}} \right\} \quad (4)$$

при $\begin{cases} y_{00} > y \geq y_{он} \\ \sigma_{0max} = 2\sigma_T \end{cases}$

$$\sigma_{ост.т} = \frac{\beta_D A_1 E_D}{1-\mu} \left\{ \frac{\frac{E_D}{a_1^{x_2(1+x_2)}} [(H+a_1-y_{00})^{1+x_2} - (H+a_1)^{1+x_2}] + 2(1-\mu)\sigma_T(H-y_{00})}{E_D y_{00}} - \frac{\frac{E_D}{a_1^{x_2(1+x_2)}} [(H-a_1-y_{он})^{1+x_2} - (H-a_1)^{1+x_2}] + (1-\mu)\sigma_T(H-y_{он})}{E_D y_{он}} \right\} \quad (5)$$

при $\begin{cases} y < y_{он} \\ \sigma_{0max} = 2\sigma_T \end{cases}$

где H – твердость обрабатываемого зубчатого колеса, HB ; $\sigma_{ост. т}$ – напряжения на поверхности при охлаждении; y – глубина залегания рассматриваемого слоя от поверхности; $y_{он}$ $y_{оо}$ – границы раздела упругих и пластических деформаций при нагревании и пластических деформаций при нагревании и охлаждении; σ_T и E_D – предел текучести и модуль упругости обрабатываемого материала; β_L и μ – коэффициент температурного линейного расширения и коэффициент Пуассона обрабатываемого материала; A_i и x_2 – величины, определяющие значение температуры в поверхностном слое обрабатываемой детали; a_i – переменная толщина среза при встречном зубофрезеровании; $a_i = S_z \cdot \sin \Psi \cdot \sin \varphi$, S_z – подача на зуб; φ – угол профиля зуба фрезы.

Остаточные напряжения, обусловленные силовым воздействием на поверхностный слой, определяются в соответствии с теоремой Генки о разгрузке как разность напряжений, возникающих при нагружении $\sigma_{фнкТ}$ и разгрузке $\sigma_{нфТ}$. Фиктивные напряжения определялись по формулам (6).

$$\begin{aligned} \sigma_x &= -\frac{\tau_p}{2\pi} \left\{ \psi_1 \left[B; \frac{y}{h}; \frac{h}{a_1} \right] - \frac{b}{b_1 \cos \alpha} \xi_2 \left[\frac{y}{h}; B; \frac{\Delta}{\Delta_1} \right] \right\} \frac{1}{1-\mu^2}, \\ \sigma_y &= -\frac{\tau_p}{2\pi} \left\{ \psi_2 \left[B; \frac{y}{h}; \frac{h}{a_1} \right] - \frac{b}{b_1 \cos \alpha} \xi_2 \left[\frac{y}{h}; B; \frac{\Delta}{\Delta_1} \right] \right\} \frac{1}{1-\mu^2}, \\ \sigma_{xy} &= \frac{\tau_p}{2\pi} \left\{ \psi_3 \left[B; \frac{y}{h}; \frac{h}{a_1} \right] - \frac{b}{b_1 \cos \alpha} \xi_3 \left[\frac{y}{h}; B; \frac{\Delta}{\Delta_1} \right] \right\} \frac{1}{1-\mu^2}, \end{aligned} \quad (6)$$

где τ_p – сопротивление обрабатываемого материала пластическому сдвигу; b_i – ширина среза; b – периметр рабочих частей режущих кромок; Δ – длина площадки контакта задней поверхности фрезы с обрабатываемой поверхностью; Δ_1 – проекция поверхности сдвига на горизонтальную плоскость; h – глубина залегания опережающих пластических деформаций в поверхностном слое; B – критерий, характеризующий угол схода стружки; α и γ – задний и передний углы фрезы.

Истинные напряжения определяются также по формулам (6) при условии, что y соответствует глубине залегания пластических деформаций. Условие пластичности определяется по теории Хубера-Мизеса.

При анализе шероховатости обработанной поверхности на формирование неровностей обработанной поверхности при встречном фрезеровании оказывают влияние радиус округления режущей кромки зубьев фрезы ρ , параметры инструмента, изменяемая во времени геометрия сечения среза $a_i = S_z \cdot \sin \Psi \cdot \sin \varphi$, объем, и скорость пластического деформирования металла, обусловленные комплексом температурно-силовых явлений,

возникающих в зоне резания (рис. 1). С учетом этого

$$R_z = \frac{\left[\frac{a_i^{0,125} b_1^{0,7} c_\rho^{0,1} a^{0,43} \left[2,85 \sin^{0,115} \alpha V^{0,57} a_1^{0,345} \lambda b^{0,3} + 0,6625 \lambda_\rho \varphi^{0,57} \rho^{0,075} \right]}{V \lambda \sin^{0,165} \alpha} \right]}{\left[-0,5 t \rho \cdot b \left[\arccos \left(1 - a_2 B^{-b_2 (1 - \sin \gamma)^{-x_2}} \right) + \frac{a_2 B^{1 - b_2 (1 - \sin \gamma)^{-x_2}}}{\sin \alpha (\cos \gamma + B \sin \gamma)} + \frac{\delta}{\rho} \right] \cos \alpha \right]} \cdot \frac{1}{K\rho} \quad (7)$$

$$\cdot \frac{1}{t \tau \rho \left[1 + \frac{1}{B} + \operatorname{tg}(\arctg B - \gamma) \right]}$$

где $K\rho$ - коэффициент эффективности формообразования поверхностного слоя; c_ρ - удельная объемная теплоемкость обрабатываемого материала; θ - температура в зоне резания; ρ_i - радиус округления режущей кромки фрезы; t - глубина резания; δ - длина площадки износа по задней поверхности фрезы; α - коэффициент температуропроводности обрабатываемого материала; V - скорость резания; λ и λ_ρ - коэффициенты теплопроводности обрабатываемого и инструментального материалов; φ - угол исходного профиля 20° ; a_1 и a_2 - величины, зависящие от условий обработки (угла схода стружки).

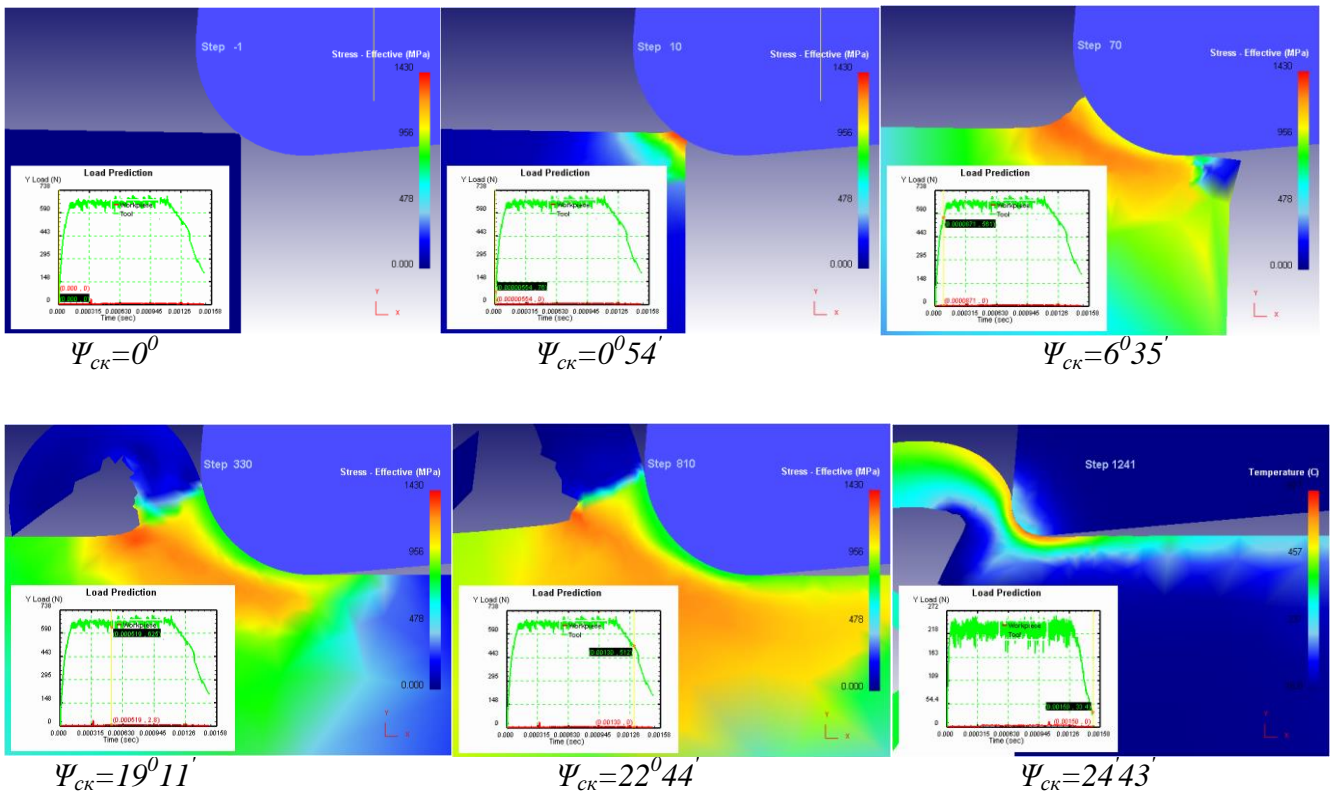


Рис. 1. Последовательность моделирования формообразования глубины залегания остаточных напряжений поверхностного слоя h_c и схода стружки при скоростном зубофрезеровании при значениях радиуса округления режущей кромки зубьев фрезы $\rho=0,300\text{мм}$ в зависимости от угла скольжения Ψ_{CK}

Глубина наклепа обработанной поверхности h_c принимается равной глубине залегания пластических деформаций. Возникновение пластических деформаций в поверхностном слое обусловлено одновременным воздействием силового и температурного факторов. В этом случае глубина залегания пластических деформаций определяется из условия равенства пределу текучести алгебраической суммы напряжений в поверхностном слое, обусловленным силовым и температурным воздействием, а именно

$$\sigma_y + \sigma_H = \sigma_T \quad (8)$$

$$\text{где } \sigma_{\text{ост.т}} = \frac{\beta_D A_1 E_D}{1-\mu} \left\{ \left(\frac{H-y+a_1}{a_1} \right)^{x_2} - \frac{a_1^{1+x_2} - (H+a_1)^{1+x_2}}{a_1^{x_2} (1+x_2) H} \right\} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \sigma_T = -\frac{\tau_p}{2\pi} & \left\{ \frac{1+B+Btg(\arctg B-\gamma)}{[B \cos(\frac{\pi}{2}-2\arctg B)+\sin(\frac{\pi}{2}-2\arctg B)] \cos(\frac{\pi}{2}2\arctg B)} \times \left[2\arccos \frac{B+B\frac{y}{a_1}}{\sqrt{1+(B+B\frac{y}{a_1})^2}} - \sin\left(\frac{\pi}{2}- \right. \right. \right. \\ & \left. \left. \left. 2\arctg B\right) + \frac{2(B+B\frac{y}{a_1})[2\sin^2(\frac{\pi}{2}-2\arctg B)-1]+\sin 2(\frac{\pi}{2}-2\arctg B)[(B+B\frac{y}{a_1})]}{1+(B+B\frac{y}{a_1})^2} \right] \right\} - \\ & -\frac{\tau_p b}{2\pi b_1 \cos \alpha} \left[\frac{2}{\sin 2(\frac{\pi}{2}-2\arctg B+\gamma)} \arccos \frac{1}{\sqrt{1+(\frac{\Delta/\Delta_1 B}{y/a_1})^2}} + 1 - \frac{\pi}{2} \frac{2-\frac{\pi}{2} \sqrt{1+(\frac{\Delta/\Delta_1 B}{y/a_1})^2}}{\sqrt{1+(\frac{\Delta/\Delta_1 B}{y/a_1})^2}} + \right. \\ & \left. + \frac{2}{tg 2(\frac{\pi}{2}-2\arctg B+\gamma)} \frac{\frac{\pi}{2} \sqrt{1+(\frac{\Delta/\Delta_1 B}{y/a_1})^2}}{\sqrt{1+(\frac{\Delta/\Delta_1 B}{y/a_1})^2}} \right] \quad (10) \end{aligned}$$

Таким образом, глубина наклепанного слоя h_c функционально определяется

$$h_c = f\left(\sigma_T, E_D, \tau_p, \mu, \beta_D, \lambda, \lambda_p, c, \rho, V, S_{\text{мин}}, \rho, \alpha_i, \alpha\right) \quad (11)$$

Установлено, что при обработке конструкционных и легированных сталей степень наклепа с достаточной для практических целей точностью может определяться по формуле

$$N = \frac{h_c}{1,25 \cdot \left(\frac{\sigma_6}{\sigma_{6л}} \right)^{0,8}} \cdot 100\% \quad (12)$$

где σ_6 - предел прочности обрабатываемого материала; $\sigma_{6л}$ - предел прочности легированных сталей цилиндрических зубчатых колес.

Результаты исследований позволяют решать задачи по определению параметров поверхностного слоя обрабатываемой детали, а также назначать технологические условия обработки, обеспечивающие заданные техническими условиями параметры поверхностного слоя.

Методика выбора, назначения, технологического и метрологического обеспечения системы параметров поверхностного слоя цилиндрических крупномодульных зубчатых колес показывает, что эксплуатационные свойства цилиндрических крупномодульных зубчатых колес в значительной степени определяются системой параметров их поверхностного слоя.

Проведенные и следования позволили установить между ними как качественные, так и количественные зависимости, степень достоверности которых вполне удовлетворяет требованиям практики.

В свою очередь, существует реальная возможность технологического управления формированием выбранной системой параметров поверхностного слоя цилиндрических зубчатых колес при их изготовлении. Эта возможность может быть реализована с помощью рационального выбора для каждого конкретного случая методов и режимов предварительной и окончательной обработок с учетом технологической наследственности.

В условиях массового и крупносерийного проризводства назначение методов и режимов обработки цилиндрических крупномодульных зубчатых колес производится на стадии технологической подготовки при разработке операционного технологического процесса. При мелкосерийном и единичном производстве на стадии технологической подготовки производства производится разработка маршрутного технологического процесса с назначением только методов обработки. Расчет режимов обработки производится по укрупненным нормативам или устанавливаются непосредственно самим зубообработчиком уже в процессе выполнения зубообработки.

Отсюда вытекает, что установление оптимальных методов и режимов зубообработки, обеспечивающих требуемые точность, состояние поверхностного слоя и устойчивую работу технологической системы при наименьшей себестоимости, является одним из важнейших этапов технологической подготовки в условиях мелкосерийного и единичного производства. Установление оптимальных режимов резания при разработке операционного технологического процесса основаны на совместном решении системы неравенств, характеризующих влияние основных ограничений на режимы резания и представляющих математические модели рассматриваемого процесса [1, 2, 3, 4].

Однако, основным недостатком существующей методики автоматического расчета оптимальных режимов обработки является недостаточное отражение в системе технических требований, предъявляемых к состоянию поверхностного слоя обрабатываемых деталей, а следовательно, и к их эксплуатационным свойствам. Отсюда следует, что существующая методика автоматического проектирования технологических процессов и расчета зубообработки не позволяет решить задачу технологического обеспечения эксплуатационных свойств цилиндрических закаленных крупномодульных зубчатых колес на стадии технологической подготовки производства и требует определенной доработки или коренного ее изменения.

Что же касается задачи установления режимов резания в условиях единичного производства, то ее решение в настоящее время, как правило, основано на использовании укрупненных нормативов и опыте станочника, который главным образом преследует цель повышения производительности труда, часто игнорируя вопросы снижения себестоимости и точного соблюдения шероховатости, требуемой по чертежу. Если раньше, когда на чертежах проставлялся класс чистоты, опытные станочники еще могли обеспечить требуемую «чистоту», то в настоящее время, при простановке на чертежах требований к ряду параметров, эта задача не под силу даже опытным рабочим. Решение этой задачи может быть значительно облегчено с использованием систем адаптивного управления качеством обрабатываемой поверхности [2, 3].

Для обеспечения качества изготовления цилиндрических зубчатых колес в условиях массового, крупносерийного и серийного производства на стадии конструкторско-технологической подготовки производства можно пойти двумя путями: назначать методы и режимы обработки цилиндрических зубчатых колес, исходя из требований к их эксплуатационным свойствам, определяющим точность и надежность тяжелых токарных станков; подробно разрабатывать технологический процесс обработки цилиндрических зубчатых колес, позволяющий получить требуемые точность размеров и систему параметров их рабочих поверхностей, заданные чертежом, которые обеспечивают необходимые эксплуатационные свойства.

Первый путь короче, однако он не позволяет использовать имеющиеся результаты теоретических и экспериментальных исследований по оценке эксплуатационных свойств цилиндрических зубчатых колес уже изготовленных узлов, редукторов, систем приводов тяжелых токарных станков, а также использовать накопленный опыт по технологическому обеспечению качества обрабатываемых поверхностей. При этом нет четкого разграничения между функциями конструктора и технолога, так как конструктор, исходя из требуемых эксплуатационных свойств, сам должен назначать методы и режимы обработки. Это, естественно, совершенно неприемлемо для условий единичного и мелкосерийного производства. Кроме того, в настоящее время функции отделов конструктора и технолога разграничены, поэтому целесообразность решения данной задачи по первому пути в настоящее время затруднена, хотя такое решение принципиально возможно и в будущем должно найти свое место.

Второй путь – двухступенчатый, он более универсален, позволяет одновременно обеспечивать несколько эксплуатационных свойств цилиндрических зубчатых колес, определяющих точность и надежность тяжелых металлорежущих станков, а также использовать разрабатываемые алгоритмы и программы по расчету оптимальных параметров состояния сопрягаемых поверхностей в условиях серийного, мелкосерийного и единичного производства. Появляется возможность применять уже имеющиеся результаты теоретических и экспериментальных исследований надежности выпускаемых тяжелых токарных станков, а также опыт предприятий по технологическому обеспечению качества обрабатываемых поверхностей цилиндрических зубчатых колес, расчету оптимальных режимов резания и использованию моделирования технологических процессов оптимального управления параметрами точности, качества и производительности зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес интегрированием с помощью фазового пространства.

Выводы

Таким образом, технологическое обеспечение эксплуатационных свойств цилиндрических зубчатых колес в настоящее время определяется решением двух задач: выбор материала цилиндрических зубчатых колес и обоснование назначения точности размеров и системы параметров состояния поверхностного слоя, которые обеспечивали бы требуемые эксплуатационные свойства; выбор метода и установление рациональных режимов обработки, обеспечивающих наиболее экономичное получение заданной точности размеров и системы параметров состояния поверхностного слоя обрабатываемых цилиндрических зубчатых колес.

Первая из них является задачей конструктора и независимо от условий производства должна решаться на стадии конструкторско-технологической подготовки производства.

Вторая же – задача технолога, ее первая часть (выбор метода обработки для всех производств) также решается на стадии конструкторско-технологической подготовки производства, вторая часть (установление оптимальных режимов обработки) для массового, крупносерийного и серийного производств решается при конструкторско-технологической подготовке производства, для единичного и мелкосерийного производства – непосредственно на рабочем месте при обработке.

Однако из этого не следует, что получение требуемых параметров поверхностного слоя цилиндрических зубчатых колес в условиях серийного и единичного производства не зависит от непосредственного исполнителя. Эта зависимость чисто организационная и заключается в выполнении рабочим заданных технологом условий обработки, т. е. в соблюдении технологической дисциплины.

Перечень источников литературы: 1. Технология производства и методы обеспечения качества зубчатых колес и передач / Под общ. ред. В. Е. Старжинского, М. М. Кане. – С-Пб.: Профессия, 2007. – 832 с. 2. Ключко, А. А. Технология чистовой лезвийной обработки крупномодульных закаленных зубчатых колес / А. А. Ключко // Вестник Черниг. гос. технолог. ун-та. – 2011. – № 2(49). – С. 58–68. 3. Тимофеев Ю.В.

Научные предпосылки определения условий формирования величин упроченного слоя при формообразовании крупномодульных зубчатых колес / Ю. В. Тимофеев, А. Н. Шелковой, А. А. Клочко // Вісник Національного технічного університету КПІ: зб. наук. пр. Тематичний випуск: Проблеми механічного приводу. – Київ : НТУ КПІ, 2012. – № 64. – С. 288–293. 4. Суслов, А. Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей / А. Г. Суслов. – М. : Машиностроение, 1987. – 208 с.

Рецензент: **Клименко Г.П.**, д.т.н., проф., ДГМА

**МЕТОДИКА ВЫБОРА, НАЗНАЧЕНИЯ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО И
МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ПАРАМЕТРОВ
ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КРУПНОМОДУЛЬНЫХ ЗУБЧАТЫХ
КОЛЕС**

Клочко А.А., Мироненко Е.В., Гаков С.А., Мельник М.С.

При изготовлении цилиндрических зубчатых колес, работающих при высоких знакопеременных нагрузках в условиях высоких контактных напряжений, требуется выдерживать заданные параметры качества поверхностного слоя, в частности шероховатость поверхности, глубину и степень наклепа, остаточные напряжения. На основании обобщенных теоретических зависимостей, устанавливающих взаимосвязь критериев качества поверхностного слоя с технологическими параметрами процесса резания разработана методика расчетного определения остаточных напряжений в поверхностном слое обрабатываемых цилиндрических закаленных крупномодульных зубчатых колес червячными модульными и специальными немодульными фрезами при скоростном зубофрезеровании. Методика расчетного определения остаточных напряжений в поверхностном слое позволяет назначить режимы резания исходя из требуемой величины шероховатости, глубины наклепа, уровня остаточных напряжений.

**МЕТОДИКА ВИБОРУ, ПРИЗНАЧЕННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНОГО І МЕТРОЛОГІЧНОГО
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ПАРАМЕТРІВ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ЦИЛІНДРОВИХ
КРУПНОМОДУЛЬНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС**

Клочко О.О., Міроненко Є.В., Гаков С.О., Мельник М.С.

При виготовленні циліндрових зубчастих коліс, що працюють при високих знакомінних навантаженнях в умовах високої контактної напруги, потрібно витримувати задані параметри якості поверхневого шару, зокрема шорсткість поверхні, глибину і міру наклепання, залишкову напругу. На підставі узагальнених теоретичних залежностей, що встановлюють взаємозв'язок критеріїв якості поверхневого шару з технологічними параметрами процесу різання розроблена методика розрахункового визначення залишкової напруги в поверхневому шарі оброблених циліндрових загартованих крупномодульних зубчастих коліс черв'ячними модульними і спеціальними немодульними фрезами при швидкісному зубофрезерованні. Методика розрахункового визначення залишкової напруги в поверхневому шарі дозволяє призначити режими різання виходячи з необхідної величини шорсткості, глибини наклепання, рівня залишкової напруги.

**METHOD OF CHOICE, SETTING, TECHNOLOGICAL AND METROLOGY
PROVIDING OF SYSTEM OF PARAMETERS OF SUPERFICIAL LAYER OF CYLINDRICAL
LARGE MODULE GEAR-WHEELS**

Klochko A.A., Mironenko E.V., Gakov S.A., Melnik M.S.

At making of cylindrical gear-wheels, workings at the high znakoperemennykh loadings in the conditions of high contact tensions, it is required to maintain preset parameter of quality of superficial layer, in particular roughness of surface, depth and degree of peening, remaining tensions. On the basis of the generalized theoretical dependences, settings intercommunication of criteria of quality of superficial layer with the technological parameters of cutting process a method is developed calculation determination of remaining tensions in the superficial layer of the processed cylindrical hard-tempered large module gear-wheels by worm module and special unmodule milling cutters at speed zubofrezerovani. The method of calculation determination of remaining tensions in a superficial layer allows to appoint the modes of cutting coming from the required size of roughness, depth of peening, level of remaining tensions.

Ключевые слова: Цилиндрические зубчатые колеса, контактные напряжения, поверхностный слой, параметры качества, глубина и степень наклепа, остаточные напряжения, радиуса округления

Ключові слова: Циліндрові зубчасті колеса, контактна напруга, поверхневий шар, параметри якості, глибина і міра наклепання, залишкова напруга, радіусу округлення

Keywords: Cylindrical gear-wheels, contact tensions, superficial layer, parameters of quality, depth and degree of peening, remaining tensions, radius of rounding off

Дата надходження статті: 15 травня 2013 р.

УДК 621.9

Пермяков А.А., Жижев А.А.
НКМЗ ДГМА, г.Краматорск, Украина

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО НАПРЯЖЕННО ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РАБОЧЕГО СЛОЯ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ ИЗ ВЫСОКОХРОМИСТЫХ СТАЛЕЙ

Опыт эксплуатации прокатных валков показывает, что причинами преждевременного выхода валков из строя являются: накопление усталостных изменений, вызываемых скальвающими напряжениями, неблагоприятное распределение остаточных напряжений, различные структурные изменения в поверхностных слоях валка [1,2]. Существующая в настоящее время система контроля качества валков при изготовлении предусматривает измерение поверхностной твердости, ультразвуковой контроль внутренних дефектов и магнитопорошковый контроль поверхностных трещин. Недостатком существующей системы контроля физико-механических свойств является то, что измеряемых параметров недостаточно для оценки эксплуатационных свойств изделия. Как показали результаты исследований [3,4] твердость бочки валка является малоинформативным параметром и практически не изменяется от начала эксплуатации до полного исчерпания ресурса работы. В качестве комплексного показателя, позволяющего оценить состояние рабочего слоя прокатных валков, в работах [3,4] предложено использовать коэрцитивную силу – наиболее структурочувствительную магнитную характеристику металла, которая позволяет определить исходное состояние микроструктуры и уровень остаточных напряжений. Метод магнитной структуроскопии может эффективно использоваться для оценки физико-механических свойств, так как напряженно-деформированное состояние металла, уровень пластической деформации и усталостных повреждений одновременно и однозначно влияют на коэрцитивную силу. По данным исследований [3,4] в течение периода эксплуатации прокатных валков коэрцитивная сила увеличивается почти вдвое – двукратное повышение значений коэрцитивной силы соответствует исчерпанию валком ресурса работы, а при повышении коэрцитивной силы в 1,5 раз валок начинает работать в критическом режиме.

Таким образом, более высокие эксплуатационные свойства прокатных валков будут обеспечиваться при минимальных и равномерных значениях коэрцитивной силы в поверхностном слое бочки валка, при условии выполнения требований чертежей и технических условий по твердости поверхностей.

Целью данной работы является исследование влияния технологических параметров при изготовлении валков на величину коэрцитивной силы (H_c , А/см) и обеспечение в процессе изготовления минимальных и равномерных значений H_c , А/см, в рабочем слое. Для измерений коэрцитивной силы использовали прибор КРМ-Ц-К2М с диапазоном измерений от 1,0 до 20,0А/см. Для того, чтобы определить, как значения коэрцитивной силы в высокохромистых валковых сталях зависят от величины внутренних напряжений на испытательной машине Р100 в образце из стали 80Х3МФ размером 200x65x20 твердостью 260НВ создавались напряжения сжатия и растяжения и параллельно проводились измерения прибором КРМ-Ц-К2М. Схема измерений и общий вид установки показаны на рисунке 1.

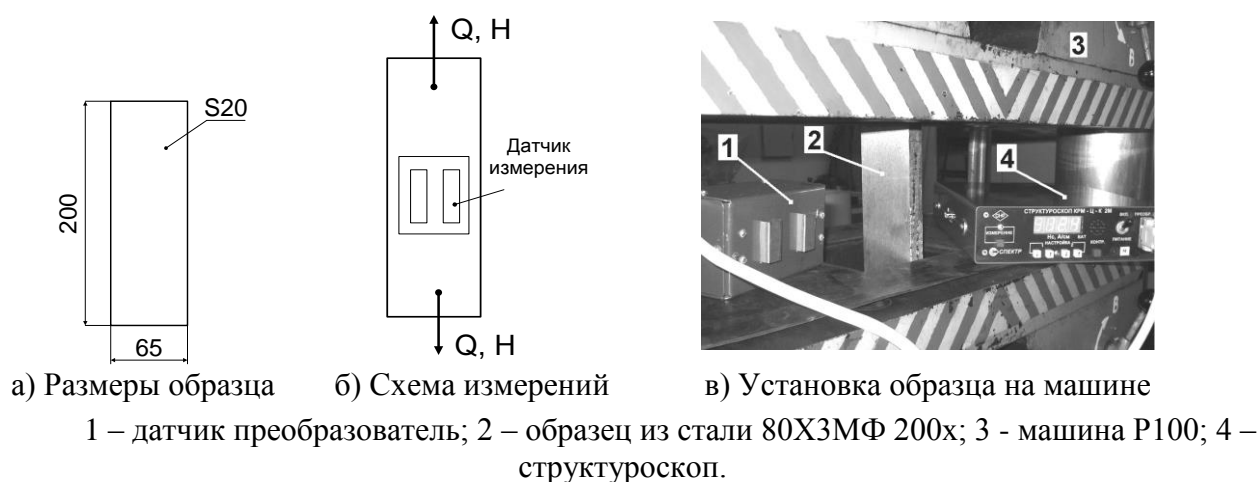


Рис. 1 Определение зависимости коэрцитивной силы от величины напряжений

В ходе испытаний к образцу прикладывались нагрузки от 1,0т до 13,0т, что соответствует напряжениям от 7,7 до 100,0 МПа. Результаты измерений коэрцитивной силы при различных нагрузках приведены в таблице 1.

Таблица 1

Значения коэрцитивной силы в зависимости от напряжений

Приложенная нагрузка, тн	Напряжения в образце, МПа	Коэрцитивная сила, А/см
1,0	7,69	9,2
5,0	38,46	10,7
10,0	76,92	13,2
13,0	100,0	14,7

Для определения зависимости величины H_c , А/см, от твердости материала были проведены измерения коэрцитивной силы в различных участках образца из стали 80X3МФ, вырезанного из бочки валка.

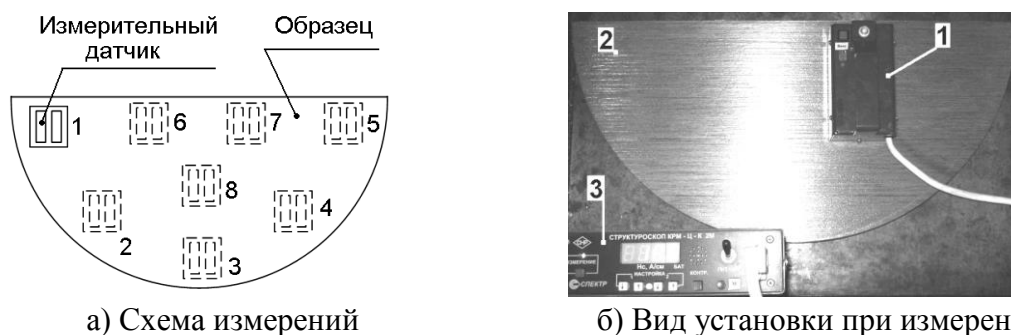


Рис. 2. Определение зависимости коэрцитивной силы от твердости валковой стали.

После спрейерной закалки, на участке 50мм от поверхности бочки образец имел твердость от 92 до 95HSD, в центре валка – от 38 до 50HSD. Результаты измерений коэрцитивной силы по схеме, показанной на рисунке 2 а приведены в таблице 2.

Таблица 2

Значения коэрцитивной силы в зависимости от твердости

Точка измерения (рисунок 2а)	Твердость по Шору,	Коэрцитивная сила, А/см
№ 1	92	17,9
№ 2	95	18,3
№ 3	93	18,2
№ 4	93	18,1
№ 5	95	18,4
№ 6	47	12,3
№ 7	42	11,4
№ 8	38	10,1

Физико-механические свойства рабочего слоя прокатных валков формируются на всех этапах изготовления – предварительной механической обработке, термообработке и окончательной механообработке. Шероховатость поверхности подвергаемой закалке существенно влияет на физическое состояние и свойства поверхностных слоев: во впадинах от неровностей, образующихся при точении, при закалке могут образоваться термические трещины, а при последующем шлифовании, в результате неравномерного давления абразивного круга, на выступах и впадинах происходят структурные превращения – отпуск, локальное снижение поверхностной твердости. Это приводит к увеличению остаточных напряжений и снижению износостойкости рабочего слоя вала. Мощность шлифования определяет теплосиловую напряженность процесса – образование зон высокотемпературного отпуска, шлифовочных трещин и чрезмерных остаточных напряжений. Также негативное влияние на физико-механические свойства поверхностного слоя оказывает увеличение времени шлифования: в работе [5] установлено, что при обработке валковых сталей типа 9Х длительное воздействие абразивного круга вызывает увеличение силы и температуры резания, рост остаточных напряжений растяжения и снижение твердости поверхностных слоев.

Таким образом, в данной работе рассмотрим, какое влияние на величину коэрцитивной силы в поверхностном слое бочки валков оказывают следующие параметры технологического процесса: шероховатость поверхности, сформированная на токарной операции перед выполнением окончательной термообработки; мощность шлифования и время обработки абразивным кругом.

Для выбора оптимальных параметров технологического процесса изготовления прокатных валков представим зависимость величины коэрцитивной силы (H_c , А/см) от шероховатости предварительно обработанной поверхности, марки круга и времени шлифования уравнением степенного вида [6]:

$$H_c = C \cdot Ra^\alpha \cdot Ne^\beta \cdot t^\gamma \quad (1)$$

где Ra – шероховатость поверхности, сформированная до проведения термообработки, мкм; Ne – фактическая мощность при шлифовании, кВт; T_m – машинное время шлифования, мин; C , α , β , γ – постоянные величины.

Уравнение 1 в результате логарифмирования линеаризуется:

$$\ln H_c = \ln C + \alpha \ln Ra + \beta \ln Ne + \gamma \ln t \quad (2)$$

Результаты экспериментов можем выразить полиномом вида:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3 \quad (3)$$

где $y = \ln H_c$; x_1 , x_2 , x_3 – кодированные значения факторов Ra , Ne , T_m .

Кодированные значения факторов x_i определим по формуле 4.

$$x_i = \frac{2 \cdot \left(\frac{\overline{\ln x_i} - \overline{\ln x_{i\theta}}}{\overline{\ln x_i} - \overline{\ln x_{iH}}} \right)}{\overline{\ln x_i} - \overline{\ln x_{iH}}} + 1 \quad (4)$$

где $\overline{x_i}$ – натуральное значение; $\overline{x_{i\theta}}$, $\overline{x_{iH}}$ – натуральные значения верхнего и нижнего уровней соответственно.

При планировании экспериментов верхний уровень фактора Ra, шероховатости поверхности после токарной операции, приняли равным 3,2мкм, потому что это максимально допустимая шероховатость, при которой возможно качественное проведение ультразвукового контроля. Верхний уровень фактора Ne, приняли равным 25кВт, при большей мощности шлифования (до 27 – 30 кВт) на обрабатываемых поверхностях появляются дефекты – цвета побежалости и пр. Для рассматриваемого примера, валков 2Ц-615-2030 с диаметром бочки 615 мм и длиной 2030 мм время шлифования бочки в зависимости от величины припуска будет составлять от 58 мин (0,14 мм на сторону) до 224 мин (0,54 мм на сторону). Принятые в исследовании уровни факторов и их кодовые обозначения приведем в таблице 3.

Таблица 3

Натуральные уровни и интервалы варьирования факторов при исследовании технологического процесса соответствующие кодированным

Факторы	Кодовое значение	Интервалы варьирования	Уровни факторов		
			Верхний +1	Основной 0	Нижний -1
Шероховатость до термообработки Ra, мкм.	x1	0,8	3,2	2,5	1,6
Мощность шлифования, Ne, кВт.	x2	9,0	27	18	11
Время шлифования. Tм, мин.	x3	83,0	224	141	58

Для оценки каждого из факторов формула (4) получит вид (5).

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{2 \cdot (\ln Ra - \ln 3,2)}{\ln 3,2 - \ln 1,6} + 1 \\ x_2 &= \frac{2 \cdot (\ln Ne - \ln 27)}{\ln 27 - \ln 11} + 1 \\ x_3 &= \frac{2 \cdot (\ln T_i - \ln 224)}{\ln 224 - \ln 58} + 1 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Условия формирования физико-механических свойств исследовали на примере прокатных валков «2Ц-615-2030» из высокохромистой стали марки 80X3MФ, (C=0,75-0,85%; Mn=0,3-0,6%; Si=0,25-0,55%; Cr=3,0-3,5%; Mo=0,3-0,5%; V=0,1-0,2%; Ni – до 0,5%; S,P<0,015%). Бочка валка диаметром 615мм, длиной 2030 мм, с поверхностной твердостью после закалки 90-96HSD. Для оценки коэффициентов уравнения 3 проведен полный факторный эксперимент типа 2³. Матрица планирования и результаты опытов приведены в таблице 4.

Таблица 4

Матрица планирования и результаты опытов

Номер опыта	x0	x1	x2	x3	x1x2	x1x3	x2x3	x1x2x3	$y_{Hc} = \ln(Hc)$	Hc, А/см
1	+	-	-	-	+	+	+	-	2,5014	12,2
2	+	+	-	-	-	-	+	+	2,8622	17,5
3	+	-	+	-	-	+	-	+	2,6027	13,5
4	+	+	+	-	+	-	-	-	2,9014	18,2
5	+	-	-	+	+	-	-	+	2,5802	13,2
6	+	+	-	+	-	+	-	-	2,8792	17,8
7	+	-	+	+	-	-	+	-	2,8565	17,4
8	+	+	+	+	+	+	+	+	2,9124	18,4

Значение коэффициентов уравнения 3 найдем по формуле 9

$$b_i = \frac{\sum_{j=1}^N x_{ij} \cdot y_j}{N} \quad (6)$$

Где x_{ij} – кодированное значение (± 1) i -го фактора в j -м опыте; y_i – значение параметра оптимизации в j -м опыте; N – число опытов в матрице планирования. В результате обработки экспериментальных данных получено уравнение

$$y = 2,762 + 0,127 \cdot x_1 + 0,056 \cdot x_2 + 0,045 \cdot x_3 - 0,038 \cdot x_1 x_2 - 0,038 \cdot x_1 x_3 + 0,021 \cdot x_2 x_3 - 0,0226 \cdot x_1 x_2 x_3 \quad (7)$$

По результатам восьми опытов в центре плана (при $x_1=x_2=x_3=0$) вычислим дисперсию S_y^2 параметра оптимизации. Расчет дисперсии S_y^2 для параметра оптимизации y приведен в таблице 5, где y_u – значение y_{Qa} в u -м опыте в центре плана, \hat{y} – среднее значение результатов опытов.

Таблица 5

Результаты опытов в центре плана и расчет дисперсии S_y^2

Номер опыта	y_u	\hat{y}	$y_u - \hat{y}$	$(y_u - \hat{y})^2$	S_y^2
1	2,7788	2,8057	-0,0269	$7,228 \cdot 10^{-4}$	0,0018206
2	2,8391		0,0334	$1,114 \cdot 10^{-3}$	
3	2,7600		-0,0457	$2,088 \cdot 10^{-3}$	
4	2,8449		0,0392	$1,537 \cdot 10^{-3}$	

Дисперсия коэффициентов уравнения регрессии $s^2\{b_i\} = S_y^2/8 = 2,276 \cdot 10^{-4}$, доверительный интервал Δb_i коэффициентов $\Delta b_i = \pm t_\tau s\{b_i\} = 2,776 \cdot 2,276 \cdot 10^{-4} = \pm 0,0419$, где $t_\tau = 2,776$ при 5% уровне значимости и числе степеней свободы $f=4$. Коэффициенты уравнения (7) b_{12} , b_{13} , b_{23} , b_{123} по абсолютной величине меньше доверительного интервала, поэтому их и исключить из уравнения регрессии. После исключения незначимых коэффициента уравнение 7 приняло вид:

$$y = 2,762 + 0,127 \cdot x_1 + 0,056 \cdot x_2 + 0,045 \cdot x_3 \quad (8)$$

Для проверки гипотезы адекватности модели, представленной уравнением 8, находим дисперсию адекватности

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum_{j=1}^N (y_j - \bar{y}_j)^2}{f} \quad (9)$$

где y_j – экспериментальное значение параметра оптимизации u_{Hc} в j -м опыте, \hat{y}_j – значение параметра u_{Hc} в j -м опыте, вычисленное по уравнению 18; f – число степеней свободы, $f=N - (k+1)$; k – число факторов, равное 3, N – число опытов, равное 8. Для данных условий $S_{ad}^2=0,004415$.

Проверку гипотезы адекватности проведем по критерию Фишера:

$$Fp = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} = \frac{0,004415}{0,0018206} = 2,425 \quad (10)$$

Табличное значение F_t критерия при 5% уровне значимости и числе степеней свободы 3, равно 9,28; Так как $F_p < F_t$, то линейная модель адекватна.

Для перехода от кодированных значений факторов к натуральным в уравнение 8 подставляем значения факторов x_1, x_2, x_3 по уравнениям 5:

$$\begin{aligned} \ln Hc = & 2,762 + 0,127 \cdot \left(\frac{2 \cdot (\ln Ra - \ln 3,2)}{\ln 3,2 - \ln 1,6} + 1 \right) + 0,056 \cdot \left(\frac{2 \cdot (\ln Ne - \ln 27)}{\ln 27 - \ln 11} + 1 \right) + \\ & + 0,045 \cdot \left(\frac{2 \cdot (\ln T\dot{i} - \ln 224)}{\ln 224 - \ln 58} + 1 \right) \end{aligned} \quad (11)$$

После преобразования получим:

$$\ln Hc = -0,265 + 2,8 \ln Ra + 0,12 \ln Ne + 0,06 \ln T\dot{i} \quad (12)$$

Потенцируя выражение 11, получим зависимость величины коэрцитивной силы от шероховатости поверхности, сформированной до выполнения термической обработки, мощности шлифования и времени шлифования.

$$Hc = 0,76 \cdot Ra^{2,8} \cdot Ne^{0,12} \cdot T\dot{i}^{0,06}, \text{ (А/см)} \quad (13)$$

Таким образом, в результате проведенных исследований установлена зависимость величины коэрцитивной силы в поверхностном слое бочки прокатного валка от технологических факторов – шероховатости поверхности, подвергаемой закалке, мощности и времени шлифования. Наибольшее влияние на физико-механические свойства поверхностного слоя оказывает шероховатость поверхности, в меньшей степени – мощность шлифования и время взаимодействия поверхности с абразивным кругом. Полученная зависимость позволяет оптимизировать условия обработки валков по критериям обеспечения наилучших физико-механических свойств и наибольшей производительности изготовления.

Перечень источников литературы: 1 Валки листовых станов холодной прокатки / Под ред. В.Н. Новикова . - М. : "Металлургия", 1970 . - 335 с. 2. Надёжность и долговечность валков холодной прокатки. Полухин В.П., Николаев В.А., Тылкин М.А. и др. М.: Metallurgia, 1976. – 448с. 3. Г.Я. Безлюдько, В.Ф. Мужичкий, Л.А. Крутикова, И.Л. Казюкевич, Б.Е. Попов Оценка текущего состояния и остаточного ресурса прокатных валков на основе магнитного (по коэрцитивной силе) метода неразрушающего контроля. – Дефектоскопия №4, 2002, с. 3-9.А 4. Л.А. Крутикова Применение магнитной структуроскопии прокатных валков для управления качеством проката. – Неразрушающий контроль и диагностика №3, 2010, с.21-27. 5. Агасарян Р.Р. Абразивная обработка закаленных сталей типа 9Х (На примере обработки рабочих валков холодной прокатки) . - Ереван: Айастан, 1971 . - 127 с. 6. А.Спиридонов Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. – М.: Машиностроение, 1981. – 184с.

Рецензент: **Ковалёв В.Д.**, д.т.н., проф., ДГМА

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО НАПРЯЖЕННО
ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РАБОЧЕГО СЛОЯ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ
ИЗ ВЫСОКОХРОМИСТЫХ СТАЛЕЙ

Пермяков А.А., Жижев А.А.

В статье исследуется влияние технологических факторов при изготовлении прокатных валков на формирование напряженно-деформированного состояния рабочего слоя. Физико-механические свойства бочки валков определялись по величине и распределению коэрцитивной силы в поверхностных слоях. Разработаны технологические средства обеспечения минимальных и равномерных значений коэрцитивной силы на бочках валков, что позволит повысить эксплуатационные свойства прокатных валков.

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО НАПРУЖЕНО
ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ РОБОЧОГО ШАРУ ПРОКАТНИХ ВАЛКІВ З
ВИСОКОХРОМИСТИХ СТАЛЕЙ

Пермяков О.А., Жижев А.А.

У статті досліджується вплив технологічних факторів при виготовленні прокатних валків на формування напружено-деформованого стану робочого шару. Фізико-механічні властивості бочки валків визначались за величиною та розподілом коерцитивної сили у поверхневих шарах. Розроблені технологічні засоби забезпечення мінімальних та рівномірних значень коерцитивної сили на бочках валків, що дозволить підвищити експлуатаційні властивості прокатних валків.

TECHNOLOGY SUPPORT OPTIMAL STRESS STRAIN OF WORKING LAYER OF
ROLLING ROLL HIGH-CHROMIUM STEELS

Permjakov AA, AA Zhizhev

In this article researched influence of technological parameters during producing of mill rolls on the mode of deformation in working layers. Physical-mechanical properties were determined by the measurement of the size and distribution of coercive force in surface layers. Technological methods which will provide minimal value and uniform distribution of coercive force in roll barrels are developed. This will ensure higher reliability and durability of mill rolls.

Ключевые слова: демпфирование, валок, технология, сталь, рабочий слой.

Ключові слова: демпфірування, валок, технологія, сталь, робочий шар.

Key words: damping, roll, technology, steel, working layer.

УДК 621.791.75

Турчанин М.А., Бережная Е.В., Малыгина С.В.
ДГМА, г. Краматорск, Украина

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ НАПЛАВКИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Введение

Развитие современного машиностроения характеризуется повышением эксплуатационных параметров работы машин, в результате чего использовавшиеся ранее технологические процессы часто не соответствуют возросшим требованиям надежности и долговечности [1]. В связи с низкой износостойкостью деталей машин, работающих в условиях интенсивного износа, происходит их преждевременный выход из строя и снижение их срока службы. При эксплуатации режущего инструмента наиболее интенсивному изнашиванию подвергаются детали, находящиеся в непосредственном контакте с рабочей средой [2]. Достижение высокого качества и эксплуатационной надежности машин, работающих в условиях интенсивного износа, а также их более низкой стоимости, является условием обеспечения высокого и устойчивого уровня рыночной конкурентоспособности и возможно лишь на основе прогрессивных наукоемких технологий. Одним из таких направлений является применение функциональных покрытий изнашиваемых деталей машин.

Упрочнение деталей путем нанесения покрытий позволяет снизить расход легированных сталей при одновременном повышении ресурса работы машин. Наиболее эффективными способами нанесения покрытий являются электродуговая и электроконтактная наплавка. Однако при электродуговой наплавке не всегда обеспечивается переход частиц износостойкой фазы в наплавленный слой в исходном состоянии, происходит растворение упрочняющей фазы в основном металле, наблюдается повышенное газопылевыведение и разбрызгивание электродного металла. Способ электроконтактной наплавки обладает рядом преимуществ, по сравнению с электродуговым способом нанесения покрытий: высокая производительность и низкая энергоемкость процесса; минимальная зона термического влияния на деталь; отсутствие необходимости использования защитной атмосферы и отсутствие светового излучения и газовыведения [3].

Цель работы

Целью работы является изучение технико-экономических преимуществ восстановления режущего инструмента способом электроконтактной наплавки.

Основное изложение материала

Процесс электроконтактной наплавки производится на специальных установках общей деформацией упрочняющего материала и поверхностного слоя основного металла, нагретых в очаге деформации до пластического состояния короткими (0,02...0,16 с) импульсами тока 7...30 кА. Образующиеся при этом сварные точки частично перекрывают друг друга. Величина силового воздействия при электроконтактной наплавке на 2-3 порядка выше, чем в случае центробежного индукционного, вибрационного и др. технологических вариантов получения покрытий на основе порошковых материалов. При этом скорость нагрева порошкового слоя может достигать нескольких тысяч градусов в секунду. Сочетание двух активирующих факторов позволяет осуществлять процесс наплавки в среднем в 100 раз быстрее, чем, например, при индукционном способе нанесения покрытий. При нанесении покрытий на поверхность детали в режиме спекания сохраняется большое количество полезных свойств порошковых материалов, которые чаще всего теряются при доведении их до температуры плавления. Сущность метода электроконтактной наплавки заключается в контактной сварке износостойкого материала с упрочняемой деталью при пропускании переменного тока в импульсном режиме на шовной ширококорольковой электросварочной машине. Целесообразность этого способа определяется следующими его преимуществами: относительно малым термическим воздействием на изделие (деформации в 8-10 раз меньше, чем при вибродуговой наплавке), незначительным снижением усталостной прочности (на 20-

25% меньше, чем при дуговой наплавке), незначительной величиной или полным отсутствием расплавленного металла в контакте (это позволяет исключить или предельно уменьшить долю металла изделия в наплавленном слое). В данном случае почти отсутствует выгорание легирующих элементов из присадочного материала при удовлетворительных механических свойствах наплавленного металла. При электроконтактной наплавке не образуются литых ядер, т.е. лента и основной металл не поддаются плавлению. Образование же прочного соединения между деталью и присадочным материалом объясняется процессами, близкими по своему характеру к схватыванию металлов при прокатке.

Для электроконтактной наплавки применяют металлические ленты и порошки. Из металлических лент используют, как правило, отожженные стальные [4]. Теплота в этом случае выделяется в основном на переходном сопротивлении «лента – деталь». Ленты почти всех марок стали (30ХГСА, 65Г, сталь 20 и др.) при электроконтактной наплавке значительно упрочняются. Однако упрочнение происходит неравномерно. Наиболее интенсивно упрочнение происходит в зонах наплавленного слоя, не подвергающихся термическому воздействию последующих импульсов тока [5]. Площадь этих зон составляет 50–90% от общей площади наплавленной поверхности. Остальная часть наплавленного слоя разупрочняется при наплавке смежных участков в результате повторного термического воздействия. Степень разупрочнения повышается при увеличении содержания углерода в стали и снижении содержания легирующих элементов. С повышением содержания углерода возрастает вероятность образования в наплавленном слое сетки трещин. Вышесказанное предопределяет область применения стальной ленты – для восстановления и упрочнения деталей, имеющих большой запас усталостной прочности.

Использование свободных порошков позволяет готовить широкую гамму композиций различных технологических и эксплуатационных свойств, имея в наличии небольшую номенклатуру ингредиентов, например, сормайт ПГ-С27 [6], сплав ПГ-С1+Al₂O₃, ПГ-С1+Cr₇C₃, ПЖ1+Al₂O₃. Наплавку производят сухими порошками со свободной их подачей под сварочные ролики. При этом экспериментально установлено, что свободные частицы порошковых материалов интенсивно выдавливаются из пространства между сварочным роликом и деталью. Согласно [5] при использовании ферромагнитных порошков происходит их выброс из зоны уплотнения и спекания. Указанное способствует формированию покрытия с напылами и большим количеством пор, а коэффициент использования порошка не превышает 0,8.

Связывание порошкового материала полимером (порошково-полимерные ленты) позволяет снизить подвижность частиц под давлением и повысить толщину слоя частиц, располагающихся между сварочным роликом и деталью [7, 8]. При малом давлении ролика сварочной машины деформация порошково-полимерной ленты затруднена. Это обусловлено наличием несущей способности полимерных мостиков, соединяющих частицы порошков. При увеличении давления до 12–15 МПа несущая способность снижается, поскольку начинается процесс деформации и разрушения наиболее нагруженной части этих мостиков, который заканчивается при 33–50 МПа с ликвидацией воздушных пор. Использование порошково-полимерной ленты вместо несвязанных порошковых материалов позволяет увеличить толщину слоя, заключенного между сварочным роликом и деталью в условиях приложения рабочего давления (50–75 МПа) для округлых частиц в 2–3 раза. Однако в очаге деформации порошково-полимерная лента нагревается и вокруг наплаваемого участка, полимер в этой зоне подвергается термической деструкции. В результате частицы порошковых материалов оказываются свободными от полимерных связей [7]. Согласно [4] эти потери составляют 10–15% от массы порошково-полимерной ленты. Кроме того, масса наплавленного слоя меньше массы наплавленной порошково-полимерной ленты на величину, равную массе полимера. К недостаткам данного электродного материала следует отнести и интенсивное газовыделение (из-за термодеструкции полимера), которое необходимо удалять при помощи приточно-вытяжной вентиляции. Другая часть полимера выдавливается из зоны наплавки в виде кашеобразной массы. Указанное приводит и к повышению пористости наплавленного слоя [7].

Пористость при электроконтактной наплавке порошковых материалов и полимерно-порошковых лент может достигать 28%. Полимерно-порошковые ленты при подготовке к подаче под наплавку требуют осторожного обращения, т.к. при изгибе до радиуса кривизны <10 мм и растяжении со средним напряжением >1–3 МПа они растрескиваются и разрушаются.

Серьезной проблемой при использовании порошковых материалов и полимерно-порошковых лент является низкая надежность работы узлов сварочных роликов, подвижные части которых заклинивают на осях от попадания в зазор между ними частиц порошковых материалов. Поэтому узлы сварочных роликов должны быть защищены от попадания частиц порошков в их опоры скольжения. При использовании сухих порошковых материалов дополнительно необходима герметичная система внутреннего охлаждения.

Другим путем связывания частиц порошковых материалов в компактное тело является изготовление порошковых спеченных лент [9]. При их спекании в печах в течение нескольких часов между контактирующими участками соседних частиц протекают диффузионные процессы, поэтому границы между частицами размыты. Такой характер границ остается и в наплавленном слое. Пористость порошковых спеченных лент составляет 0,5–20% [10]. Пластичность этого материала зависит от состава: она снижается с повышением содержания упрочняющих порошковых материалов. При намотке на деталь или установке в полость детали малопластичные порошковые спеченные ленты растрескиваются. Поэтому их необходимо многократно вальцевать, постепенно приближая радиус гибки к радиусу кривизны поверхности детали, размещать их на поверхности детали как втулки, после чего прихватывать и производить наплавку. Поскольку порошковые спеченные ленты пористые, то при обжати они имеют значительную усадку, пропорциональную пористости, которая после наплавки снижается. Получение спеченных лент является дорогостоящим мероприятием.

Формирование наносимого износостойкого наплавленного слоя при использовании вышеуказанных присадочных материалов имеет много общего. Согласно исследованиям, обобщенным в [11] процесс образования связи адгезии между компонентами многостадийный. На первом этапе происходит образование физического контакта, т.е. сближение достаточно большого числа атомов поверхностных слоев соединяемых путем пластической деформации последних на расстояние, при котором возникает взаимодействие атомов. Если объекты состоят из химически индифферентных материалов, взаимодействие между ними может возникнуть в результате действия сил Вандер-Ваальса. При достаточно сильном сближении материалов с металлическим типом связи между атомами может установиться и металлическая связь (этот процесс в большей степени присущ холодной сварке). Если материалы обладают различными свойствами и сближение происходит путем пластической деформации хотя бы одного из них, может возникнуть слабое химическое взаимодействие. В этом случае происходит активация контактной поверхности пластически деформированного материала за счет дислокаций, что создает условия для образования слабых химических связей. На втором этапе происходит активация контактных поверхностей (создание активных центров). При соединении разнородных материалов на второй стадии происходит образование активных центров на более твердом из соединяемых материалов. Наличие этого этапа и его продолжительность обусловлены особенностью пластической деформации более твердого материала. Третий этап характеризуется объемным взаимодействием. Эта стадия начинается с момента образования активных центров на поверхностях. При этом происходит дальнейшее развитие взаимодействия соединяемых материалов как в плоскости контакта с образованием прочных химических (или металлических) связей, так и в объеме зоны контакта. Этот процесс протекает на активных центрах, представляющих собой дефекты структуры (дислокации, вакансии), при этом происходит объединение дискретных очагов взаимодействия и релаксация напряжений в объеме объединенных слоев контактирующих объектов.

При получении качественного сварного соединения не менее важным также является решение вопроса снижения материалоемкости и обеспечения требований, предъявляемых к свойствам материалов, таких как: прочность, жесткость, коррозионная стойкость, износостойкость, звуконепроницаемость, красивый внешний вид и т. д. Снижение потерь присадочного материала обеспечивается характерной для электроконтактной наплавки особенностью, которая заключается в отсутствии разбрызгивания расплавленного металла. Соответствие предъявляемым к изделию требованиям гарантируется широким ассортиментом наплавочных материалов: проволоки и ленты сплошного сечения, порошковые и спеченные. Однако ленты сплошного сечения выпускаются узкой номенклатуры по химическому составу и по размерам, в большинстве случаев они дефицитны. Осуществить совместное решение этих

вопросов позволяет использование композиционных покрытий на основе порошковых материалов. Благодаря тому, что композиционные материалы можно конструировать и получать с заранее заданными физико-механическими характеристиками, они обладают уникальными свойствами в сравнении с традиционными конструкционными материалами.

Однако, как и любому технологическому процессу, электроконтактной наплавке свойственен ряд недостатков, к которым относятся: дробление компонентов шихты при уплотнении сердечника порошковых композиционных материалов, что приводит к уменьшению количества частиц исходной фракции, обеспечивающей необходимую износостойкость наплавленного слоя в процессе эксплуатации изделия; кратковременность протекания импульса электрического тока. Из чего следует, что способ электроконтактной наплавки нуждается в дальнейшем усовершенствовании и внедрении высокоскоростных технологий и новейших материалов, что приведет к повышению производительности процесса электроконтактного нанесения износостойких покрытий. Кроме того, внедрение новейших материалов, основанных на создании покрытий с заранее заданными свойствами, позволит значительно удешевить процесс восстановления изношенных деталей машин и снизить расход дорогостоящих высоколегированных сталей.

Выводы

Применение электроконтактной наплавки, при которой на изношенную поверхность наносят слой требуемой толщины, обладающий заданным уровнем рабочих характеристик, позволяет эффективно решать задачу продления нормативного срока службы технологических узлов. Тип и состав наплавочного материала оказывает существенное влияние на получаемые в результате проведения восстановительных работ свойства наплавленного слоя, такие как пористость, прочность сцепления, износостойкость.

Перечень источников литературы: 1. Чумаченко М.Г. Концепція державної промислової політики України / М.Г. Чумаченко, О.І. Амоша, М.І. Иванов. – Донецьк: ІЕП НАН України, 2000. – 424с. 2. Захарова О.В. Экономические аспекты энергосбережения на промышленных предприятиях / О.В. Захарова // Интегровані технології та енергозбереження. – 2002. – №2. – С. 40-45. 3. Чигарев В.В., Грибков Э.П., Кассова Е.В. Технологические особенности наплавки порошковой лентой // Матер.Вміжнар. наук.-техн. конф. «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку». – Краматорськ: ДДМА, 2007. – С. 118. 4. Амелин Д.В. Новые способы восстановления и упрочнения деталей машин электроконтактной наваркой / Д.В. Амелин, Е.В. Рыморов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 151с. 5. Харченко Г.К. Плакирование стали титаном через прослойку ванадия / Г.К. Харченко, В.Г. Ткаченко // Цветные металлы. – 1996. – №8. – С. 90-92. 6. Катренко В.Т. Исследование электроконтактной наплавки ребер КСКУ сормайтотом ПГ-С27 без подготовки наплавляемой поверхности / В.Т. Катренко, В.А. Пресняков // Технологические основы современного сварочного производства. – Краматорськ: КИИ, 1992. – С. 110-112. 7. Андоронов С.Ф. Электроконтактная наплавка порошково-полимерных материалов / С.Ф. Андоронов, Б.М. Гарипов // Сварочное производство, 1990. – №5. – С. 6-7 8. Ульман И.Е. Работы ЧИМЭКС по восстановлению изношенных деталей машин / И.Е. Ульман // Сварочное производство. – 1985. – №1. – С. 4-5. 9. Поляченко А.В. Восстановление чугунных деталей электроконтактной приваркой спеченной порошковой ленты / А.В. Поляченко, А.М. Мусагаджиев, В.И. Бурмистров // Современные методы наплавки, упрочняющие защитные покрытия и используемые материалы: IV Украинская республиканская научно-техническая конференция. – Харьков: ХАДИ, 1990. – С. 85-86. 10. Чигарев В.В. Влияние технологических параметров изготовления порошковых лент на формирование наплавленного металла / В.В. Чигарев, Д.А. Зареченский, А.Г. Белик // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: Зб. наук. праць. – Краматорськ: ДДМА, 2010. – №2 (19). – С. 299-304. 11. Ярошевич В.К. Электроконтактное упрочнение / В.К. Ярошевич, Я.С. Генкин, В.А. Верещагин. – Мн.: Наука и техника, 1982. – 256с.

Рецензент: **Мироненко Е.В.**, д.т.н., проф. ДГМА

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА
ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ НАПЛАВКИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Турчанин М.А., Бережная Е.В., Малыгина С.В.

Рассмотрены современные способы повышения износостойкости режущих кромок инструмента, в частности метод электроконтактной наплавки, при которой на изношенную поверхность наносят слой требуемой толщины, обладающий заданным уровнем рабочих характеристик. Это позволяет эффективно решать задачу продления нормативного срока службы технологических узлов. Установлено, что тип и состав наплавочного материала оказывает существенное влияние на получаемые в результате проведения восстановительных работ свойства наплавленного слоя, такие как пористость, прочность сцепления, износостойкость.

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПЕРЕВАГИ
ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОГО НАПЛАВЛЕННЯ РІЖУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ

Турчанин М.А., Бережна О.В., Малигіна С.В.

Розглянуто сучасні способи підвищення зносостійкості ріжучих кромок інструменту, зокрема метод електроконтактного наплавлення, при якому на зношену поверхню наносять шар необхідної товщини, який має заданий рівень робочих характеристик. Це дозволяє ефективно вирішувати задачу подовження нормативного строку служби технологічних вузлів. Встановлено, що тип і склад наплавочного матеріалу істотно впливає на властивості наплавленого шару, що отримано в результаті проведення відновлювальних робіт, такі як пористість, міцність зчеплення, зносостійкість.

TECHNICAL AND ECONOMIC ADVANTAGES OF
ELECTROCONTACT DEPOSITION OF CUTTING TOOLS

Turchanin M.A., Berezshnaya E.V., Malugina S.V.

The modern ways of improving the durability of cutting edge of instrument, including electrocontact deposition method, in which on the worn surface of a layer required thickness with a given level of performance are considered. It is shown that this way of reconstruction can effectively solve the problem of extending of a service life of technological units. It was found that the type and composition of the filler material has a significant influence on the properties of the deposited layer that obtained as a result of reconstruction, such as porosity, adhesion strength, wear resistance.

Ключевые слова: режущий инструмент, износостойкость, режущая кромка, электроконтактное наплавление.

Ключові слова: ріжучий інструмент, зносостійкість, ріжуча кромка, електро-контактне наплавлення.

Key words: cutting tool wear, cutting edge electro-pole fusing.

Дата надходження статті: 6 травня 2013 р.

УДК.621.9

Витренко О.С., Витренко В.А., Воронцов Б.С., Кириченко И.А.

ВНУ им. В. Даля, г. Луганск, Украина

**НАКАТКА ЗУБЬЕВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ПРИ ПОМОЩИ
ГИПЕРБОЛОИДНЫХ НАКАТНИКОВ*****Введение***

После накатки зубьев существующим в промышленности инструментом профиль их боковых поверхностей в значительной степени отличается от теоретического. Основным недостатком традиционной накатки зубьев является то, что на боковой поверхности накатанного зуба в области основной окружности возникают дефекты. Так на одной стороне зуба появляется бугор, а на дугой - впадина. Экспериментом установлено, что величина этого бугра для небольших зубчатых колес достигает до 0,3 мм. Этот бугор в значительной степени искажает профиль накатанного зуба, который коренным образом отличается от теоретического. Поэтому для исправления создавшейся ситуации вводят дополнительную технологическую операцию, такую как зубошлифование, которая исправляет появившийся дефект. Это в значительной степени увеличивает себестоимость изготавливаемых зубьев, но самое главное удаляется упрочненный слой на поверхности зуба, что сводит к минимуму эффект накатки.

Цель работы

Целью данной работы является снижение себестоимости и повышение точности изготовления, повышение прочности зубьев зубчатых колес путем изменения конструкции, а, следовательно, профиля накатного инструмента.

Основная часть

Весь современный накатной инструмент производится на базе цилиндрического основного червяка, а инструмент, рассмотренный в данном исследовании, на базе гиперболоидного основного червяка. Зубья на гиперболоидном накатном инструменте впервые были нарезаны при помощи дискового инструмента на современном станочном оборудовании с числовым программным управлением. На таком оборудовании были изготовлены мелко модульные накатники с $m_n = 1$ мм и различным числом заходов. При помощи таких накатников были накатаны цилиндрические прямозубые и косозубые зубчатые колеса с различным числом зубьев. На следующем этапе исследования определялось качество зубьев у накатанных зубчатых колес.

Для контроля качества обработанного зуба было использовано современное фрезерно-сканирующее оборудование Roland MDX. На этом оборудовании в работе были подвергнуты контролю мелко модульные зубчатые колеса с модулем нормальным $m_n = 1$ мм и различным числом зубьев. Схема такого контроля представлена на рис. 1.

Контроль профиля осуществляется при помощи сканирующей головки, оснащенной новейшим активным пьезосенсором, позволяющим сканировать объекты тоньше человеческого волоса передавая наиболее подробное изменение формы. Получено высокое качество исследуемой поверхности зуба благодаря USB интерфейсу и автоматическому определению нулевой точки вдоль оси Z. Программное обеспечение для сканирующей головки обладает такими функциями контроля, как установка сканирующей точки, размера сканируемой области, причем возможно задавать как одну, так и несколько областей сканирования. Оцифрованный зуб накатанного зубчатого колеса сохраняется как в формате PIX (облако точек), так и экспортируется в такие общедоступные форматы, как: STL; DXF; WRL; 3DMF; 3DS; IGS.

При контроле поверхности зуба было выбрано механическое разрешение с шагом 0,002 мм/шаг. Скорость перемещения сканирующей головки вдоль осей XY составляла 0,150 мм/с, а вдоль оси Z - 0,130 мм/с. В результате таких измерений были проанализированы замеры 30-ти различных зубчатых колес.

На первом этапе исследования рассмотрены зубчатые колеса с числом зубьев $z_1=50$ и 68, накатанных при помощи стандартных цилиндрических зубчатых накатников с $m_n = 1$ мм и числом зубьев $z_2=67$

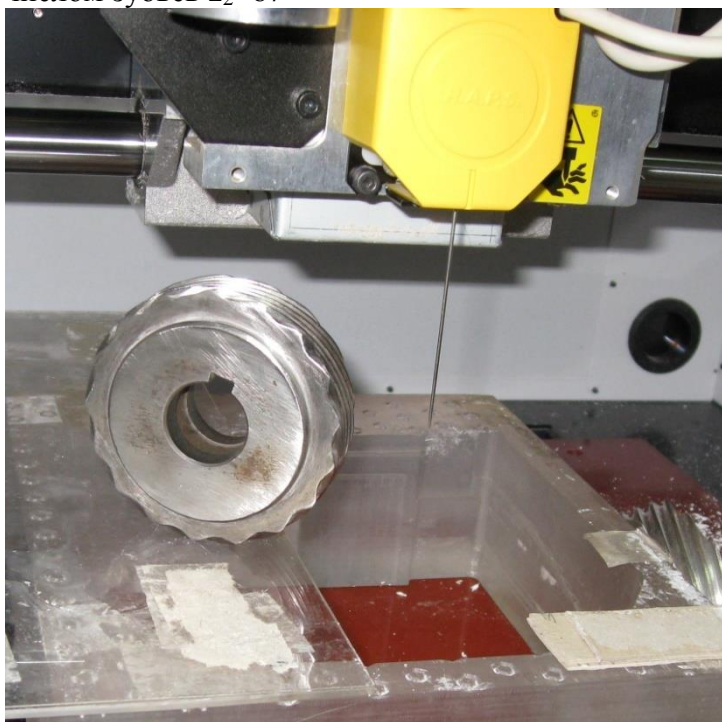


Рис. 1. Схема контроля профиля накатанного зуба и его погрешность

Исследование характера искажения профиля зуба показало, что на зубе видна явная волна пластически деформированного металла, а также впадина вдоль его профиля, явно искажающие накатанный зуб. Характер искажения профиля зуба показан на рис. 2.

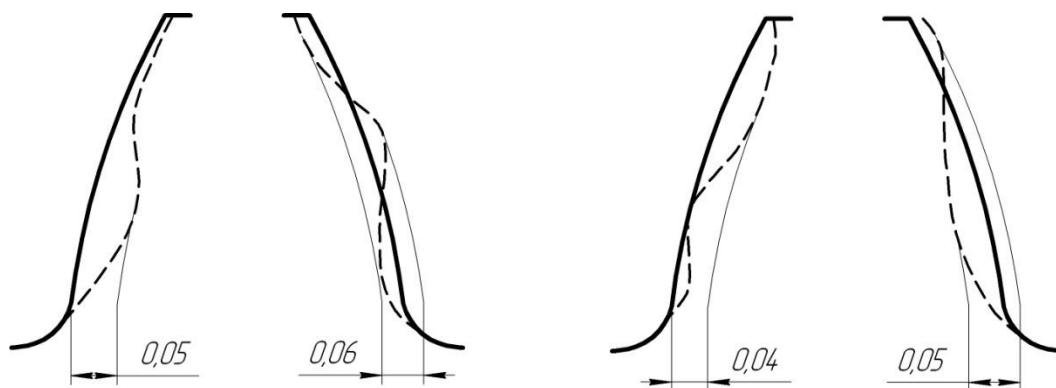


Рис.2. Характер искажения профиля зуба, накатанного стандартным накатным инструментом

Далее в исследовании был произведен контроль профиля 20-ти зубчатых колес с $m_n=1$ мм; числом зубьев $z_1=50, 68, 100$, накатанных при помощи гиперболических накатников с числом зубьев $z_2=17, 29$. Исследование профиля накатанных зубьев показало полное отсутствие волны пластически деформированного металла, а, следовательно, и искажения профиля зуба. На зубе была видна лишь незначительная огранка, обусловленная подачей накатного инструмента. Отклонение профиля накатанного зуба от теоретического уменьшилось в несколько раз, что видно из рис. 3

После выбора оптимального по конструкции накатного инструмента и нахождения оптимального усилия накатки было проведено исследование, как влияет шероховатость предварительно нарезанных зубьев (исходная шероховатость) на качество накатанных зубьев. Эта зависимость представлена на рис. 4.

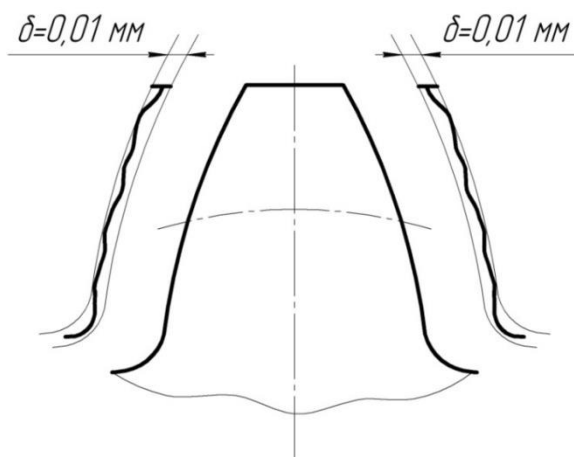


Рис. 3. Характер искажения профиля зуба, накатанного гиперболоидным инструментом

Для эксперимента был выбран гиперболоидный накатник с числом зубьев $z_2=17$, с диаметром делительной окружности $d_d=72,15$ мм. При помощи этого инструмента было накатано 8 цилиндрических зубчатых колес с числом зубьев $z_1=100$, изготовленных из стали 45. Графики показали, что незначительное увеличение усилия накатки позволяет накатывать зубчатые колеса, зуб которых имеет одинаковую шероховатость, что позволяет в широких пределах изменять качество предварительно нарезанных зубьев.

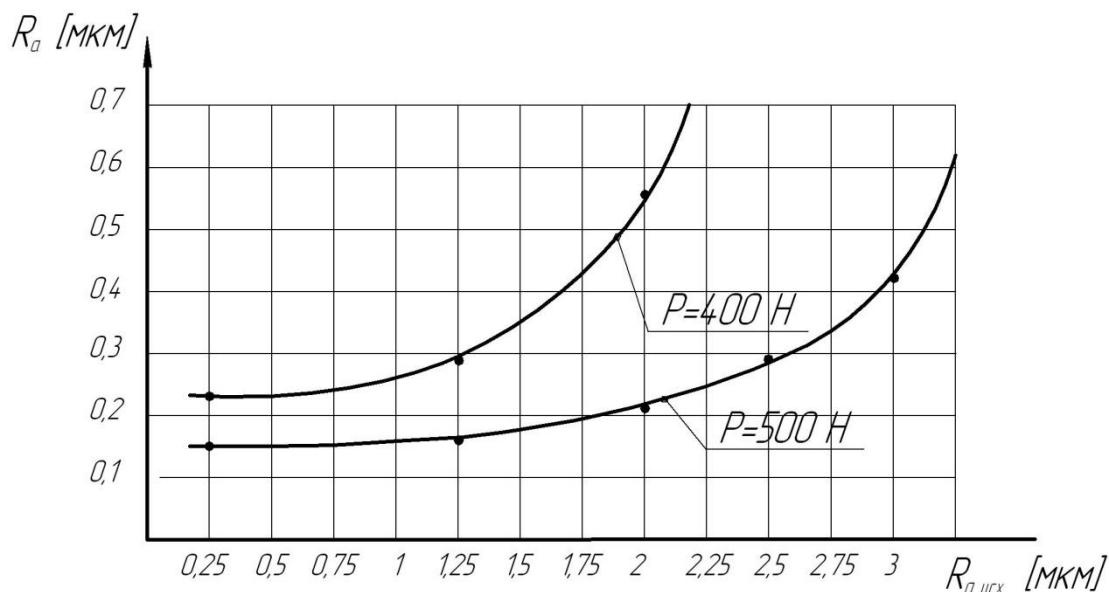


Рис.4. Влияние исходной шероховатости нарезанного зуба на шероховатость накатанных зубьев

Далее в работе было исследовано влияние усилия накатки на шероховатость накатанного зуба, которое приведено на рис.5.

В качестве накатываемых зубчатых колес были выбраны 24 зубчатых колеса с $m_n=1,5$ мм и числом зубьев $z_1=100$. Накатка производилась при помощи 3-х накатников с числом зубьев $z_2=17$, диаметры делительных окружностей которых в горловом сечении составляли соответственно $d_d=72,15$; $54,42$; $37,5$ мм. Экспериментальные исследования дали возможность определения правильного выбора геометрии накатного инструмента в зависимости от требуемой шероховатости накатанного зуба.

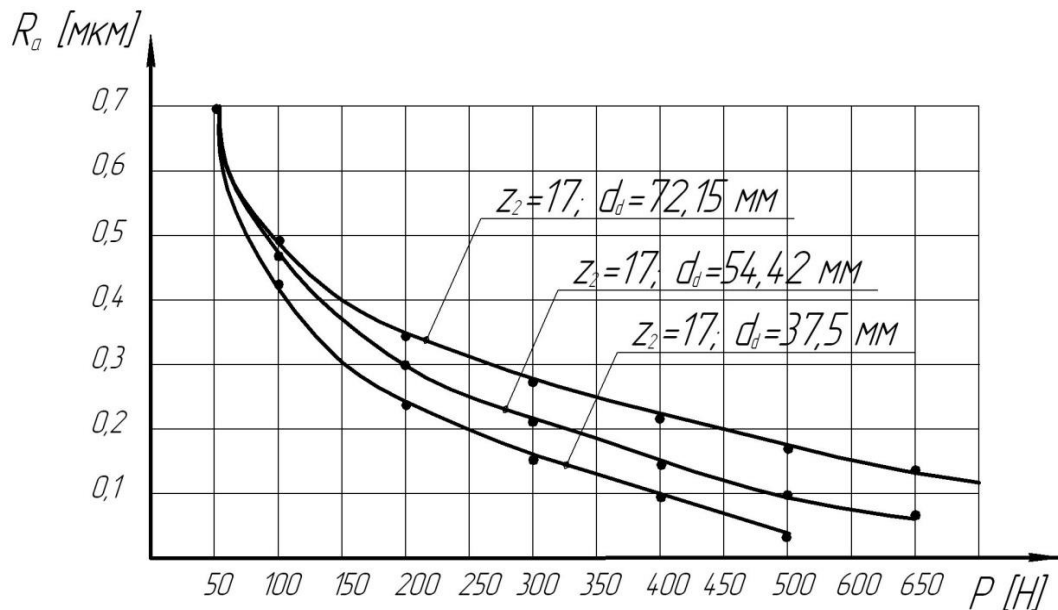


Рис. 5. Влияние усилия накатки на шероховатость обработанного зуба

Выводы.

Удалось спроектувати і виготовити на універсальному обладданні з ЧПУ гіперболоїдні накатники, у яких основна і виробляюча інструментальні поверхні совпадають.

Исследование профиля накатанных зубьев показало незначительное отклонение полученной в результате накатки эвольвенты от теоретической. Кроме того очень важным результатом исследования является то, что на накатанном зубе отсутствует волна пластически деформируемого металла, а также бугор и впадина в районе делительной окружности.

Перечень источников литературы: 1. Витренко В.А. Повышение производительности зубонарезания цилиндрических зубчатых колес гиперболоидным инструментом за счет совершенствования формообразования резанием: монография / В.А. Витренко, В.В. Белозерова. - Луганск: «Ноулидж», 2009.–147с. 2. Витренко О.С. Повышение точности упрочняющей накатки зубьев за счет разработки принципиально новой геометрии накатного инструмента: дис. канд. техн. наук / ВНУ им. В.Даля, 2010. 3. Равская Н.С. Геометрия сопряжённых поверхностей / Н.С.Равская, П.Р.Родин, Т.П.Николаенко, П.П.Мельничук, Г.Н.Выготовский. – Житомир: ЖИТИ, 2001. – 319 с. 4. Равская Н.С. Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці / Н.С.Равська, П.Р.Родін, Т.П.Ніколаєнко, П.П.Мельничук. – Житомир: ЖИТИ, 2000. – 169 с. 5. Производство зубчатых колес: Справочник / С.Н. Калашников, А.С. Калашников, Г.И. Коган и др.; под общ.ред. Б.А. Тайца. –М.: Машиностроение, 1990. – 464 с.

Рецензент: Мироненко Е.В., д.т.н., проф., ДГМА

НАКАТКА ЗУБЦІВ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ЗА ДОПОМОГОЮ ГІПЕРБОЛОЇДНИХ НАКАТНИКІВ

Вітренко О.С., Вітренко В.О., Воронцов Б.С., Кириченко І.О.

В роботі розглядається накатка зубців циліндричних зубчастих коліс за допомогою накатного інструмента у якого основна і утворююча інструментальні поверхні співпадають та базуються на тілі вида однополосний гіперболоїд.

НАКАТКА ЗУБЬЕВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ПРИ ПОМОЩИ ГИПЕРБОЛОИДНЫХ НАКАТНИКОВ

Витренко О.С., Витренко В.А., Воронцов Б.С., Кириченко И.А.

В работе рассматривается накатка зубьев цилиндрических зубчатых колес при помощи накатного инструмента у которого основная и производящая инструментальные поверхности совпадают и базируются на теле вида однополостной гиперболоид.

GEAR-WHEELS TEETH ROLLING WITH BY HYPERBOLAR ROLLING TOOLS

Vitrenko O.S., Vitrenko V.A., Vorontsov B.S., Kirichenko I.A.

Cylindrical gear wheels teeth rolling with the help of rolling tools has been investigated. General and generating instrumental surfaces of rolling tool coincide and are based on the body of one-cavity hyperbolar type.

Ключові слова: накатний інструмент, шорсткість, навантаження накатки, гіперболоїдний інструмент.

Ключевые слова: накатной инструмент, шероховатость, усилие накатки, гиперболоидный инструмент.

Key words: rolling tool, roughness, rolling force, hyperbolar instrument

Дата надходження статті: 13 травня 2013 р.

УДК 621.923

Азарова Н.В., Цокур В.П., Маленко А.Н.

ДонНТУ, г. Донецк, Украина

ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ПРАВКИ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА НА ПАРАМЕТРЫ ЕГО РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ***Введение***

В условиях рыночных отношений повышение производительности и снижение себестоимости конкурентоспособной продукции является одной из основных задач промышленного производства. Повышение производительности обработки шлифованием может быть достигнуто обеспечением необходимой режущей способности круга, а также уменьшением сил резания за счет применения прогрессивных методов правки. Режущая способность круга и силы резания определяются параметрами рабочей поверхности круга (РПК), к числу которых относятся количество зерен на РПК, расстояние между ними, разновысотность зерен и величина выступания зерен из связки. Для определения характеристик РПК наибольшее распространение нашли визуальные методы и методы профилографирования, при этом как измерение параметров, так и создание выборок по исследуемым параметрам осуществлялось непосредственно исследователем [1]. Вот почему совершенствование способов определения характеристик РПК является актуальной задачей.

Целью работы является установление влияния способов правки алмазного шлифовального круга на характеристики его рабочей поверхности при автоматическом формировании выборок исследуемых параметров РПК на ПЭВМ.

Основная часть

Исследования проводили на измерительном комплексе, позволяющем регистрировать рельеф рабочей поверхности кругов на металлической связке методом профилографирования с последующей записью данных на ПЭВМ [2], по разработанной нами методике.

Оценивали следующие параметры: разновысотность зерен относительно наиболее выступающего зерна, расстояние между зернами на рабочей поверхности круга и величину выступания зерен из связки.

Параметры рельефа определяли по результатам профилографирования рабочей поверхности шлифовальных кругов 1А1 250×76×15×5 с характеристиками АС6 100/80-4-М2-01 и АС6 160/125-4-М2-01 в состоянии поставки (правка шлифованием абразивным кругом в заводских условиях) и после электроэрозионной правки.

Режимы правки: скорость круга 30 м/с, скорость стола равна нулю, поперечная подача – ручная, вертикальная подача 0,002...0,007 мм/ход, средняя сила тока 5...8 А, напряжение холостого хода 50 В, правящий электрод – брусок из меди М1, правка осуществлялась в рабочей зоне.

Формирование выборок осуществляли на ПЭВМ по двум профилограммам рабочей поверхности, записанным в направлении, перпендикулярном оси круга, со смещением трасс профилографирования вдоль оси круга. Затем определяли статистические характеристики выборок и подбирали теоретические законы, описывающие распределения исследуемых параметров РПК.

Проверку принадлежности выборок объемом n_1 и n_2 одной генеральной совокупности выполняли путем сравнения средних значений \bar{x}_1 , \bar{x}_2 и дисперсий s_1^2 , s_2^2 выборок [3]. Сравнимые выборки считали однородными, если подтверждались гипотезы о равенстве выборочных средних и дисперсий выборок.

Для проверки гипотезы о равенстве выборочных средних вычисляли наблюдаемое значение критерия $t_{набл} = |\bar{x}_1 - \bar{x}_2| / \sqrt{s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2}$. По таблице критических точек распределения Стьюдента по заданному уровню значимости α и числу степеней свободы $f = n_1 + n_2 - 2$ находили критическую точку $t_{кр}(\alpha, f)$. Гипотеза о равенстве выборочных средних подтверждалась, если $t_{набл} < t_{кр}$.

Для проверки равенства дисперсий двух выборок вычисляли отношение большей выборочной дисперсии к меньшей $F_{набл} = s_1^2/s_2^2$. По таблице критических точек распределения Фишера-Снедекора по заданному уровню значимости α , числам степеней свободы $f_1 = n_1 - 1$ и $f_2 = n_2 - 1$ находили критическую точку $F_{кр}(\alpha, f_1, f_2)$. Гипотеза о равенстве выборочных дисперсий подтверждалась, если $F_{набл} < F_{кр}$.

Данные сравнения выборочных средних и выборочных дисперсий разновысотности зерен на рабочей поверхности кругов, сформированной различными способами правки, приведены в таблице 1; выборочных средних и выборочных дисперсий расстояния между зернами – в таблице 2; выборочных средних и выборочных дисперсий величины выступания зерен из связки – в таблице 3.

Таблица 1.

Сравнение параметров распределений разновысотности зерен на рабочей поверхности кругов 1А1 250×76×15×5 различной зернистости, сформированной различными способами правки

Шлифовальный круг	Способ формирования РПК	Трасса	Объем выборки	Выборочное среднее $\overline{\Delta R}_i$, мкм	Выборочная дисперсия S_i^2 , мкм ²	Критерий Фишера		Критерий Стьюдента	
						$F_{набл}$	$F_{кр}(\alpha=0,05)$	$t_{набл}$	$t_{кр}(\alpha=0,05)$
АС6 100/80-4-M2-01	Правка шлифованием абразивным кругом	1	200	22,01	43,94	0,79	1,64	1,24	1,26
		2	200	22,51	35,51				
	Электроэрозионная правка	1	200	37,62	257,14	1,04		1,25	
		2	200	39,61	246,41				
АС6 160/125-4-M2-01	Правка шлифованием абразивным кругом	1	200	42,17	297,09	1,23	1,64	0,96	1,26
		2	200	40,60	241,17				
	Электроэрозионная правка	1	200	61,18	843,57	1,16		0,44	
		2	200	62,42	728,54				

Как видно из таблиц 1-3, статистические характеристики выборок значений исследуемых параметров РПК, найденные для каждого из рассмотренных способов правки (правка шлифованием абразивным кругом в заводских условиях, электроэрозионная правка) по двум различным трассам отличаются незначимо. Выборочная средняя и выборочная дисперсия с достаточной полнотой характеризуют всю генеральную совокупность значений каждого из исследуемых параметров.

Таблица 2.

Сравнение параметров распределений расстояний между зернами на рабочей поверхности кругов 1А1 250×76×15×5 различной зернистости, сформированной различными способами правки

Шлифовальный круг	Способ формирования РПК	Трасса	Объем выборки	Выборочное среднее $\overline{\Delta l_i}$, мкм	Выборочная дисперсия S_i^2 , мкм ²	Критерий Фишера		Критерий Стьюдента	
						$F_{набл}$	$F_{кр}(\alpha=0,05)$	$t_{набл}$	$t_{кр}(\alpha=0,05)$
АС6 100/80-4-M2-01	Правка шлифованием абразивным кругом	1	200	147,38	15775,05	1,22	1,64	1,24	1,26
		2	200	132,46	12983,18				
	Электро-эрозионная правка	1	200	53,52	7435,67	1,05		0,21	
		2	200	51,70	7072,15				
АС6 160/125-4-M2-01	Правка шлифованием абразивным кругом	1	200	264,92	51413,66	1,03	1,64	0,92	1,26
		2	200	235,60	59319,16				
	Электро-эрозионная правка	1	200	147,10	72189,34	1,07		0,07	
		2	200	145,11	76890,23				

Таблица 3.

Сравнение параметров распределений величины выступления зерен из связки на рабочей поверхности кругов 1А1 250×76×15×5 различной зернистости, сформированной различными способами правки

Шлифовальный круг	Способ формирования РПК	Трасса	Объем выборки	Выборочное среднее $\overline{\Delta h_i}$, мкм	Выборочная дисперсия S_i^2 , мкм ²	Критерий Фишера		Критерий Стьюдента	
						$F_{набл}$	$F_{кр}(\alpha=0,05)$	$t_{набл}$	$t_{кр}(\alpha=0,05)$
АС6 100/80-4-M2-01	Правка шлифованием абразивным кругом	1	200	2,81	11,63	1,09	1,64	0,52	1,26
		2	200	2,63	12,63				
	Электро-эрозионная правка	1	200	3,57	25,46	1,25		1,23	
		2	200	2,98	20,44				
АС6 160/125-4-M2-01	Правка шлифованием абразивным кругом	1	200	3,89	23,59	1,11	1,64	0,35	1,26
		2	200	4,77	26,20				
	Электро-эрозионная правка	1	200	6,84	165,63	1,35		0,03	
		2	200	7,22	122,47				

Статистическая проверка законов распределения (нормального, логнормального, гамма-распределения, распределения Вейбулла и др.) по критерию согласия Пирсона показала

следующее. Наиболее подходящим для описания всех возможных случаев закона распределения разноразмерности зерен на РПК является двухпараметрическое распределение Вейбулла [4], которое имеет частные случаи, представляющие собой асимметричные с право- и левосторонней асимметрией формы распределения. Распределения расстояний между зернами на рабочей поверхности алмазных шлифовальных кругов различной зернистости, сформированной указанными способами, могут быть описаны экспоненциальным законом [5]. Наиболее подходящим для описания закона распределения величины выступания зерен из связки на рабочей поверхности круга является двухпараметрическое гамма-распределение [6], которое используется для описания асимметрично распределенных величин.

Построим графики плотности распределений разноразмерности зерен, расстояния между зернами и величины выступания зерен из связки (рис. 1-3) с использованием параметров подобранных нами теоретических распределений [4-6].

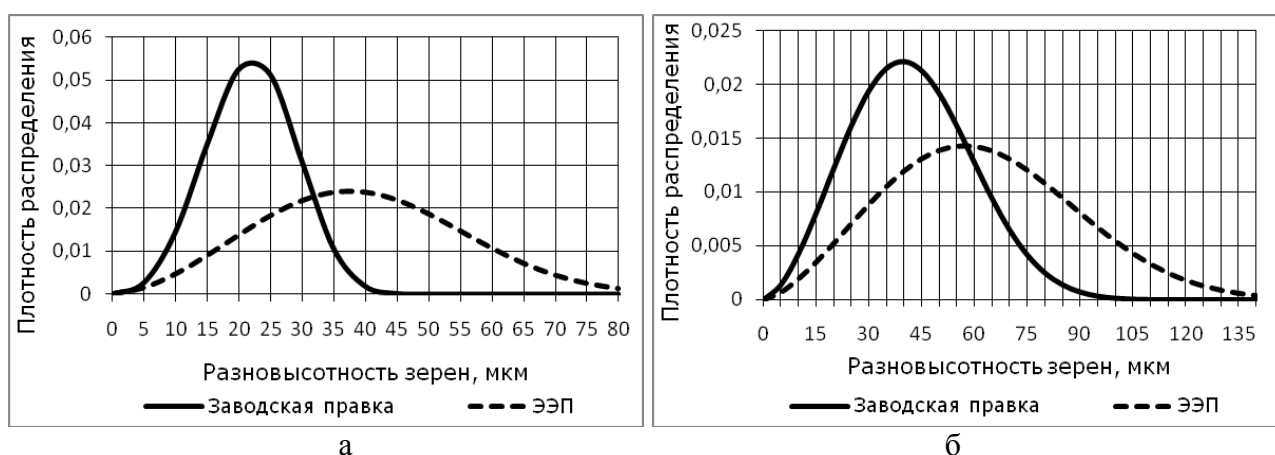


Рис. 1. Плотность распределений Вейбулла разноразмерности зерен рабочей поверхности кругов AC6 100/80-4-M2-01 (а) и AC6 160/125-4-M2-01 (б), сформированной различными способами правки

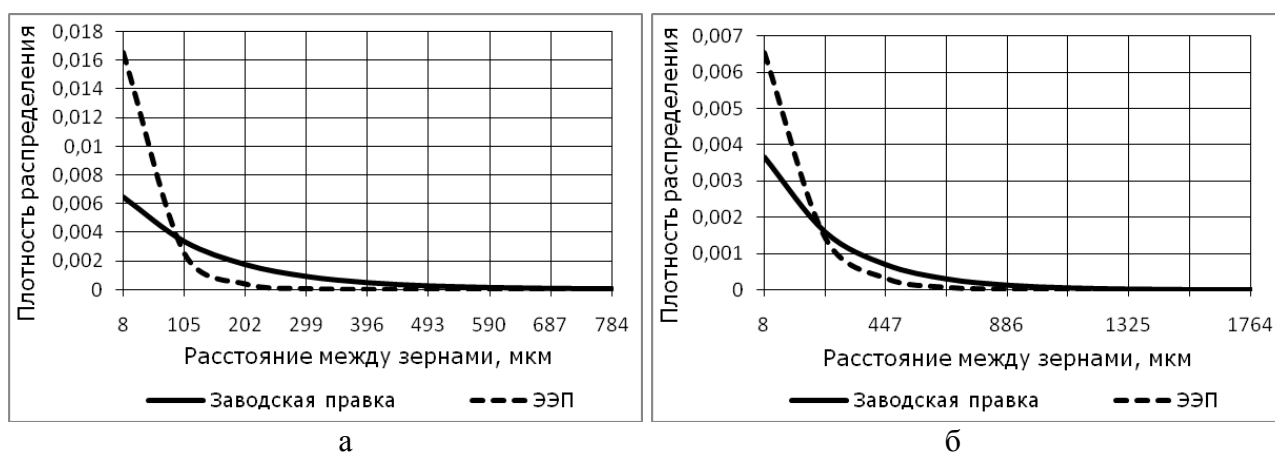


Рис. 2. Плотность экспоненциальных распределений расстояний между зернами на рабочей поверхности кругов AC6 100/80-4-M2-01 (а) и AC6 160/125-4-M2-01 (б), сформированной различными способами правки

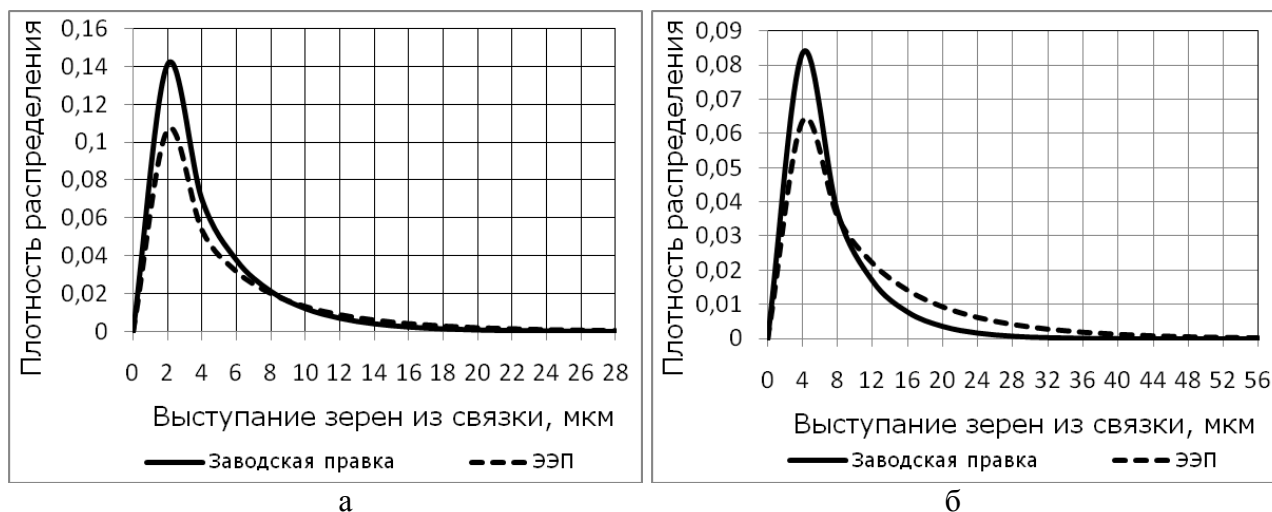


Рис. 3. Плотность гамма-распределения величины выступления зерен из связки на рабочей поверхности кругов AC6 100/80-4-M2-01 (а) и AC6 160/125-4-M2-01 (б), сформированной различными способами правки

Рассмотрим, влияет ли способ правки на распределение разновысотности. Графики плотности распределений разновысотности (см. рис. 1) показывают, что разновысотность зерен на рабочей поверхности кругов зернистостей AC6 100/80 и AC6 160/125 после электроэрозионной правки имеет сходное распределение с разновысотностью зерен после правки шлифованием абразивным кругом в заводских условиях, однако распределения для электроэрозионной правки имеют значительно большее математическое ожидание и дисперсию. Средняя разновысотность зерен (см. табл. 1) после электроэрозионной правки превышает среднюю разновысотность зерен после заводской правки шлифованием абразивным кругом в среднем в 1,6 раза (в 1,7 – 1,8 раза для круга зернистости AC6 100/80 и в 1,5 раза для круга зернистости AC6 160/125). Выборочная дисперсия распределения разновысотности зерен (см. табл. 1) после электроэрозионной правки превышает дисперсию после заводской правки шлифованием абразивным кругом в среднем в 6,2 раза (в 5,6 – 7,2 раза для круга зернистости AC6 100/80 и в 2,5 – 3,5 раза для круга зернистости AC6 160/125). Это объясняется, по всей видимости, тем, что рельеф круга после электроэрозионной правки более выражен.

Рассмотрим, влияет ли способ правки на распределение расстояний между зернами. Графики плотности распределений расстояний между зернами (см. рис. 2), показывают, что распределения расстояний между зернами на рабочей поверхности кругов зернистостей AC6 100/80 и AC6 160/125 после электроэрозионной правки имеют меньшее математическое ожидание и дисперсию по сравнению с распределениями расстояний между зернами после правки шлифованием абразивным кругом в заводских условиях. Среднее расстояние между зернами (см. табл. 2) после электроэрозионной правки меньше среднего расстояния между зернами после заводской правки шлифованием абразивным кругом, в среднем в 2,2 раза (в 2,5 – 2,9 раза для круга зернистости AC6 100/80 и в 1,6 – 1,8 раза для круга зернистости AC6 160/125). Таким образом, электроэрозионная правка обеспечивает уменьшение расстояний между зернами на РПК по сравнению с заводской. Это объясняется, по всей видимости, тем, что после электроэрозионной правки процент вскрытых зерен превышает аналогичный параметр после заводской правки шлифованием абразивным кругом в 2,5 раза [1], что обеспечивает увеличение числа режущих зерен.

Рассмотрим, влияет ли способ правки на распределение величины выступления зерен из связки. Графики плотности распределений величины выступления зерен из связки (см. рис. 3), показывают, что величина выступления зерен из связки на рабочей поверхности кругов зернистостей AC6 100/80 и AC6 160/125 после электроэрозионной правки имеет сходное распределение с величиной выступления зерен из связки после правки шлифованием абразивным кругом в заводских условиях (графики имеют явно выраженную правостороннюю

асимметрию, в зоне больших величин наблюдается резкое уменьшение частотей), однако распределения для электроэрозионной правки имеют большее математическое ожидание и дисперсию. Средняя высота выступания зерен из связки (см. табл. 3) после правки электроэрозионным способом превышает аналогичный параметр после заводской правки шлифованием абразивным кругом в среднем в 1,5 раза (в 1,1 – 1,4 раза для круга зернистости АС6 100/80 и в 1,4 – 1,9 раза для круга зернистости АС6 160/125). Выборочная дисперсия распределения величины выступания зерен из связки (см. табл. 3) после электроэрозионной правки превышает дисперсию после заводской правки шлифованием абразивным кругом в среднем в 3,9 раза (в 1,6 – 2,2 раза для круга зернистости АС6 100/80 и в 4,7 – 7,0 раз для круга зернистости АС6 160/125). При этом максимальная высота выступания зерен из связки после электроэрозионной правки превышает аналогичный параметр после правки шлифованием абразивным кругом в среднем в 2,3 раза [1]. Процент вскрытых зерен после электроэрозионной правки составляет 37,5 – 40 %, а после заводской правки шлифованием абразивным кругом – 16 – 18,5 % [1].

Выводы

Электроэрозионная правка обеспечивает более высокую режущую способность круга и уменьшает возможность контактирования связки с обработанной поверхностью в процессе шлифования, что в свою очередь способствует снижению сил резания. Средняя высота выступания зерен из связки после электроэрозионной правки превышает аналогичный параметр после правки шлифованием абразивным кругом в заводских условиях в 1,5 раза, а максимальная – в 2,3 раза. Электроэрозионная правка приводит к уменьшению расстояний между зернами на РПК по сравнению с заводской в 2,2 раза и обеспечивает увеличение числа контактирующих зерен в процессе шлифования. Процент вскрытых зерен после электроэрозионной правки превышает аналогичный параметр после правки шлифованием абразивным кругом в 2,5 раза. Таким образом, при подготовке алмазного круга на металлической связке предпочтение необходимо отдать электроэрозионной правке.

Перечень источников литературы: 1. Азарова Н.В. Забезпечення параметрів шорсткості шліфованої поверхні з урахуванням радіальних коливань шліфувального круга: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Донецьк, 2010. – 20 с. 2. Пат. 75483 С2 Україна, МПК G01D 7/00. Пристрій для реєстрації рельєфу поверхні абразивних інструментів на металевій зв'язці / П.Г. Матюха, С.В. Константинов, В.П. Цокур, Н.В. Азарова, В.В. Полтавець, О.В. Литвиненко; заявник і патентовласник Донецький національний технічний університет. – № 20040604600; заявл. 14.06.2004; опубл. 17.04.2006, Бюл. № 4. 3. Грановский В.А. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях / В.А. Грановский, Т.Н. Сирая. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 288 с. 4. Азарова Н.В. Определение закона и параметров распределения разновысотности алмазных зерен на рабочей поверхности шлифовального круга / Н.В. Азарова // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – Випуск 8 (190). – С. 78-87. 5. Азарова Н.В. Определение закона и параметров распределения расстояний между зернами на рабочей поверхности алмазного шлифовального круга / Н.В. Азарова // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. – Донецьк: ДонНТУ, 2012. – Випуск 9 (205). – С. 82-89. 6. Азарова Н.В. Определение закона и параметров распределения величины выступания алмазных зерен из связки на рабочей поверхности шлифовального круга / Н.В. Азарова // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний збірник наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – Випуск 42. – С. 3-10.

Рецензент: **Клименко Г.П.**, д.т.н., проф., ДГМА

ВПЛИВ СПОСОБІВ ПРАВКИ АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАЛЬНОГО КРУГА НА ПАРАМЕТРИ ЙОГО РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ.

Азарова Н.В., Цокур В.П., Маленко А.М.

Досліджено вплив способів правки алмазного шліфувального круга на характеристики його робочої поверхні (різновисотність зерен відносно найбільш виступаючого зерна, відстань між зернами, висоту виступання зерен зі зв'язки) при автоматичному формуванні вибірок досліджуваних параметрів РПК на ПЕВМ. Встановлено, що під час підготовки алмазного круга на металевій зв'язці перевагу необхідно віддати електроерозійному способу правки.

ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ПРАВКИ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА НА ПАРАМЕТРЫ ЕГО РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ.

Азарова Н.В., Цокур В.П., Маленко А.Н.

Исследовано влияние способов правки алмазного шлифовального круга на характеристики его рабочей поверхности (разновысотность зерен относительно наиболее выступающего зерна, расстояние между зернами, выступание зерен из связки) при автоматическом формировании выборки исследуемых параметров РПК на ПЭВМ. Установлено, что при подготовке алмазного круга на металлической связке предпочтение необходимо отдать электроэрозионной правке.

INFLUENCE OF WAYS DIAMOND GRINDING WHEEL DRESSING ON THE PARAMETERS OF ITS WORKING SURFACE.

Azarova N.V., Tsokyr V.P., Malenko A.N.

The influence of the method of diamond wheel preparation on characteristics of wheel working surface (different height of grains, distance between grains, height of grains above bind) with automated sample formation is investigated. It was established that in the preparation of the diamond wheel for metal bond preference should be given to electro erosive dressing.

Ключові слова: шліфувальний круг, алмазні зерна, зв'язка, різновисотність алмазних зерен, відстань між зернами, висота виступання алмазних зерен зі зв'язки.

Ключевые слова: шлифовальный круг, алмазные зерна, связка, разновысотность зерен, расстояние между зернами, выступание зерен из связки.

Keywords: grinding wheel, diamond grains, bind, different height of grains, distance between grains, height of grains above bind.

Дата надходження статті: 18 травня 2013 р.

УДК 621.774.001

Ковалевский С.В., Стародубцев И.Н., Марченко Ю.В.

ДГМА, г. Краматорск, Украина

prorector.uo@dgma.donetsk.ua

УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ МАЛОЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ

Введение

Повышение твердости деталей машин осуществляется различными технологическими методами, но они слишком энергоёмкие, продолжительные, конструкции для их применения занимают слишком много места в цехах.

Цель работы - разработка технологической операции вибрационной обработки с применением упругой среды, обеспечивающей повышение твердости рабочих поверхностей деталей машин.

Основная часть

Объем исследований, выполненных в области вибрационной отделочно-упрочняющей обработки, значительно уступает соответствующим исследованиям в области виброобразивной обработки, что сдерживает его применение [3].

Вибрационная составляющая способствует интенсификации различных технологических процессов, повышает уровень механизации и автоматизации. Повышение эффективности упрочняющей технологии осуществляется путем управления состоянием поверхностного слоя выбором оптимальных режимов вибрационной обработки. Технологические возможности вибрационной обработки делают ее перспективным методом упрочняющей обработки [5].

Практически каждая жидкость обеспечивает тщательную обработку поверхности и может применяться для финишной обработки деталей. Детали подвергаются продольным или поперечным звуковым колебаниям необходимой амплитуды. Теоретическая модель процесса определяется сопротивлением жидкой среды колебаниям детали, за счет отбора импульса движущегося тела элементами упругой среды. ППД определяется действием упругой среды. В процессе обработки на поверхность деталей действует большое количество микроударов частицами рабочей среды. Сглаживание микронеровностей происходит при ППД частицами рабочей среды, которые осуществляют колебательное движение. Деталь находится в вязкой жидкости и совершает гармонические колебания в упругой среде, воздействуя на частицы среды, прилегающие к поверхности, заставляет их совершать вынужденные колебания. Среда вблизи тела колеблется, деформируется, и в ней возникают упругие силы. Под упругими ударами рабочей среды шероховатость поверхности детали пластически деформируется, заполняются впадины на поверхности, что способствует повышению твердости поверхностного слоя [3].

Особенность метода заключается в том, что рабочая среда легко принимает форму любой обрабатываемой поверхности, что обеспечивает относительную равномерность обработки и возможность укреплять детали сложной формы.

На основании вышеприведенных гипотез и предположений разработана методика экспериментальных исследований, которая предполагает выявить влияние упрочняющей виброобработки в упругой среде на повышение твердости и снижение шероховатости деталей типа пластин.

Основные технологические параметры метода следующие: рабочая среда, частота колебаний, определяющая энергию столкновения атомов рабочей среды с обрабатываемой поверхностью, продолжительность процесса обработки.

Принцип исследований схематически можно описать в виде двух этапов:

- 1) пластина материала характеризуется наличием собственной частоты колебаний f_0 ;

2) пластина погружается в упругую среду определенного объема, после чего происходит процесс обработки:

- при частоте собственных колебаний;
- при частоте на 30% ниже собственных колебаний;
- при частоте на 50% выше собственных колебаний пластины.

Схема упрочняющей виброобработки в упругой среде представлена на рисунке 1.

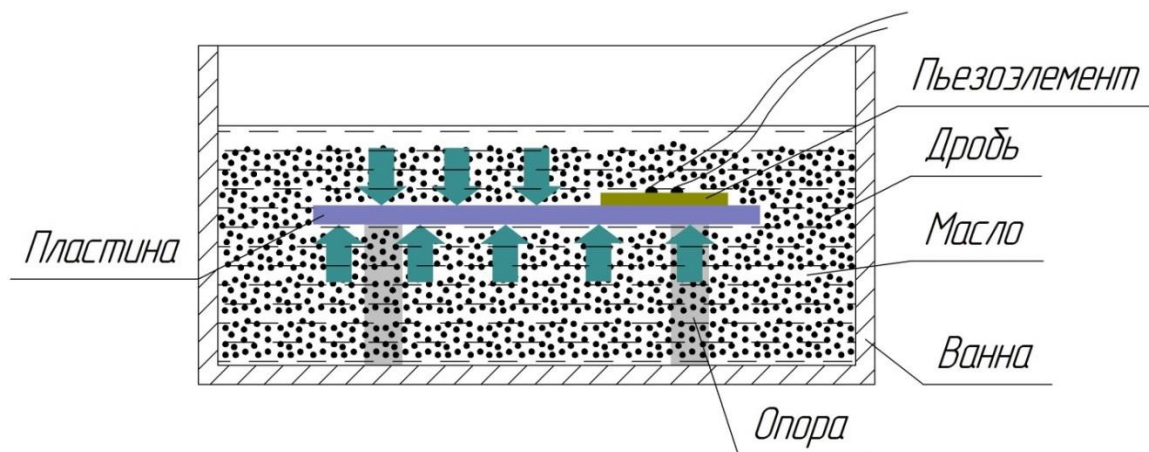


Рис. 1. Пластина погруженная в упругую среду

Экспериментальные данные, полученные в ходе данной работы, позволили выявить зависимость твердости от частоты звуковых колебаний, а также зависимость шероховатости поверхности от частоты звуковых колебаний.

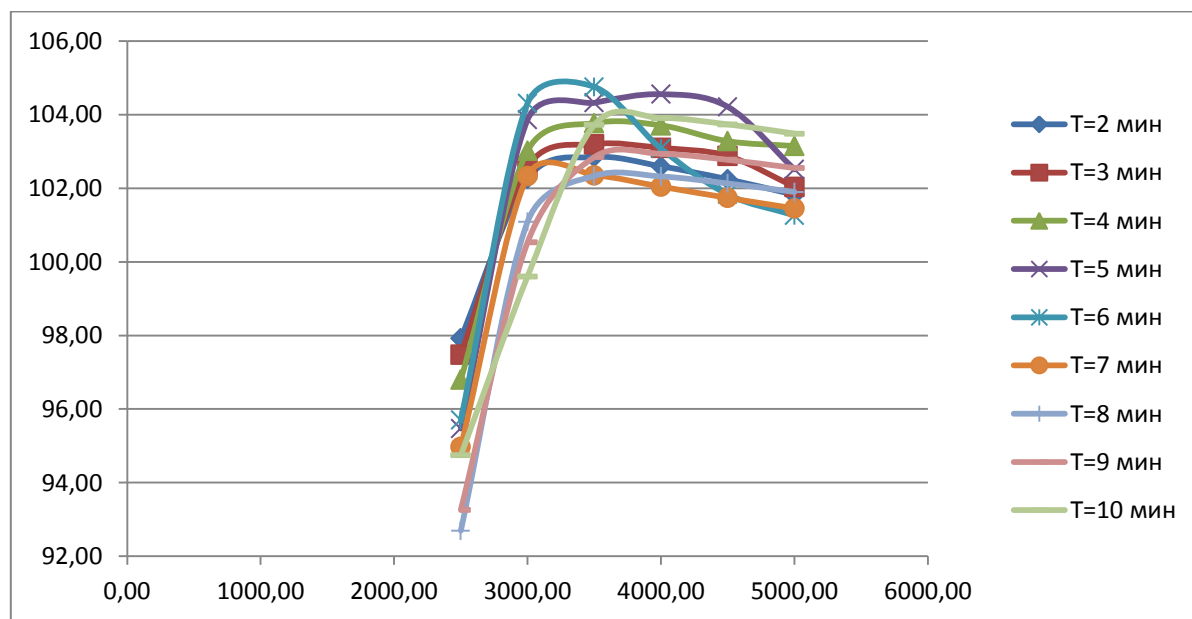


Рис. 2. Зависимость твердости образцов от частоты звуковых колебаний при объеме упругой среды $V=200$ мл

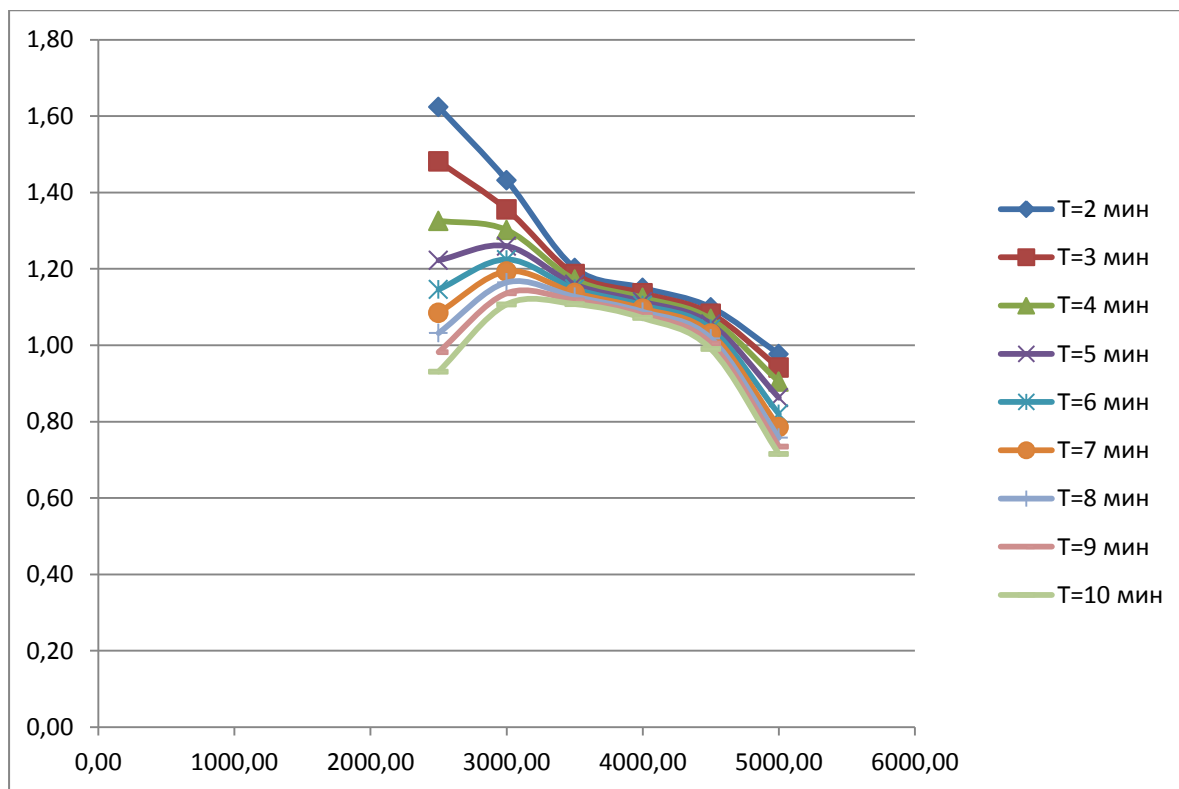


Рис. 3. Залежність шерохватості поверхні образців від частоти звукових коливань при об'ємі упругої середовища $V=300$ мл

Термічна обробка, як основний метод упрочнення деталей, являється енергоємним технологічним процесом, потребує великих виробничих площ і, крім того, являється неекологічним процесом. Указаних недоліків позбавлений такий метод упрочнення, як віброобробка в упругої середовищі.

За рахунок впровадження нового методу упрочнення деталей машин після механічної обробки досягнуто:

- виключення енергозатрат по порівнянню з термічною обробкою деталей (нет необхідності використовувати печі для термічної обробки, що вимагають великих витрат енергії).

- зменшення транспортних витрат при виготовленні деталей по порівнянню з термічним методом (нет необхідності транспортування деталей в термічний цех, так як віброобробка в упругої середовищі виробляється безпосередньо на ділянці механообробки);

- скорочення трудоемкості і часу операції упрочнення деталі по порівнянню з термічною обробкою;

Впровадження нової технологічної операції для упрочнення деталей машин дозволить зменшити витрати на виробничі і оборотні фонди підприємства внаслідок скорочення тривалості циклу виготовлення деталей, а також дозволить покращити організацію виробництва на підприємстві, так як впровадження нової технологічної операції обробки виключить затримки з термічною обробкою в печах і порушення режиму роботи цехів.

Висновки

Проведені дослідження служать основою для створення простої і надійної конструкції вібраційної установки для упрочнення деталей в упругої середовищі. Експеримент дозволив виявити можливість підвищення твердості і зниження шерохватості на 10-15% при використанні упрочнюючої віброобробки в упругої середовищі. При використанні наповнювачів, показники зростають. Заміняючи термообробку даним методом, при усло-

вии получения требуемых параметров поверхностного слоя, экономится достаточно много энергии и норм времени, особенно для крупногабаритных деталей машин.

Перечень источников литературы: **1.** Суслов А. Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. – М.: Машиностроение, 1987. – 208с. **2.** Поляк М.С. Технология упрочнения. Технологические методы упрочнения. В 2-х т. Т.2. - М.: Машиностроение, 1995. - 688с **3.** Ковалевський С.В., Матвієнко С.А., Сакно О.П., Лукичов О.В. Аналіз засобів підвищення якості деталей автомобілів енергозощаджувальною вібраційною обробкою// Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні: Український міжвідомчий науково-технічний збірник. Випуск 45.- Львів:Видавництво Львівської політехніки, 2011. С. 309-312. **4.** Методы упрочнения поверхностей деталей машин. Сборник научных трудов.- Красанд, 2008 г.- 400 с. **5.** Смелянский В.М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием / В.М. Смелянский. М.: Машиностроение, 2002.-299 с

Рецензент: **Ковалев В.Д.**, д.т.н., проф., ДГМА

УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ МАЛОЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ

Ковалевский С.В., Стародубцев И.Н., Марченко Ю.В.

В статье представлена разработка технологической операции вибрационной обработки с применением упругой среды, обеспечивающей повышение твердости рабочих поверхностей деталей машин. Проведенные исследования служат основой для создания простой и надежной конструкции вибрационной установки для упрочнения деталей в упругой среде. Эксперимент позволил выявить возможность повышения твердости и снижения шероховатости на 10-15% при использовании упрочняющей виброобработки в упругой среде. При использовании наполнителей, показатели возрастают. Заменяя термообработку данным методом, при условии получения требуемых параметров поверхностного слоя, экономится достаточно много энергии и норм времени, особенно для крупногабаритных деталей машин.

ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ МАЛОЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ.

Ковалевський С.В., Стародубцев І.М., Марченко Ю.В.

У статті представлена розробка технологічної операції вібраційної обробки з застосуванням пружного середовища, що забезпечує підвищення твердості робочих поверхонь деталей машин. Проведені дослідження служать основою для створення простої і надійної конструкції вібраційної установки для зміцнення деталей в пружній середовищі. Експеримент дозволив виявити можливість підвищення твердості і зниження шорсткості на 10-15% при використанні зміцнюючої виброобробки в пружній середовищі. При використанні наповнювачів, показники зростають. Замінюючи термообробку даним методом, за умови отримання необхідних параметрів поверхневого шару, економиться досить багато енергії і норм часу, особливо для великогабаритних деталей машин.

HARDENING OF SURFACES MALOZHESTKIH DETAILS.

Kovalevsky S.V., Starodubsev I.N., Marchenko Y.V.

The article presents the development of technological operations vibration treatment using an elastic medium, ensuring a higher hardness of working surfaces of machine parts. The research provides the foundation for a simple and reliable design vibration machine for hardening of parts in an elastic medium. The experiment revealed the possibility of increasing the hardness and roughness reduction by 10-15% for strengthening vibroobrabotki in an elastic medium. When using fillers figures increase. Replacing the heat-treated by this method, subject to obtaining the required parameters of the surface layer, saving a lot of energy and time standards, especially for large parts of machines.

Ключевые слова: виброобработка, резонанс, упрочнение, внутренние напряжения, шероховатость.

Ключові слова: виброобробка, резонанс, зміцнення, внутрішні напруження, шорсткість.

Keywords: vibration treatment, resonance, hardening, internal stress, surface roughness.

Дата надходження статті: 14 травня 2013 р.

УДК 621.774.001

Ковалевский С.В., Стародубцев И.Н., Носков К.В.

ДГМА, г. Краматорск, Украина

prorector.uo@dgma.donetsk.ua

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДИАГНОСТИКИ КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ОБРАБОТКИ

Введение

Технико-экономические результаты работы машиностроительных предприятий в значительной мере зависят от эффективности работы технологического оборудования, надежности всех элементов технологической системы, одним из которых является режущий инструмент. При этом, опыт эксплуатации технологических систем показывает, что режущий инструмент является наименее надежным элементом. В частности, рассеивание стойкости инструмента, непредвиденные отказы приводят к снижению производительности труда, возникновению брака основного производства, повышенному расходу инструмента, являются дестабилизирующим фактором механообрабатывающего процесса.

Повышенный износ инструмента может иметь место вследствие неправильной оценки режимов резания в конкретных технологических условиях. В таком случае рекомендуется накопление и использование банка данных по применению инструмента, в котором бы учитывались условия эксплуатации и стойкость инструмента конкретного вида, материала, от конкретного поставщика при применении его по различным материалам, с различными режимами резания, различными СОТС.

В дальнейшем, по мере накопления статистического материала, возможно применение принудительной замены инструмента, не дожидаясь его катастрофического износа или чрезмерного влияния на точность и стабильность обрабатываемых поверхностей.

Следовательно, необходим всесторонний анализ и обоснованное принятие решений по режимам резания, чтобы обеспечить с одной стороны долговечность инструмента, с другой – необходимую производительность.

Цель работы: разработка метода диагностики качества технологической системы на основе комплексной оценки параметров шероховатости обработки.

Задачи работы:

1. Разработать методику экспериментальных исследований и провести экспериментальные исследования для диагностики качества технологической системы на основе комплексной оценки параметров шероховатости обработки.

2. На базе экспериментальных исследований выполнить обработку результатов измерений.

3. Разработать математические модели определения рациональных режимов резания и величины износа для заданных условий эксплуатации технологической системы.

4. Сформулировать практические рекомендации по применению диагностики качества технологической системы на основе комплексной оценки параметров шероховатости обработки в машиностроительных процессах.

Основная часть

В качестве объектов экспериментальных исследований выбраны углеродистая конструкционная сталь 45 и сталь 20. Обработка проводилась на станке 1К62. Заготовки из стали 45 и стали 20 обрабатывались на разных режимах тремя разными пластинами. Фиксировалась величина износа инструмента и переводилась в относительный износ (мкм/км). Пластины были представлены фирмами Sandvik Coromant, Vandurit и Seco:

1 – Sandvik Coromant CNMG 120408 PF, сплав 4015;

2 – Vandurit CNMG 120408-4D V122, сплав P20;

3 – SECO CNMG 120408 PF, сплав 4015.

Обработка проводилась с режимами резания: $V_1=80$ м/мин., $V_2=130$ м/мин., $S_1=0,2$ мм/об., $S_2=0,4$ мм/об., $t_1=0,25$ мм, $t_2=1$ мм.

В результате обработки 48 образцов для измерения шероховатости вдоль следа инструмента с каждого образца были выполнены слепки. Это выполнялось следующим образом: на бумагу наносился небольшой слой силиконового клея, образец прокатывался по этому слою, застывший клей образовывал на бумаге слепок хорошего качества. Так исключалось влияние радиуса обрабатываемой цилиндрической поверхности. Далее проводилось измерение шероховатости с помощью профилометра TR200.

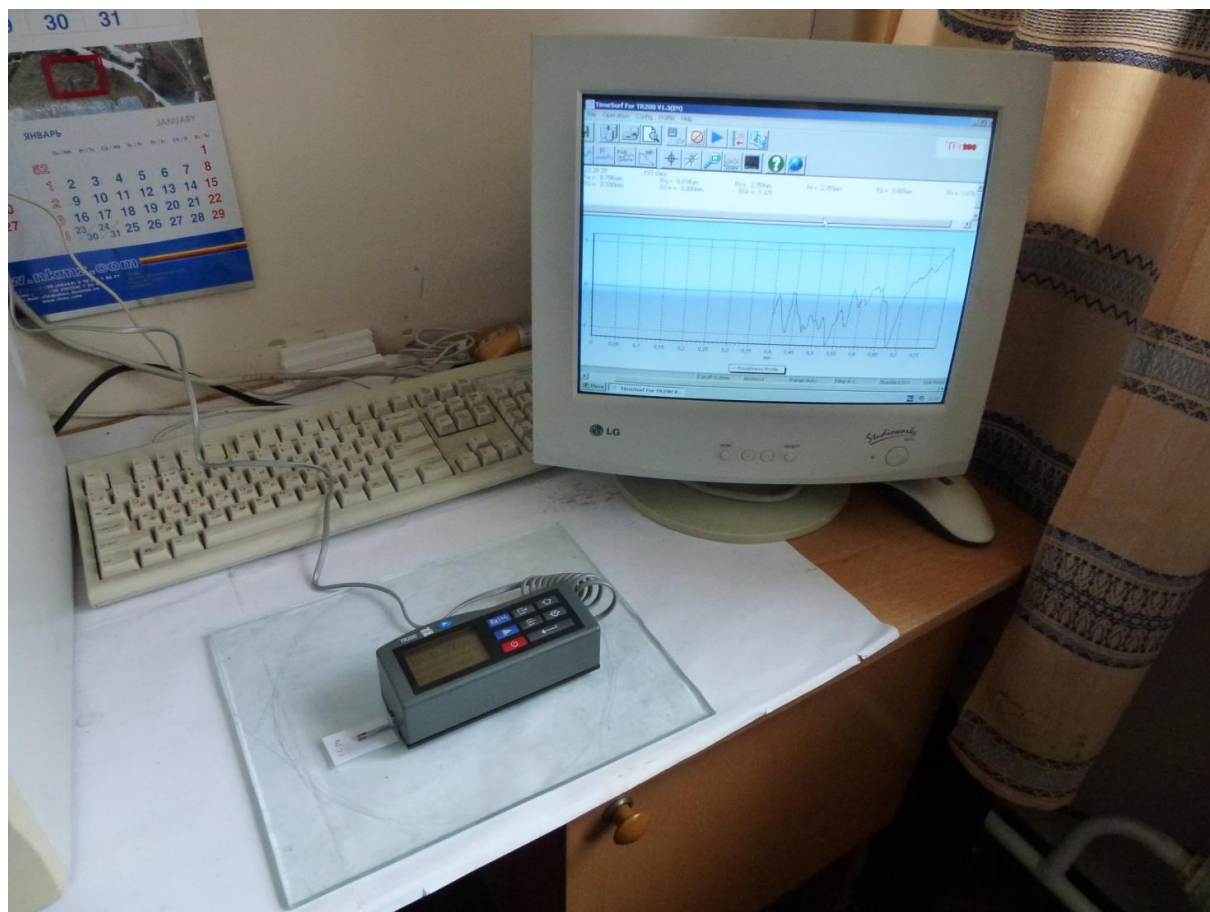


Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки

После проведения эксперимента проводился анализ профилограмм. При анализе профилограмм анализировалась спектральная плотность спектрограммы шероховатости обработанной поверхности вдоль следа режущего инструмента. Спектральная плотность является функцией, описывающей распределение дисперсии шероховатости по частотам.

Функция спектральной плотности позволяет выполнить гармонический анализ и выявить наиболее характерные составляющие в профилограмме. Это дает возможность выявить факторы, действующие с определенной периодичностью в процессе формирования шероховатости поверхности и скорректировать (при необходимости) параметры процесса резания.

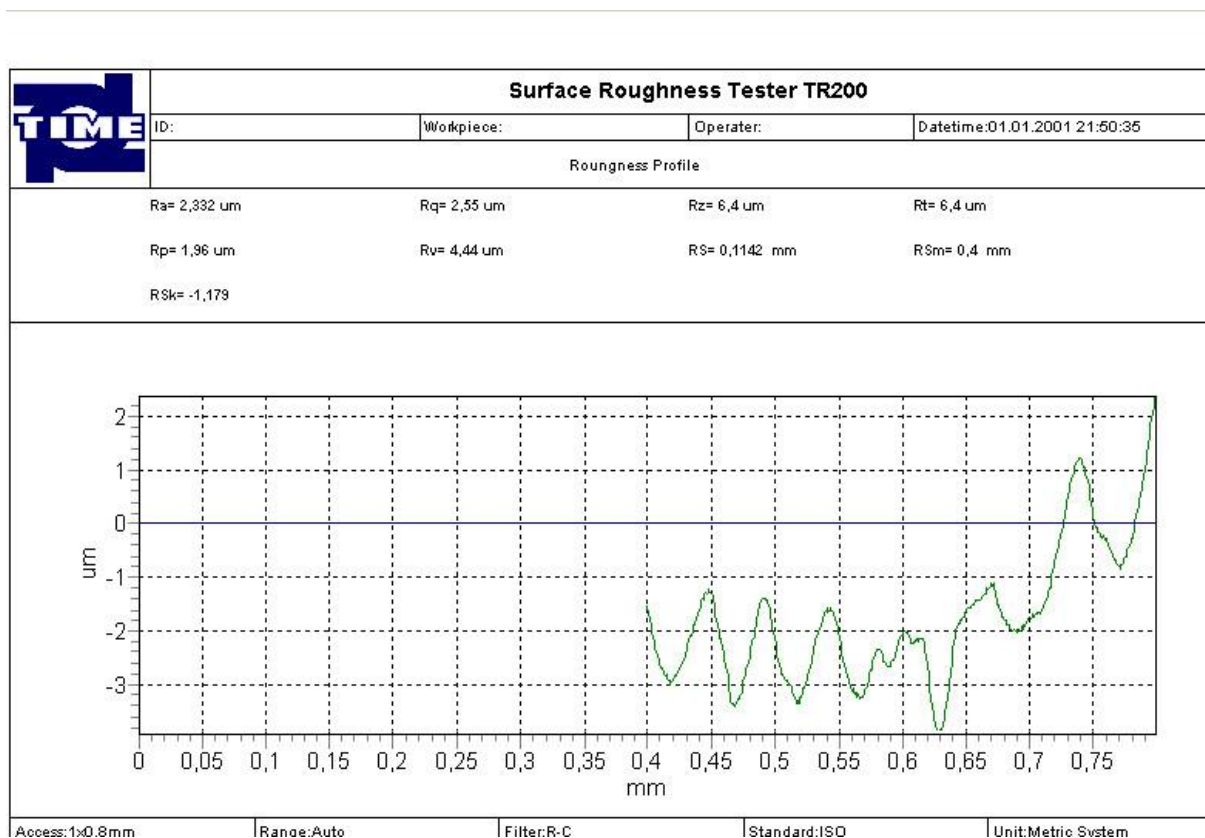


Рис. 2. Результаты измерения шероховатости обработанной поверхности профилометром TR200

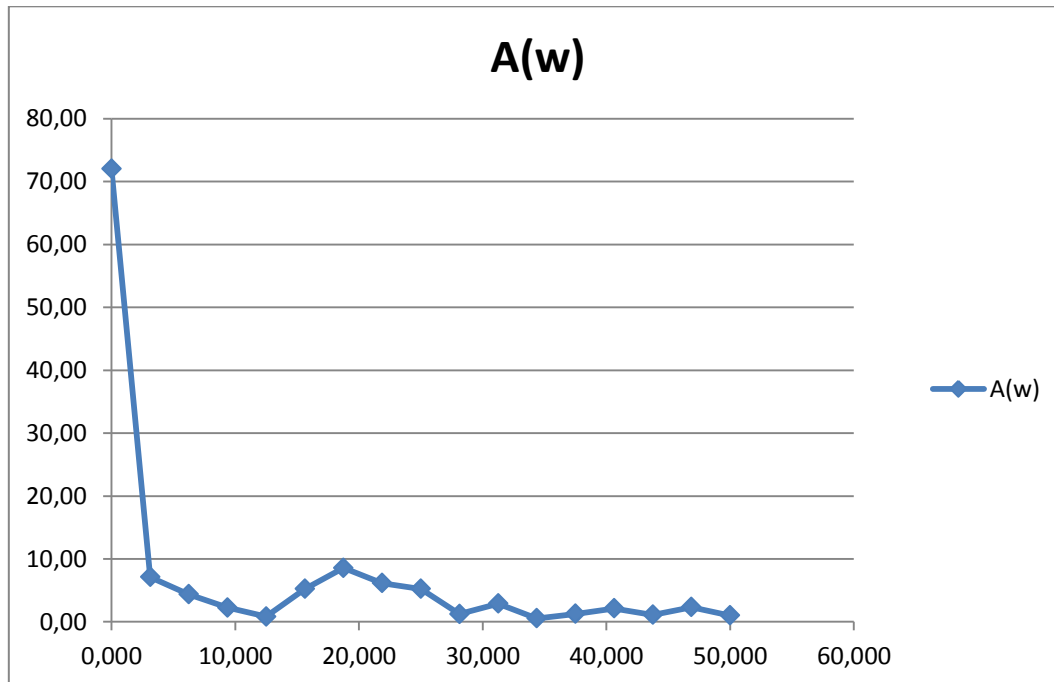


Рис. 3. Спектрограмма шероховатости обработанной поверхности вдоль следа реза

По результатам эксперимента с помощью программного обеспечения NeuroPro 0.25 были построены три математические модели на основе нейросетевого моделирования. В первой – входными симптомами являлись показатели частотных фильтров (x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x9, x10, x11, x12, x13, x14, x15, x16, x17), а конечными синдромами - значения относительного износа. Во второй – входными симптомами являлись материал

заготовки, вид пластины, глубина резания, подача и скорость резания (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5), а конечными синдромами – значения относительного износа. В третьей – входными симптомами являлись показатели частотных фильтров ($x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}$), а конечными синдромами – материал заготовки, вид пластины, глубина резания, подача и скорость резания.

В результате нейросетевого моделирования установлено, что контролировать значение относительного износа целесообразно на частотах 12,5 Гц, 21,87 Гц, 43,75 Гц, которым соответствуют частотные фильтры x_5, x_8, x_{15} .

Сигнал	Значимость
X1	0
X2	0
X3	0
X4	0
X5	1
X6	0
X7	0
X8	0,9996294
X9	0
X10	0
X11	0
X12	0
X13	0
X14	0
X15	0,7684216
X16	0
X17	0

Рис. 4. – Значимость влияния входных параметров на контроль относительного износа

Элементы режимов резания непосредственно отражаются на производительности и себестоимости обработки. Причем из них глубина резания чаще всего ограничивается припуском под обработку, а подача – показателями качества обработанной поверхности. Поэтому минимизация износа инструмента выполняется изменением скорости резания. Также, полученные математические модели могут быть использованы для диагностики состояния режущего инструмента и для выбора рациональных режимов резания.

Изложенный подход позволяет создать адаптивную систему управления износом режущего инструмента. В частности, используя предложенные нейросетевые модели, можно на основе спектрального анализа шероховатости поверхности вдоль следа обработки определить относительный износ и режимы резания, а значит назначить рациональную скорость резания и минимизировать износ режущего инструмента для заданных условий эксплуатации технологической системы.

Выводы

Показаны возможности диагностики качества технологической системы на основе комплексной оценки параметров шероховатости обработки.

Разработан новый метод диагностики с помощью оценки шероховатости вдоль следа инструмента, достоинством которого является возможность управления износом лезвийного режущего инструмента, а также выбора составляющих технологической системы.

Перечень источников литературы: 1. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. – М.: Мир, 1974. – 392 с. 2. Витенберг Ю. Р. Исследование шероховатости поверхности после точения с помощью корреляционных функций // Станки и инструмент, №2, 1970. 3. Григорьян Г. Д. Надёжность технологических процессов механической обработки: Учебн. пособие. - Одесса: ОПИ, 1982. - 88 с. 4. Дженкинс Г., Ватте Д. Спектральный анализ и его приложения. Том 1 и 2 . - м.: Мир, 1972. 5. Дьяченко П.Е. Исследование зависимости микрогеометрии поверхности от условий механической обработки. – М.-Л: АН СССР, 1949. – 126 с. 6. Макаров А.Д., Мухин В.С., Шустрое Л.Ш. Износ инструмента, качество и долговечность деталей из авиационных материалов: Учебн. пособие. – Уфа, 1974. – 372 с. 7. Маталин А.А. Технология машиностроения: Учебник для машиностроительных вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты».- Л.: Машиностроение, Ленинградское отд-ние, 1985. – 496 с. 8. Соколовский А. П. Научные основы технологии машиностроения. - М. - Л.: Машгиз, 1955. – 515 с. 9. Суслов А.Г. Технологическое обеспечение параметров шероховатости поверхностей деталей машин при обработке лезвийным инструментом // Вестник машиностроения. 1988. №1 С.40-42. 10. Хусу А.П., Витенберг Ю.Р., Пальмов В.А. Шероховатость поверхностей (теоретико-вероятностный подход). - М.: Гл. ред. физ.-мат. лит. изд-ва "Наука", 1975. – 344 с. 11. Ящерицын П.И. Основы технологии механической обработки и сборки в машиностроении. - Минск: Высшая школа, 1974. – 607 с. 12. Ящерицын П.П., Рыжов Э.В., Аверченков В.И. Технологическая наследственность в машиностроении. - Минск: Наука и техника, 1977. – 254 с.

Рецензент: **Ковалев В.Д.**, д.т.н., проф., ДГМА

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДИАГНОСТИКИ КАЧЕСТВА
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ
ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ОБРАБОТКИ.

Ковалевский С.В., Стародубцев И.Н., Носков К.В.

Предложен новый метод диагностики качества технологической системы с помощью оценки шероховатости вдоль следа инструмента. Преимуществом данного метода диагностики является определение износа инструмента и оптимизация технологической системы.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ДІАГНОСТИКИ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ
СИСТЕМИ НА ОСНОВІ КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ ШОРСТКОСТІ
ОБРОБКИ.

Ковалевський С.В., Стародубцев І.М., Носков К.В.

Запропонований новий метод діагностики якості технологічної системи за допомогою оцінки шорсткості вздовж сліду інструменту. Перевагою даного методу діагностики є те, що він дозволяє визначати знос інструменту, а також вибрати режими різання та інструмент, найбільш відповідні для заданих умов експлуатації технологічної системи.

INVESTIGATION OF POSSIBILITIES OF TECHNOLOGICAL QUALITY
DIAGNOSTIC SYSTEM BASED ON A COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE
ROUGHNESS PARAMETERS OF TREATMENT.

Kovalevsky S.V., Starodubsev I.N., Noskov K.V.

On the basis of the experiment and the simulation of neural network, has developed a new method for diagnosing the quality of the technological system by evaluating the roughness along the trace tool. The advantage of this method of diagnosis is that it allows you to determine the wear of the tool, and select the cutting conditions and tool best suited for the given operating conditions of the technological system.

Ключевые слова: спектр, режимы обработки, профилограмма, шероховатость.

Ключові слова: спектр, режими обробки, профілограмма, шорсткість.

Keywords: spectrum, treatment regimens, profilogram, roughness.

Дата надходження статті: 14 травня 2013 р.

УДК 621.9.02:621.9.14

Грицай І.Є., Громнюк С.І.
 НУ «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ НАРІЗАННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС НА ОСНОВІ РАДІАЛЬНО-ОБЕРТОВОГО МЕТОДУ В УМОВАХ ОБКОЧУВАННЯ

Актуальність проблеми

Зубчасті передачі та зубчасті колеса широко використовують у важкому машинобудуванні в приводах машин, прокатних станів, підймальних і поворотних механізмах тощо. Важливе значення та роль, яку відіграють зубчасті передачі в сучасних машинах пояснюють інтенсивність наукових досліджень у цій галузі, результатами яких стало удосконалення зубчастих зачеплень і технологій зубообробки, створення нових поколінь верстатів з ЧПК, зуборізних інструментів та інструментальних матеріалів.

Традиційна технологія зубонарізання циліндричних коліс модулем понад 10 мм передбачає 2-3-прохідну обробку одним інструментом (наприклад, модульними черв'ячними чи дисковими фрезами), або комбіновану обробку з використанням черв'ячних, дискових та пальцевих фрез на серійних зубофрезерних верстатах, найчастіше з попереднім вирізанням впадин. Загалом, процеси нарізання великомодульних і великогабаритних коліс є малоефективними, що здійснюються з непродуктивними режимами різання і характеризуються великими витратами часу.

При нарізанні зубчастих коліс на багатокоординатних верстатах з ЧПК дисковими фрезами, оснащеними твердосплавними зубцями з прямолінійними лезами, можна досягти значно вищої продуктивності обробки за рахунок збільшення швидкості різання, досягаючи 7-8 ступені точності. Проте, з огляду на великі габарити зубчастих коліс у важкому машинобудуванні (зовнішій діаметр понад 1000 мм) та ускладнення кінематики процесу, яка включає поєднання одиничного поділу і обкочування в кожній впадині, цей спосіб може бути придатний лише для одиничного виробництва та для коліс обмежених за масою і розмірами.

Такий стан спонукає до пошуку нових, ефективніших і універсальних технологій та методів виготовлення зубчастих коліс.

Метою роботи є обґрунтування перспективного способу зубонарізання, який здатний збільшити продуктивність процесу і підвищити якість виготовлення зубчастих коліс для важкого машинобудування.

Шляхи вирішення задачі

Виходячи з особливостей об'єкта виробництва – великомодульних зубчастих коліс, досягнення цієї мети можливе шляхом впровадження способу нарізання зубчастих коліс дисковими фрезами в умовах обкочування [1]. Ця технологія здійснюється на звичайному зубофрезерному верстаті, оснащеному елементарним пристроєм і дає можливість:

- одною дисковою фрезою можна нарізати зубчасті колеса різних модулів у широкому діапазоні зміни модулів тільки зміною величини ексцентриситету фрези;
- на одному зубофрезерному верстаті і тим же одним інструментом можна нарізати різні типи та види зубчастих коліс: циліндричні, одновінцеві та шевронні, конічні, черв'ячні (рис.1), колеса зовнішнього і внутрішнього зачеплення; для коліс різних типів необхідне додаткове, проте нескладне спорядження.

У даному способі – обкочувального радіально-обертowego зубофрезерування, внаслідок зміщення геометричної осі фрези відносно її кінематичної осі при неперервному обкочуванні заготовки і обертанні інструменту профіль описаний синусоїдою, а колеса є синусоїдальним (рис.2). Проте, зміною закону руху фрези в радіальному напрямку можна забезпечити профілювання за будь-яким законом, зокрема, евольвенти, з кутовою і висотною

корекцією зубців, або модифікуванням по ширині зубця. Конструкції таких пристроїв розроблено на кафедрі технології машинобудування Львівської політехніки.

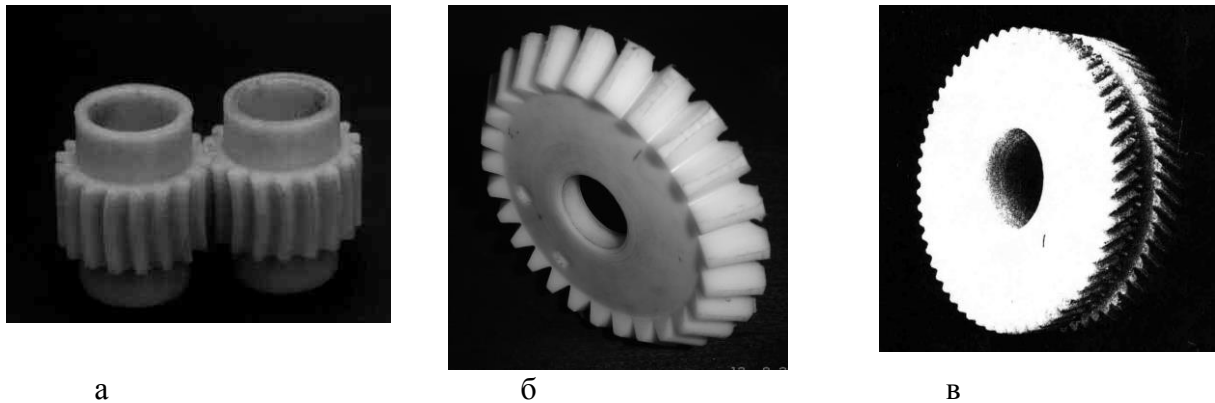


Рис. 1. Типи зубчастих коліс, нарізаних одним інструментом на зубофрезерному верстаті: *а* – циліндричні з гвинтовим зубом; *б* - конічні прямозубі; *в* - шевронні

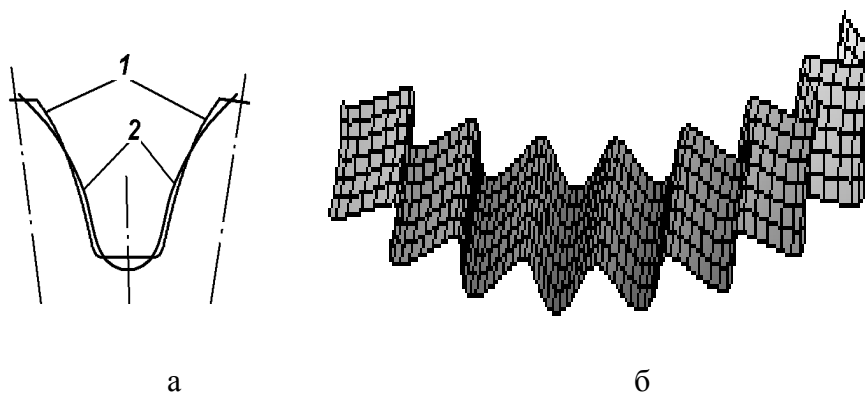


Рис. 2. Контури синусоїдального і евольвентного зубців (а) та синусоїдальна зубчата поверхня (б)

Разом з тим, зберігаючи основний закон зачеплення і сталість передавального співвідношення, синусоїдальні колеса і передачі мають істотні переваги перед евольвентними:

- вища навантажувальна здатність при однаковому з евольвентною передачею модулі (а при однаковому навантаженні і моменті на виході синусоїдальна передача і синусоїдальні редуктори можуть мати до 25-30% меншу масу і габарити);
- краща протидія спрацюванню, менша циклічна втомлюваність і вища контактна міцність;
- значно менша концентрація напружень біля основи ніжки, що при більшій, ніж у евольвентних зубців товщині ніжки підвищує згинну міцність зубців;
- кут зачеплення в передачі можна змінювати в межах від 15° до 40° , відповідно, міняючи товщину зубців біля основи і їх міцність.

Дані висновки підтвержені теоретично та експериментально, зокрема, дослідженнями, проведеними на кафедрі ТМБ у 2003-2012 р.р. [2-4].

Наведене вище свідчить про перспективність синусоїдального зачеплення і синусоїдальних передач для використання у важконавантажуваних приводах, в тому числі замість силових передач з неевольвентними випукло-ввігнутими профілями.

В обкочувальному радіально-обертовому способі зберігається кінематика черв'ячного зубофрезерування, в якому повороту колеса на один кутовий крок відповідає один оберт фрези та переміщення в осьовому напрямку на величину подачі. При такій кінематиці при обробці кожної впадини максимально навантаженими постійно будуть кілька зубців фрези, а інші будуть нести мінімальне навантаження. Усунення цього недоліку для черв'ячної фрези неможливе, проте для дискової фрези можна розімкнути цей кінематичний зв'язок введенням між осями фрези та інструментального шпинделя підвищувальної передачі-мультиплікатора. Цим забезпечується збільшення частоти обертання і швидкості різання фрези до 160 м/хв., що дає змогу обробляти колеса після термообробки твердосплавними дисковими фрезами (рис.3). Вартість такої фрези порівняно з черв'ячною, оснащеною твердосплавними пластинами в десятки разів менша.

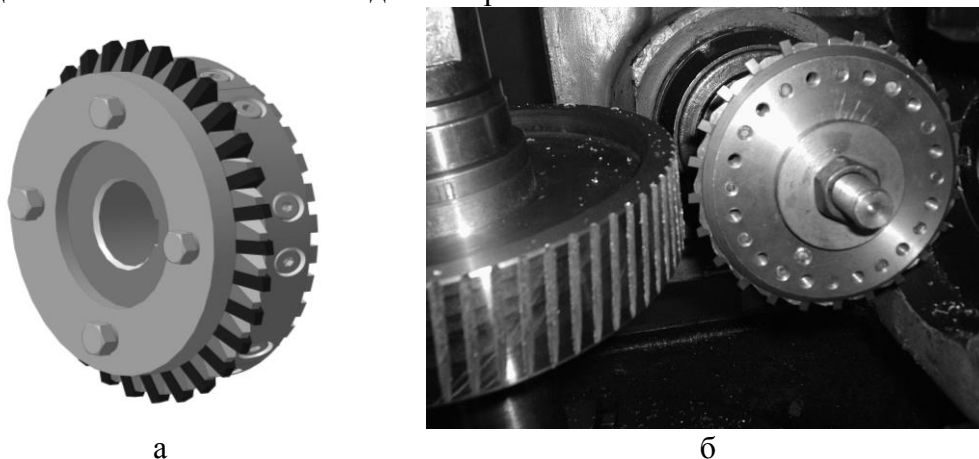


Рис.3. 3D модель дискової збірної фрези з пластинами твердого сплаву (а) та нарізання синусоїдального колеса на зубофрезерному верстаті

Кінематика різання з мультиплікатором (рис.4) аналогічна зубонарізанню на багатокоординатному верстаті з ЧПК, при досягненні однакової точності і якості поверхонь. Разом з тим, у цьому методі використовується набагато дешевший серійний зубофрезерний верстат, а витрати на його наладку та обслуговування значно менші, ніж верстата з ЧПК.

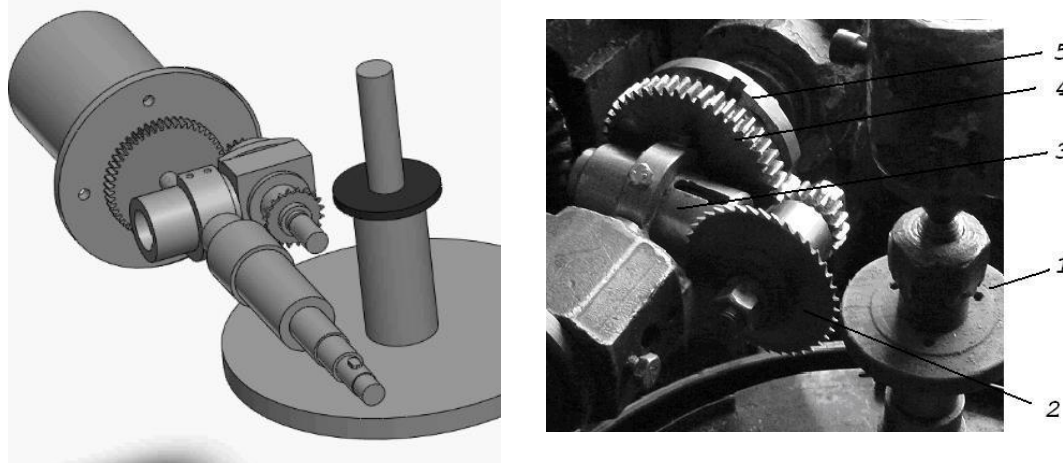


Рис.4. 3D модель і мультиплікатор зубофрезерного верстата
1 – заготовка; 2 – фреза; 3 – мультиплікатор; 4 – інструментальний шпиндель

Висновки

1. На основі наведеного вище можна стверджувати, що при однаковій з черв'ячною фрезою подачі на зуб осьова подача в способі обкочувального радіально-обертового зубофрезерування може бути збільшена до 10 разів, а швидкість різання – до 6 разів, відповідно, основний час операції зубонарізання можна скоротити на порядок і більше.

2. Внаслідок значно більшої кількості зубців дискової фрези і зміни кінематики процесу зубофрезерування інтенсифікація робочих режимів не викликає збільшення сили різання, динамічних навантажень, пружних деформацій та вібрацій в пружній системі верстата, а точність обробки і якість поверхонь буде вищою, ніж у черв'ячному зубонарізанні.

3. При виготовленні великомодульних зубчастих коліс можна поєднати обидва способи: перший чорновий прохід виконувати дисковою фрезою з мультиплікатором, з глибиною різання 0,6-0,8 висоти зуба колеса, а чистовий прохід – черв'ячною фрезою при тому ж установі. Це дасть можливість зменшити витрати на черв'ячні фрези.

Перелік джерел літератури: 1. Патент України №73550: МПК7 В23Р15/14: Благут Е.М. Спосіб нарізки зубчастих коліс синусоїдальної передачі Благута. Опубл. бюл. № 8, 2005 р. 2. Грицай І.Є., Благут Е.М., Яворський В.З. Синусоїдальне зубчасте зачеплення та новий ефективний метод його виготовлення // Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях: Материалы 5-й Международной промышлен. конференции, п. Славское, Карпаты. – К.: УИЦ «Наука. Техника. Технология». – 2005. - С. 47-50. 3. Грицай І.Є., Литвиняк Я.М. Синусоїдальні зубчасті передачі як альтернатива традиційним передачам та новий метод їх виготовлення. / Вісник НТУ „ХП”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск „Проблеми механічного приводу”. Харків: НТУ „ХП”. – 2009, № 19.- С. 43-53. 4. Грицай І.Є., Литвиняк Я.М. Изготовление червячных колес глобоидальных передач. Новый эффективный способ решения актуальной проблемы. / Оборудование и инструмент. – 2009, №4/115/. С.12-14.

Рецензент: **Ковалев В.Д.**, д.т.н., проф., ДГМА

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ НАРІЗАННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС НА ОСНОВІ РАДІАЛЬНО-ОБЕРТОВОГО МЕТОДУ В УМОВАХ ОБКОЧУВАННЯ

Грицай І.Є., Громнюк С.І.

В статті окреслено проблеми в області нарізання великомодульних зубчастих коліс. Вказано на переваги синусоїдальних коліс і передач порівняно з традиційними евольвентними колесами і передачами. Описано ефективний спосіб зубонарізання з допомогою дискової фрези на зубофрезерному верстаті в умовах неперервного обкочування і його переваги для використання в умовах важкого машинобудування

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА НАРЕЗАНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НА ОСНОВЕ РАДИАЛЬНО-ОБОРОТНОГО МЕТОДА В УСЛОВИЯХ ОБКАТА

Грицай И.Е., Громнюк С.И.

В статье отмечены проблемы в области нарезания крупномодульных зубчатых колес. Указаны преимущества синусоидальных колес и передач в сравнение с традиционными эвольвентными колесами и передачами. Описан эффективный способ зубонарезания с помощью дисковой фрезы на зубофрезерном станке в условиях непрерывного обката и его преимущества для использования в условиях тяжелого машиностроения

IMPROVEMENT OF THE PROCESS CUTTING GEARS BASED ON THE RADIAL ROTATING METHOD IN THE ROLLING

Grytsay IE, SI Hromnyuk

The problems of large modules gears cutting are marked in the article. Advantages of sinewave gears and transmissions are indicated in comparing to the traditional gears and transmissions. The effective method of gear cutting by disk milling cutter on a gear-cutting machine tool duering continuously rolling and its advantages for the use in heavy engineering is represented

Ключові слова: зубчасті колеса і передачі, синусоїдальні колеса, дискова фреза, радіально-обертний метод зубонарізання, ефективність, продуктивність

Ключевые слова: зубчатые колеса и передачи, синусоидальные колеса, дисковая фреза, радиально-оборотный метод зубонарезания, эффективность, производительность

Keywords: gear-wheels and transmissions, sinewave gear, disk milling cutter, radially-circulating method of gear-cutting, efficiency, productivity

Дата надходження статті: 29 квітня 2013 р.

УДК 621.9.048.6.04

Захаров Т.Г., Мицык В.Я.
ВНУ им. В. Даля, г. Луганск, Украина
an_mitsyk@mail.ru

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИИ ОТДЕЛОЧНО-ЗАЧИСТНОЙ ОБРАБОТКИ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ПСЕВДОСЖИЖЕННОЙ РАБОЧЕЙ СРЕДОЙ

В металлообрабатывающих отраслях современного машиностроения, связанных с производством корпусных изделий приводных и распределительных механизмов, выпускается широкая номенклатура деталей типа тела вращения, таких как диски, втулки, катушки, зубчатые колеса и другие, имеющие симметричную форму и центральные сквозные отверстия.

Форму упомянутых деталей можно классифицировать, как сложную, объемную, образованную сочетаниями цилиндрических, конических и других криволинейных поверхностей. Конструкция таких деталей изобилует нишами, карманами, уступами, имеют место локальные переходы элементов поверхности с малыми радиусами сопряжения, а также глухие и сквозные отверстия различного диаметра [1].

Формообразование таких конструктивных особенностей определено операциями обработки лезвийным инструментом на металлорежущих станках, в частности точением, фрезерованием, сверлением, что вызывает появление дефектов поверхностей в виде заусенцев, острых кромок, повышенной шероховатости, удаление которых необходимо согласно требованиям последующей сборки и эксплуатации. Кроме того, повышение безотказности и ресурса механизмов во многом зависит от качества обработки поверхностей, входящих в них деталей [2, 3].

Оценивая технологические и технические возможности традиционного метода виброобработки [4, 5] можно отметить, что его применение на отделочно-зачистных операциях, например, корпусных деталей не всегда приемлемо. Так, при обработке «в навал» в колеблющемся резервуаре наблюдаются взаимные соударения деталей, что вызывает появление на их поверхности забоин, вмятин и других дефектов. Плоскостные детали типа дисков и шестерен склонны к слипанию в пакеты, что ведет к перекрытию обрабатываемых поверхностей и заклиниванию содержимого резервуара. Все описанные негативные моменты, возникающие при использовании традиционных для виброобработки технологий и оборудования, приводят к появлению 15...20 % брака.

Необходимо отметить, что одной из кардинальных причин непригодности традиционной виброобработки применительно к описанным выше сложнопрофильным деталям является практическая невозможность применения мелкодисперсных рабочих сред с размером гранул 1,5...2,0 мм, а также шлифзерна с размером фракций 200...40 мкм и различных шлифпорошков зернистостью 32...16 мкм.

Предполагается, что использование в технологиях виброобработки активно циркулирующих мелкодисперсных рабочих сред обеспечит полную возможность их доступа к затененным элементам конструкции сложнопрофильных деталей, что абсолютно исключено для гранул с размером 5...30 мм, обычно применяемых на операциях виброобработки.

Исходя из практики внедрения технологий отделочно-зачистной обработки известно, что мелкодисперсные рабочие среды, загруженные в колеблющийся резервуар вибростанка, обладают пассивной кинематикой и динамикой. Скорости их циркуляционного и осциллирующего движения минимальны и недостаточны для реализации основного принципа виброобработки, состоящего в относительном перемещении и взаимном давлении гранул рабочей среды и обрабатываемых деталей [6].

В этой связи напрашивается решение вопроса путем создания новой технологии, в основу которой поставлена задача усовершенствования традиционной виброобработки, ее

управления и расширения функциональных возможностей. В рассматриваемой ситуации обработку проводят при одновременном использовании энергии вибрационных сил, воздействующих на рабочую среду и детали, как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях, а также энергии, возникающей от действия силы струйного движения потоков жидкости. Такой характер комбинированного энергетического воздействия создает условия, при которых формообразующие свойства рабочей среды, обеспечивающие микрорезание и упругопластическое деформирование, проявляются при равномерном и стабильном контакте с обрабатываемой поверхностью любой сложности [7].

Для проведения количественных и качественных исследований новой технологии виброобработки и дальнейшего проектирования соответствующего оборудования в НИЛ «ОСА» ВНУ им. В. Даля на основании анализа результатов предварительных исследований на физической модели (рис. 1) была разработана технология, принципиальная схема устройства для реализации которой приведена ниже (рис. 2).

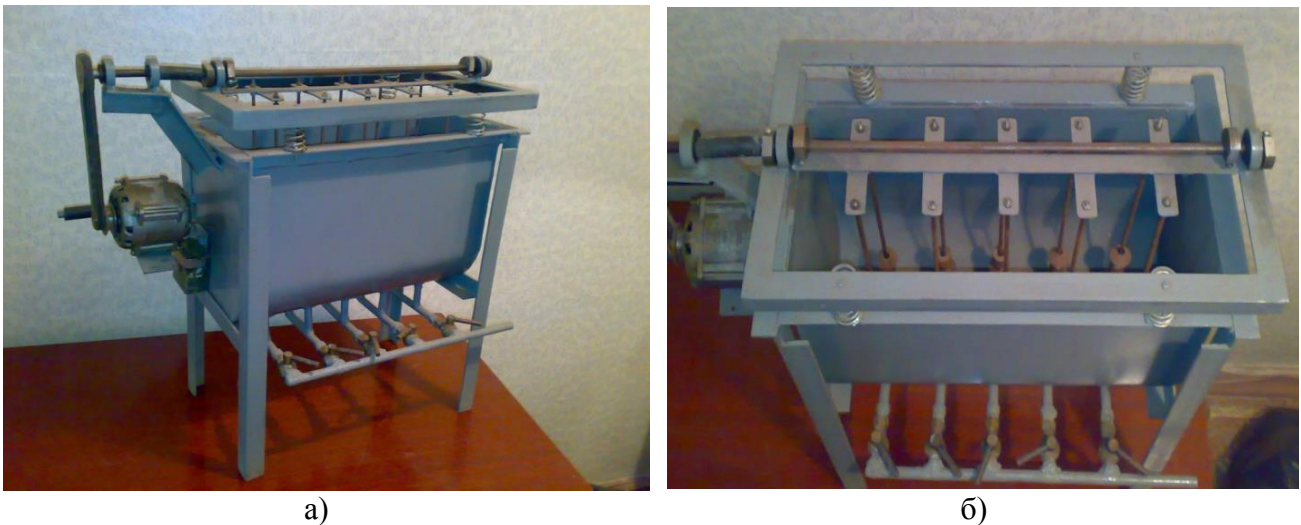


Рис. 1. Физическая модель для исследования нового способа виброобработки:
(а) – вид модели сбоку; (б) – вид модели сверху

Новый способ виброобработки деталей осуществляется следующим образом. Обрабатываемые детали группами базируют и закрепляют на установочных пальцах колебательной системы, смонтированной с помощью упругой подвески на жесткой опоре. Затем, последовательно через короткие промежутки времени, гидродинамическим устройствам при давлении и расходе необходимом для псевдооживления мелкодисперсной рабочей среды, загруженной в резервуар, извне подают жидкость. Одновременно включают вибровозбудители и колебательную систему с обрабатываемыми деталями погружают в рабочую зону резервуара. Колебательная система резервуара с помощью упругой подвески смонтирована на жесткой опоре. Вращательное движение от электродвигателя через клиноременную передачу передают к коническому редуктору. Вал редуктора через гибкую муфту сообщается с валом вибровозбудителя, жестко связанного с резервуаром. В результате комплексного использования энергии вибрационных сил, действующих на рабочую среду и детали как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях, а также энергии действия струйного движения потоков жидкости, производят обработку. При обработке осуществляются процессы микрорезания и упругопластического деформирования, которые обеспечивают удаление дефектного слоя металла и его окислов, а также достижение требуемой шероховатости поверхности [7].

Согласно разработанному способу выполняли операцию удаления заусенцев высотой не более 0,2 мм, а также скругления острых кромок после предшествующей обработки на металлорежущих станках и последующее шлифование поверхности деталей «Корпус механизма гидросистемы» до $R_a = 0,63 \dots 0,32$ мкм. Материал детали АЛ-9 ГОСТ 1583-93. Форма

детали сложная, имеют место ниши, карманы, глухие и сквозные отверстия, разнопрофильные поверхности, образованные сопряжениями малых радиусов с труднодоступными для обработки участками. Размеры деталей $100 \times 80 \times 70$ мм. Исходная шероховатость поверхности соответствует $R_a = 2,5$ мкм. Обработка производилась на вибростанке, резервуар которого позволял одновременно разместить 12 деталей. В качестве рабочей среды использовался шлифпорошок Корунда кремния черного. Режимы движения колебательной системы резервуара: амплитуда 1,6...1,8 мм; частота 65 Гц. Режимы движения колебательной системы приспособления с обрабатываемыми деталями: амплитуда 1,2...1,4 мм; частота 50 Гц. Машинное время обработки 35...40 мин. Дефекты поверхности удалены полностью, достигнута требуемая шероховатость поверхности. Поверхность деталей сохранила естественный оттенок материала. Сортировочный контроль качества появления брака не установил.

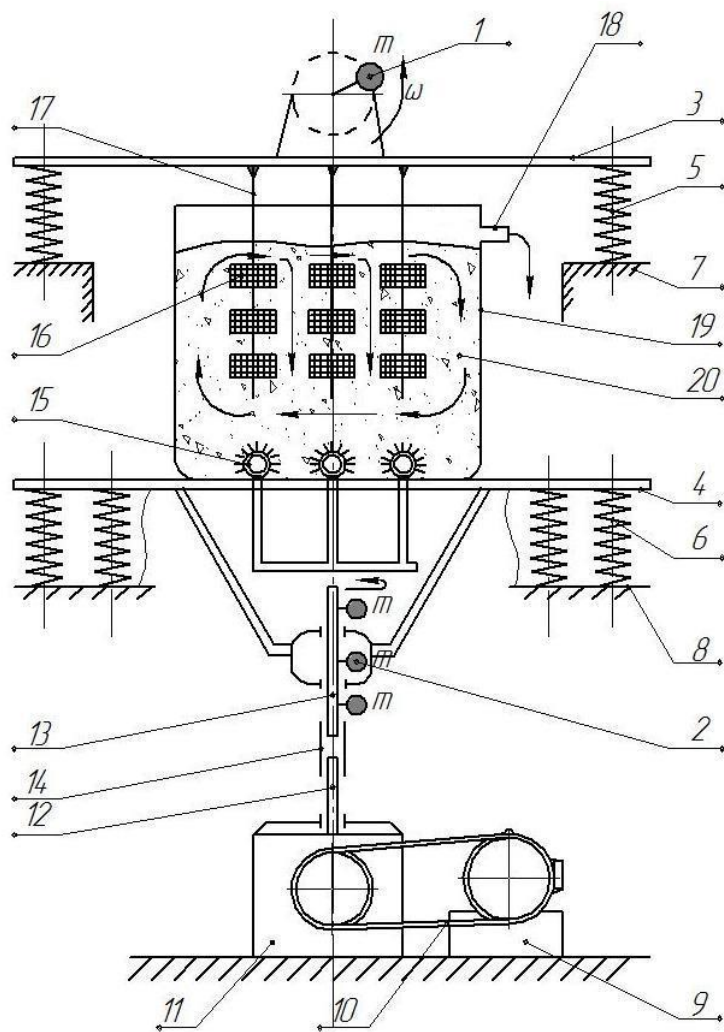


Рис. 2. Принципиальная схема устройства для реализации нового способа виброобработки деталей: 1, 2 – инерционные вибровозбудители; 3, 4 – колебательные системы; 5, 6 – упругие подвески; 7, 8 – жесткие опоры; 9 – электромеханический привод; 10 – клиноременная передача; 11 – конический редуктор; 12, 13 – валы; 14 – гибкая муфта; 15 – гидродинамические устройства; 16 – обрабатываемые детали; 17 – установочные пальцы; 18 – отвод; 19 – резервуар; 20 – рабочая среда

Вновь разработанная технология вибрационной отделочно-зачистной обработки с использованием энергетического воздействия псевдосжиженной мелкодисперсной рабочей среды является процессом многофакторным, зависящим от комплексного воздействия таких параметров как расход жидкости, подаваемой в резервуар; глубина погружения деталей в

псевдосжиженную рабочую среду; амплитудо-частотные характеристики движения колебательных систем резервуара и станочного приспособления с обрабатываемыми деталями; физико-технологические свойства, размер и форма фракций рабочей среды и обрабатываемых деталей; а также время обработки.

Поэлементный анализ разработанной технологии показал, что основным и наиболее характерным технологическим параметром, оказывающим влияние не только на требуемый результат виброобработки, но и на кинетику мелкодисперсной рабочей среды, обеспечивающую реализацию этой технологии при относительном перемещении и взаимном давлении фракций рабочей среды и обрабатываемых деталей, является расход жидкости, подаваемой в колеблющийся резервуар.

Результаты эксперимента по оценке влияния расхода жидкости на эффективность процесса виброобработки представлены в табл. 1. По результатам исследований построен график зависимости (рис. 3).

Таблица 1

Съем металла для различных расходов жидкости

Расход жидкости, л/мин	0,5	1,0	1,3	1,6	2,0
Средний съем металла, г	0,0725	0,0874	0,0906	0,0883	0,0909

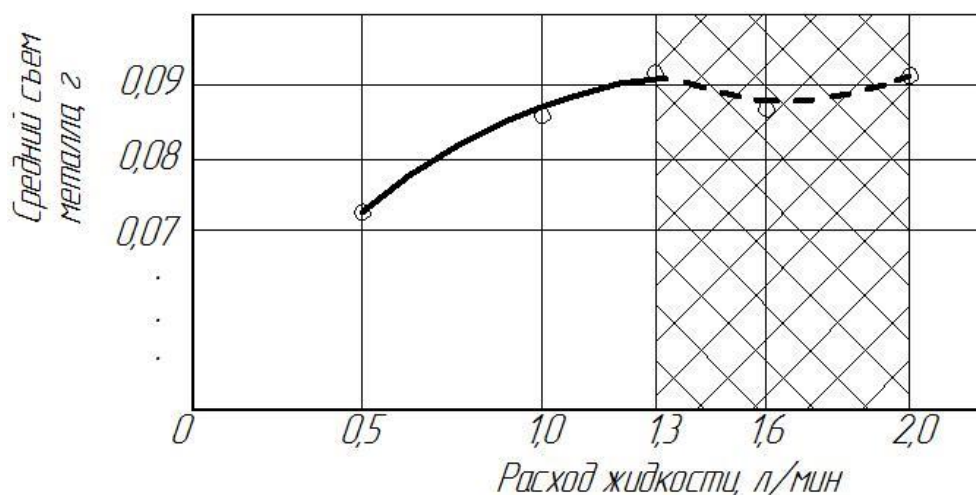


Рис. 3. График зависимости расхода жидкости от среднего съема металла

При расходе жидкости в интервале от 0,5 л/мин до 1 л/мин видимых изменений характера движения среды в резервуаре не наблюдалось, борботирование отсутствовало, при расходе 0,5 л/мин колебательный процесс в рабочей среде отличался нестабильностью. При увеличении расхода жидкости до 1,3 л/мин борботирование также практически отсутствовало, однако с течением времени на поверхности рабочей среды вокруг обрабатываемых деталей, смонтированных на установочных пальцах приспособления, наблюдалось замедленное равномерное перемещение ее фракций.

Дальнейшее увеличение расхода жидкости до 1,6 л/мин и более привело к установившемуся эффекту активного борботирования среды в резервуаре. Обрабатываемые детали, установленные в приспособлении, под действием инерционного вибровозбудителя совершали плоские колебательные движения. При этом съем металла для каждого конкретного расхода подаваемой жидкости был различным, поэтапное увеличение расхода, начиная с 1,3 л/мин, сопровождалось неравномерностью съема металла, что графически показано заштрихованной зоной (см. рис. 3).

Одновременно с этим, сравнительный анализ микропрофиля поверхности показал, что при расходе жидкости более 1,3 л/мин возникают признаки гидроабразивного эффекта обра-

ботки, а именно матирование поверхности, появление на ней вмятин и забоин от динамического воздействия борботирующей рабочей среды. Это объясняется чрезмерным динамическим воздействием струйного движения жидкости, значительно увеличивающим скорость относительного перемещения и взаимного давления мелкодисперсной среды и поверхности обрабатываемых деталей.

Таким образом, можно сделать вывод, что для обеспечения равномерной объемной виброобработки деталей процесс необходимо производить при относительно невысоких расходах рабочей жидкости, то есть 0,5...1,3 л/мин, исключая возникновение гидроабразивного эффекта. Очевидно, что существует рациональный расход рабочей жидкости, при котором обеспечивается равномерность съема металла, а излишки подаваемого объема жидкости служат только для разжижения рабочей среды в области, прилегающей к обрабатываемым деталям. Это исключает возникновение препятствий для колебательного движения обрабатываемых деталей в псевдосжиженной рабочей среде. Данный расход зависит от физико-технологических свойств, размера и формы фракций среды, а также глубины погружения деталей, что определяется исходя из конкретных условий виброобработки.

Перечень источников литературы: 1. Определитель деталей общемашиностроительного применения. Руководящий технический материал Общесоюзного классификатора промышленной и сельскохозяйственной продукции / Под ред. Е.А. Панфилов, Ю.И. Блохин, Л.М. Кулик, Б.А. Погодин, Г.М. Шнайдман. – М.: Изд-во стандартов, 1977. 2. Gillespie, LaRoux, Deburring and Edge Finishing Handbook, SME, Dearborn, MI, 1999. 3. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. – М.: Машиностроение. Технология изготовления деталей машин Т. III – 3 / А.М. Дальский, А.Г. Суслов, Ю.Ф. Назаров и др. Под общ. ред. А.Г. Суслова, 2006. – 840 с. 4. Захаров Т.Г., Мицык В.Я. Анализ физической сущности процесса вибрационной отделочно-зачистной обработки // Матеріали XII всеукраїнської молодіжної наук.-техн. конференції «Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво». – К.: НТУ «КПІ», 2012. – Ч.2. – С. 41 – 44. 5. Захаров Т.Г., Мицык В.Я. Особенности организации участка вибрационной отделочно-зачистной обработки деталей. // Современные информационные технологии, средства автоматизации и электропривод. 10-14 декабря 2012 г. – Краматорськ: ДДМА, 2012. – С. 88-89. 6. Мицык А.В. Пути интенсификации вибрационной отделочно-зачистной обработки комбинированием схем энергетических воздействий на рабочую среду и детали / А.В. Мицык, В.А. Федорович // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2011. – №6 (83). – С.26-34. 7. Пат. 78281U, МПК В24В 31/06 Спосіб віброобробки деталей / Т.Г. Захаров, В.Я. Міцик (Україна) - № 2012 11423; Заявл. 03.10.2012; Опубл. 11.03.2013, Бюл. № 5.

Рецензент: **Клименко Г.П.**, д.т.н., проф., ДГМА

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИИ ОТДЕЛОЧНО-ЗАЧИСТНОЙ ОБРАБОТКИ
СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ПСЕВДОСЖИЖЕННОЙ
РАБОЧЕЙ СРЕДОЙ

Захаров Т.Г., Мицык В.Я.

Проведен анализ виброобработки сложнопрофильных деталей симметричной формы с центральными сквозными отверстиями. Указана необходимость применения мелкодисперсных рабочих сред. Предложена новая технология с использованием энергии струйного движения потоков жидкости и принципиальная схема устройства для ее реализации. Дана оценка влияния расхода жидкости на эффективность и качество обработки.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЇ ОЗДОБЛЮВАЛЬНО-ЗАЧИЩУВАЛЬНОЇ ОБРОБКИ
СКЛАДНОПРОФІЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ ДРІБНОДИСПЕРСНИМ ПСЕВДОЗРІДЖЕНИМ
РОБОЧИМ СЕРЕДОВИЩЕМ

Захаров Т.Г., Міцик В.Я.

Проведено аналіз віброобробки складнопрофільних деталей симетричної форми з центральними наскрізними отворами. Зазначена необхідність застосування дрібнодисперсних робочих середовищ. Запропоновано нову технологію з використанням енергії струменевого руху потоків рідини та принципову схему пристрою для її реалізації. Дана оцінка впливу витрати рідини на ефективність і якість обробки.

THE EFFICIENCY OF TECHNOLOGY OF FINISHING-GRINDING TREATMENT OF COM-
PLEX SHAPE PARTS BY FINE-GRAINED PSEUDO-FLUIDIZED WORKING MEDIUM

Zakharov T.G., Mitsyk V.J.

The analysis of vibration treatment of complex shape symmetrical parts with central through-holes has been executed. The necessity of applying fine-grained medium has been shown. The new technology with using the energy of the jet motion of fluid flows and the principal diagram for its realization have been offered. The influence of fluid flow consumption on the efficiency and quality of processing has been determined.

Ключевые слова: виброобработка; сложнопрофильные детали; резервуар; мелкодисперсная среда; струйное движение жидкости; расход жидкости; съем металла.

Ключові слова: віброобробка; складнопрофільні деталі; резервуар; дрібнодисперсне середовище; струменевий рух рідини; витрата рідини; зйом металу.

Key words: vibration treatment; complex shape parts; reservoir; fine-grained medium, jet motion of liquid; fluid consumption; metal removal.

Дата надходження статті: 29 квітня 2013 р.

УДК 621.373.826.038

Канашевич Г.В.

Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ОПТИЧНОГО СКЛА ПІСЛЯ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ ОБРОБКИ**Вступ**

На противагу промисловим технологіям фінішного механічного та хіміко-механічного полірування оптичних матеріалів, які у певній мірі, є задовільними для виготовлення крупно габаритних оптичних деталей, в останній час активно створюються і розвиваються технології термічної мікро- та нанообробки та модифікування поверхневого шару (ПШ) матеріалів з використанням енергії лазерного випромінювання, електронних та йонних потоків [1- 6].

Кінцевою метою цих технологій, на теперішній час, є вдосконалення оптичних поверхонь і отримання ПШ оптичних матеріалів з такими властивостями, які б мали інші функціональні призначення і вигідно використовувалися для створення елементної бази мікроелектроніки, мікрооптики, інтегральної оптики та волоконної оптики [7- 9]. І в першу чергу, це стосується такого конструкційного матеріалу, як оптичне скло.

В роботах [10-22] представлені результати сучасних технологічних можливостей у обробці оптичних матеріалів низькоенергетичним стрічковим електронним потоком (з енергією електронів $E \leq 10$ кеВ). Але, для переведення даного способу в ранг технологій мікро- і нанообробки стає необхідним провести широкий комплекс робіт з фізичних досліджень, у тому числі структури модифікованих поверхонь та ПШ.

Мета роботи: Дослідження структурних змін у поверхневому шарі оптичного скла від термічної дії низькоенергетичного електронного потоку

Обладнання і матеріали електронно-променевої обробки:

Обладнання. Електронно-променева установка виготовлена на базі вакуумної установки УВН74-ПЗ і оснащена піччю попереднього нагріву та охолодження скла. Електронний термодарний регулятор температури РИФ-101 (Феодосія, Україна) забезпечує необхідний температурний профіль печі з точністю $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Максимальна робоча температура нагріву печі 800°C . Механізм переміщення забезпечує рух пластин в об'ємі вакуумної камери зі швидкістю $0 \dots 50$ см/с, залишковий тиск у вакуумній камері складає 10^{-4} Па.

Інструмент обробки. Параксіальний стрічковий електронний потік з питомою потужністю: $10^1 \text{ Вт/см}^2 \leq P_{\text{пит}} \leq 10^5 \text{ Вт/см}^2$, який генерується електронно-променевою гарматою Пірса. Гармата розташована у вакуумній камері установки, а її конструкція забезпечує формування електронної стрічки довжиною $l = 60$ мм та шириною $b = 0,5$ мм, яка має Гаусове розподілення електронів за енергіями у своєму перерізі і площу $S_{\text{пот}}$. Стрічка спрямовується від електронної гармати на об'єкт обробки (пластину) за нормаллю (кут центральної вісі потоку складає 90° з поверхнею пластини) і може рухатися по поверхні пластини зі швидкістю: $V_{\text{пот}} = 0 \dots 20$ см/с.

Об'єкт обробки. Плоскопаралельні пластини з оптичного скла К8, К108, К208, БК10, ТК21, які мають форму дисків (діаметром 20,0 мм і товщиною 2; 4; 6; 8 мм) та форму прямокутників з лінійними розмірами $70 \times 14 \times 6$ мм з відполірованими поверхнями ($R_z = 0,025$ мкм).

Методика експерименту. Отримані результати та їх обговорення. Фізичні явища, які супроводжують фізико-технічний процес поверхневої електронно-променевої обробки силікатного скла є доволі складними [15-20], і їх сукупна дія на кожен марку скла буде

різною в залежності від режимів обробки. Оскільки скло відноситься до діелектричних матеріалів, то взаємодія потоку електронів з оптичним матеріалом та зміна фізичних і фізико-хімічних властивостей його поверхні і ПШ залежать, насамперед від: 1) температури попереднього нагріву матеріалу; 2) енергетичних та часових характеристик потоку (структури та форми, потужності, питомої потужності, часу дії); 3) чистоти технологічного середовища, ступені вакууму; 4) теплофізичних характеристик матеріалу (теплопровідності, температуропровідності, діелектричної проникливості, електропровідності тощо). Всі ці фактори є головними і визначають умови та характеризують процес обробки.

В даній роботі для визначення властивостей поверхневого шару та характеру зміни його структури використано оптичну та електронну мікроскопію, що дозволило отримати збільшення зони спостереження від 50 до 15200 разів. При використанні трансмісійної електронної мікроскопії, на базі приладу EM-200, за спеціально розробленими методиками виготовлялися Pt-C репліки, що дозволило спостерігати поверхню із збільшенням від 6200 до 15200 разів. Для дослідження зламів пластин використано електронний мікроскоп РЕМ - 100У та вакуумний пост ВУП-2М для напилювання тонких плівок Au та Pt. Поверхня оптичного скла після електронно-променевої обробки та процедури травлення досліджувалася за допомогою інтерферометра МІІ-4.

На початку роботи були досліджені злами пластин (дисків та прямокутної форми) до їх обробки електронним потоком. В результаті встановлено, що для усіх марок скла характерним є, так званий «струмковий» злам шару та крихкістю матеріалу. Окремі результати досліджень зламів пластин та ТК21 до проплавлення його поверхні електронним потоком.

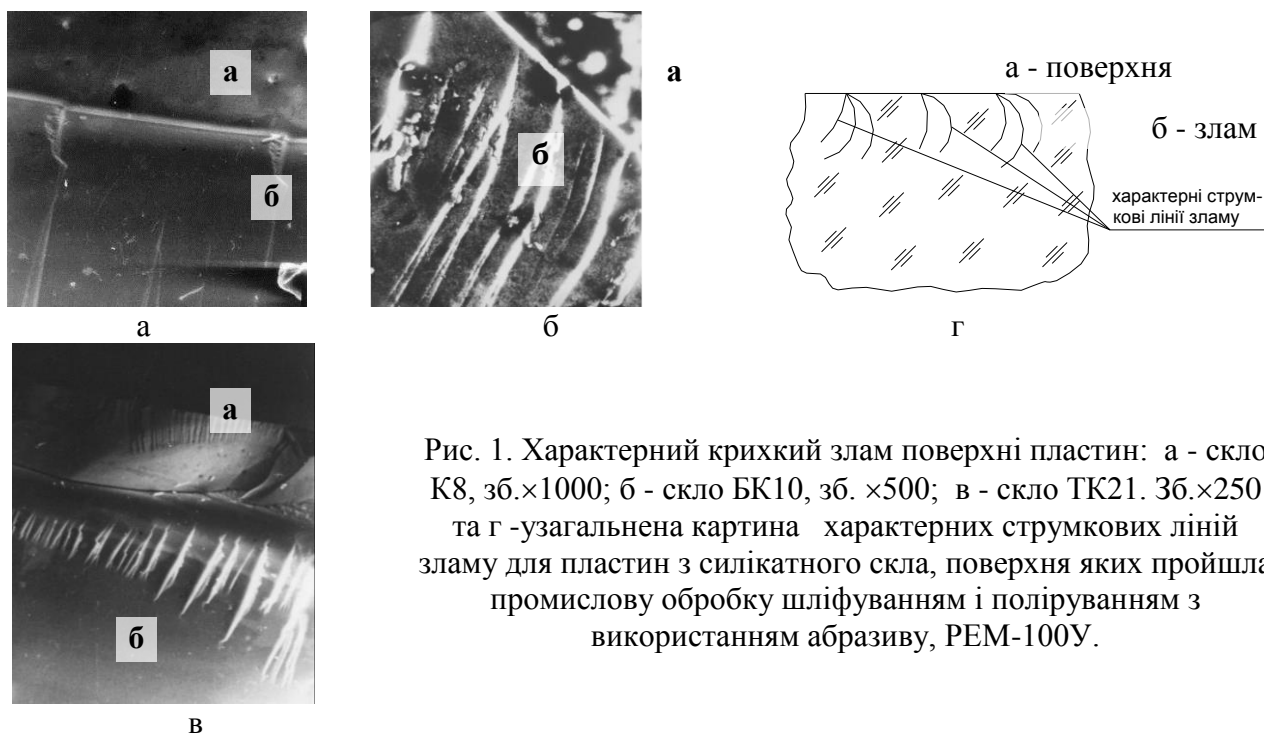


Рис. 1. Характерний крихкий злам поверхні пластин: а - скло К8, зб. $\times 1000$; б - скло БК10, зб. $\times 500$; в - скло ТК21. Зб. $\times 250$ та г - узагальнена картина характерних струмкових ліній зламу для пластин з силікатного скла, поверхня яких пройшла промислову обробку шліфуванням і поліруванням з використанням абразиву, РЕМ-100У.

Далі, для виявлення дефектного шару, розроблено і використано методику, за якою застосовано режим електронно-променевої обробки поверхні пластин без утворення рідинно-текучого стану (без переплавлення ПШ) та подальшу обробку поверхні у розчині HF. Таким чином, впливом електронного потоку вдалося ослабити хімічні зв'язки речовин, які заповнює дефектний шар і є продуктами співполірування (залишки миючих речовин, скла,

абразиву) та підібрати хімічну сполуку на основі HF, яка вибірково діє на продукти співполіування і видаляє їх у розчин. Таким чином, після травлення поверхні проявляється дефектний шар, рис.2. При дії електронного потоку з ПШ скла більш активно десорбують у вакуум йони Na^+ , K^+ , Ba^+ та O^{2-} , збільшуючи, таким чином, концентрацію кремнію та ущільнюючи структуру [11,14,24].

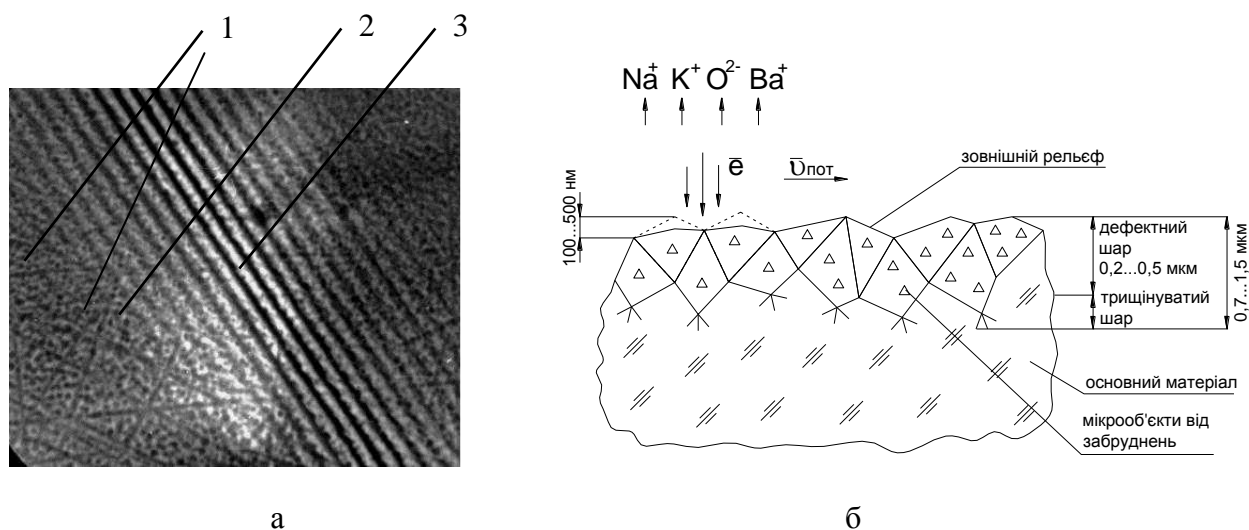


Рис. 2. Дефектний шар (а) оптичного скла К8, який виявлено після електронно-променевої обробки без оплавлення поверхні ($P_{\text{пит}} = 0,5 \cdot 10^2 \text{ Вт/см}^2$) та травленням у розчині HF + гліцерин 1 : 9, МИИ 4, зб $\times 500$. 1 – борозни дефектного шару; 2 – ямки травлення; 3 – інтерференційні полоси мікроскопу та схема дії (б) електронного потоку на поверхню і дефектний шар оптичного скла.

Більш глибоке проплавлення поверхні оптичного скла електронним потоком проводилося з метою усунення дефектного та тріщиновидного шарів, які разом залягають вглиб від поверхні до 1,5...2 мкм [23 - 25] та зменшення вихідного мікрорельєфу поверхні від $R_z = 0,025 \text{ мкм}$ до 2,5...3,5 нм. Для усіх марок скла для проплавлення ПШ використано питому потужність електронного потоку, яка знаходилася в межах $P_{\text{пит}} = 0,5 \cdot 10^2 \dots 5 \cdot 10^3 \text{ Вт/см}^2$. При цьому отримано поверхні різної якості, рис.3, рис.4.

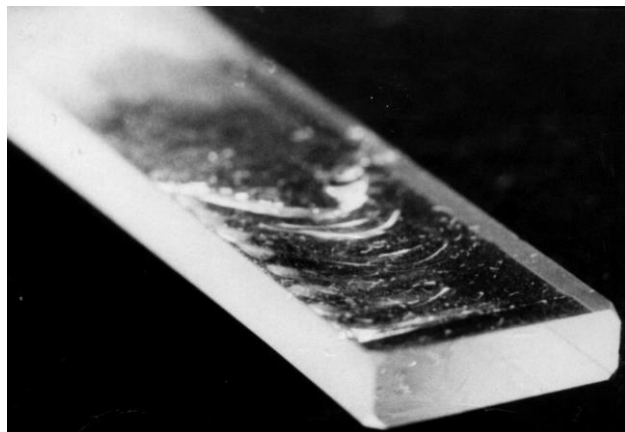


Рис.3. Напливи на поверхні пластини зі скла К8, які утворені при її оплавленні стрічковим електронним потоком:
 $P_{\text{пит}} = 5 \cdot 10^3 \text{ Вт/см}^2$; $V_{\text{пот}} = 1,5 \text{ см/с}$;
 $T_0 = 808 \text{ К}$), зб. $\times 3,2$.

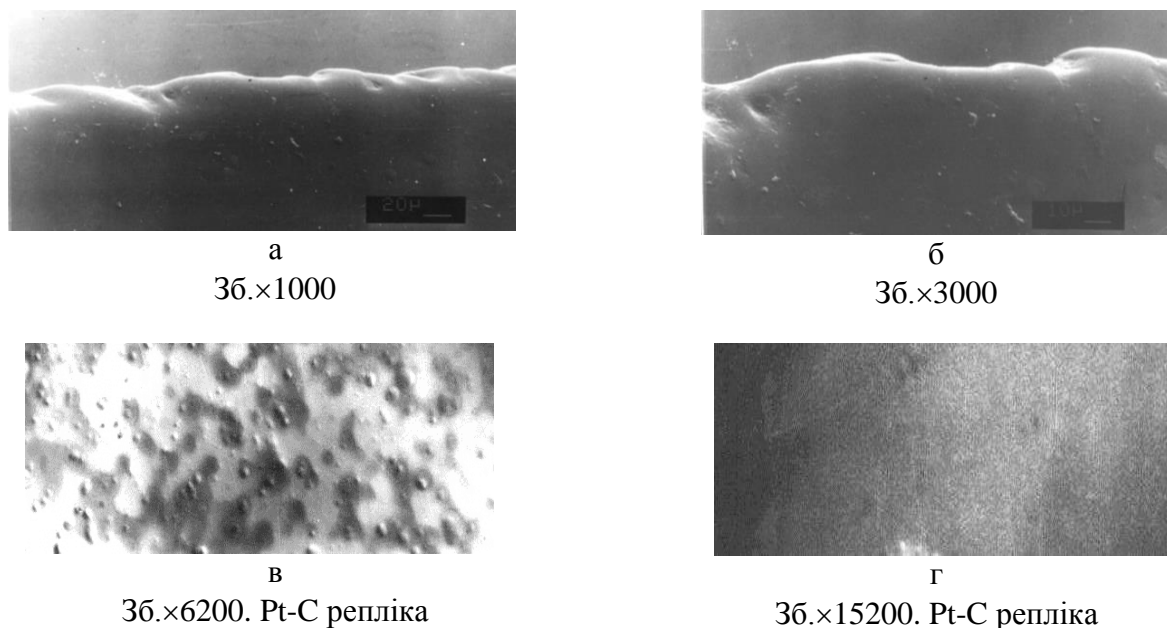


Рис.4. Напливи на пластині зі скла К8 після проплавлення її поверхні електронним потоком (а,б): $P_{\text{пит}} = 5 \cdot 10^3 \text{ Вт/см}^2$; $V_{\text{пот}} = 1,5 \text{ см/с}$; $T_0 = 808 \text{ К}$, (РЕМ-100У) та сліди від кипіння матеріалу цієї поверхні (в) та поверхня скла К8 після електронно-променевої обробки в оптимальному режимі ($P_{\text{пит}} = 5,2 \cdot 10^2 \text{ Вт/см}^2$; $V_{\text{пот}} = 2,1 \text{ см/с}$) (г), (ЕМ-200).

При утворенні нової поверхні глибоким проплавленням, головним залишається питання структурного перетворення у проплавленому ПШ. На рис. 5 відображені характерні картини зламів ПШ пластин зі скла ТК21 і К8, які отримано за допомогою РЕМ-100У. Видно за характером зміни структури, що проплавлений шар відмежований від основного матеріалу так званим перехідним шаром і при цьому товщина перехідного шару мало відрізняється від товщини проплавленого шару. При таких співвідношеннях ($h_{\text{пр}} \approx h_{\text{пер}}$), можна говорити про те, що буде досягтися задовільне щеплення проплавленого шару з основним матеріалом, рис.5. При окремих технологічних умовах (при термоударі) можливе відшарування проплавленого шару. За таких умов проплавлений шар блокує розповсюдження тріщин від границі руйнування до поверхні пластини рис.6.

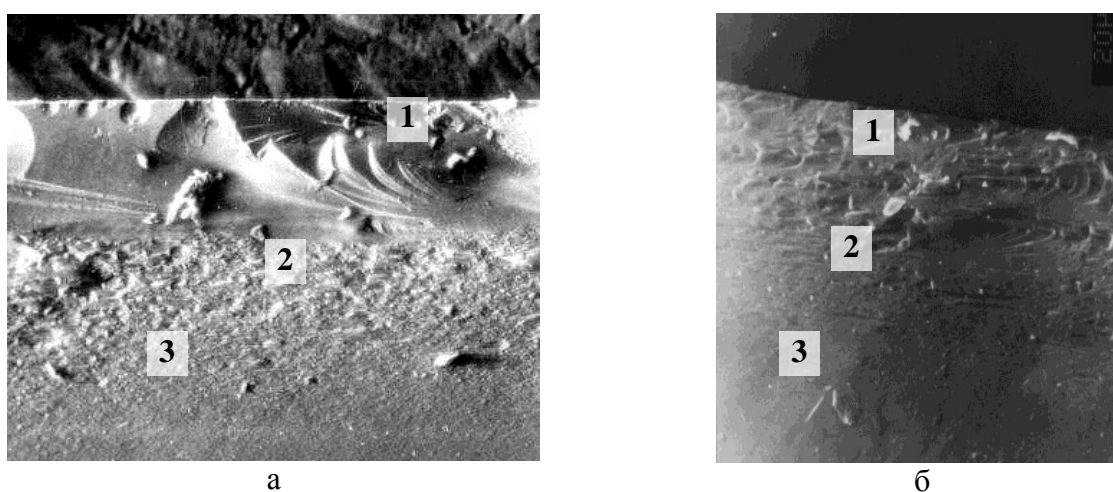


Рис.5. Злами пластин зі скла: а – оптичне скло ТК21, глибина проплавлення поверхні електронним потоком 50 мкм; б – оптичне скло К8, глибина проплавлення 37 мкм; 1–проплавлена поверхня; 2 – перехідний шар; 3 – матеріал пластини, РЕМ 100У.

Важливою якісною характеристикою створеного ПШ без погіршення площинності поверхні є його глибина проплавлення $h_{пр}$, величина якої залежить від параметрів електронно-променевої мікрообробки $P_{пит}$, $V_{пот}$, T_0 , рис.3.8

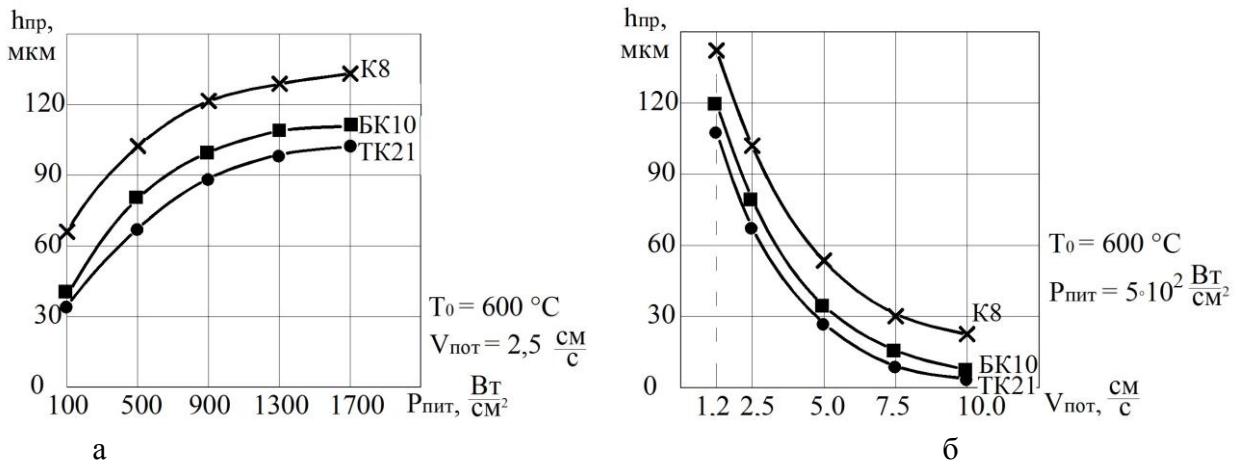


Рис.6. Експериментальні залежності глибини проплавлення $h_{пр}$ ПШ скла К8, БК10, ТК21 від параметрів обробки: а - питомої потужності потоку $P_{пит}$; б – швидкості потоку $V_{пот}$; в – температури попереднього нагріву матеріалу T_0

Виходячи з того, що основним діючим фактором, який змінює стан ПШ матеріалу є локалізоване у малому об’ємі ПШ температурне поле, яке підвищується до 800...1250 °С [], апроксимуємо відомі залежності в’язкості [] для оптичного скла К8, БК10, ТК21 в область цих температур, рис. 7.

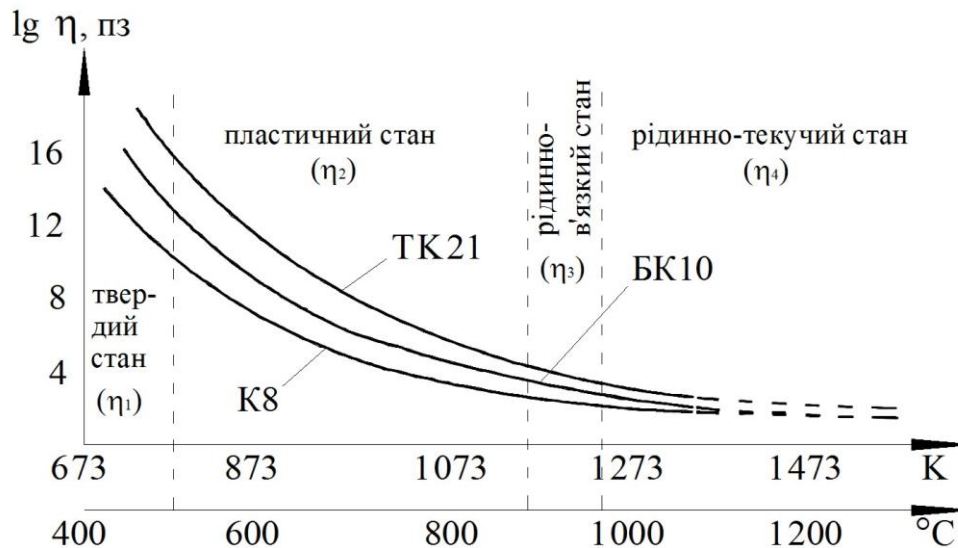


Рис.7. Температурні залежності логарифма в’язкості $lg \eta$ для К8, БК10, ТК21 від температури нагріву на повітрі (Т): — — — апроксимовані ділянки логарифма в’язкості при температурах електронно-променевої обробки

Отримані результати дозволяють порівняти та виділити значення стану оптичного скла силікатної групи в залежності від температури на стадіях його виробництва [] та при електронно-променевої обробці наведені в табл. 1.

Таблиця 1.

Стан оптичного скла силікатної групи в залежності від температури при виробництві та при електронно-променевої обробці

Стан скла	В'язкість, Пз	Найменування характерної точки
Твердий стан	14	$T_{ТВ}$ – температура твердого стану
Відпалювання	~13,5	$T_{НВ}$ – нижня температура відпалювання
	~12,3	Гранична температура між пластичним і твердим станом
	~12	$T_{ВВ}$ – верхня температура відпалювання
Розм'якшення під навантаженням (деформація)	~10,5	$T_{ПД}$ – температура початку деформації
	~10	T_P – температура розм'якшення
Розм'якшення під своєю вагою	8 – 7	T_f – верхня температура аномального інтервалу
	~6,6	T_g – температура розм'якшення
при електронно-променевої обробці		
Деформація пластини під дією електронного потоку	~10,5	$T_{ПД}$ – температура початку деформації
Розм'якшення ПШ від дії електронного потоку	~9	T_D – температура деформації
Рідинно-в'язкий стан	~ 6 – 4	T_B – нижня температура обробки
Рідинно-текучий стан	~ 4 – 2	$T_{РТ}$ – верхня температура обробки

На с
(рідкої) фаз

юї

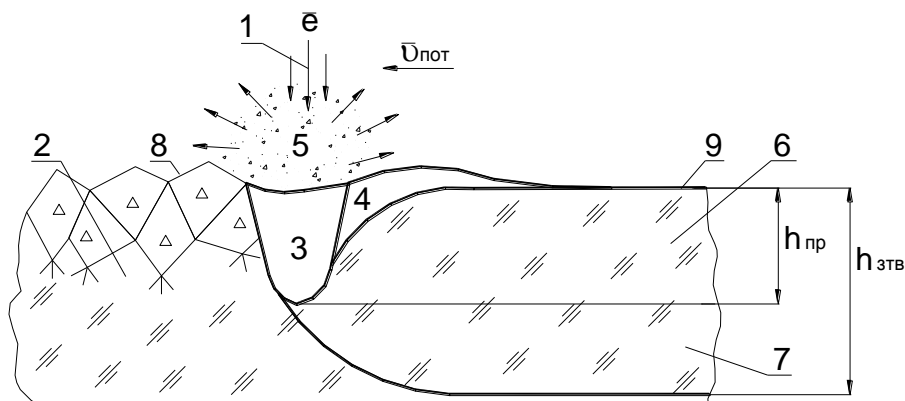


Рис. 7. Схема усунення рельєфного, порушеного і тріщиновидного шарів рідкою фазою в оптичному склі від термічної дії електронного потоку:

- 1 – електронний потік; 2 – основний матеріал; 3 – розтоплене скло з в'язкістю η_1 ;
4 – розтоплене скло з в'язкістю $\eta_2 < \eta_1$; 5 – пара матеріалу з поверхневого шару скла;
6 – переплавлений шар - $h_{пр}$; 7 – перехідна зона - $h_{пер}$; 8 – вихідна поверхня (рельєфний, порушений і тріщиновидний шари); 9 – поверхня після електронної обробки.

$U_{пот}$ – швидкість та напрям електронного потоку

Від дії потоку ПШ скла розігрівається і змінюється його в'язкість: під потоком отримуємо значення η_1 (в'язкість скла відповідає його рідинно-текучому стану), а за потоком маємо значення $\eta_2 < \eta_1$ (в'язкість збільшується до пластичного стану). В результаті такої різниці і формується нова поверхня, яка буде намагатися вирівнятися силами поверхневого натягу. При охолодженні скла під розплавленою поверхнею утворюється перехідний шар, рис. 5. Таким чином, електронно-променевиий вплив призвів до проплавлення поверхні і ПШ оптичного скла на глибину у 50 мкм. Після охолодження такої поверхні під нею утворюється двошарової структури: оплавлений та перехідний шар.

Висновки:

1. До фізичних методів дослідження, які дозволили визначити структурні зміни у поверхневому шарі оптичного силікатного скла після термічного електронно-променевого впливу, відносимо оптичну та електронну мікроскопію. Найбільш відповідальними етапами при застосуванні цих методів є підготовка зразків, яка, у свою чергу, передбачає виготовлення зламів поверхневого шару, перпендикулярних до поверхні пластини, металізація поверхні зламу та виготовлення реплік.
2. При умові, коли поверхня оптичного скла не оплавляється, дія електронного потоку призводить до ослаблення хімічних зв'язків речовин, які заповнюють дефектний шар (продуктів співполірування).
3. Переведення поверхневого шару оптичного скла силікатної групи електронним потоком до рідинно-текучого стану, на глибину більшу за 50 мкм, призводить до повного розчинення порушеного і тріщинуватого шарів у розплаві та утворення поверхні і поверхневого шару з ущільненою структурою.

Перелік джерел літератури: 1. Нанотехнологии в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований./ Под ред. М.К. Роко, Р.С. Уильямса, и П. Аливисатоса. Пер. с англ. – М.: Мир, 2002. –292 с. 2. V.P.Veiko, E.B.Jakovlev. Physical fundamentals of laser forming of microoptical components. Optical Engineering, v.33, N11, p.3567.3571, 1994. 3. V.P.Veiko, S.M.Metev. Laser assisted microtechnology. Springer-Verlag, Heidelberg, 1994. 4. Рыкалин Н.Н., Зуев, Углов А.А. Основы электронно-лучевой обработки материалов. М.: Машиностроение, 1978.-239с. 5. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. - М., Наука-Физматлит, 2007. - 416 с. 6. Стогний А.И., Новицкий Н.Н., Стукалов О.М. Ионно-лучевое полирование наноразмерного рельефа поверхности оптических материалов // Письма в ЖТФ, 2002, том 28, вып.1, с. 39-45. 7. Хаус Х. Волны и поля в оптоэлектронике: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 432 с. 8. Интегральная оптика. Под ред. Т. Тамира. – М.: Наука, 1978. – 344 с. 9. Гончаренко А. М., Радько В. П. Введение в интегральную оптику. – Минск: Наука и техника, 1975. – 148 с. 10. Лисоченко В.Н. Технология электронно-лучевой полировки плат микросхем и входных окон видиконов: Дис. канд. техн. наук: 05.27.06. – М., 1977. – 152 с. 11. Кравченко А. А. Электронно-лучевая обработка плат фотоэмитирующих структур: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.27.01. – М., 1989. – 19 с. 12. Лисоченко В.Н., Дудко Г. В., Магаев Л.Г. и др. Способ электронно-лучевой обработки: А.С. 1443682 СССР // Б. И. 1986. № 9. 13. Лохов Ю.Н., Углов А.А., Чередниченко Д.И. Модификация поверхности оптических стекол при электронно-лучевой обработке в вакууме // Физика и химия обработки материалов, 1997, № 1, с. 56-62. 14. Кравченко А.А., Лохов Ю.Н., Чередниченко Д.И. О формировании предельно гладких поверхностей стекол // Физика и химия стекла. – 1990. – Т.16. – №6. – С.923-927. 15. Ващенко В.А. Научные основы управления качеством электронно-лучевой обработки изделий из специальных оптических материалов. Автореферат дис. докт. технических наук: 05.03.07. Киев, 1996. – 32 с. 16. Ващенко В.А. // Высокотемпературные технологические процессы взаимодействия концентрированных источников энергии с материалами. Монография. Черкассы: ВИНТИ, 1994, №35-Х94. – 493 с. 17. Котельников Д.И., Канашевич Г.В., Дубровская Г.Н. Изменение свойств оптического стекла после электронно-лучевой обработки // Тез. докл. II Всесоюзной конференции "Модификация свойств конструкционных материалов пучками заряженных

частиц". Уральское отделение академии наук СССР, институт электрофизики, г. Свердловск, 1991, с.86-88. **18.** Котельников Д.И., Федорук Ю.М. Микрооптические элементы для оптоэлектроники // Доклады V Международной научно-технической конференции-выставки „ВОЛССПИ-94”. – Запорожье, НПО „Хартрон”. – 4-6/10-94. **19.** Котельников Д.И., Канашевич Г.В., Дубровская Г.Н. Изменение свойств оптического стекла после электронно-лучевой обработки // Тез. докл. II Всесоюзной конференции "Модификация свойств конструкционных материалов пучками заряженных частиц". Уральское отделение академии наук СССР, институт электрофизики, г. Свердловск, 1991, с.86-88. **20.** Борисов Н.А., Дудко Г.В. Полировка кремниевых пластин электронным лучом // Электронная обработка материалов, №5(29), 1969. – С.18-21. **21.** Дудко Г.В., Лисоченко В.Н. Проблема формирования особо чистых и бездефектных поверхностей // Материалы краткосрочного семинара. Ленинград. 1985. – С.13-16. **22.** Дудко Г.В., Кравченко А. А., Чердиченко Д.И., Кулаков С.В., Розэ Ю.А., Максимова Н.Г. Электронно-лучевая обработка фотокатодных стекол // Электронная техника. – Сер. 4. «Электровакuumные и газоразрядные приборы». – вып.1. – С. 294. – М.: Электроника. – 1989. – С.60-63. **23.** Kanashevich G. V. Cooling of plates from optical glass after electronic micro-treatment / G. V. Kanashevich // Электронная обработка материалов (Кишинев). – 2005. – №4 (234). – С. 79–83. **24.** Kanashevich G. V. Micro-treatment of surfaces of plates made of optical glass with a low-power electronic stream of a band form. The 7th World Congress on Recovery, Recycling and Reintegration & China International 3R Exhibition, Beijing, China, 25-29 Sept. 2005. – P.7. **25.** Канашевич Г.В. Превращения в поверхностном слое оптического стекла и фотопластин из силикатного стекла от действия низкоэнергетического электронного потока. Ежемесячный междисциплинарный теоретический и прикладной научно-технический журнал «Нано- и микросистемная техника» (Россия). Рубрика: Материаловедческие и технологические основы МНСТ., 2008, №10, стр. 28-30

Рецензент: **Гузенко В.С.**, к.т.н., проф., ДГМА

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ОПТИЧНОГО СКЛА ПІСЛЯ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ ОБРОБКИ

Канашевич Г.В.

Визначенні фізичні методи дослідження: оптична та електронна мікроскопія, якими визначаються, як структурні зміни у дефектному шарі, так і глибина проплавлення оптичного скла низькоенергетичним електронним потоком (енергія електронів $E \leq 8$ кеВ).

Показано, що при глибокому проплавленні скла (на глибину більшу за 50 мкм) та після його охолодження, у поверхні утворюється двошарова структура: оплавлений та перехідний шар.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ОПТИЧЕСКОГО СТЕКЛА ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКИ

Канашевич Г.В.

Определены физические методы исследования: оптическая и электронная микроскопия, которыми определяются структурные изменения, как в дефектном слое, так и глубина проплавления оптического стекла низькоенергетическим электронным потоком (энергия электронов $E \leq 8$ кэВ). Показано, что при глубоком проплавлении стекла (на глубину больше, чем 50 мкм) и после его охлаждения, в поверхности образуется двухслойная структура: оплавленный и переходной слой.

STUDY OF SURFACE LAYER OF OPTICAL GLASS AFTER ELECTRON BEAM PROCESSING

Kanashevych GV

Physical methods of research are defined: optical and electron microscopy, which are determined by structural changes in the defective layer and the depth of penetration of optical glass of low-energy electron beam (electron energy $E \leq 8$ keV). It is shown that at the deep penetration of glass (on a depth more than 50 mkm) and after cooling, is formed in the surface of a two-layer structure: fused and transition layer.

Ключові слова: фізичні методи дослідження, електронний потік, електронно-променева обробка, оптичний матеріал, оптичне скло, поверхневий шар, дефектний шар, мікрообробка, нанообробка.

Ключевые слова: физические методы исследования, электронный поток, электронно-лучевая обработка, оптический материал, оптическое стекло, поверхностный слой, дефектный слой, микрообработка, нанообработка.

Keywords: physical methods of investigation, electron beam, electron beam processing, optical material, optical glass, surface layer, defective layer optics, microoptics, nanooptics.

Дата надходження статті: 13 травня 2013 р

УДК 621.9.048.6.04

Мицьк В.Я.ВНУ им. В. Даля, г. Луганск, Украина
an_mitsyk@mail.ru

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОТДЕЛОЧНО-ЗАЧИСТНОЙ ОБРАБОТКИ В КОЛЕБЛЮЩЕМСЯ РЕЗЕРВУАРЕ С ДЕФЛЕКТОРОМ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ

Непрерывное развитие новых технологий металлообработки привело к тому, что одним из наиболее исследованных и промышленно внедренных методов отделочно-зачистной обработки является обработка свободной гранулированной средой в колеблющемся резервуаре вибростанка.

Однако, несмотря на широкое применение процессы виброобработки и соответствующее оборудование не всегда эффективны с точки зрения получаемой производительности и с позиций достижения качества, отвечающего требованиям современного производства, машиностроительные отрасли которого в условиях рыночных отношений должны постоянно развиваться и совершенствоваться.

Сложившееся положение вызывает необходимость использования дополнительных резервов повышения производительности и расширения технологических возможностей метода виброобработки, а также создание новых конструкций вибростанков, отвечающих условиям изготовления изделий высокого качества и конкурентоспособности.

Современный отечественный станочный парк металлообработки в большей степени оснащен вибростанками, имеющими «U»-образный или близкий к нему в плоскости колебаний резервуар с горизонтальной осью параллельной оси инерционного вибровозбудителя, жестко связанного с резервуаром. Параметры работы такого вибростанка находятся в следующих интервалах: частота колебаний 15...50 Гц; амплитуда колебаний 0,5...9 мм; скорость циркуляции гранул рабочей среды 0,3...1,0 м/с; ускорение движения гранул 20...150 м/с²; сила микроударов в колеблющейся рабочей среде 15...30 Н; контактные давления 300...7000 мПа; мгновенные приращения температуры в зоне действия микроударов 20...90 °С; средняя температура в резервуаре 30...40 °С. Формирование поверхностного слоя происходит под действием многократных микроударов гранул рабочей среды, изменяющих геометрические и физико-механические параметры поверхностного слоя материала обрабатываемых деталей, то есть сопровождается изменением его шероховатости, микротвердости и остаточных напряжений [1].

Несмотря на широкое применение «U»-образный резервуар имеет ряд серьезных технологических недостатков. Среди них неравномерность обработки деталей в различных зонах резервуара и снижение ее интенсивности по мере удаления деталей в их циркуляционном движении от стенок и днища к центральной части, что происходит за счет гашения силового импульса, который передается в глубину содержимого резервуара во время колебательного движения. При этом время энергетического воздействия резервуара на рабочую среду не превышает 65 % периода колебания, что, во-первых, приводит к снижению производительности обработки не менее чем на 30 %, а во-вторых, препятствует расширению технологических возможностей виброобработки из-за отсутствия в резервуаре эффекта интенсивного перемешивания обладающих высоким коэффициентом демпфирования мелкодисперсных рабочих сред и использования их при обработке деталей с труднодоступными местами для гранул с размерами 5...30 мм, принятыми в технологиях виброобработки [2].

Также обработка крупногабаритных объемных деталей с их помещением в резервуар «внавал» связана со взаимными соударениями этих деталей в их циркуляционном движении, что приводит к появлению технологического брака в виде забоин, вмятин и других дефектов поверхности. Обработка плоскостных деталей типа дисков и шестерен в «U»-образных резервуарах связана с образованием сводов деталей, слипанием их в пакеты и взаимным пере-

крытием обрабатываемых поверхностей, что вызывает заклинивание содержимого резервуара и появление 15...20 % брака обработки.

С помощью скоростной киносъемки процесса виброобработки установлено, что если в конструкцию «U»-образного резервуара, обечайка которого представлена незамкнутой рабочей поверхностью охватывающей среду, ввести внутренний элемент, выполняющий функцию дополнительной рабочей поверхности, которая охватывается средой, то при движении резервуара возникают встречные потоки рабочей среды. Характер встречных потоков таков, что слои расположенные у охватывающей поверхности резервуара, то есть у его стенок и днища, перемещаются в направлении, противоположном движению резервуара, а слои, расположенные у охватываемой поверхности введенного элемента перемещаются в направлении, совпадающем с направлением движения резервуара. При этом циркуляционное движение слоев, расположенных у охватывающей и охватываемой средой рабочих поверхностей резервуара находится в противофазе [3].

Очевидно, что такой характер движения среды повышает производительность процесса виброобработки за счет того, что скорость относительного перемещения гранул и деталей, то есть скорость микрорезания значительно возрастает и становится равной не их разности, а их сумме.

Дефлектор – это конструктивный элемент, установленный в резервуаре вибростанка с целью динамического нагружения колеблющейся рабочей среды и, как следствие, повышения КПД резервуара и производительности виброобработки в целом. По своей физической сущности дефлектор является такой же рабочей поверхностью резервуара, оказывающей силовое воздействие на рабочую среду и обрабатываемые детали, как его стенки и днище.

Для изучения технологических возможностей виброобработки в колеблющемся резервуаре с дефлектором рабочей среды проведена классификация дефлекторов по принципу их установки в резервуаре, характеру движения и геометрической форме (рис. 1, 2).

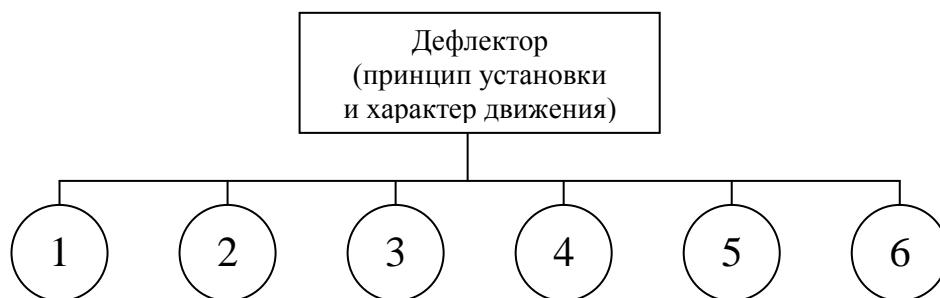


Рис. 1. Классификация дефлекторов рабочей среды по принципу установки в резервуаре и характеру движения

1. Установленный жестко на вертикальной оси резервуара и совершающий с ним идентичные по характеру колебательные движения [4].

2. Установленный на вертикальной оси резервуара с возможностью углового поворота и фиксации в выбранных положениях, совершающий с резервуаром идентичные по характеру колебательные движения [5].

3. Установленный на вертикальной оси резервуара и смонтированный на элементах его конструкции с помощью упругой подвески, совершающий колебательные движения, вызванные динамическим воздействием циркулирующей рабочей среды.

4. Установленный на вертикальной оси резервуара, смонтированный на жесткой опоре и находящийся в статическом положении в циркулирующей рабочей среде.

5. Установленный на вертикальной оси резервуара, смонтированный с помощью упругой подвески на жесткой опоре и совершающий колебательные движения под действием независимого источника возбуждения [6].

6. Установленные на горизонтальной оси резервуара с возможностью вращательного движения, вызванного динамическим воздействием циркулирующей рабочей среды [7].

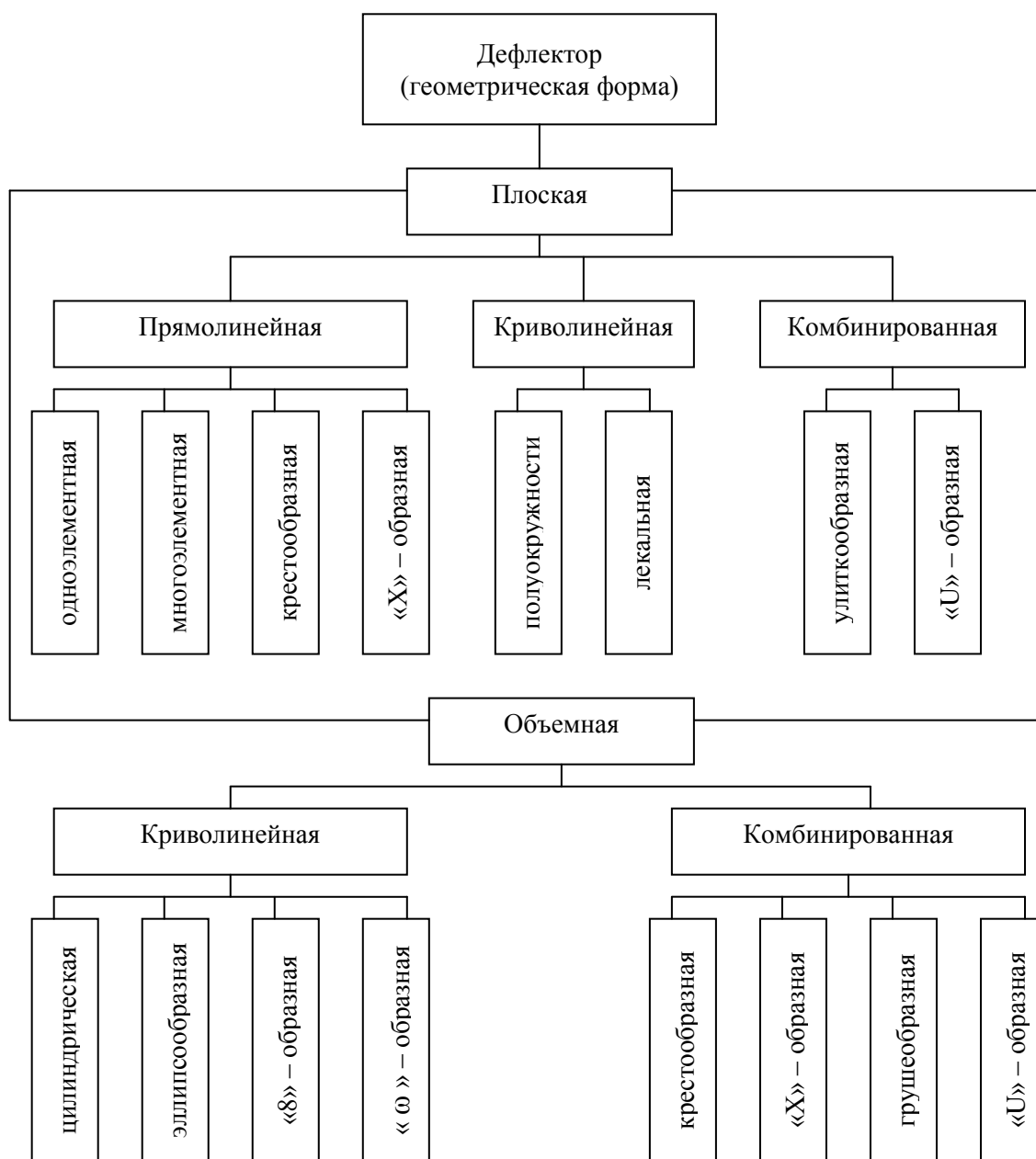


Рис. 2. Классификация дефлекторов рабочей среды по геометрической форме

Экспериментальные исследования процесса отделочно-зачистной обработки в колеблющемся резервуаре с жестким дефлектором проводились с помощью скоростной киносъемки на следующих режимах работы вибростанка: частота колебаний 50 Гц; амплитуда колебаний 2,3 мм; коэффициент эллипсности траектории движения резервуара 1,5; скорость скоростной киносъемки 2050 кадр/с; продолжительность периода колебания 56 кадров; интервал времени между двумя соседними измерениями 0,0015 с.

По результатам обработки кадров скоростного кинофильма построены графики движения резервуара, гранулы рабочей среды и обрабатываемой детали относительно осей координат OX и OY (рис. 3). Анализ графиков показал наличие сдвига фаз, который наиболее заметен между движениями гранулы рабочей среды и детали. Численные значения (табл. 1) отражают сдвиг фаз по осям координат OX и OY при работе традиционного резервуара и резервуара с жестким дефлектором.

Таблица 1

Сдвиг фаз при работе традиционного резервуара и резервуара с жестким дефлектором

Условие обработки	Коэффициент эллипсности, K_A	Сдвиг фаз в долях времени относительно осей координат	
		ординат	абсцисс
без дефлектора	2,5	1,0...1,5	1,0...1,5
	1,5	1,5	1,2...1,5
	1,1	-2,5	1,5...2,0
с дефлектором	1,5	3,5...4,0	3,0...3,5

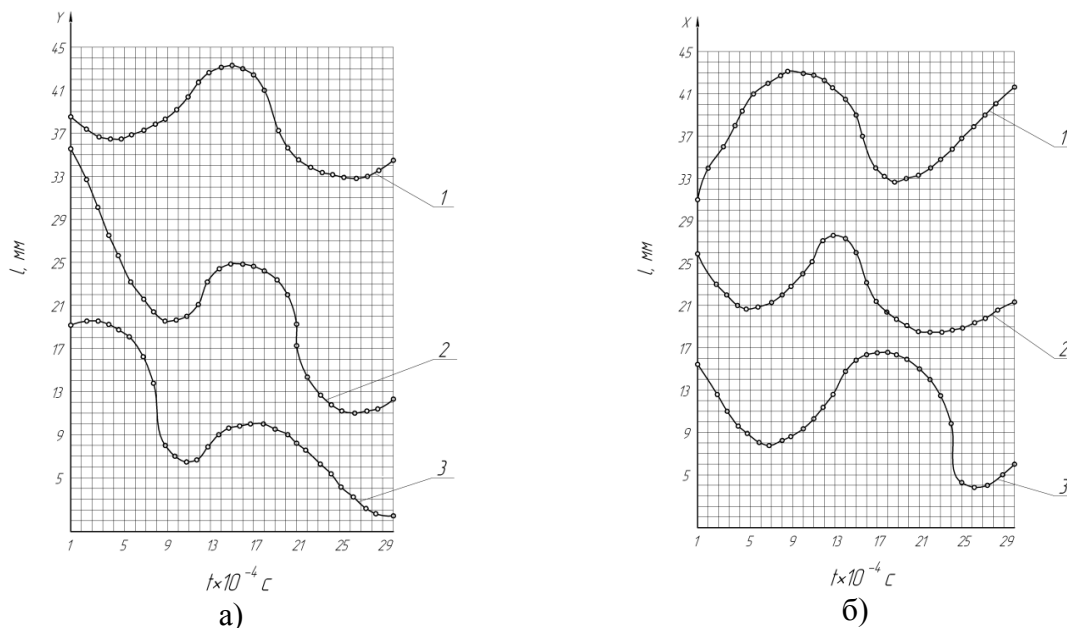


Рис. 3. Графики движения резервуара (3) гранулы (2) и детали (1) по направлению осей ординат (а) и абсцисс (б)

Очевидно, что при наличии дефлектора даже при сравнительно высоком коэффициенте эллипсности траектории движения резервуара имеет место значительное увеличение относительного перемещения гранул и деталей. Годографы скоростей движения гранул рабочей среды и деталей (рис. 4) подтверждают увеличение относительного перемещения гранул и деталей, а также их взаимного динамического воздействия.

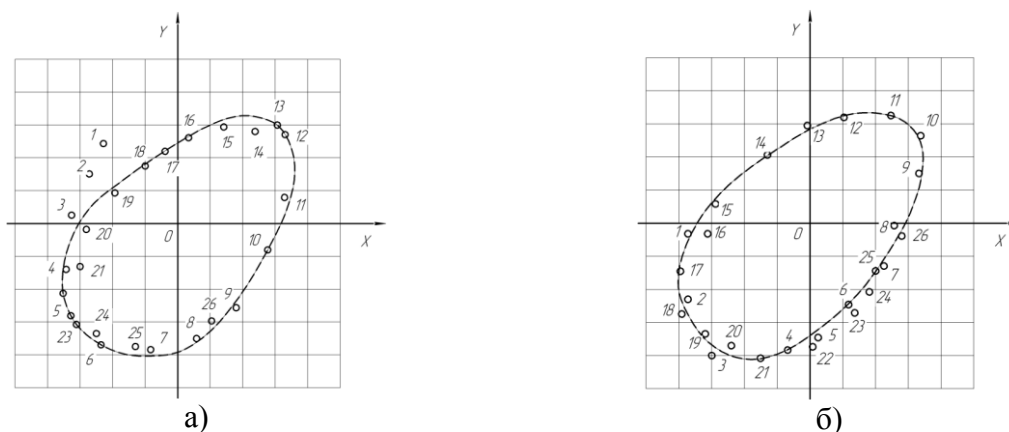


Рис. 4. Годографы скорости детали (а) и гранулы рабочей среды (б) при работе с дефлектором ($K_A = 1,5$)

При определении величины равнодействующей силы было установлено, что ее увеличение при обработке в резервуаре с дефлектором для точек 9, 10 и 11 годографа скоростей наблюдалось до 3,6 Н, что в 2 раза больше чем для случая работы в традиционном резервуаре при коэффициенте эллипсности равном 1,1 (табл. 2).

Таблица 2

Величины сил взаимодействия гранул и детали при различных режимах обработки

Условие обработки	Коэффициент эллипсности, K_A	Удаление от днища резервуара в долях его радиуса	Значение равнодействующей силы, Н	Величина бокового усилия, Н
без дефлектора	2,5	1/6	7,42	–
	2,5	1/3	4,3	–
	1,5	1/3	1,86	1,64
	1,1	1/3	1,71	1,4...1,5
с дефлектором	1,5	1/3	3,41	1,3...1,4

При виброобработке в традиционном резервуаре с коэффициентом эллипсности движение, равным 2,5, значение равнодействующей силы достигает 4,2 Н только в течение незначительного времени, составляющего 8...10 % периода колебания. При обработке в резервуаре с дефлектором силовое нагружение до 3,4 Н действует в течение 40...50 % периода, что вызывает повышенную активность процессов микрорезания и упругопластического деформирования, обеспечивающую прирост производительности обработки.

Оптимальным состоянием обработки в резервуаре с дефлектором следует считать такое, когда между всеми зонами поперечного сечения резервуара происходит непрерывный обмен рабочей среды, то есть обеспечивается стабильная циркуляция без образования кратковременных «пустот», незаполненных рабочей средой. Такое состояние во многом зависит, как от технологических параметров процесса, так и от конструктивных параметров резервуара вибростанка. Среди них амплитуда и частота колебаний, грануляция рабочей среды, объем применяемого химически-активного раствора, габаритные размеры и формы обрабатываемых деталей, а также формы и размеры дефлектора и резервуара.

Необходимо отметить, что если условия оптимального состояния обработки не соблюдается, то в нижней части резервуара под дефлектором возникает зазор, превышающий размах колебаний в вертикальном направлении. Причины образования зазора состоят в уплотнении среды под воздействием направленных вибрационных сил, а также вследствие измельчения гранул рабочей среды, что приводит к уменьшению ее необходимого объема. В этом случае динамическое воздействие дефлектора на рабочую среду сокращается и производительность обработки снижается до экономически нецелесообразного значения.

Перечень источников литературы: 1. Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии / А.П. Бабичев, И.А. Бабичев. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2008. – 694 с. 2. Обработка деталей свободными абразивами в вибрирующих резервуарах: моногр. / И.Н. Карташов, М.Е. Шаинский, В.А. Власов и др. – К.: Вища школа, 1975. – 188 с. 3. Мицык В.Я. Развитие научных основ проектирования технологии и оборудования отделочно-зачистной и упрочняющей виброобработки / В.Я. Мицык // Вібрації в техніці та технологіях. – 2010. – № 2 (58). – С. 141 – 151. 4. Пат. 30388 Україна, МПК В24В 31/06 Спосіб віброобробки деталей / В.Я. Міцик; Заявл. 29.10.07; Опубл. 25.02.08, Бюл. № 4. 5. Пат. 34364 Україна, МПК В24В 31/06 Спосіб віброобробки деталей / В.Я. Міцик; Заявл. 03.03.08; Опубл. 11.08.08, Бюл. № 15. 6. Пат. 52889 А Україна, МПК В24В 31/06 Вібраційна установка для обробки дрібних деталей / В.Я. Міцик, В.В. Савін, С.О. Симоненков, М.В. Івін, В.О. Медяник, А.В. Міцик; Заявл. 03.09.01; Опубл. 15.01.03, Бюл. № 1.

Рецензент: Ковалёв В.Д., д.т.н., проф., ДГМА

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОТДЕЛОЧНО-ЗАЧИСТНОЙ ОБРАБОТКИ В КОЛЕБЛЮЩЕМСЯ РЕЗЕРВУАРЕ С ДЕФЛЕКТОРОМ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ

Мицьк В.Я.

Представлены результаты экспериментальных исследований по интенсификации процесса виброобработки в колеблющемся «U»-образном резервуаре путем его оснащения дополнительной рабочей поверхностью в виде дефлектора рабочей среды. Проведена классификация дефлекторов по принципу их установки, характера движения и геометрической формы. Приведены графики движения и годографы скоростей.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ОЗДОБЛЮВАЛЬНО-ЗАЧИЩУВАЛЬНОЇ ОБРОБКИ У КОЛИВНОМУ РЕЗЕРВУАРІ З ДЕФЛЕКТОРОМ РОБОЧОГО СЕРЕДОВИЩА

Мицьк В.Я.

Представлено результати експериментальних досліджень щодо інтенсифікації процесу віброобробки у коливному «U»- подібному резервуарі шляхом його оснащення додатковою робочою поверхнею у вигляді дефлектора робочого середовища. Проведено класифікацію дефлекторів за принципом їх установки, характеру руху і геометричної форми. Наведені графіки руху та годографи швидкостей.

THE EFFICIENCY OF FINISHING-GRINDING TREATMENT IN OSCILLATING RESERVOIR WITH THE DEFLECTOR OF WORKING MEDIUM

Mitsyk V.J.

The results of experimental investigations on the intensification of vibration treatment process in the oscillating «U»-shaped reservoir by its equipping with additional working surface in the form of a deflector of working medium have been presented. The classification of deflectors on the basis of their installation, motion patterns and geometric shapes has been executed. The motion graphics of velocity hodographs have been given.

Ключевые слова: виброобработка; резервуар; дефлектор; графики движения резервуара, гранулы среды, обрабатываемых деталей; годографы скоростей.

Ключові слова: віброобробка; резервуар; дефлектор; графіки руху резервуара, гранули середовища, оброблюваних деталей; годографи швидкостей.

Key words: vibration treatment; oscillating reservoir; deflector, motion graphics of reservoir, medium's granules, processed parts, velocity hodographs.

Дата надходження статті: 18 травня 2013 р.

УДК 621.9.08

Саункин В.Т., Онищук С.Г.
ДГМА, г. Краматорск, Украина
tiup@dgma.donetsk.ua

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПОГРЕШНОСТЬ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ВРЕЗНОМ ШЛИФОВАНИИ

Постановка проблемы. В машиностроительном производстве многие детали машин изготавливаются с высокой размерной точностью. Высокая точность геометрических размеров и формы деталей обеспечивает правильное функционирование, надежность и долговечность работы механизмов и машин. Точность размеров деталей определяет возможность их правильной сборки и взаимозаменяемости, позволяющей существенно снизить затраты при изготовлении, ремонте и эксплуатации механизмов и машин.

Для обеспечения высокой точности обработки станки снабжают автоматическими средствами контроля размеров обрабатываемых деталей. Способами решения этой задачи являются контроль размеров и формы деталей непосредственно в процессе обработки и управления станком по результатам этого контроля (активный контроль). Активный контроль особенно эффективен при малых допусках на изготовление деталей при финишной обработке. Кроме повышения точности обработки, активный контроль обеспечивает полную автоматизацию процесса обработки с замкнутой обратной связью.

Контроль на производстве за качеством деталей является ключевым процессом, если планируется добиться хоть какого-то приемлемого качества товаров. Автоматизация пассивного контроля в условиях массового производства сегодня с технической стороны не представляет особой сложности, так как этот процесс зародился достаточно давно, его принципы отработаны и хорошо известны. Активный контроль на машиностроительных предприятиях начали применять сравнительно недавно, поэтому сущность его, методы проектирования и внедрения находится в стадии изучения, поисков путей наиболее эффективного использования и совершенствования конструкции. Важным моментом при производстве деталей является выбор марки стали, из которой деталь будет изготовлена.

При обработке деталей на машиностроительных станках погрешности, вызываемые износом инструмента, силовыми и тепловыми деформациями технологической системы, приводят к рассеиванию размеров деталей, а подчас и выходу их за пределы допуска. Предвидеть влияние этих погрешностей заранее и учесть их при наладке станка или заложить в управляющую программу станка с ЧПУ чрезвычайно сложно. Применение активного контроля в этом случае позволяет значительно повысить технологическую точность за счет компенсации возникающих погрешностей.

Необходимость в применении устройств для контроля размеров деталей в процессе их обработки возникла с увеличением серийности изготовления точных деталей. Опытный шлифовальщик может обеспечить изготовление деталей с высокой точностью размеров и формы, но его производительность при этом будет невысокая. Поэтому возникло предложение применять устройство активного контроля, по показанию которого можно следить за изменением размера детали в процессе обработки и через цепь обратной связи выдавать автоматические команды в систему управления станком на изменение режима обработки и на окончание шлифования при достижении заданного размера.

Анализ последних исследований и публикаций. Приборы активного контроля контролируют размер обрабатываемой детали с целью обеспечения заданного допуска, предупреждения и исключения брака. Они также обеспечивают автоматизацию процесса обработки путем поддержания оптимальных режимов резания. Применение приборов активного контроля позволяет повысить качество обрабатываемых деталей, повысить производительность

труда и обеспечить комплексную автоматизацию технологических процессов механообработки [1, 2].

Контроль размеров и перемещений в процессе обработки является неотъемлемой частью технологического процесса на станках-автоматах, автоматических линиях, станках с ЧПУ и обрабатывающих центрах. Невозможно обеспечить автоматическую работу станков, не осуществляя контроль результатов обработки и не управляя точностью этой обработки, путем выдачи команд на подналадку и смену инструмента, изменения режимов резания и на остановку станка при достижении заданного размера или появления брака [3].

Приборы для контроля размера детали в процессе обработки контролируют обрабатываемый размер непрерывно во время резания и получаемая информация для автоматического или ручного изменения режимов подачи режущего инструмента. Эти приборы используются в тех случаях, когда обрабатываемый размер изменяется за счет перемещений (подачи) рабочей поверхности режущего инструмента в направлении изменения обрабатываемого размера. К таким видам обработки относится, например, внутреннее шлифование, круглое наружное врезное шлифование, хонингование, плоское шлифование с многократным проходом шлифовального круга по обрабатываемой поверхности, врезное точение и т.п.

Точность получения размеров детали зависит от многочисленных факторов, связанных с конструкцией станка, устройства активного контроля, режимами и условиями обработки. Погрешность устройства контроля Δ_L оказывает большое влияние на точность прибора и возникает от колебания температуры окружающего воздуха, охлаждающей жидкости, попадающей на измерительную оснастку, от обдувания ее потоком воздуха, идущим от шлифовального круга и от нагревания контактных наконечников при трении их по поверхности контролируемой детали.

Температурная погрешность имеет систематическую составляющую и случайную составляющие. Через некоторое время после начала обработки температура прибора стабилизируется и изменение уровня настройки прибора характеризует систематическую составляющую температурной погрешности, которая может быть компенсирована его поднастройкой. Случайная составляющая погрешности возникает под действием кратковременных тепловых импульсов, например, при правке шлифовального круга станка, когда наступает некоторый перерыв в установившемся режиме работы станка. Температурные погрешности прибора могут достигать нескольких микрометров, однако пока не разработано методов их расчета с нужной точностью.

Уменьшить температурные погрешности приборов удастся с помощью конструктивных мероприятий. В некоторых случаях в конструкциях измерительной оснастки применяют материалы с малым коэффициентом линейного расширения (инвар, титан) и их комбинацию, компенсирующие общие температурные деформации ответственных узлов.

Хорошие результаты дает выполнение измерительной оснастки, расположенной в зоне обработки, в корпусах защищающих преобразователи, плоские пружины, подвески и другие ответственные элементы от попадания на них охлаждающей жидкости и обдува потоком воздуха. Такая конструкция позволяет существенно уменьшить случайную составляющую температурной погрешности.

Металлообрабатывающие станки с устройствами активного контроля должны обеспечить получение изделий с заданным полем рассеяния размеров, соответствующим принятому полю допуска и его расположению. Точность получения размеров изделий зависит от многочисленных факторов, связанных с конструкцией станка, устройства активного контроля, режимами и условиями обработки.

Целью статьи является исследование влияния режимов обработки на температурную деформацию деталей.

Изложение основного материала. Погрешность изготовления изделия Δ обусловлена тем, что действительные размеры X обработанных деталей отличаются от заданного размера X_0 , то есть

$$\Delta = X_0 - X \quad (1)$$

Погрешность изготовления деталей Δ с использованием средств активного контроля характеризуется следующим отношением:

$$\Delta = \Delta_{\dot{I}} + \Delta_{\hat{A}} + \Delta_{\hat{f}} \leq \delta, \quad (2)$$

где $\Delta_{\dot{I}}$ – погрешность устройства контроля;

Δ_{OB} – погрешность обработки;

Δ_O – погрешность настройки прибора и технологической системы «станок-приспособление-инструмент-деталь»;

δ – допуск.

Проведенные исследования показали [1], что указанные составляющие погрешности не одинаково влияют на общую погрешность изготовления изделий.

Доминирующее влияние на нее оказывает случайная динамическая погрешность обработки. Остальные составляющие, как правило, имеют долемиكرونные значения [2].

Погрешности обработки, возникающие вследствие разных причин, можно свести к трем составляющим погрешности, которые либо непосредственно влияют на получение размера деталей в момент окончания обработки, либо проявляются на обработанных деталях: погрешность технологической системы «станок-приспособление-инструмент-деталь», погрешность формы и динамическая погрешность [3].

Для исключения погрешности настройки Δ_O устройство контроля и технологическую систему «станок-приспособление-инструмент-деталь» настраивали по специальной аттестованной детали.

Погрешность Δ_{OB} можно представить как

$$\Delta_{\hat{A}} = K_1 \Delta_{\dot{I}} + K_2 \Delta_{\hat{O}}, \quad (3)$$

где K_1 и K_2 – коэффициенты, зависящие от расположения поля каждой составляющей погрешности относительно соответствующего исходного размера;

$\Delta_{\dot{I}}$ – погрешность устройства контроля;

$\Delta_{\hat{O}}$ – погрешность формы.

Под погрешностью обработки Δ_{OB} понимается поле рассеяния размеров обработанных деталей относительно заданного уровня настройки. Она зависит не только от полей составляющих погрешность, но и от их расположения. Если $\Delta_{\hat{O}}$ и $\Delta_{\dot{I}}$ расположены симметрично относительно уровня настройки $K_1 = K_2 = 1,0$. Это соответствует наименьшей погрешности обработки. Наименьшее значение погрешности обработки Δ_{OB} имеет в том случае, если ее составляющие расположены целиком по одну сторону от уровня настройки. В этом случае $K_1 = K_2 = 2,0$. Для исключения погрешности формы, учитывая случайный характер составляющих, ограничили частью допуска размера

$$\Delta_{\hat{A}} = 1,5 \sqrt{\Delta_{\dot{I}}^2 + \Delta_{\hat{O}}^2}. \quad (4)$$

Как показали исследования [3], динамическая погрешность имеет систематическую и случайную составляющие. Систематическую составляющую можно компенсировать при настройке технологической системы. Случайная составляющая зависит от нестабильности съема припуска с детали, величины подачи. Изменение режимов и условий обработки приводит к изменению температуры обрабатываемых деталей. Поэтому в момент окончания цикла обработки готовые детали имеют разную температуру. Спустя некоторое время после окончания обработки температура деталей выравнивается, но изменяются их размеры. В большинстве случаев температурная деформация является доминирующей в суммарной погрешности обработки. Проявляется она в основном на этапе врезания.

На рис.1 приведен экспериментальный график, характеризующий влияние подачи S и скорости съема припуска V , на температурные деформации Δ_{t0} кольца при шлифовании внутреннего отверстия диаметром 40 мм на этапе врезания. Условия обработки: скорости съема припуска $V = 1,0; 5,0; 10,0; 15,0; 20,0; 25,0$ мкм/с.

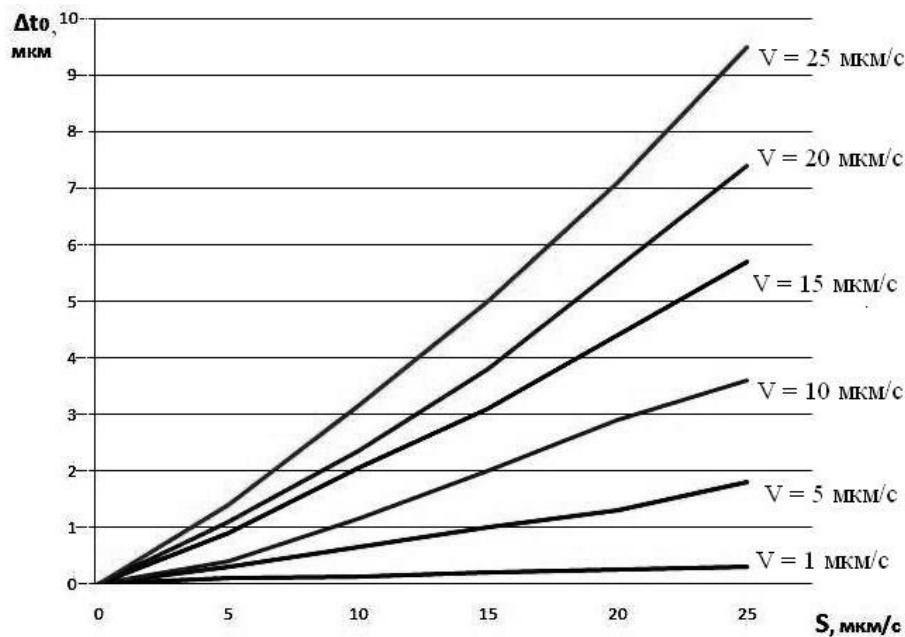


Рис. 1. Влияние скорости съема припуска (V) и подачи (S) на этапе врезания на температурную деформацию детали

Как видно из графика на этапе врезания с увеличением скорости съема припуска и подачи температурные деформации возрастают. Это обстоятельство необходимо учитывать при выборе режима обработки деталей.

В условиях массового производства на финишную шлифовальную операцию детали поступают непосредственно с предварительных токарной и шлифовальной операций. Обработка на этих операциях ведется с интенсивными режимами и соответственно с большим теплообразованием. Детали не успевают пройти процесс температурной стабилизации. Возникшие температурные деформации увеличивают погрешность обработки при окончательном шлифовании. Особенно это сказывается при обработке крупногабаритных деталей [4]. Поэтому целесообразно стабилизировать температуру заготовок для обеспечения высокой точности обрабатываемых деталей.

Выводы

Проведенные исследования показывают влияние технологических факторов на температурную деформацию деталей, что, в конечном счете, приводит к погрешности обработки и показывают необходимость учитывать это явление при выборе режимов резания на шлифовальных станках. Предлагаемая методика позволяет оценить влияние температурных погрешностей на точность обработки деталей машин при врезном шлифовании.

Перечень источников литературы: 1. Саункин В.Т. Повышение производительности и точности контроля деталей / В. Т. Саункин, С. Г. Онищук, С. Л. Миранцов. // Вестник ДГМА. – Краматорск: ДГМА, №4 (15), 2008. – С. 162-165. 2. Саункин В.Т. Исследование погрешности обработки при использовании средств активного контроля / В. Т. Саункин, С. Л. Миранцов. // Вестник ДГМА. – Краматорск: ДГМА, №2 (5Е), 2009. – С. 150-153. 3. Саункин В.Т. Погрешності обробки при використанні засобів активного контролю / В. Т. Саункін, С. Г. Онищук // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: Наук.-техн. збірн. - Краматорськ, ДДМА, Вип. 27, 2010 – С.136-140. 4. Ковалевский С. В. Типовые технологические процессы в тяжелом машиностроении: монография / С. В. Ковалевский, В. Т. Саункин, С. Г. Онищук и [др.]. - Краматорськ : ДГМА, 2009. – 124 с.

Рецензент: Ковалёв В.Д., д.т.н., проф., ДГМА

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ПОХИБКУ
ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ВРІЗНОМУ ШЛІФУВАННІ

Саункін В.Т., Онищук С.Г.

Розглядаються питання визначення похибки обробки на автоматизованому устаткуванні і використанні засобів активного контролю. Вивчено вплив теплової деформації на похибку обробки, наведені графічні залежності впливу подачі на температурну деформацію деталей, які пропонується використовувати при виборі режиму обробки для мінімізації температурної деформації деталей при врізному шліфуванні. Пропонується методика оцінки випадкових і систематичних похибок обробки при врізному шліфуванні, пов'язаних з похибками, як використовуваного технологічного устаткування, так і похибок вимірювання засобів активного контролю в умовах автоматизованого виробництва.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
НА ПОГРЕШНОСТЬ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ВРЕЗНОМ ШЛИФОВАНИИ

Саункин В.Т., Онищук С.Г.

Рассматриваются вопросы определения погрешности обработки на автоматизированном оборудовании и использованием средств активного контроля. Изучено влияние тепловой деформации на погрешность обработки, приведены графические зависимости влияния подачи на температурную деформацию деталей, которые предлагается использовать при выборе режима обработки для минимизации температурной деформации деталей при врезном шлифовании. Предлагается методика оценки случайных и систематических погрешностей обработки при врезном шлифовании, связанные как с погрешностями использованного оборудования, так и погрешностей измерения средств активного контроля в условиях автоматизированного производства.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL FACTORS
ON THE ACCURACY OF MACHINING PARTS FOR PLUNGE GRINDING

Saunkin V.T., Onishchuk S.G.

The problems of determining the error handling on automated equipment and the use of active control. The influence of the thermal deformation on the accuracy of treatment are given a graph of the influence of flow on the temperature deformation of the parts, which are encouraged to use when choosing a treatment regimen to minimize thermal distortion of parts in plunge grinding. The methods of evaluation of random and systematic errors in the plunge grinding process, the errors associated with both the equipment used and the measurement errors of means of active control in automated manufacturing.

Ключові слова: похибка, шліфування, активний контроль, деталь, температурна деформація

Ключевые слова: погрешность, шлифование, активный контроль, деталь, температурная деформация

Key words: error, grinding, active control, detail, temperature deformation

Дата надходження статті: 30 травня 2013 р.

УДК 621.924

Сирота А.А., Мицык В.Я., Зуев А.С.
ВНУ им. В. Даля, Луганск, Украина
sem_88@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ОТДЕЛОЧНО-ЗАЧИСТНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ФАКЕЛЬНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ АБРАЗИВНОЙ СУСПЕНЗИИ НА ДЕФЕКТНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

В настоящее время в машиностроительной, приборостроительной и др. металлообрабатывающих отраслях промышленности широкое распространение получил метод гидроабразивной обработки и его разновидности. Причиной тому стала актуальность вопроса механизации операций отделочно-зачистной обработки, которые при выполнении в ручную не обеспечивают необходимого качества изделий, противоречат требованиям промышленной экологии и санитарно-гигиеническим нормам современного производства, а также отвлекают от основного производства значительные людские ресурсы [1, 2, 3].

Авторами статьи проведена классификация основных дефектов поверхностей деталей общемашиностроительного применения, приобретенных в процессе их предшествующего формообразования на операциях обработки лезвийным инструментом, которые впоследствии сопоставлены с технологическими возможностями гидроабразивной обработки, на основании чего был определен круг достигаемых ею технологических результатов (рис. 1) [4].



Рис.1. Технологические результаты, достигаемые отделочно-зачисной гидроабразивной обработкой

Классифицируя современный станочный парк гидроабразивного оборудования с позиции транспортирования абразивной суспензии к струйному аппарату и далее на поверхность обрабатываемых деталей, можно выделить несколько модификаций установок [5-8], имеющих общность конструкторско-технологических недостатков, снижающих экономическую целесообразность всего вида оборудования.

Такие недостатки в первую очередь связаны с интенсивностью работы сопел, предназначенных для передачи абразивной суспензии. Опыт промышленного внедрения указывает,

что износостойкость струйных аппаратов из закаленных сталей не превышает 8...12 ч, сопла из отбеленного чугуна пригодны в течении 16...25 ч, твердосплавные сопла выдерживают ударную абразивную нагрузку в течение 45...50 ч.

Вполне понятно, что указанные временные показатели весьма незначительны для оборудования, эксплуатация которого сориентирована на крупносерийный и массовый тип производства [9].

Экспериментальные исследования, проведенные в НИЛ «ОСА» ВНУ им. В. Даля указывают, что наиболее перспективной технологией отделочно-зачистной обработки с использованием ударного факельного воздействия абразивной суспензии является способ гидроабразивной обработки затопленными струями. Кроме того с целью интенсификации технологии, а также расширения её функциональных возможностей и создания условий управления процессом, гидроабразивное воздействие на обрабатываемые детали дополнено воздействием центробежных сил, что привело к созданию новой разновидности способа гидроабразивной обработки затопленными струями (ГОЗС).

Оригинальность и научная новизна нового способа состоит в том, что обработку проводят при одновременном использовании энергии гидроабразивного струйного движения и энергии вращательного движения обрабатываемых деталей (рис. 2).

Рабочая среда в виде шлифзерна зернистостью 200...40 мкм или шлифпорошков зернистостью 32...16 мкм загружается в смонтированный на жесткой опоре резервуар, по периметру основания которого с помощью гибкого трубопровода с дросселем смонтирована барботажная система, приводящая рабочую среду из статического состояния в подвижное псевдосжиженное.

В верхней части резервуара по оси его симметрии на вертикально регулируемой штанге посредством гибкого трубопровода с дросселем, расположены противоположно направленные сопла струйного аппарата. Обрабатываемые детали по отдельности или пакетами базируют и закрепляют на установочных пальцах многоместного приспособления, которое связано с вертикальным шпиндельным устройством зубчатой передачей двухпарного зацепления цилиндрических колес. Устройство имеет возможность погружения в рабочую зону резервуара и выхода из нее до и после обработки.

Шпиндельному устройству сообщается вращательное движение со скоростью 1000...5000 об/мин. При этом оно совместно с обрабатываемыми деталями погружается в рабочую зону резервуара с рабочей средой, находящейся в псевдосжиженном состоянии. Под действием гидроабразивной струи, направленной из сопел струйного аппарата на вращающиеся детали, происходит процесс микрорезания.

Управление процессом микрорезания производят за счет использования рациональных сочетаний значений скорости вращения шпиндельного устройства, а также давления воздуха, подводимого к барботажной системе и струйному аппарату.

Наименьшая длина L участка рабочей зоны резервуара, свободного от обрабатываемых деталей выбирается из условия $L \geq b$, где b – наибольший размер обрабатываемой детали. Высота h уровня заполнения резервуара псевдосжиженной рабочей средой выбирается из условия обеспечения равномерности давления на всех уровнях распространения действия воздушной струи барботажной системы и принимается равной $(0,7...0,8)H$, где H – высота резервуара, т.е. $h = (0,7...0,8)H$.

Вновь созданная разновидность гидроабразивной обработки затопленными струями является процессом многофакторным. Его эффективность зависит от таких технологических параметров, как давление воздуха на струйных аппаратах (0,1...0,4 МПа); давление воздуха в барботажной системе (0,15...0,5 МПа); концентрация абразивной суспензии в резервуаре (30...70 %); расстояние между струйным аппаратом и поверхностью обрабатываемой детали (80...120 мм); окружная скорость вращения детали (4...22 м/с), а так же время обработки.

Очевидно, что описанный способ целесообразен для обработки деталей, имеющих сложную форму поверхности с пазами, карманами, нишами, глубокими отверстиями разного

диаметра, а также деталей симметричной формы имеющих центральные сквозные отверстия, которые можно использовать при базировании и закреплении в специальных установочных приспособлениях [10, 11].

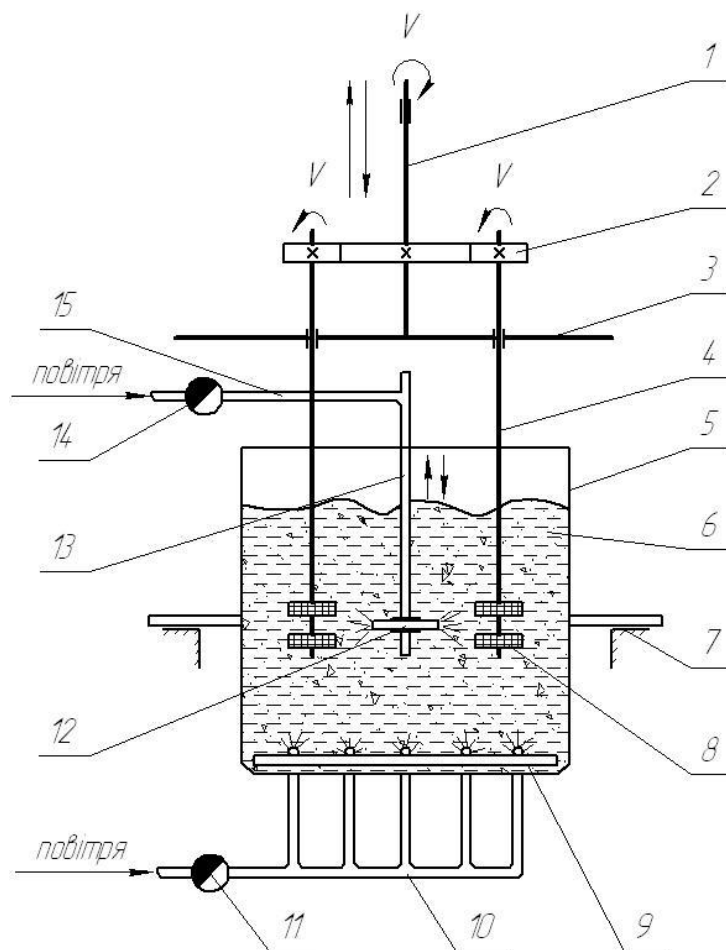


Рис. 2. Принципиальная схема устройства для реализации нового способа гидроабразивной обработки затопленными струями. 1 – шпиндельное устройство; 2 – зубчатая передача; 3 – многоместное приспособление; 4 – установочные пальцы; 5 – резервуар; 6 – рабочая среда; 7 – жесткая опора; 8 – обрабатываемы детали; 9 – барботажная система; 10,15 – гибкие трубопроводы; 11,14 – дроссели; 12 – эжекционное сопло струйного аппарата; 13 – штанга

В качестве опытно-промышленного эксперимента на лабораторной установке мод. УГСШ – 150 (рис. 3) выполняли отделочно-зачистную операцию гидроабразивной обработки затопленными струями, связанную с удалением заусенцев, скруглением острых кромок, а также шлифованием с целью достижения шероховатости поверхности $R_a = 0,63$ мкм на заготовках деталей типа тела вращения [12].

Емкость резервуара установки позволяла одновременно устанавливать 6 заготовок. Характеристика обрабатываемых деталей: материал – сталь 3 ГОСТ 1050-88, наибольший диаметральный размер 57 мм, наибольший линейный размер 20 мм. Исходная шероховатость поверхности $R_a = 2,5$ мкм. Толщина заусенце у основания не превышает 0,18 мм. Обработка проводилась. В качестве рабочей среды использовалось шлифзерно гранатового песка («Гарнет») зернистостью 18...20 мкм. Режимы обработки: скорость вращения шпиндельного устройства 2500 об/мин; давление воздуха в барботажной системе обеспечивало псевдосжиженное состояние рабочей среды и составляло 0,2 МПа. Машинное время обработки не пре-

вышло 25 мин. Дефекты поверхности удалены полностью, достигнута требуемая шероховатость поверхности. Контроль качества обработки появление брака не установил.



Рис. 3. Общий вид лабораторной установки УГСШ – 150 для реализации новой разновидности способа ГОЗС

Оценить эффективность созданной технологии обработки затопленными струями представилось возможным при определении зависимости весового съема металла от времени проведения операции шлифования деталей типа тела вращения, имеющих различный вес и габаритные размеры (рис. 4).

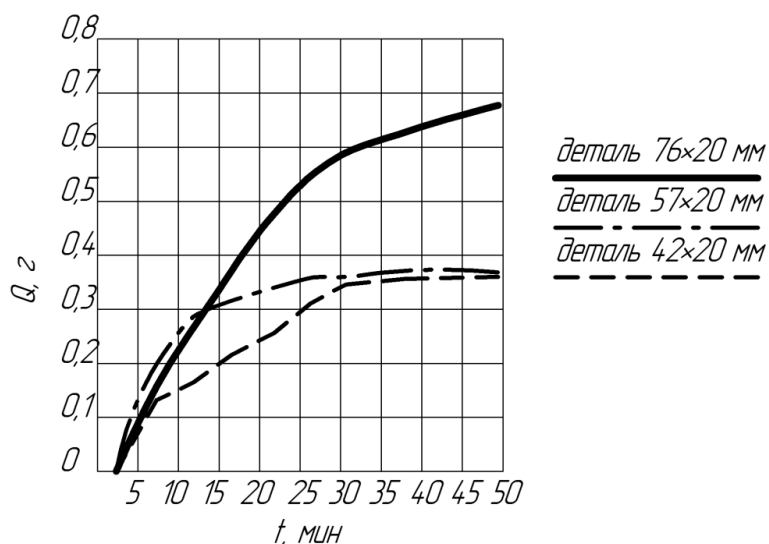


Рис. 4. Зависимость весового съема Q металла от времени t обработки согласно новой разновидности ГОЗС

Анализ кривых $Q = f(t)$ позволил выявить закономерности протекания процесса обработки при факельном воздействии абразивной суспензии на дефектные поверхности дета-

лей и сделать заключения, необходимые для дальнейшего проектирования промышленной технологии. При общности параболического характера графических зависимостей можно выделить временные интервалы в которых съём металла имеет максимальные значения. Эти интервалы следующие: для деталей 76×20 мм, 168,9 г – 25...35 мин; для деталей 57×20 мм, 126,6 г – 25...30 мин; для деталей 42×20 мм, 74,5 г – 25...30 мин. Отсюда становится очевидным, что время для достижения технологического результата, который оценивается весом съёмом металла и шероховатостью поверхности, в незначительной степени зависит от габаритных размеров деталей. Причиной тому является основная физическая закономерность протекания процесса, которая указывает на то, что при одних и тех же параметрах обработки окружная скорость вращения деталей изменяется в зависимости от изменения их диаметра. Эксперименты показали прямо пропорциональный характер изменения окружной скорости. Так, для детали 76×20 мм она составила 10 м/с, для детали 57×20 мм – 7,4 м/с, для детали 42×20 мм – 5,5 м/с.

Исходя из дальнейшего рассмотрения поведения графиков $Q = f(t)$ вне пределов интервала 25...30 мин можно отметить практическую целесообразность прекращения обработки в связи с достижением максимального съёма металла и необходимой шероховатости поверхностного слоя детали.

Таким образом, при промышленном проектировании новых прогрессивных технологий и оборудования ГОЗС широкой номенклатуры деталей, имеющих различные габариты и сложную конфигурацию поверхности, в полной мере могут быть использованы, рассмотренные авторами настоящей статьи, особенности отделочно-зачистной обработки деталей при факельном воздействии абразивной суспензии на дефектные поверхности.

Перечень источников литературы: 1. Цыгановский А.Б. Производительность гидроабразивной обработки затопленными струями / А.Б. Цыгановский // Збірник наукових праць Східноукраїнського державного університету. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми електронної промисловості у перехідний період». Луганськ, СУДУ, 1998. С. 48-51. 2. Сілін Р.І., Гордєєв А.І. Вібраційне обладнання на основі гідропульсатора – Хмельницький: ХНУ 2007. – 386 с. 3. Очистка. Окраска [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://oo2.ru/archive/2006/1>. 4. Сирота А.А. Эффективность отделочно-зачистной обработки ударным гидроабразивным воздействием свободной рабочей среды / А.А. Сирота, В.Я. Мицык // Автоматизация виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2011. № 45. – С. 353 – 358. 5. Пичко А.С. Струйно-абразивная обработка внутренних поверхностей труб. – Технология, организация и механизация кузнечно-прессового и заготовительного производства № 4, - М.: НИИинформтяжмаш, 1970. 6. Проволоцкий А.Е. Струйно-абразивная обработка деталей машин / А.Е. Проволоцкий. – К.: Техника, 1989 – 177 с. 7. J. Kaczmarek, J. Sikora, Cz. Czyzewicz Obrobka strjmieniowo-scierna, Warszawa, Wydawnictwa naukowo-techniczne, 1963. – 156. 8. Билик Ш.М. Абразивно-жидкостная обработка металлов / Ш.М Билик. – М.: Машиностроение, 1960. – 198 с. 9. Андилахай А.А. Абразивная обработка деталей затопленными струями / А.А. Андилахай. – Мариуполь: ПГТУ, 2006. – 190 с. 10. Пат. 70826, МПК В24С 1/00 Спосіб гідроабразивної обробки зануреними струменями / О.А. Сирота, В.Я. Міцик (Україна). – № u201114740; Заявл. 12.12.2011; Опубл. 25.06.2012, Бюл. № 12. 11. Сирота А.А. Механизация отделочно-зачистной обработки деталей общемашиностроительного применения / А.А. Сирота, В.Я. Мицык // Вісник СевНТУ – 2012. № 129/2012. – С. 207 – 211. 12. Определитель деталей общемашиностроительного применения. Руководящий технический материал Общесоюзного классификатора промышленной и сельскохозяйственной продукции / Под ред. Е.А. Панфилов, Ю.И. Блохин, Л.М. Кулик, Б.А. Погодин, Г.М. Шнайрман. – М.: Изд-во стандартов, 1977.

Рецензент: **Ковалёв В.Д.**, д.т.н., проф., ДГМА

ОСОБЕННОСТИ ОТДЕЛОЧНО-ЗАЧИСТНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ФАКЕЛЬНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ АБРАЗИВНОЙ СУСПЕНЗИИ НА ДЕФЕКТНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

Сирота А.А., Мицык В.Я., Зуев А.С.

Приведена классификация основных дефектов поверхностей деталей общемашиностроительного применения. Указаны конструкторско-технологические недостатки гидроабразивного оборудования современного станочного парка. Рассмотрены перспективы технологии отделочно-зачистной обработки с использованием ударного факельного воздействия абразивной суспензии затопленными струями. Отмечена, что научная новизна способа состоит в одновременном использовании энергии гидроабразивного струйного движения и энергии вращательного движения обрабатываемых деталей. Рассмотрена зависимость съема металла от времени обработки согласно новому способу.

ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБЛЮВАЛЬНО-ЗАЧИЩУВАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ФАКЕЛЬНОЇ ДІЇ АБРАЗИВНОЇ СУСПЕНЗІЇ НА ДЕФЕКТНІ ПОВЕРХНІ

Сирота О.А., Міцик В.Я., Зуєв О.С.

Приведена класифікація основних дефектів поверхні деталей загальномашинобудівельного використання. Вказані конструкторсько-технологічні недоліки гідроабразивного обладнання сучасного верстатного парку. Розглянуті перспективи технології оздоблювально-зачищувальної обробки з використанням ударної факельної дії абразивної суспензії зануреними струменями. Вказано, що наукова новизна способу полягає в одночасному використанні енергії гідроабразивного струменевого руху та обертального руху оброблювальних деталей. Розглянута залежність зйому метала від часу обробки згідно нового способу.

FEATURES OF FINISH AND STRIPPING TREATMENT OF COMPONENTS UPON PLAME TO ABRASIVE SLURRY ON DEFECT

Sirota A.A., Mitsyk V.J., Zuiev A.S.

A classification of the major defects in surfaces of the parts is used in general engineering. Engineering and design flaws hydro-abrasive equipment of modern machinery equipment are specified. The prospects of finishing technology-stripping process using a hammer flare effects abrasive slurry submerged jets are examined. Scientific novelty of the method is the simultaneous usage of energy of hydro-abrasive jet motion and energy of rotational motion of processed components. The dependence of the metal removal treatment time according to the new method is examined.

Ключевые слова: гидроабразивная обработка, суспензия, сопло, ударное воздействие, съем металла, время обработки.

Ключові слова: гідроабразивна обробка, суспензія, сопло, ударна дія, зйом металу, час обробки.

Key words: hydro-abrasive machining, suspension, nozzle, impact action, metal removal, processing time.

Дата надходження статті: 29 травня 2013 р.

УДК 621.923

Ткачук І.В., Майборода В.С., Джулій Д.Ю
НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна
masjanja5@ukr.net, maiborodavs@mail.ru

ВПЛИВ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОГО ОБРОБЛЕННЯ НА ТВЕРДІСТЬ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ СВЕРДЕЛ ІЗ ШВИДКОРІЗАЛЬНОЇ СТАЛІ

Метод магнітно-абразивного оброблення (МАО) у великих магнітних щілинах кільцевого типу ефективно застосовувати на фінішних етапах виготовлення різального інструменту (РІ), оскільки він поєднує в собі одночасне полірування, зміцнення і цілеспрямоване формування мікрогеометричних характеристик як робочих поверхонь, так і радіусів округлення різальних кромek інструменту. Останнім часом приділяється все більше уваги дослідженню впливу процесу МАО на показники якості РІ [1].

Продуктивність та якість МАО в значній мірі залежить від параметрів та характеристик магнітно-абразивного порошку (МАП), який під дією магнітних сил формується в магнітно-абразивний інструмент (МАІ) в процесі оброблення [1,2]. При взаємодії МАІ з оброблювальними поверхнями відбувається зміна мікрорельєфу поверхонь в результаті пружно-пластичного і пластичного деформування поверхневого шару або в процесі мікрорізання, зміна напруженого стану поверхневого шару деталей, структурні та фазові перетворення в поверхневому шарі. Зазначені зміни залежать від мікрогеометричних характеристик МАП, що використовуються при МАО.

Як відомо, в процесі експлуатації кінцевий різальний інструмент, а саме свердла, найчастіше зношується по кутику, по задній поверхні та по стрічці, одним із способів продовження часу роботи РІ, може бути збільшення поверхневої твердості. Оскільки, за величиною твердості можна визначити різні характеристики матеріалів: пружний стан, опір пластичному деформуванню і руйнуванню, адгезійну міцність та ін.

Метою роботи є дослідження впливу процесу магнітно-абразивного оброблення у великих магнітних щілинах при їх кільцевому розташуванні на твердість поверхневого шару свердел із швидкорізальної сталі.

Експериментальні дослідження впливу МАО на поверхневу твердість свердел виконували на експериментальному верстаті [3] при швидкості руху вздовж кільцевої ванни 2,5 м/с, частоті обертання навколо власної осі інструменту 250 об/хв. Величина магнітної індукції у вільній робочій щілині складала 0,225 Тл. Оброблення виконували при оптимальних умовах базування свердел на установці - кут нахилу до площини кільцевої робочої зони - 35° [4]. Процес МАО свердел виконували як в один етап з застосуванням різних порошків протягом 60 секунд в режимі «натікання» та 120 секунд в режимі «стікання» з використанням відновлювального елемента встановленого під кутом нахилу до площини кільцевої ванни 40°, так і в два етапи спочатку порошком S330 1200/900 мкм, а потім ПР Р6М5 160/100 мкм, протягом 180 с.

Для формування МАІ використовували різні типи МАП з округлою формою частинок, чавунні кульки S330 з розміром зерен 1200/900 мкм, твердість яких HV=4,5 ГПа та ПР Р6М5 зернистістю 160/100 мкм - HV=6-7 ГПа. Така форма частинок порошків вибрана з метою зниження абразивної здатності МАІ для запобігання можливості спотворення мікрогеометричних характеристик свердел і для забезпечення підвищеного впливу на показники зміцнення поверхневого шару за рахунок мікропластичного деформування приповерхневого шару інструменту. Принципова різниця не лише в геометричних характеристиках порошків, але й у їхній твердості, яка не повинна призводити до істотного диспергування матеріалу з робочих поверхонь РІ, так як вихідна твердість свердел із швидкорізальної сталі становить HV=7,5-8 ГПа.

Для визначення мікротвердості по глибині поверхневого шару було підготовлено косі шліфи. Вимірювання проводили на мікротвердомірі ПМТ-3 шляхом вдавлювання 136-градусної алмазної пірамідки з квадратною основою з навантаженням 0,7 Н [5], на п'яти паралельних напрямках різальній кромці, відстань між якими дорівнює 50 мкм. На рис. 1 показана зона вимірювань.

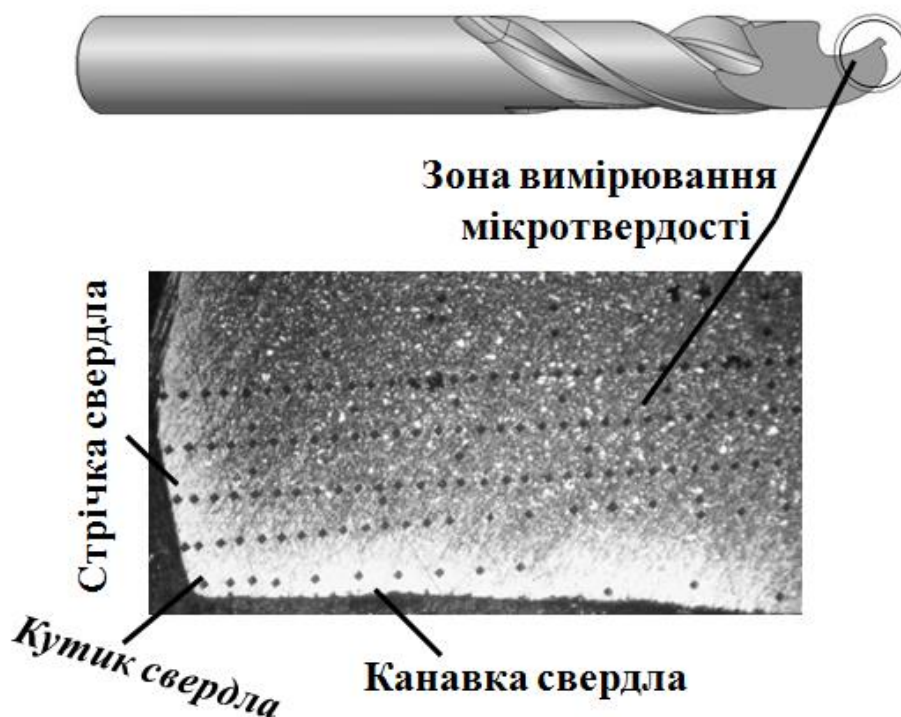


Рис. 1. Зона вимірювання мікротвердості на косому шліфі

При випробуваннях на мікротвердість чисельним значенням результату вимірювання є частка від ділення навантаження на бокову поверхню з припущенням, що кути на відбитках такі ж самі як і в пірамідки (1)

$$P = \frac{1.854 \cdot N}{(d \cdot c)^2} \cdot 1000 \quad (1)$$

де P – поверхнева твердість, ГПа; d - середня довжина діагоналі відбитка, поділки шкали; c - коефіцієнт.

Відносну похибку з деяким наближенням вважають рівною половині ділення шкали барабанчика ПМТ-3, що виражається в одиницях поверхневої твердості $\pm(0,5\text{ГПа})$.

Результати вимірювання та аналізу мікротвердості свердел із швидкорізальної сталі представлені у вигляді топограм на рис.2.

Поверхнєве зміцнення суттєво впливає на структуроутворення, що призводить до відповідного розподілу мікротвердості та зміни експлуатаційних властивостей інструменту. В результаті MAO свердел чавунними кульками S330 з розміром частинок 1200/900 мкм спостерігається зміцнення поверхневого шару починаючи від стрічки свердла вздовж головної різальної кромки на глибині 80-100 мкм, а потім відбувається монотонне зниження твердості, особливо зміцнюється куттик свердла між головною та допоміжною різальними кромками інструменту.

Після оброблення свердел MAI в склад, якого входить порошок ПР Р6М5 з розміром частинок 160/100 мкм (рис. 2б) твердість поверхневого шару лише частково підвищується на

глибині до 50 мкм, на стрічці свердла твердість більша чим на передній поверхні. Наявність більш глибокого зміцненого шару забезпечує і більшу стійкість свердел під час експлуатації.

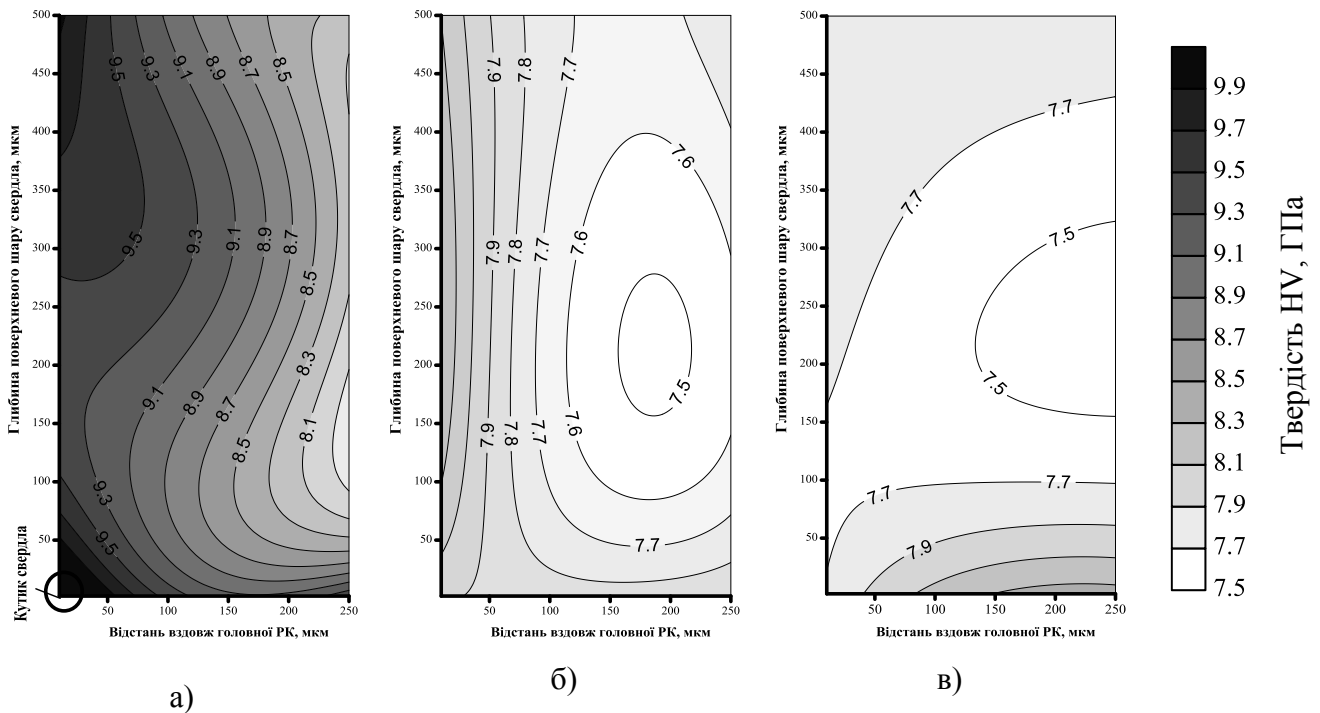


Рис. 2. Твердість поверхнього шару свердел після MAO а) порошком S330 (1200/900 мкм), б) порошком ПР Р6М5 (160/100 мкм), в) 1 етап MAO порошком S330 (1200/900 мкм), 2 етап MAO порошком ПР Р6М5 (160/100 мкм)

На рис. 2в зображено результат вимірювання твердості на свердлі обробленому в два етапи з ідентичними умовами, але різними порошками спочатку S330 1200/900 мкм, а потім ПР Р6М5 160/100 мкм. В результаті чого відбувається зниження твердості поверхнього шару свердел (рис. 3). Таку зміну твердості можна пояснити різними геометричними характеристиками порошку, оскільки в порошку S330 1200/900 мкм більший радіус округлення різальних кромки частинок, отже більша площа контактної взаємодії з оброблювальною поверхнею свердел, ніж в ПР Р6М5 160/100 мкм. Крім того з зростанням величини геометричних розмірів абразивних зерен, а значить і маси зерен має місце збільшення кінетичної енергії взаємодії МАІ і оброблюваної поверхні, тобто відбувається переважне пластичне деформування поверхні в результаті ударного впливу.

Зміна поверхньої твердості у свердел з швидкорізальної сталі після циклу MAO у два етапи різними порошками спочатку S330 1200/900 мкм, а потім ПР Р6М5 160/100 мкм може бути пов'язано з процесами дефектної перебудови матеріалу в процесі оброблення. А саме зміною щільності дислокацій в поверхньому шарі оброблювального матеріалу, внаслідок анігіляції і виходу на поверхню.

Отримані результати являються прямим експериментальним підтвердженням механізму зміцнення поверхнього шару виробів при магнітно-абразивному обробленні, які описані в роботі [6] при обробленні твердого сплаву, швидкорізальної сталі та лопаток газотурбінних двигунів [1].

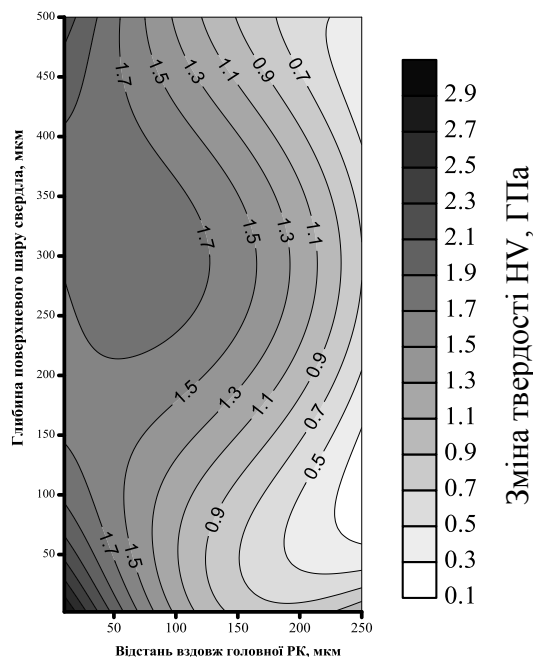


Рис. 3. Зміна твердості свердел після MAO різними порошками спочатку S330 з розміром частинок 1200/900 мкм, а потім ПР Р6М5 з розміром частинок 160/100 мкм

Висновки

На основі проведених досліджень встановлено, що при магнітно-абразивному обробленні різального інструменту можна досягати необхідної поверхневої твердості в залежності від вимог, які висуваються до оброблювальних деталей. Показано, що процес MAO в зазначених умовах відбувається в режимі ударно-фрикційної взаємодії МАІ та оброблюваної поверхні. При реалізації процесів переважного мікропластичного деформування оброблюваних поверхонь суттєвим фактором є розмір і форма частинок магнітно-абразивних порошкових матеріалів.

Перелік джерел літератури: 1. Майборода В. С. Основи створення і використання порошкового магнітно-абразивного інструменту для фінішної обробки фасонних поверхонь: дис. докт. техн. наук: 05.03.01 / Майборода Віктор Станіславович. – К., 2001. – 404 с. 2. Оликер В.Е. Порошки для магнітно-абразивної обробки и износостойких покрытий. / Оликер В.Е. – М.: Металлургия, 1990. – 176 с. 3. Майборода В.С. Магнітно-абразивная обработка многогранных неперетачиваемых твердосплавных пластин в условиях больших рабочих зазоров. 1. Влияние условий базирования режущих пластин в рабочих зонах на эффективность процесса обработки / В.С. Майборода, Д.Ю. Джулий, Б.М. Фесюн и др. // Наукові праці Донецького НТУ. Серія: Машинобудування і машинознавство. Вип.6(154). – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – С.157-165. 4. В. Майборода Магнітно-абразивне оброблення кінцевого різального інструменту в умовах великих магнітних щілин з використанням відновлювальних елементів / В. Майборода, Д. Джулій, І. Ткачук, О. Беляєв // Вісник ТНТУ. – 2012 - №4(68) – С 133-141. 5. Григорович В.К. Твердость и микротвердость металлов. М.: Наука, 1976. – 230 с. 6. Ульяненко Н.В. Підвищення працездатності твердосплавного інструменту шляхом застосування магнітно-абразивного оброблення та нанесення зносостійких покриттів. Дис. канд. техн. наук.: 05.03.01 / Ульяненко Наталія Валентинівна. - Київ, 2006. – 160 с.

Рецензент: **Ковалів В.Д.**, д.т.н., проф., ДГМА

ВПЛИВ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОГО ОБРОБЛЕННЯ НА ТВЕРДІСТЬ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ СВЕРДЕЛ ІЗ ШВИДКОРІЗАЛЬНОЇ СТАЛІ

Ткачук І.В., Майборода В.С., Джулій Д.Ю.

Досліджено вплив процесу магнітно-абразивного оброблення різними типами магнітно-абразивного порошку з округлою формою частинок: чавунні кульки S330 з розміром зерен 1200/900 мкм та ПР Р6М5 з розміром зерен 160/100 мкм, на зміну твердості поверхневого шару свердел з швидкорізальної сталі. Встановлено, що відбувається переважне пластичне деформування поверхні зі зростанням величини геометричних розмірів магнітно-абразивних зерен, яке визначається кінетичною енергією, яка передається від магнітно-абразивного інструменту до оброблюваної поверхні.

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ НА ТВЕРДОСТЬ ПОВЕРХНОСНОГО СЛОЯ СВЕРЛ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

Ткачук И.В., Майборода В.С., Джулий Д.Ю.

Исследовано влияние процесса магнитно-абразивной обработки различными типами магнитно-абразивного порошка со сферической формой частичек: чугунные шарики S330 с размером зерен 1200/900 мкм и ПР Р6М5 с размером зерен 160/100 мкм, на изменение твердости поверхностного слоя сверл из быстрорежущей стали. Определено, что происходит преобладающее пластическое деформирование поверхности с увеличением величины геометрических размеров магнитно-абразивных зерен, которое определяется кинетической энергией, которая передается от магнитно-абразивного инструмента к обрабатываемой поверхности.

EFFECT OF MAGNETIC-ABRASIVE MACHINING ON THE HARDNESS OF SURFACE LAYER OF DRILLS FROM HIGH-SPEED STEEL

Tkachuk I.V., Maiboroda V.S., Dzhulii D.Y.

The influence of the process of magnetic-abrasive machining by different types of magnetic-abrasive powders with the rounded shape of grains: cast-iron balls S330 with a grain size 1200/900 microns and ПР Р6М5 with grain size 160/100 microns, on the change of the hardness of the surface layer of high-speed steel drills was investigated. Was defined that occurs prevalent plastic deformation of surface by increasing values of geometrical sizes of magnetic-abrasive grains, which is determined by the kinetic energy, that is transferred from the magnetic-abrasive tool to the machined surface.

Ключові слова: Магнітно-абразивне оброблення, магнітно-абразивний інструмент, магнітно-абразивний порошок, свердло, мікротвердість, кільцева ванна.

Ключевые слова: Магнитно-абразивная обработка, магнитно-абразивный инструмент, магнитно-абразивный порошок, сверло, микротвердость, кольцевая ванна.

Key words: Magnetic-abrasive machining, magnetic-abrasive tool, magnetic-abrasive powder, drill, microhardness, ring-type working area.

Дата надходження статті: 18 квітня 2013 р.

УДК 620.1: 678.7

Шевченко О.А., Глоба А.В., Полищук Д.Н.
НАУ, НТУ України "КПИ", Киев. Украина

ВЛИЯНИЕ ВИДА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ПРОЧНОСТЬ РЕМОНТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПКМ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕМОНТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Вступление

В конструкциях военных летательных аппаратов (ЛА) композиционные материалы (КМ) практически заменили традиционные металлы, поскольку это дает возможность повысить эффективность конструкций, даже несмотря на значительную себестоимость КМ. У самолетов общего назначения эта замена произошла значительно раньше, а в конструкциях гражданских самолетов очень долго уровень относительного веса несущих поверхностей агрегатов и фюзеляжа, которые изготавливаются из КМ не превышал 15% [1]. Настоящим прорывом стало появление современного самолета с весом КМ 50%, который в сентябре 2011 года начал выполнять регулярные рейсы. В октябре 2012 было сообщено об открытии завода для серийного производства А350, который является ответом Европейского Консорциума на «лайнер - мечту» В.787. Обещано повысить в конструкции А350 вес КМ до 53%,

Конструкции из полимерных композиционных материалов (ПКМ), которые в основном используются в современных ЛА, намного технологичней чем аналогичные металлические и имеют до 40% меньший вес. Но ПКМ имеют существенный недостаток, а именно очень большую стоимость. Технологичность конструкций из композитов позволяет получить значительные размеры элементов, которые достигают уже более 27 метров в длину (крыло А400М из углепластика). Указанные факторы заставляют при возникновении повреждений в процессе эксплуатации производить ремонт элементов из ПКМ, а не проводить их замену. Учитывая это, важной проблемой является совершенствование технологий ремонта повреждений в элементах из ПКМ и разработка инструментальных средств для проведения ремонта при их эксплуатации.

Анализ методов ремонта

В работе авторов [1] была проанализирована эффективность использования ПКМ в конструкциях ЛА. Анализ различных дефектов в армированных пластиках и данные о повреждении элементов авиационных конструкций при их эксплуатации и испытаниях приведены в монографии [2]. Классификация дефектов по степени повреждения и методы ремонта повреждений в неметаллических конструкциях с наполнителем рассмотрены в работе [3]. Анализ эксплуатационных повреждений в элементах конструкций из углепластика был представлен в предыдущей работе авторов [4], который обнаружил наиболее типичными из них являются расслоение, пробоины и трещины. Частота возникновения различных повреждений в элементах из углепластика была следующей: пробоины 49%, трещины 15,8% и расслоения 14,6%. В работе [4] было показано, что типичными эксплуатационными повреждениями элементов конструкций из такого ПКМ как стеклопластик являются: расслоение внешнего слоя стеклоткани и сотового наполнителя; пробоины; трещины; выветривания и размягчения поверхностного слоя. Основными причинами возникновения данных эксплуатационных повреждений были удары, повреждения усталости, абразивный износ и небрежная эксплуатация. Поскольку повреждения типа пробоина составляют около половины от всех, то разработка новых технологических методов их ремонта данных повреждений является важной практической задачей.

Методы ремонта пробоев в конструкциях ЛА из ПКМ путем установки ремонтных вставок представлены в обзоре по технологиям ремонта элементов из ПКМ [5] и в работе одного из авторов [6], для чего был разработан специальный ремонтный комплект на основе универсального пневмопривода с набором сменных технологических насадок. Перед установкой ремонтных вставок высверливается круглое отверстие, полностью перекрывает

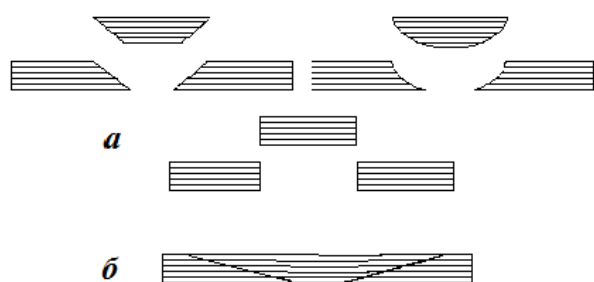


Рис. 1. Виды подготовленных под ремонт поверхностей и вставок (а) и метод ремонта путем вставки приформованной латки(б)

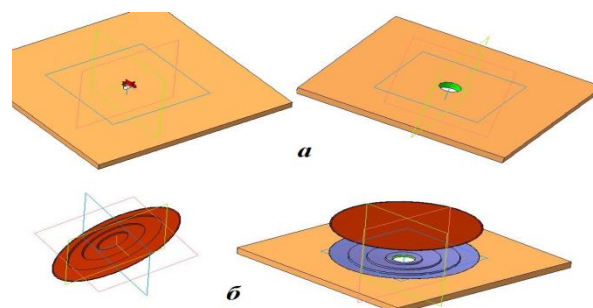


Рис. 2. Объект исследований пластина с пробоем и высверленным отверстием (а) и метод ремонта путем вклеивания ремонтной вставки (б)

пробой и поврежденные края, на краях отверстия выполняется скос или радиус в зависимости от толщины и рекомендованной технологии ремонта, а затем в подготовленное отверстие вставляется и закрепляется ремонтная вставка

(рис. 1, а). Данный метод ремонта сквозных пробоев достаточно быстро могут быть реализован, но не обеспечивает достаточную прочность, поэтому могут быть использованы как временный ремонт. Для долгосрочного ремонта может быть использован метод постановки приформованных латок (рис. 1, б), особенность установки которых заключается в наложении на повреждения и на подготовленные поверхности вокруг повреждения пропитанных слоев ткани, или препрегов. Подготовка поверхности вокруг места для данного вида ремонта заключается в скошенных краях выреза на заданный угол. Угол скоса по данным одних источников составляет 7° и $1-3^\circ$ в работе [7], а по данным других предоставляется в виде отношения ширины участка скоса до толщины (δ) и составляет $16 \div 32 \delta$ и даже 100δ по информации [3]. Недостаток данного метода заключается в сложности исполнения заданных скосов краев выреза.

Основная часть

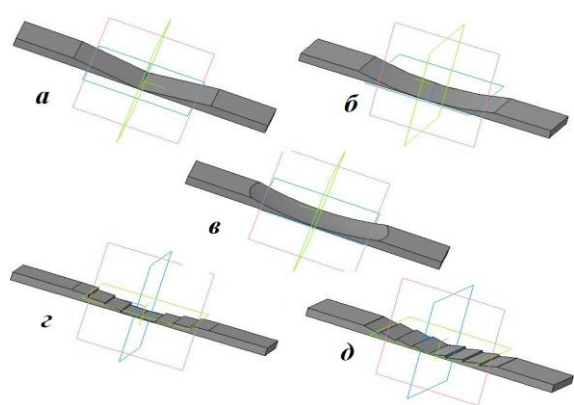


Рис. 3. Конфигурации технологических поверхностей образцов : а – стандартная; б – огнутая; в – сферическая; г – ступенчатая; д – зубчато-ступенчатая

Целью данной работы является исследование влияния формы поверхности полимерных композитов, которая готовится под выполнение ремонта, а также технологии производства ремонта (вставками или формование заплатами) и последующие проектирование конструкции режущего инструмента для обработки ремонтных поверхностей. В качестве объекта исследований была выбрана пластина с пробоем подготовлена к выполнению ремонта путем просверливания отверстия, которая полностью выбирает поврежденный материал (рис. 2, а). Ремонт данной пластины производится путем вклеивания ремонтной вставки в подготовленное соответствующим образом углубление в

пластине (рис. 2, б), или методом заполнения углубления пропитанными слоями армированного пластика (при формировании заплаты).

Образцы для анализа и дальнейших исследований выбирались такими, чтобы смоделировать пластину с пробойной и принятым ремонтным решением в самом опасном месте. Таким местом является пробой, или отверстие и поэтому для экспериментальных исследований выбираем образец в виде полосы шириной 25 мм (примерно 1 дюйм), которая практически полностью прослаблена пробоем или отверстием. При реализации ремонтных соединений возможны следующие конфигурации технологических поверхностей образцов: стандартная; вогнутая; сферическая; ступенчатая и зубчато-ступенчатая (рис. 3).

Исходя из величины площади контакта пластин с различным профилем с ремонтными закладками, оптимальным является последний вариант (рис. 3, д), поскольку площадь контакта на этой пластинке есть максимальной. Так же, при разрыве такая пластина будет иметь жесткость выше других вариантов за счет ступенек, которые образуют замок со ступеньками закладки.

Для проверки эффективности предложенных методов реализации ремонтных соединений были проведены экспериментальные исследования. Сначала был отформован лист из стеклопластика размером 320 x 630 мм² для изготовления образцов. Данный лист был отформован с 12 слоев биаксиально прошивной стеклоткани с удельным весом 450 г/м² с квазиизотропной схемой укладки $[\pm 45/(0/90)_2/\pm 45/0/90/\pm 45]_2$. Полученный пакет методом инфузии в вакуумной мешке был пропитан смесью эпоксидной смолы Spolchemie Erodur 619 и отвердителя Spolchemie Telalit 0600 в пропорции 100:40. При этом, в соответствии с рекомендациями к использованной смоле, был выдержан следующий режим термообработки - 24 часа / 25оС + 15 часов / 60оС. Отдельные этапы изготовления пластины для образцов методом инфузии показаны на (рис. 4).

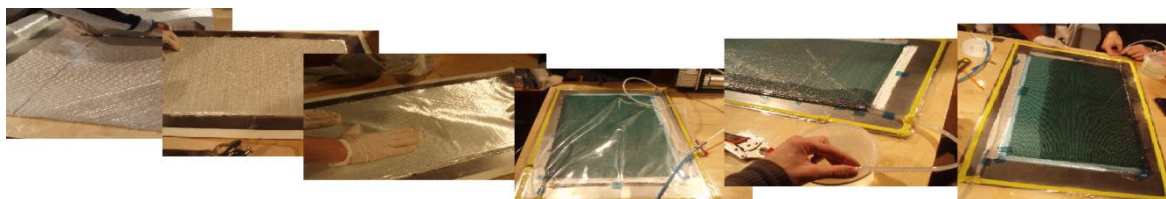


Рис. 4. Этапы изготовления листа для образцов методом инфузии

Из полученного листа стеклопластика размером 320 x 630 мм² были изготовлены образцы шириной 25 мм и 10 мм путем резания в поперечном направлении на специальной

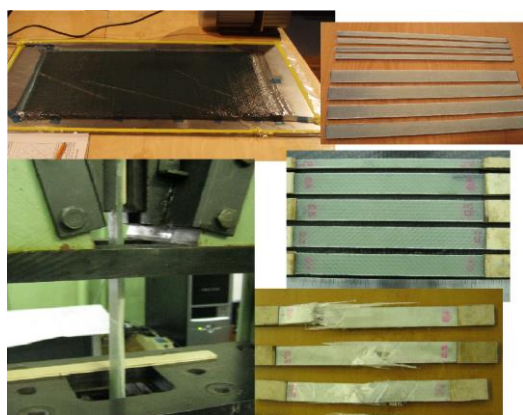


Рис. 5. Подготовленные образцы до и после испытания на разрыв на испытательной установке Р-10

электрической установке кругом с алмазным напылением (рис. 5). Четыре образца были испытаны на растяжение до разрыва на разрывной испытательной машине Р-10 с целью определения предела прочности σ_u (σ_b). В результате испытаний было получено следующее среднее значение предела прочности σ_u (σ_b) = 347,5 МПа (рис. 5). В дальнейших расчетах данное значение будет принято как предельное напряжение.

Дальнейшие исследования влияния формы поверхности на прочность ремонтных соединений проводились на образцах шириной 25 мм, в которых были сделаны отверстия диаметром 12 мм, моделирующие высверливание пробоев, подготовлены для выполнения ремонта (рис. 6, а). Далее были сделаны образцы 2 типов со скошенными

(коническими) и зубчато-ступенчатыми поверхностями, причем последние предназначены для двух вариантов соединения путем при формировании, а также вклеиванием вставки (рис. 6, б).

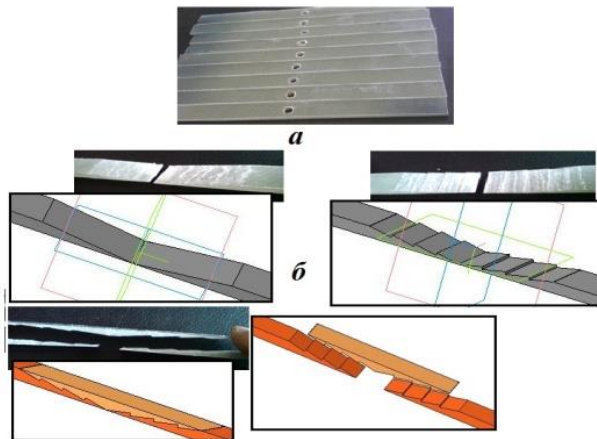


Рис. 6. Подготовленные к разным типам ремонта образцы(а) , ремонтные вставки(б), и упрощенная схема спроектированного режущего инструмента (в)

Образцы обрабатывались ступенчатой и конусообразной фрезами. Для изготовления скошенных и наклонных поверхностей была использована сборная фреза со вставными режущими пластинами и переменным углом их наклона. Режущий элемент в сборе представлен на рисунке (рис. 6, в). Он состоит из корпуса 1, элементов конструкции, с помощью которой осуществляется изменение угла в плане, и, собственно, самого сменного режущего элемента. Конструкция фрезы позволяет регулировать угол наклона режущих элементов (пластин) от 3° до 8° . Режущий элемент данного специального инструмента проектируется в соответствии к требованиям, предъявляемым к ремонтной поверхности.

Во всех образцах была выбрана одинаковая длина наклонной части пластины, равную 66 мм по длине образца, при этом угол наклона поверхности составил $3,5^\circ$, а отношение толщины образца к длине скошенной части составляло 1/16. Данное выбранное соотношение является одним из минимально рекомендованных, которое встречается в литературе. В ступенчатом образце при длине скошенной части 66 мм угол наклона поверхности составлял 6° .

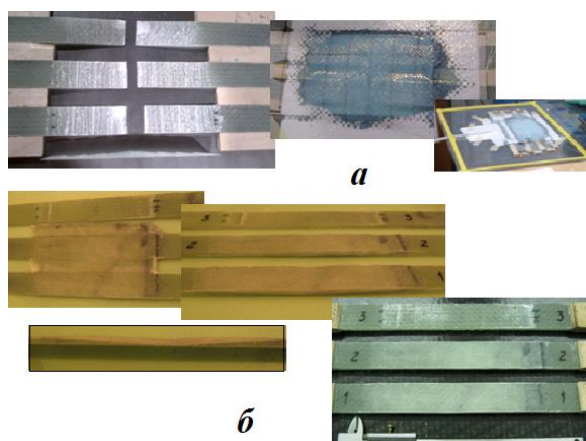


Рис. 7. Этапы изготовления ремонтных соединений (а) и изготовление образцов для опытов(б)

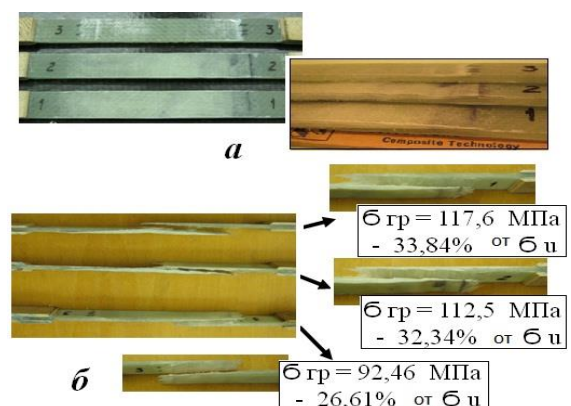


Рис. 8. Образцы до испытания (а) и после их проведения с результатами исследования (б)

Ремонт поврежденных пластин был смоделирован соединением двух половин образцов приформованными слоями такой же биаксиальной прошивной стеклоткани с аналогичной схемой укладки 12-ти предварительно пропитанных слоев, ширина которых изменялась от 50 до 160 мм. Пропитка слоев и вклеивания вставки проводилось смесью эпоксидной смолы Spolchemie Epodur 619 и отвердителя Spolchemie Telalit 0600 в пропорции 100:40 с последующим формированием в вакуумном мешке с выдерживанием заданного температурного режима (рис. 7, а). После окончания процесса формирования и обрезки выступов за ширину пластин отформованного стеклопластикового материала были наклеены накладки для дальнейших испытаний пластин на растяжение (рис., 7 б).

Выводы

Испытание подготовленных образцов на растяжение до разрыва (рис. 8, а) проводилось на испытательной машине Р-10 с целью определения предельного напряжения $\sigma_{гр}$, при котором происходит полное разрушение ремонтного соединения, по следующей формуле:

$$\sigma_{гр} = P_{max} / A_{ср},$$

где P_{max} - разрушающая нагрузка, а $A_{ср}$ - средняя площадь поперечного сечения образца до выполнения ремонтного соединения.

После испытаний были получены следующие значения предельных остаточных напряжений: скошенные поверхности и приформованная заплата $\sigma_{гр} = 117,6$ МПа, что составляет 33,84% от предела прочности σ_u ; зубчато-ступенчатые поверхности и приформованная заплата $\sigma_{гр} = 112,5$ МПа (32,34% от σ_u); зубчато-ступенчатые поверхности и вклеена вставка $\sigma_u = 92,46$ МПа (26,61% от σ_u). Образцы до испытаний (рис. 8, а) и после их проведения полученным результатам представлены на (рис. 8, б).

Перечень источников литературы: 1 Астанин В.В., Хоменко А.В., Шевченко О.А. Композиционные материалы в конструкциях современных летательных аппаратов. - М.-Вестник НАУ, № 3, 2004. - С. 46-52. 2. Серенсен С.В., Зайцев Г.П. Несущая способность тонкостенных конструкций из армированных пластиков с дефектами. - Киев: Наук. Мысль, 1982. - 296 с. 3. Панин В.Ф., Гладков Ю.А. Конструкции с наполнителем: Справочник. - М.: Машиностроение, 1991. - 272с. 4. Астанин В.В., Глоба А.В., Шевченко О.А. Эксплуатационные повреждения элементов конструкций летательных аппаратов из композиционных материалов и методы их ремонта. - М.-Технологические системы, № 4, 2011. - С. 46-52. 5. Карпусенко Б.Ф. Ремонт конструкций из композиционных материалов. Обзор. - В сб.: Техника, экономика, информация. Ср. «Техника и технология», 1985, вып.2. С. 28-33. 6. Глоба А.В. Ремонт изделий из листового композиционного материала. Наука, техника, производство. Экспресс-новости.-К.: № 5-6.1999. С.17-19. 7. Технологические рекомендации ТР 1.4.1831 - 88. Ремонт сотовых клеевых конструкций из полимерных композиционных материалов. М.: НИИТ, 1984.183с.

Рецензент: **Ковалёв В.Д.**, д.т.н., проф., ДГМА

ВЛИЯНИЕ ВИДА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ПРОЧНОСТЬ
РЕМОНТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПКМ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНОГО
РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕМОНТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

О.А. Шевченко, А.В. Глоба, Д.Н. Полищук

На основе анализа методов ремонта типовых эксплуатационных повреждений в элементах конструкций летательных аппаратов из полимерных композиционных материалов предложен новый вид формы технологической поверхности для реализации ремонта пробоин. Спроектировано конструкцию специального режущего инструмента, экспериментально исследовано влияние вида технологической поверхности на прочность ремонтных соединений полимерных композиционных материалов и сделаны соответствующие выводы.

ВПЛИВ ВИДУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОВЕРХОНЬ НА МІЦНІСТЬ РЕМОНТНИХ
З'ЄДНАНЬ ПКМ І ПРОЕКТУВАННЯ СПЕЦІАЛЬНОГО РІЗУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ
ДЛЯ ОБРОБКИ РЕМОНТНИХ ПОВЕРХОНЬ

О.А. Шевченко, О.В. Глоба, Д.М. Поліщук

На основі аналізу методів ремонту типових експлуатаційних пошкоджень в елементах конструкцій літальних апаратів із полімерних композиційних матеріалів запропоновано новий вигляд форми технологічної поверхні для реалізації ремонту пробоїн. Спроектано конструкцію спеціального різального інструменту, експериментально досліджено вплив виду технологічної поверхні на міцність ремонтних з'єднань полімерних композиційних матеріалів і зроблені відповідні висновки.

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL VIEW SURFACE STRENGTH OF REPAIR AND
DESIGN CONNECTION RMB SPECIAL CUTTING TOOL FOR SURFACE TREATMENT OF
REPAIR

O. Shevchenko, O. Globa, D. Polishchuk

Based on an analysis of typical operating methods of repair of damage to aircraft structural elements made of polymer composite materials offered a new form of technology for surface repair of the holes. Custom designed special cutting tool design, experimental investigation of the influence of the type of technological strength at the surface of the repair compound polymer composite materials and appropriate conclusions.

Ключові слова: ПКМ, нова конструкція різального інструменту, ремонт ПКМ, спеціальний інструмент для обробки ПКМ

Ключевые слова: ПКМ, новая конструкция режущего инструмента, ремонт ПКМ, специальный инструмент для обработки ПКМ

Key words: PCM, the new construction of cutting tool, repair PCM, special cutting tools for PCM

Дата надходження статті: 15 квітня 2013 р.

УДК 658.52.011.56

Шелковой А.Н., Тимофеев Ю.В., Клочко А.А.
НТУ «ХПИ» Харьков, ДГМА, Краматорск, Украина

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАННОЙ СИСТЕМЫ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАКАЛЕННЫХ КРУПНОМОДУЛЬНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Введение

Решение задачи по технологическому обеспечению заданной системы параметров поверхностного слоя цилиндрических закаленных крупномодульных зубчатых колес необходимо рассматривать в совокупности с эксплуатационными свойствами цилиндрических крупномодульных зубчатых колес (усталостная прочность, износостойкость, контактная жесткость, надежность и точность работы узла и изделия в целом).

Основная часть

Структурная схема решения задачи по технологическому обеспечению заданной системы параметров поверхностного слоя цилиндрических закаленных крупномодульных зубчатых колес для условий уже существующего производства показана на рис. 1. В блоке 1 заложена информация из конструкторской документации и технических требований на определенное цилиндрическое зубчатое колесо. В блоке 2 заложены условия существующего производства: зубообрабатывающее оборудование, состояние норм тонности и соответствие условиям обеспечения классу точности, наличие и состояние инструмента и технологической оснастки.

В блоке 3 осуществляется выбор возможных методов обработки для всех уже существующих производств (массовое, крупносерийное, серийное, мелкосерийное, единичное) при наличии соответствующих уравнений связи параметров качества поверхности с условиями их обработки [3, 4,]. Наряду с указанными уравнениями выбирается область многофакторного пространства, внутри которой адекватно описывается моделирование технологических процессов оптимального управления параметрами точности, качества и производительности зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес.

Расчет условий обработки для каждого из выбранных методов, которые обеспечивают параметры состояния поверхности и точность размеров, производится в блоке 5. На данном этапе параметры состояния поверхностного слоя цилиндрических закаленных крупномодульных зубчатых колес являются функцией, а искомые условия обработки являются аргументом.

Таким образом стоит задача описания аргумента по заданной функции. В общем случае одни и те же значения аргумента должны удовлетворять нескольким функциям, так как стоит задача технологического обеспечения системы параметров состояния поверхностного слоя. Конечно, если требуется обеспечить только один параметр состояния поверхности (например, R_a), то задача существенно упрощается. Кроме того, эту задачу можно упростить, если использовать уравнения взаимной связи параметров состояния поверхности, основанной на их коррелированности для каждого метода обработки и привести их к одной характеристике или применить комплексный параметр, в частности S_x . Осложнения при решении возникают и в связи с тем, что условия обработки могут изменяться только в заданной области изменения факторов, которая выбирается вместе с соответствующими зависимостями в блоке 4.

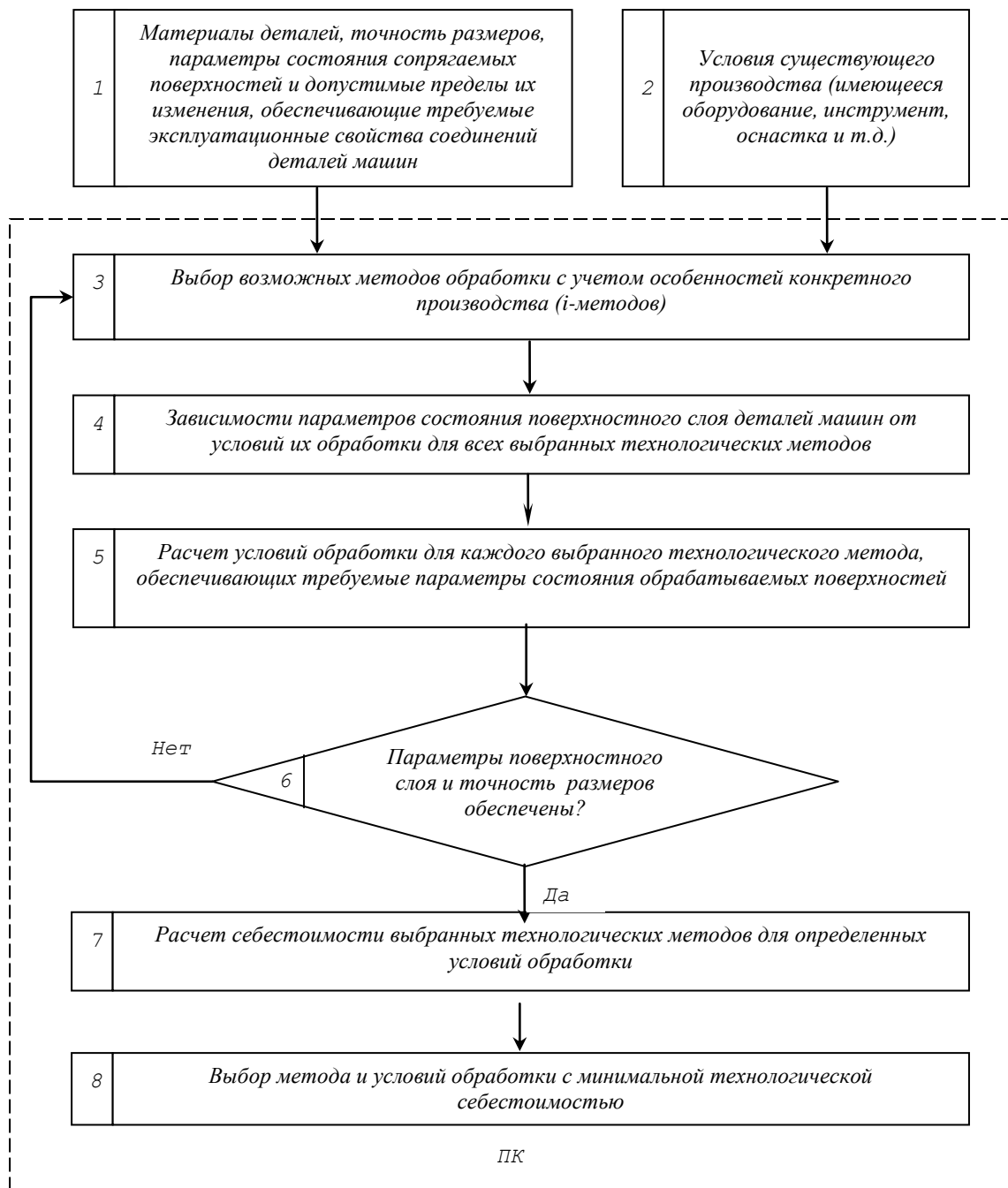


Рис. 1. Структурная схема моделирования технологических процессов оптимального управления параметрами точности, качества и производительности зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес

Это указывает на то, что совместное решение системы уравнений, связывающих требуемые параметры состояния поверхностного слоя и точность размеров с условиями конкретного метода обработки, из-за ряда ограничений представляет определенную трудность, а в некоторых случаях такого решения может и не быть. Поиск совместного решения существенно облегчается тем, что требуемые параметры состояния поверхностей и размеры цилиндрических закаленных крупномодульных зубчатых колес на начальной стадии проектирования зубчатых передач задаются вместе с допустимыми границами их изменения, которые рассчитываются в блоке 6 структурной схемы рис. 1 и таким образом выполняется моделирование технологических процессов оптимального управления параметрами точности, качества и производительности зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес

Экономически целесообразнее применить метод обработки, имеющий наименьшую

технологическую себестоимость, поэтому в блоке 7 рассчитывается технологическая себестоимость методов обработки, которые обеспечивают заданные параметры состояния поверхностного слоя и точность размеров деталей при рассчитанных условиях обработки.

После проведения расчетов для всех возможных методов обработки, выбранных в блоке 3, в блоке 8 осуществляется окончательный выбор метода обработки конкретной поверхности, обеспечивающего получение параметров ее состояния и точность размера в допустимых пределах и имеющего минимальную себестоимость.

Необходимо отметить, что технологические расчеты, начиная с блока 3, являются формализованными и могут осуществляться на ПК после выбора соответствующего программного обеспечения.

Таким образом, задача, выполняемая в блоках 5, 7 и 8, может решаться по одной из программ «Расчет режимов резания и нормирования» с учетом уравнений [2, 3, 4, 5] и используемых в качестве технических ограничений по состоянию поверхностного слоя обрабатываемых цилиндрических закаленных крупномодульных зубчатых колес.

При изготовлении цилиндрических закаленных крупномодульных зубчатых колес одной из основных задач, стоящих перед изготовителями, является обеспечение требуемых эксплуатационных свойств зубчатых колес [1, 2, 3, 5]. Обеспечить требуемое сочетание эксплуатационных свойств цилиндрических зубчатых колес или требуемое сочетание параметров качества их поверхностных слоев возможно путем использования эмпирических зависимостей, полученных методами планирования эксперимента или путем использования теоретических (аналитических) зависимостей, полученных описанием физической картины технологического процесса формообразования.

Наиболее предпочтительными являются теоретические модели, описывающие физическую картину при встречном зубофрезеровании с учетом радиуса округления режущей кромки зубьев фрезы ρ . Для аналитического описания процесса формирования качества поверхностного слоя цилиндрических зубчатых колес установлены основные причины, определяющие те или иные характеристики качества поверхностного слоя и описать их воздействие математически, с учетом основных физико-механических свойств материалов данных деталей. В зоне резания одновременно протекают процессы деформации материала, приводящие к увеличению плотности дислокации и упрочнению, и тепловые процессы, приводящие к снижению плотности дислокаций, а, следовательно, к разупрочнению; кроме этого деформация материала происходит в стесненных условиях.

Все это приводит к изменению механических свойств поверхностного слоя цилиндрических зубчатых колес (σ_τ и $\tau_{сдв}$), зависящих от температуры, скорости, радиуса округления режущей кромки зубьев фрезы ρ и условий деформации. Кроме этого изменение механических свойств материала в зоне формообразования связано со всеми характеристиками технологического процесса резания, Оценить величину σ_τ и $\tau_{сдв}$ можно через силовые показатели процесса резания.

В процессе резания для разрушения материала срезаемого слоя необходимо приложить к фрезе некоторую силу P . Данная сила является интегральной величиной, так как характеризует сразу несколько процессов [1, 2, 3, 5]: пластическую деформацию материала срезаемого слоя (той части, которая формируется в стружку); пластическую деформацию материала, подминаемого слоя режущей кромкой; последовательный сдвиг элементов срезаемого слоя по плоскости сдвига; трение стружки о переднюю поверхность лезвия инструмента; трение задней поверхности инструмента об обработанную поверхность детали.

Оценить теоретически вклад каждого из перечисленных процессов в величину силы резания P очень сложно, так как значения механических характеристик материала заготовки σ_τ и $\tau_{сдв}$, коэффициента трения μ , условного угла сдвига Φ , коэффициента усадки стружки K_a , зависят от конкретных условий обработки [3, 4].

Для их определения была получена математическая модель (1)-(2) процесса резания связывающая все вышеперечисленные параметры процесса резания с силовыми характеристиками процесса резания и описывающая физическую картину исследуемого процесса (рис. 2)

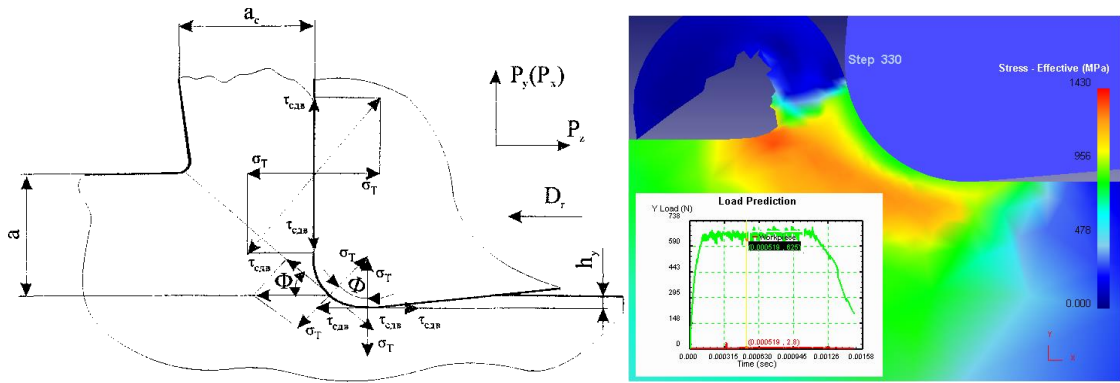


Рис. 2. Схема моделювання формоутворення поверхнового слоя і стружки при швидкому зубофрезеруванні при значеннях радіуса округлення режущої кромки зуб'єв фрези $\rho=0.300\text{мм}$

$$P_z = \left[\left(\frac{t - r_B \cdot (1 - \cos \varphi)}{\sin \varphi} + r_B \cdot \left(\varphi + \arcsin \frac{S_0}{2r_B} \right) \right) \cdot \rho \cdot \Phi \cdot \sigma_T \cdot (\mu \sin \Phi - (\cos \Phi - 1)) \right. \\ \left. + \left(a \cdot \frac{t - r_B \cdot (1 - \cos \varphi)}{\sin \varphi} + 0,2r_B^2 \right) \cdot \frac{\sigma_T}{\sin^2 \Phi} \cdot (\cos \gamma + \mu \sin \gamma) \right] \cos \lambda;$$

$$P_y = \left[\left(\frac{t - r_B \cdot (1 - \cos \varphi)}{\sin \varphi} \cos \varphi + 0,7r_B \cdot \left(\varphi + \arcsin \frac{S_0}{2r_B} \right) \right) \cdot \rho \cdot \Phi \cdot \sigma_T \right. \\ \cdot (\sin \Phi - \mu(\cos \Phi - 1)) + \left(a \cdot \frac{t - r_B \cdot (1 - \cos \varphi)}{\sin \varphi} \cos \varphi + 0,2r_B^2 \right) \cdot \frac{\sigma_T}{\sin^2 \Phi} \\ \left. \cdot (\mu \cos \gamma - \sin \gamma) \right] \cdot (1 + \sin \lambda);$$

$$P_x = \left[\left(\frac{t - r_B \cdot (1 - \cos \varphi)}{\sin \varphi} \sin \varphi + 0,7r_B \cdot \left(\varphi + \arcsin \frac{S_0}{2r_B} \right) \right) \cdot \rho \cdot \Phi \cdot \sigma_T \right. \\ \cdot (\sin \Phi - \mu(\cos \Phi - 1)) + \left(a \cdot \frac{t - r_B \cdot (1 - \cos \varphi)}{\sin \varphi} \sin \varphi + 0,2r_B^2 \right) \cdot \frac{\sigma_T}{\sin^2 \Phi} \\ \left. \cdot (\mu \cos \gamma - \sin \gamma) \right] \cdot (1 + \sin \lambda);$$

$$K_a = \frac{\sin(90 + \gamma - \Phi)}{\sin \Phi}$$

$$\tau_{сдв} = \frac{\sigma_T}{\tan \Phi} \quad (1)$$

где t - глубина резания; $r_B=0,35\text{м}$ - радиусы вершины зуба фрезы; φ - исходный угол зацепления, 20° ; S_0 - подача на оборот; ρ - радиус округления режущей кромки; μ - коэффициент трения; σ_T - предел текучести материала заготовки; $\tau_{сдв}$ - напряжение сдвига материала заготовки; λ - угол наклона главной режущей кромки; P_z - тангенциальная составляющая силы резания; P_y - радиальная составляющая силы резания; P_x - осевая составляющая силы резания; a - переменная толщина среза; $\gamma=0^\circ$ - передний угол; Φ - угол сдвига; K_a - коэффициент утолщения стружки.

Для проверки полученной модели были проведены экспериментальные исследования по измерению силовых характеристик процесса встречного зубофрезерования и коэффициента усадки стружки. Исследования силовых характеристик процесса скоростного

зубофрезерования производились с использованием программного обеспечения на языке программирования MS Visual Basic, MS Visual C++, Borland Delphi, Borland C++ Builder с использованием библиотечных элементов и готовых программ ZETLab.

Программа предназначена для расчета оптимальных режимов зубообработки цилиндрических закаленных крупномодульных зубчатых колес, позволяющих получить параметры состояния поверхностных слоев, обеспечивающие требуемые значения эксплуатационных свойств: износостойкость; усталостная прочность, долговечность.

При программировании обеспечивается функциональность вычисления по заданному минимальному значению эксплуатационного свойства C_0 и допустимому уровню терпимости $t > 1$ находится ряд сочетаний режимов обработки поверхностей, которые обеспечивают значение эксплуатационного свойства C в диапазоне от C_0 до $t \cdot C_0$, причем отбираются наиболее экономичные режима.

Измерительный комплекс позволяет производить текущие измерения составляющих силы резания в режиме реального времени, записывать и хранить полученную информацию в виде графического или текстового файла.

Исследования процесса фрезерования проводились при встречном зубофрезеровании зубчатых колес из стали 40X специальной немодульной дисковой фрезой с платинками из твердого сплава BK10-OM ГОСТ 3882-74. Экспериментальные исследования σ_τ и $\tau_{сдв}$ показывают, что уменьшение σ_τ по сравнению с σ_{τ_0} -исходного материала можно объяснить преимущественным влиянием теплового фактора, приводящего к разупрочнению. Увеличение $\tau_{сдв}$ материала срезаемого слоя по сравнению с $\tau_{сдв_0}$ -исходного материала можно объяснить тем, что наличие опережающей зоны деформации приводит к интенсивному росту плотности дислокаций вблизи зоны сдвига и к упрочнению материала (рис. 3).

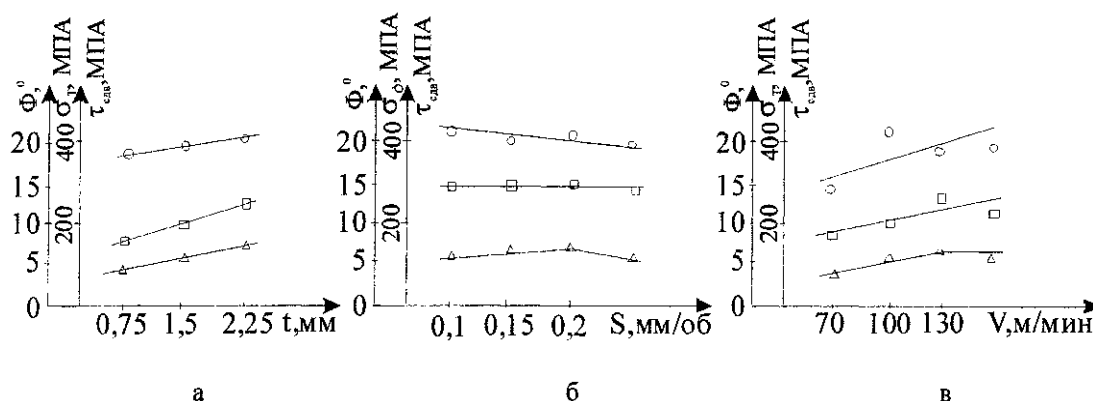


Рис. 3. Влияние технологических параметров обработки на предел текучести материала заготовки - σ_τ , напряжение сдвига материала заготовки - $\tau_{сдв}$, угол сдвига - Φ : а - влияние глубины на сторону зуба; б - влияние подачи фрезы; в - влияние скорости резания при радиусе округления режущей кромки зубьев фрезы $\rho = 0,180$

Фактические значения σ_τ , $\tau_{сдв}$ и ρ определяют параметры образования стружки и формирование поверхностного слоя обрабатываемого зубчатого колеса. Во всех случаях образование стружки происходит вследствие сдвига материала по плоскости сдвига под углом Φ относительно направления главного движения, сдвиг материала в стружку начинается в момент, когда усилия, действующие на некоторый объем металла со стороны инструмента, сравниваются с усилиями необходимыми для его сдвига.

В процессе встречного зубофрезерования зуб фрезы в начальный момент образования стружки касается поверхности заготовки (рис.4, а), затем происходит пластическая деформация (рис. 4, б), вследствие чего увеличивается длина контакта материала срезаемого слоя нормально к режущей кромки, по сравнению с толщиной среза (рис. 4, в). Увеличение будет происходить до тех пор, пока усилия, действующие со стороны инструмента на объем материала, не сравняются с усилиями, необходимыми для сдвига этого объема в стружку. Затем произойдет сдвиг элемента стружки и данный процесс будет повторяться циклически (рис.4, г) на угле контакта зуба фрезы при фиксированных значениях радиуса округления режущей кромки зубьев фрезы ρ .

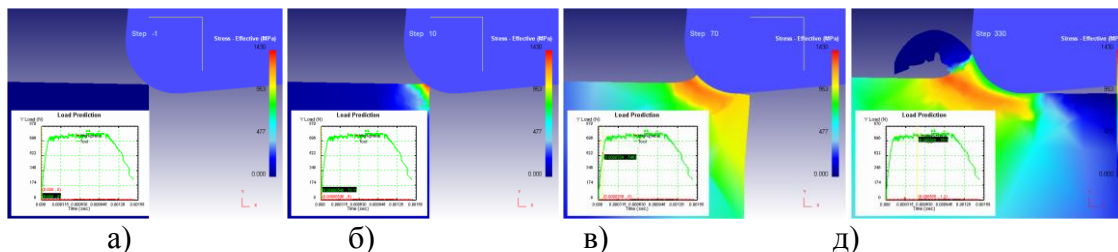


Рис. 4. Этапы деформации материала зоны стружкообразования при фиксированных значениях радиуса округления режущей кромки зубьев фрезы ρ

Условие сдвига исходя из схемы (рис.5)

$$\tau_{\text{сдв}} \cdot \cos \Phi \cdot \frac{a}{\sin \Phi} \cdot b = \sigma_T \cdot b \cdot a \cdot k_1 \quad (2)$$

где k_1 -коэффициент, показывающий во сколько раз увеличивается контакт по передней поверхности относительно переменной толщины среза (a_i) до наступления события - сдвиг материала в стружку.

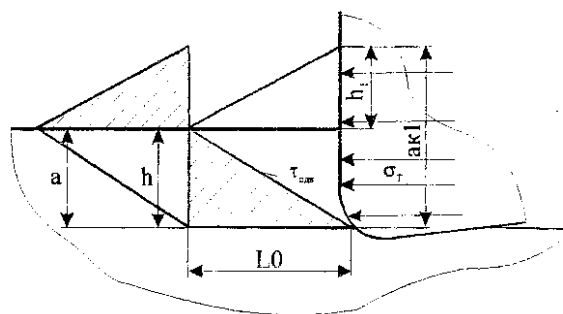


Рис. 5. Схема условия сдвига поверхностного слоя зубчатого колеса σ_T и $\tau_{\text{сдв}}$ с учетом радиуса округления режущей кромки зубьев фрезы ρ

Выводы

Вследствие силового и теплового воздействия фрезы на зубчатое колесо, а также изменяющихся условий деформирования в зоне контакта существенно изменяются механические свойства поверхностного слоя зубчатого колеса σ_T и $\tau_{\text{сдв}}$ с учетом радиуса округления режущей кромки зубьев фрезы ρ .

Соотношение σ_T , $\tau_{\text{сдв}}$ и ρ определяет параметры качества поверхностного слоя, значение угла сдвига Φ , коэффициент усадки стружки, толщину подминаемого слоя.

Аналитические модели формирования качества поверхностного слоя цилиндрических закаленных крупномодульных зубчатых колес необходимо разрабатывать с учетом фактических значений механических характеристик материала детали и условий обработки.

Перечень источников литературы: 1. Повышение качества изготовления зубьев при обработке многозаходными инструментами / А. Н. Витренко, В. А. Витренко, Б. С. Зуй, И. А. Кириченко // Современные проблемы машиностроения и технический прогресс : труды Междунар. конф. – Донецк, 1996. – С. 41–42. 2. Гинзбург, Е. Г. Производство зубчатых колес / Е. Г. Гинзбург, Н. Т. Халевский. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1978. – 136 с. 3. Тимофеев Ю.В. Научные предпосылки определения условий формирования величин упроченного слоя при формообразовании крупномодульных зубчатых колес / Ю. В. Тимофеев, А. Н. Шелковой, А. А. Ключко // Вісник Національного технічного університету КПІ: зб. наук. пр. Тематичний випуск: Проблеми механічного приводу. – Київ : НТУ КПІ, 2012. – № 64. – С. 288–293. 4. Суслов, А. Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей / А. Г. Суслов. – М. : Машиностроение, 1987. – 208 с. 5. Технология производства и методы обеспечения качества зубчатых колес и передач / Под общ. ред. В. Е. Старжинского, М. М. Кане. – С-Пб. : Профессия, 2007. – 832 с.

Рецензент: **Ковалёв В.Д.**, д.т.н., проф., ДГМА

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАННОЙ СИСТЕМЫ ПАРАМЕТРОВ
ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАКАЛЕННЫХ
КРУПНОМОДУЛЬНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Шелковой А.Н., Тимофеев Ю.В., Клочко А.А.

Рассмотрено решение задачи по технологическому обеспечению заданной системы параметров поверхностного слоя цилиндрических закаленных крупномодульных зубчатых колес в совокупности с эксплуатационными свойствами цилиндрических крупномодульных зубчатых колес (усталостная прочность, износостойкость, контактная жесткость, надежность и точность работы узла и изделия в целом). Вследствие силового и теплового воздействия фрезы на зубчатое колесо, а также изменяющихся условий деформирования в зоне контакта существенно изменяются механические свойства поверхностного слоя зубчатого колеса с учетом радиуса округления режущей кромки зубьев фрезы

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАДАНОЇ СИСТЕМИ ПАРАМЕТРІВ
ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ЦИЛІНДРОВИХ ЗАГАРТОВАНИХ КРУПНОМОДУЛЬНИХ
ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

Шовковий О.М., Тимофєєв Ю.В., Клочко А.А.

Розглянуто рішення задачі по технологічному забезпеченню заданої системи параметрів поверхневого шару циліндрових загартованих крупномодульних зубчастих коліс в сукупності з експлуатаційними властивостями циліндрових крупномодульних зубчастих коліс (втомна міцність, зносостійкість, контактна жорсткість, надійність і точність роботи вузла і виробу в цілому). Унаслідок силової і теплової дії фрези на зубчасте колесо, а також умов деформації, що змінюються, в зоні контакту істотно змінюються механічні властивості поверхневого шару зубчастого колеса з врахуванням радіусу округлення ріжучої кромки зубів фрези

TECHNOLOGICAL PROVIDING OF THE SET SYSTEM OF PARAMETERS OF
SUPERFICIAL LAYER OF CYLINDRICAL HARD-TEMPERED LARGE MODULE GEAR-
WHEELS

Shtelkoviy A., Timofeev, Y., Klochko A.

The decision of task is considered on the technological providing of the set system of parameters of superficial layer of cylindrical hard-tempered large module gear-wheels in an aggregate with operating properties of cylindrical large module gear-wheels (tireless durability, wearproofness, contact inflexibility, reliability and exactness of work of knot and good on the whole). Because of the power and thermal affecting of milling cutter gear-wheel, and also changing terms of deformation in the area of contact substantially mechanical properties of superficial layer of gear-wheel change taking into account the radius of rounding off of cutting edge of points of milling cutter

Ключевые слова: Технологическое обеспечение, поверхностный слой, формообразование, крупномодульные зубчатые колеса, радиуса округления

Ключові слова: Технологічне забезпечення, поверхневий шар, формоутворення, крупномодульні зубчасті колеса, радіусу округлення

Keywords: Technological providing, superficial layer, formoobrazovanie, large module gear-wheels, radius of rounding off

Дата надходження статті: 12 квітня 2013 р.

УДК 621.929

Іскович-Лотоцький Р.Д., Веселовська Н.Р.

Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, Україна

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ В ТЕХНОЛОГІЇ РОЗКОЧУВАННЯ КІЛЕЦЬ ШАРИКОПІДШИПНИКІВ**Вступ**

Впровадження прогресивних маловідходних та безвідходних технологій обробки металів дозволяє вирішити проблеми сучасного машинобудування, що пов'язані із зменшенням витрат матеріалів та енергії. До цих технологій відносяться процеси розкочування, або процеси локалізованої деформації, які дозволяють забезпечити не тільки безвідходне виробництво, наприклад, кілець підшипників при мінімальних енергетичних витратах, але й підвищити точність та значно зменшити їх собівартість [1]. Ефективність цих процесів суттєво залежить від можливостей приводів розкочувального обладнання, що використовується для їх реалізації.

Основна частина

Роботи по створенню, дослідженню та впровадженню кільцеразкочувального обладнання на терені колишнього СРСР почали проводитися з 70-х років минулого сторіччя [2-6]. За кордоном в цьому напрямку спеціалізувалися фірми Levy та Form-Floo в Англії, Wagner та Banning у ФРН (Західна Німеччина). У 80-х роках було створене промислове обладнання для холодного розкочування кілець підшипників у НДР (Східна Німеччина) та ПНР (Польща). Машини німецького (мод. UPW63) та польського виробництва (мод. WZW-1) отримали позитивні оцінки фахівців. В цей же час були розроблені та створені розкочувальні машини в Японії (фірма Кисей) та СРСР (ДПЗ - 4), але підхід до реалізації на них технології холодного розкочування відрізнявся. Для машини японського виробництва в якості вихідного матеріалу використовувалася гарячекатана труба, а для машини виробництва СРСР холоднокатана. Кожна з цих технологій мала певні переваги та недоліки, що пов'язані з однорідністю структури оброблюваного матеріалу, хоча приводи самих машин суттєво не відрізнялися. Розкочування кілець забезпечувалося групою радіально розташованих по відношенню до заготовки роликів, або спеціальною матрицею, що обмежували збільшення зовнішнього діаметру заготовки. В основу кінематики машин закладалася схема радіального розкочування кільцевих заготовок (рис.1), а приводи здебільшого використовувалися механічні та гідравлічні.

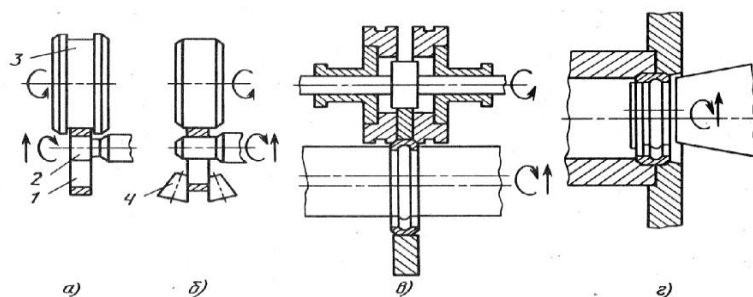


Рис. 1. Схеми радіального відкритого розкочування кілець

Під час відкритого розкочування кільцева заготовка 1 деформується між двома валками (рис.1,а) - натискним валом 3 та валком 2. Під час деформування розміри заготовки мають можливість збільшуватися в діаметрі та у ширину за рахунок товщини кільця. З метою запобігання збільшенню розміра заготовки у ширину, на валу 3 передбачені обмежувальні реборди, а в пристрої, схема якого зображена на рис.1,б, - калібрувальні ролики 4. Також обмеження досягається роликом або матрицею (рис.1,в,г). Для закритого

розкочування використовується торцева схема, коли основна силова дія на заготовку здійснюється дефор-муючими валками не в радіальному напрямку, а в осьовому.

В якості вихідних заготовок для розкочування можуть бути використані кільцеві заготовки, що отримані в результаті попередніх операцій різання або обробки тиском. Це заготовки відрізані від труб, виточені з труб та прутків; штамповки, що отримані об'ємною або листовою штамповкою, згинанням полоси з наступним зварюванням, литвом та ін. Вихідні заготовки мають певні обмеження по мінімальному діаметру, але останній значно менший за діаметр готової деталі. Розміри вихідної заготовки визначаються в залежності від ступеня обтиску λ , який вимірюється відношенням товщини стінок до i після розкочування.

$$\lambda = s_0/s_k = (D_0 - d_0)/(D_k - d_k), \quad (1)$$

де $s_0, D_0, d_0, s_k, D_k, d_k$ - відповідно товщина, зовнішній і внутрішній діаметри заготовки (о) та кільця (к).

За даними підшипникових заводів нормальний ступінь обтиску складає 1,2...1,5 (іноді ступінь обтиску може сягати 2,4), а внутрішній діаметр заготовки не може бути меншим за 40 мм [9]. В основу розрахунків покладені відомі закони пластичної деформації, зокрема закон постійності об'єму. Рекомендується зовнішній діаметр заготовки визначати за умови рівності об'ємів заготовки та деталі з врахуванням припусків на холодну чи гарячу обробку [8]. В загальному випадку зусилля, що необхідне для розкочування, визначається за формулою

$$P = f \cdot q, \quad (2)$$

де f - площа контакту з нажимним валом, м²; q - середній тиск, МПа ($q = K_\mu K_g K_n \sigma_b$, де $K_\mu = 1,15$ - коефіцієнт, що враховує вплив тертя; $K_g = 1,2$ - коефіцієнт, що враховує вплив швидкості деформування; $K_n = 1,1$ - коефіцієнт, що враховує зміцнення металу; σ_b - напруга опору деформування).

Для гарячого розкочування більш ефективною є закрыта схема розкочування кільцевих заготовок [7,8]. Під час закритого радіального розкочування величина стискаючої тангенційної напруги в осередку деформації значно більша, бо матриця обмежує збільшення зовнішнього діаметру заготовок. Це призводить до зростання зусиль деформування. Холодне розкочування кілець підшипників забезпечує більш високу їх точність, ніж гаряче, через відсутність коливань температури. Завдяки цьому є можливість забезпечити таку точність кільця по зовнішньому діаметру, що дозволяє виключити наступну токарну обробку всього зовнішнього профіля і для отримання готового кільця буде достатньо однієї токарної операції по розкочуванню внутрішнього профіля.

Досвід створення маловідходної технології [2, 5-6, 11-12, 14-15] показав, що під час токарної обробки підшипникових кілець з трубних заготовок середній коефіцієнт використання металу (КВМ) складає лише 0,47 і тільки при виготовленні деяких типів кілець досягає 0,57. З метою зменшення витрат металу було запропоновано новий технологічний процес, який раціонально поєднував холодне відкрите розкочування кільцевих заготовок з наступною механічною обробкою різанням. В якості вихідних заготовок використовувалися гарячекатані труби, які розрізалися по довжині у відповідності до ширини кілець, що виготовляються. Технологічним процесом передбачалася можливість використовувати штучні заготовки, які отримувалися вільним куванням або гарячею прокаткою. Після холодного відкритого розкочування чорнові кільця мали достатньо високу точність по зовнішньому діаметру та стабільні розміри. За результатами статистичної обробки виготовленої партії зовнішніх кілець 212-го підшипника (200 штук) [2] отримані такі результати (коефіцієнт надійності $\alpha = 0,99$): зовнішній діаметр кільця $110,56 \pm 0,0498$ мм; овальність зовнішнього діаметра 0,09 мм; конусність зовнішнього діаметра 0,07 мм. Також відмічено суттєве зменшення різностінності розкочених чорнових заготовок у порівнянні з вихідними у 8-10 разів, що дає можливість уникнути додаткової токарної обробки. Наприклад, для гарячекатаних труб по ГОСТ 801-79, що мають різностінність в межах 20%,

чорнові розкочені заготовки з цих же труб мають різностінність лише 2%. Тільки за рахунок цього досягається економія металу близько 20,3%.

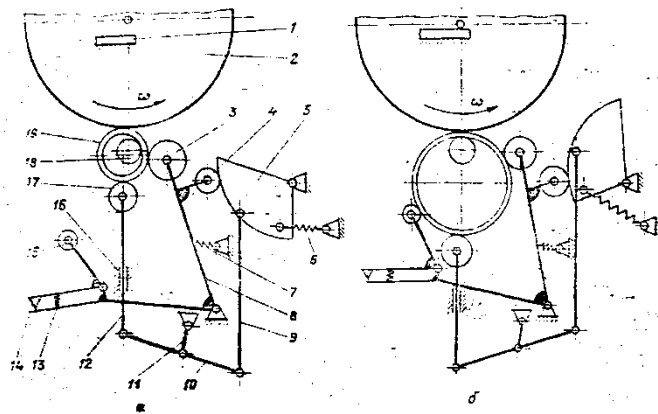


Рис. 2. Схема розкочування кілець шарикопідшипників на автоматі мод. 4К-0-46:
а – початок розкочування; б – кінець розкочування

Холодне розкочування трубних заготовок проводилося на обладнанні, принцип дії якого запозичено у різерозкочувальних верстатів з механічним та гідравлічним приводом. Кінематична схема машини для розкочування кілець, в якій одночасно був використаний механічний та гідравлічний привод була реалізована у відомих машинах моделей МГР-150, МГР-250, МГР-300, МГР-500, РМ-300М, РМ-500 [2,5,9]. На цих машинах, що випускалися серійно, розкочували кільця з зовнішнім діаметром 80-600 мм та шириною 20-145 мм. Продуктивність їх становила 600-160 кілець за годину в залежності від розкочуваного діаметру. Для підприємств по виробництву підшипників на ДПЗ-4 на базі машин моделей МГР-250 та МР300М було створено автомат мод.4К-0-46. Кільцева заготовка 19 (рис.2) розкочується між внутрішнім холостим валком 18 та зовнішнім приводним валком 2 [2].

В останнє десятиріччя в провідних країнах світу використанню та впровадженню нових маловідходних та безвідходних технологій з виготовлення кілець підшипників приділяється особлива увага. В зв'язку з цим, особливо актуальним є питання підвищення ефективності цих технологій за рахунок використання вібраційного навантаження. Перші згадки про ефективність вібраційного навантаження під час обробки тиском з'явилися ще в 30-х роках, а в 40-50-х були опубліковані у періодичних виданнях результати перших наукових праць І.А. Норіцина, Ю.П. Согрішина, Ю.М. Карнова та інш., що присвячувалися дослідженню процесів деформування металу в умовах вібраційного навантаження осередку деформації (за термінологією авторів також "пульсуючого", "циклічного"). У висновках автори відмічали можливість зменшення робочих зусиль (у 1,5-2 рази) на виконавчому органі машини, збільшення коефіцієнту витяжки. Це пояснювалося зниженням контактного тертя, покращанням умов протікання процесів пластичного деформування за рахунок більш рівномірної напруги по об'єму пресформи.

Найбільш інтенсивно дослідницькі роботи в галузі вібраційної обробки металів тиском проводилися у 60 – 70-х роках [7,10]. Практично були охоплені усі процеси обробки тиском: кування, штампування, прокатування, волочіння, пресування, обкатка. Першу спробу проаналізувати та узагальнити отримані результати зробили В.М. Клименко та В.М. Шаповал [10]. Вони розглянули процес пластичного деформування з загальновідомої точки зору взаємодії формуючого інструменту та металу, а також затраченої механічної роботи. Безпосередньо на процес пластичного деформування витрачається енергії значно менше ніж на виконання роботи по подоланню опору силам тертя на поверхні контакту інструмента з оброблюваним металом, поглинається та розсіюється металом, інструментом і навколишнім середовищем. Пластичне деформування в таких процесах проходить за умов довготривалого напруженого зв'язку між інструментом та оброблюваним металом, що визначає значні втрати робочого зусилля, потужності та ККД. Суттєво впливає на процес

пластичного деформування (рух дислокацій, зміцнення та знеміцнення металу, що деформується) швидкість його протікання. Якщо врахувати вищезгадані обставини, то є можливість пояснити доцільність застосування в осередку деформації вібраційного (пульсуючого, циклічного) навантаження. Таким чином, зниження напруг деформування автори пояснюють зміною умов тертя на поверхні контакту інструмента з оброблюваним металом (поверхневий фактор), зниженням опору метала деформації (об'ємний фактор), а також перерозподіленням в часі навантаження осередку деформації (часовий фактор). Перших два фактори впливають на миттєве значення робочих напруг, а дія третього полягає в тому, що середні значення сил деформування виявляються нижче тих, які при решті рівних умов мали би місце під час безперервного деформування статичною силою.

Об'ємний фактор вібраційної обробки металів тиском проявляється у зміні пластичних властивостей металу. Розтяг металу повторними циклами дозволяє зменшити напругу текучості, нарощувати видовження зусиллям “першого навантаження” [10]. Автори пояснюють це тим, що зерна структури металевого зразка під дією напруги розтягу оримують різну ступінь деформації. В результаті виникають додаткові напруги, які врівноважуються в межах декількох зерен та викликають в останніх об'ємний напружений стан. Напружений стан окремих зерен може різко відрізнитися величиною головних напруг та їх знаком. Під час кожного наступного навантаження циклу головні напруги додаються до залишкових та утворюють напругу текучості нижчу, ніж під час попереднього навантаження. Підвищення пластичності під час циклічного навантаження також пояснюється характером зміцнення металу за рахунок утворення широких та більш коротких полос ковзання. Внаслідок періодичного руху дислокацій частина з них гальмується та своїм силовим полем впливає на джерела дислокацій, які розташовані в сусідніх площинах ковзання. Повторне навантаження викликає у цих площинах ковзання під дією напруг нижчих, ніж статична межа пружності. Об'ємний фактор вібраційної обробки здебільшого є характерним для процесів, в яких багаторазовому впливу циклічних деформацій підпадає один і той самий об'єм металу. Дослідження поверхневого та об'ємного факторів вібраційної обробки тиском проводилося на частотах звукового діапазону здебільшого в межах 10-16000 1/с. Створення таких коливань не вимагає застосування дорогого обладнання. На думку багатьох авторів найбільш ефективними є низькочастотні вібрації в межах 10-100 1/с [7, 10, 11-12].

Часовий фактор вібраційної обробки тиском характеризує спосіб формування робочого зусилля в осередку деформації на протязі одного періоду - циклу навантаження. Суть цього навантаження полягає в тому, що за один період T в осередку деформування прикладається робоче зусилля P на протязі часу T_p , а потім на протязі часу $T_o = T - T_p$ настає розвантаження (до кінця періоду робоче зусилля $P=0$). Розвантаження може бути частковим, але його значення завжди менше робочого зусилля. Преривчастий характер навантаження дозволяє отримати суттєвий вигравш енергетичних витратах. Особливо цікавим є можливість забезпечити створення такого навантаження періодичними імпульсами зовнішніх сил або накладанням змінної періодичної складової на існуюче статичне навантаження. Здебільшого змінна складова навантаження забезпечується за рахунок коливання інструменту, яким створюються змінні напруги в металі. Підсумовування змінної напруги σ_{var} та постійної напруги σ_{const} , яка забезпечується статичним навантаженням, призводить до того, що в окремі моменти сумарна напруга є достатньою для протікання пластичної деформації, а її постійна складова не може забезпечити пластичну течію метала (рис.3). Таким чином, частину роботи по деформуванню метала виконує головний привод, а решту – вібраційний.

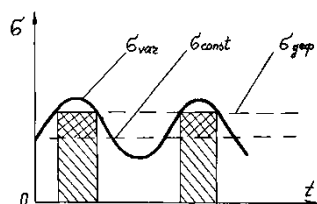


Рис. 3. Силове навантаження при накладанні змінної періодичної складової напруги на статичну складову

Широке використання та впровадження вібраційних маловідходних та безвідходних технологій обробки металів обмежувалося через відсутність спеціально розроблених та створених вібраційних приводів. Як відмічали самі автори досліджень процесів вібраційної обробки [10], лише в деяких випадках створювалися дослідні, напівпромислові та промислові зразки вібраційних приводів [7] для вібропресів, вібромолотів, прокатних станів. Здебільшого використовувалися віброприводи, що були в наявності і не завжди відповідали за своїми характеристиками вимогам проведення експерименту в широкому діапазоні зміни параметрів навантаження (частоти, робочого зусилля, енергії одного циклу, тощо). Найбільш розповсюдженим є вібраційне обладнання з механічним, гідравлічним, та комбінованим типами приводів віброзбуджувачів робочого органу машини. Серед гідравлічних приводів, внаслідок відомих переваг, розповсюдження отримав гідроімпульсний привод [7].

Насосний гідравлічний привод (з насосом постійної продуктивності), що забезпечує періодичне генерування імпульсів тиску рідини в порожнині приводного гідроциліндра робочої ланки машини за допомогою спеціального двопозиційного гідророзподільника, через який ця порожнина під час збільшення тиску в напорній лінії гідросистеми до заданого значення автоматично з'єднується або з одноцикловим гідроаккумулятором або зі зливом, а під час зменшення тиску в напорній лінії гідросистеми до заданого мінімального значення автоматично від'єднується, називають гідроімпульсним.

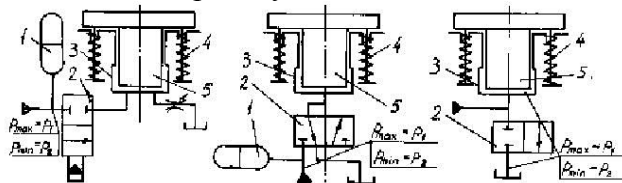


Рис. 4. Принципові схеми гідроімпульсного приводу з віброзбуджувачем “на вході” (а,б) і “на виході” (в)

Спеціальний двопозиційний гідророзподільник, у відповідності з прийнятою зараз термінологією, отримав назву віброзбуджувача гідроімпульсного приводу з зворотним зв'язком по тиску (замість терміну “клапан-пульсатор”, що раніше використовувався). В гідроімпульсних приводах здебільшого використовуються дво- та триходові віброзбуджувачі, що підключають “на вході” або “на виході” в залежності від обраної принципової гідравлічної схеми (див.рис.4), яка визначається заданим режимом вібраційного навантаження та вимогами, що стосуються параметрів імпульсів тиску рідини, що генеруються. По своєму конструктивному виконанню віброзбуджувачі бувають одно- та двохкаскадними, можуть забезпечувати дво- та триходову схеми розподілу робочої рідини. За типом запірних елементів віброзбуджувачі гідроімпульсного приводу поділяються на кулькові, клапанні і золотникові, повне відкриття яких відбувається за рахунок власного осевого зсуву під дією сил перепаду тиску на змінну площу підхоплення.

Для підвищення ефективності процесу розкочування кілець за рахунок додаткового вібраційного навантаження осередку деформації є можливість запропонувати наступні схеми вібророзкочування: до сталої складової радіального зусилля розкочування додається вібраційна складова; вібраційна складова надається оправці або розкатнику у вісєвому напрямку (осцилюючий рух). Вібраційна складова радіального та вісєвого зусилля фактично

може бути утворена за умови розміщення направленої вібробудувача або на шпинделі розкатної оправки, або на шпинделі розкатника. В кожному конкретному випадку рішення щодо вибору схеми розкочування може бути прийняте лише в результаті всебічного аналізу умов розкочування з врахуванням конфігурації деталі та технічних можливостей замовника.

При виборі розкочувальної машини, що може бути обрана за базову для створення її вібраційного варіанту, необхідно передбачити наявність приводів вібраційних складових навантаження на радіальне зусилля розкатника та осьових (осцилюючих) на шпиндель розкатної оправки. Технічні можливості передбачають наявність вібробудувачів, що випускаються серійно, або необхідність розробки спеціальних, використання базового розкочувального обладнання, або створення нового.

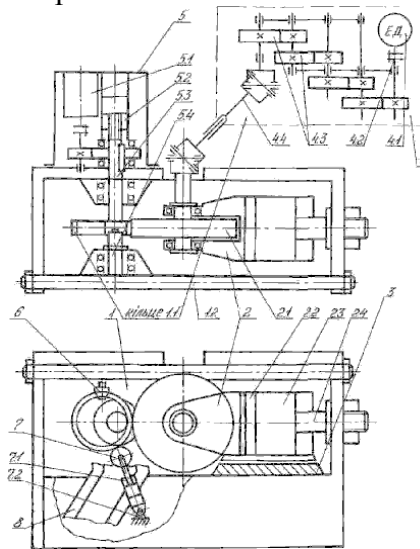


Рис. 5. Конструктивна схема базової профіленкатної машини UPW-63

В умовах виробництва Вінницького підшипникового заводу [11] було прийняте рішення створити експериментальний зразок вібраційної розкочувальної машини на основі універсальної профіленкатної машини, конструктивна схема якої приведена на рис.5. На чавунній станині 1 жорсткої коробчастої конструкції змонтовані основні вузли та приводні агрегати машини: шпиндельна бабка механізму розкатника 2 з гідравлічним приводом радіальної подачі; напрямні полозки шпиндельної бабки 3; головний електромеханічний привод шпинделя механізму розкатника 4; розкатна оправка з гідравлічним приводом 5 обертальної та поступальної дії; механізм подачі кілець в робочу зону 6; круглорозкочувальний пристрій 7; пристрій відведення готових кілець 8; вимірювальний пристрій 9.

Для створення вібраційної розкочувальної машини на базі цієї універсальної профіленкатної машини доцільно використати гідроімпульсний привод, ефективність якого при створенні вібраційних машин обробки тиском знайшла підтвердження на практиці. По-перше базова машина має гідропривод, по-друге є можливість створити додаткове вібраційне навантаження у вісєвому та радіальному напрямках, використовуючи гідроциліндри головного приводу та приводу розкатної оправки, по-третє витрати на створення такого експериментального зразка, за попередніми розрахунками, будуть мінімальними та обмежаться виготовленням вібробудувачів гідроімпульсного приводу і незначними конструктивними доробками.

Вібраційне навантаження на штоку гідроциліндра за допомогою гідроімпульсного приводу можна створити, якщо забезпечити пульсації тиску в поршневій або штоковій порожнині гідроциліндру, підключивши до них вібробудувач типу клапан-пульсатор по схемі “на вході” або “на виході”.

Аналіз конструктивних особливостей розкочувальної машини, що обрана за базову для створення її вібраційного варіанту, показав можливість створення приводів вібраційних

складових навантаження на радіальне зусилля розкатника та вісєвих осцилюючих складових навантаження на шпиндель розкатної оправки.

Аналіз конструктивних особливостей розкочувальної машини, що обрана за базову для створення її вібраційного варіанту, показав можливість створення приводів вібраційних складових навантаження на радіальне зусилля розкатника та вісєвих осцилюючих складових навантаження на шпиндель розкатної оправки. На рис.6 зображені силові графіки вібронавантаження, коли пульсація тиску співпадає із зміною тиску в поршневій порожнині (зліва) та коли пульсація тиску створюється в штоковій порожнині (зправа). В першому випадку зусилля на штоку $P_{um}=p_n(t) \cdot S$ визначається характером зміни в часі t тиску $p_n(t)$ в поршневій порожнині, а в другому $P_{um}=[p_n - p_{um}(t)] \cdot S$ - різницею тисків в поршневій p_n та штоковій $p_{um}(t)$ порожнинах. Вважаємо, що тиск в обох випадках діє на площу поршня S (площею штока нехтуємо), а штокова порожнина в першому випадку з'єднана із зливною лінією.

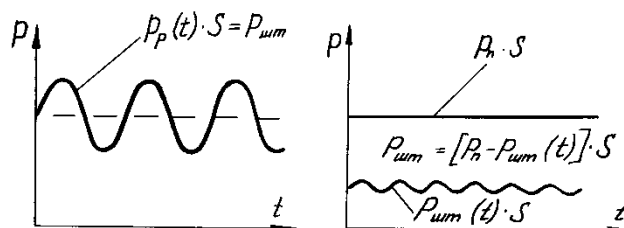


Рис. 6. Силові графіки вібронавантаження

На наш погляд, створення пульсацій тиску в поршневій порожнині робочого гідроциліндру накладає певні обмеження на експлуатацію гідропривода (пульсацію тиску необхідно створювати у напірній лінії) та ускладнює конструкцію віброзбуджувача. Більш доцільно пульсації тиску створювати у штоковій порожнині, яка під час роботи розкочувальної машини з'єднана зі зливною лінією за допомогою віброзбуджувача гідроімпульсного привода [12].

На рис.7 наведена спрощена гідрокінематична схема вібраційної розкочувальної машини, оснащеної гідроімпульсним приводом. Конструктивні елементи базової розкочувальної машини по мірі необхідності показані на схемі та позначені у відповідності з прийнятими вище (див. рис.5). Щоб не розгалужувати гідросхему та не вводити додаткові елементи контрольно-вимірювальної і розподільної апаратури достатньо, на наш погляд, обмежитися лише тими складовим, які забезпечать розуміння принципу її функціонування. На схемі зображено чотири насоси Н1, Н2, Н3 та Н4, які відповідно забезпечують зворотно-поступальний рух шпиндельної бабки 2 розкатника та створення розкатного зусилля гідроциліндром ГЦ1 (насос Н1), зворотно-поступальний рух розкатної оправки 5.3 гідроциліндром ГЦ2 та її обертальний рух гідромотором ГМ (насос Н2), радіальні вібрації розкатника (насос Н3) та вісєві вібрації розкатної оправки (насос Н4). Розподільники Р1 та Р2 забезпечують з'єднання поршневої та штокової порожнин гідроциліндру ГЦ1 з напорною гідролінією насоса Н1 та з баком, а штокової порожнини також з генератором імпульсів тиску, або віброзбуджувачем В1 та напорною гідролінією насоса Н3.

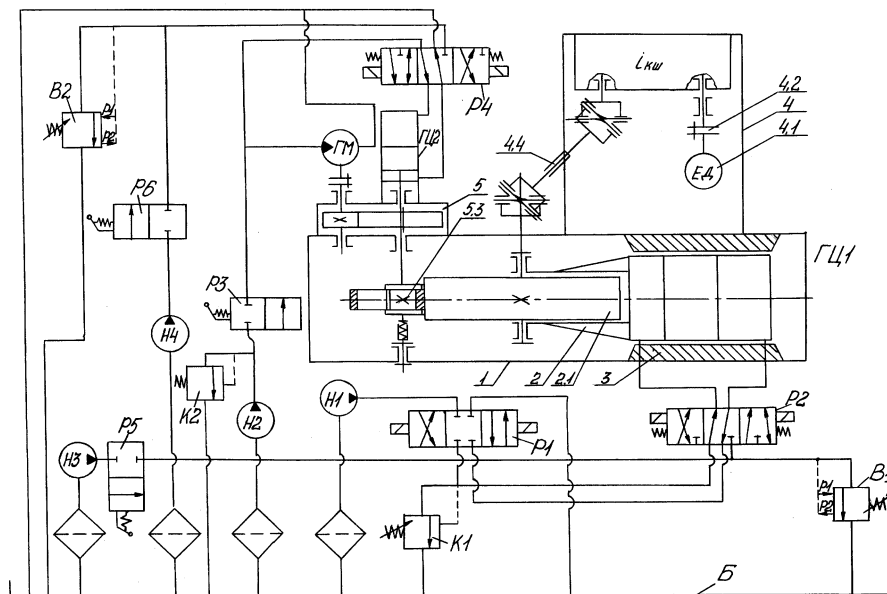


Рис. 7. Принципова схема гідроімпульсного приводу вібророзкочувальної машини на базі UPW-63

Розподільник Р3 забезпечує подачу енергоносія від насоса Н2 до гідродвигунів ГМ і ГЦ2, а розподільник Р4 - з'єднання поршневої та штокової порожнин гідроциліндра ГЦ2 з напорною гідролінією насоса Н2 або з баком, а також його штокової порожнини з вібробуджувачем В2 та з напірною гідролінією насоса Н4. Розподільники Р5 та Р6 призначені для вмикання радіальної та вісєвої складової вібронавантаження в процесі розкочування. Запобіжні клапани К1, К2 передбачені в напорних гідролініях насосів Н1 та Н2. Клапан К1 визначає величину робочого тиску в поршневій порожнині гідроциліндру ГЦ1, що встановлюється у відповідності до радіального зусилля розкочування, а клапан К2 визначає тиск, що забезпечує розрахунковий крутний момент на валу гідромотора ГМ та необхідне зусилля вісєвої фіксації шпинделя розкатної оправки.

Після подачі розкочуваного кільця підшипника в робочу зону обробки вмикається розподільник Р3 та з'єднує напірну лінію насоса Н2 з гідромотором ГМ та через центральне положення розподільника Р4 з поршневою порожниною гідроциліндру ГЦ2. Шпиндель розкатної оправки починає обертатися від валу гідромотору ГМ за допомогою зубчастої передачі, колесо якої з'єднано зі шпинделем рухомим шпоночним з'єднанням, та рухатися у вісєвому напрямку до фіксації його вільного кінця у підшипниковій опорі. Далі вмикається розподільник Р1 у крайнє праве положення та з'єднує напірну лінію насоса Н1 через центральне положення розподільника Р2 з поршневою порожниною гідроциліндру ГЦ1. Розкатник 2.1, що закріплений на рухомому корпусі гідроциліндру ГЦ1, переміщується у радіальному напрямку до розкочуваного кільця та, після контакту з останнім, створює на ньому розрахункове зусилля розкочування. Обертання розкатника вмикається одночасно з ввімкненням розподільника Р1. Крутний момент на валу розкатника створюється системою головного приводу від електродвигуна 4.1, вал якого через пружну муфту, коробку швидкостей з передаточним відношенням $i_{кш}$ та карданну передачу 4.4 з'єднаний з валом розкатника 2.1. Процес розкочування отримує радіальну складову вібронавантаження після виведення розподільника Р2 в крайнє праве положення та ввімкнення розподільника Р4, тобто з'єднання напірної лінії насоса Н3 зі штоковою порожниною гідроциліндру ГЦ1 та через вібробуджувач В1 з баком (одночасно перекиваючи безпосереднє сполучення цієї порожнини з останнім). Вібробуджувач В1 працює в автоматичному режимі. Коли в напірній лінії насоса Н3 досягається тиск p_1 , запірний елемент вібробуджувача з'єднує її та штокову порожнину гідроциліндру ГЦ1 зі зливом (баком) та підтримує цей стан до моменту

зменшення тиску в гідросистемі насоса НЗ до величини p_2 . Далі запірний елемент вібробуджувача від'єднує гідросистему насосу НЗ від зливу і наступний цикл повторюється після підвищення тиску знову до величини p_1 .

Комплектація гідроімпульсного приводу нової вібромашини передбачає використання базової оригінальної та стандартної контрольно-розподільної апаратури за винятком вібробуджувачів і спеціальних розподільників гідроімпульсного приводу, які розробляються за окремими технічними вимогами. Розробка гідроімпульсного приводу на основі існуючого гідроприводу базової машини дозволяє значно зменшити витрати коштів, але накладає певні обмеження на розробника в плані принципів та конструктивних рішень.

З метою вивчення технологічних можливостей процесу віборозкочування у порівнянні з точінням та розкочуванням були вибрані кільця підшипників 120A02, дослідні партії яких були отримані в умовах виробництва Вінницького підшипникового заводу. Для дослідження, зокрема, були обрані внутрішні кільця партії підшипників, що були виготовлені трьома способами і були в наявності на заводі під час проведення дослідження. Розміри внутрішніх кілець підшипників 120A.02 повинні відповідати після обробки наступним вимогам: зовнішній діаметр $D_3=116,5^{+0,2}$ мм; внутрішній діаметр $D_{вн}=99,3_{-0,2}$ мм; діаметр жолоба $D_{жс}=110,5^{+0,2}$ мм; висота $H=24,2^{+0,2}$.

Вимірюванням підлягали партії кілець у кількості 50 шт відповідно після точіння, холодного радіального розкочування статичним зусиллям та вібраційним, амплітудні значення якого коливалися в межах 80%...90% номінального статичного зусилля, але не перевищували останнього. Частота радіальних коливань розкатника складала близько 100 Гц. Величина радіального статичного зусилля для розглянутого приклада холодного розкочування визначена за методикою, яка наведена у паспорті машини UPW-63, та за розрахунками склала 60000 Н.

Для проведення порівняльного аналізу технологічних процесів виготовлення внутрішніх кілець підшипника 120A.02 проведено заміри діаметрів бортів, доріжки кочення (жолоба) та внутрішнього діаметра у кілець виготовлених різанням (точіння), розкаткою та віборозкаткою.

Результати обмірів кілець статистично оброблені з метою отримання якісних оцінок порівнюваних технологічних операцій. Обробка виконувалась із застосуванням програми для проведення наукових та інженерних розрахунків Mathcad-2000. Під час статистичного дослідження застосовувались вбудовані в Mathcad-2000 функції для перевірки закону розподілення випадкових значень замірів та побудови графіків щільності розподілення розкидів цих розмірів відносно їх номінальних значень. Об'єм виборок складав по 50 обмірів кожної поверхні згідно з заводськими стандартами. Деякі результати статистичної обробки наведено на рис.8. На діаграмах по осі абсцис відкладено значення величин полів розкиду розмірів, а по осі ординат — значення похідної від функції розподілення ймовірності отримання поля розкиду відповідного розміру (значення щільності розподілення ймовірності).

Тонкою штрихованою лінією показано щільність розподілення після обробки

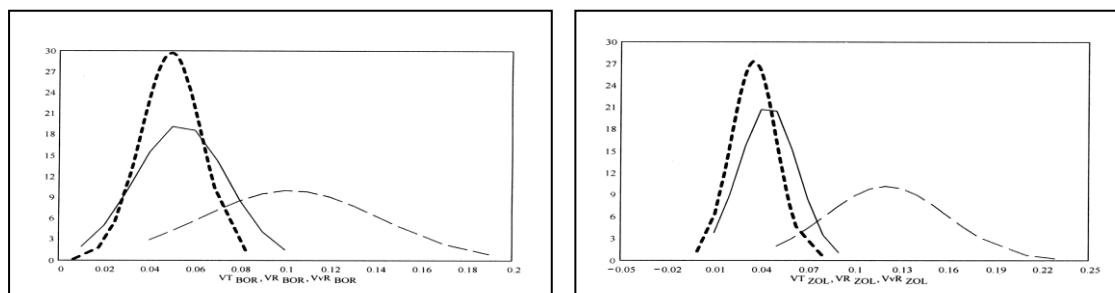


Рис. 8. Графіки щільності розподілення розкиду діаметрів бортів та жолоба внутрішніх кілець підшипників 120A02

різанням (точіння), тонкою суцільною — розкаткою, а товстою пунктирною — вібророзкаткою.

Аналіз вибірок знятих розмірів діаметрів бортів, жолоба та отвору кілець показав, що розподіл значень відповідає нормальному закону розподілення випадкових величин. Як показує результат статистичної обробки точність досягнення потрібних розмірів кілець найвища при використанні операції вібророзкатки.

Дослідження зразків кілець на твердість поверхонь показало, що ввібророзкатка створює поверхні найвищої твердості. Порівняльна просторова гістограма (рис.9), побудована засобами Mathcad-2000, дає наочне уявлення про якість порівнюваних операцій виготовлення кілець. Заміри шорсткості поверхонь досліджуваних кілець виявили, що під час виконання операції розкатки окремі поверхні (борти та отвір) виходять більш якісно у порівнянні з точінням, але поверхня жолоба має звачування металу з утворенням задирів і пластичні зміщення окремих ділянок. Вібророзкатка забезпечує найкращу якість усіх

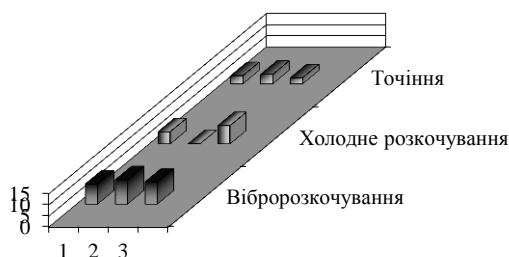


Рис. 9. Гістограма залежності твердості за Брінелем(НВ) поверхні бортів, жолоба та отвору кілець підшипників від виду обробки (зліва направо): вібророзкочуванням (1), холодним розкочуванням (2) та точінням (3)

оброблених поверхонь, що показано на просторовій гістограмі залежності класу шорсткості поверхонь досліджуваних кілець від виду обробки (рис. 10).

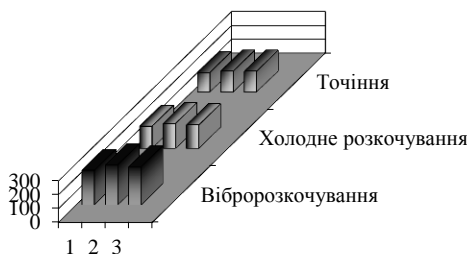


Рис. 10. Гістограма залежності класу шорсткості поверхні бортів, жолоба та отвору кілець підшипників від виду обробки (зліва направо): вібророзкочуванням (1), холодним розкочуванням (2) та точінням (3)

Висновки

В результаті проведених досліджень технологічних можливостей вібраційного розкочування кілець шарикопідшипників на експериментальній ВРМ з гідроімпульсним приводом встановлено, що кільця отримані вібророзкочуванням у порівнянні з кільцями отриманими звичайним холодним розкочуванням та точінням мають більш високі геометричну точність, твердість та клас шорсткості обробленої поверхні. Отримані результати свідчать, що у порівнянні із звичайним холодним розкочуванням та точінням

щільність розподілення розкиду діаметрів зростає в середньому відповідно у 2 та 5 разів, твердість за Брінелем в 1,25 та 1,6 раза, клас шорсткості у 1,13 та 1,3 раза.

Список використаних джерел: **1.** Богоявленский К.Н., Селин М.Т., Лапин В.В. Оборудование и технология раскатки прецизионных заготовок. - М.: НИИмаш, 1981, 72 с. **2.** Шапошников Д.Ф. Половцев Е.Н. Кишкин И.В. Разработка и внедрение открытой холодной раскатки подшипниковых колец. Экспресс-информация ГПЗ-16, М.: НИИмаш, 1981. С.67-87. **3.** Богоявленский К.Н., Лапин В.В. Холодная раскатка кольцевых деталей, Л.: ЛДНТП, 1972. -124 с. **4.** Изготовление деталей пластическим деформированием. Сб. под ред. Богоявленского К.Н., Л.: Машиностроение, 1975.- 340 с. **5.** А.с. 965576 СССР, М.Кл.3 В21 Н101. Способ изготовления колец подшипников качения/А.М. Пиковский, Д.Ф. Шапошников, Е.И. Половцев, В.С. Бирюков (СССР). -№3258340/25-27; Заявлено 22.03.81; Приоритет 17.08.77. Оpubл. 15.10.82, Бюл.№38.- 2с. **6.** А.с. 591275 СССР, М.Кл.3 В21 Н101. Способ раскатки профильных колец/Г.И. Аленкин, В.В. Лапин и др. (СССР). Оpubл.10.03.78, Бюл. №5.- 2с. **7.** Искович-Лотоцкий Р.Д., Матвеев И.Б., Крат В.А. Машины вибрационного и виброударного действия.- Киев: Техніка, 1982.-208с. **8.** Смирнов В.В. Исследование усилий при прокатке колец подшипников качения//Прокатные станы и технология прокатки.- М.:1955.- С.19-23.(Тр. МВТУ; №62). **9.** Девятов В.В. Малоотходная технология обработки материалов давлением.- М.:Машиностроение, 1986.-288с. **10.** Клименко В.М., Шаповал В.Н. Вибрационная обработка металлов давлением.- Киев: Техніка,-1977.-128с. **11.** Томчук В.І. Реалізація кінематичних схем вібраційного розкочування кілець на машинах з гідроприводом //Вісник національного технічного університету “Харьковский политехнический институт”, Технологии в машиностроении. –2001. - Выпуск №129. - Часть 2. - С. 209-216. **12.** Искович-Лотоцкий Р. Д., Томчук В.І. Вібророзкочувальна машина з гідроімпульсним приводом для виготовлення кілець шарикопідшипників //Наукові нотатки. – Луцьк: ЛДТУ. - 2000. - №6. - С. 80-86. **13.** Искович-Лотоцкий Р. Д., Томчук В.І. Розробка спеціального гідроімпульсного приводу вібраційної розкочувальної машини //Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт», Машиностроение. - 2000. – Выпуск №38.- Том №1. - С. 88-92. **14.** Веселовська Н.Р. Вібраційна установка для обробки деталей /Р.Д. Искович-Лотоцкий, Ю.В. Добрянюк, Н.Р. Веселовська// Патент на корисну модель, Вінницький національний технічний університет, Україна, № 40983. U200815035. Заявл.26.12.2008; Оpubл.27.04.2009; Бюл.№8-с.6,2009. В24В 31/00. **15.** Веселовська Н.Р. Управління ефективністю та надійністю технологічних процесів в гнучких інтегрованих виробничих системах /Р.Д. Искович-Лотоцкий, Н.Р. Веселовська, О.В. Зелінська// Вісник НТУ України «Київський політехнічний інститут», Машинобудування.- №56. – 2009.– С.266-273.

Рецензент: **Кліменко Г.П.**, д.т.н., проф., ДДМА

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ТЕХНОЛОГИИ РАСКАТЫВАНИЯ КОЛЕЦ ШАРИКОПОДШИПНИКОВ

Іскович-Лотоцький Р.Д., Веселовська Н.Р.

В результате проведенных исследований технологических возможностей вибрационного раскатывания колец шарикоподшипников на экспериментальной ВРМ с гидроимпульсным приводом установлено, что кольца получены виброраскатыванием в сравнении с кольцами полученными обычным холодным раскатыванием и точением имеют более высокие геометрическую точность, твердость и класс шероховатости обработанной поверхности. Полученные результаты свидетельствуют, что в сравнении с обычным холодным раскатыванием и точением плотность распределения разброса диаметров растет в среднем соответственно в 2 и 5 раз, твердость за Бринелем в 1,25 и 1,6 раза, класс шероховатости в 1,13 и 1,3 раза.

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ В ТЕХНОЛОГІЇ РОЗКОЧУВАННЯ КІЛЕЦЬ ШАРИКОПІДШИПНИКІВ

Іскович-Лотоцький Р.Д., Веселовська Н.Р.

В результаті проведених досліджень технологічних можливостей вібраційного розкочування кілець шарикопідшипників на експериментальній ВРМ з гідроімпульсним приводом встановлено, що кільця отримані вібророзкочуванням у порівнянні з кільцями отриманими звичайним холодним розкочуванням та точінням мають більш високі геометричну точність, твердість та клас шорсткості обробленої поверхні. Отримані результати свідчать, що у порівнянні із звичайним холодним розкочуванням та точінням щільність розподілення розкиду діаметрів зростає в середньому відповідно у 2 та 5 разів, твердість за Брінелем в 1,25 та 1,6 раза, клас шорсткості у 1,13 та 1,3 раза.

MODERN TENDENCIES ARE IN TECHNOLOGY OF PINNING-OUT OF RINGS OF BALL-BEARINGS

Iskovich-Lototsky R., Veselovskaya N.

As a result of the conducted researches of technological possibilities of oscillation pinning-out of rings of ball-bearings on experimental VRM it is set with a gidroimpul'snim occasion, that rings are got a vibropinning-out in comparing to the rings got ordinary cold pinning-outs and sharpening the more high have geometrical exactness, hardness and class of roughness of the treated surface. The got results testify that in comparing to the ordinary cold pinning-out and sharpening the closeness of distributing of variation of diameters grows on the average accordingly in 2 and 5 times, hardness after Brinell in 1,25 and 1,6 raza, class of roughness in 1,13 and 1,3.

Ключевые слова: Кольца шарикоподшипников, вибрационное раскатывание, холодное раскатыванияме, точность, твердость, класс шероховатости

Ключові слова: Кільця шарикопідшипників, вібраційне розкочування, холодне раськативанияме, точність, твердість, клас шорсткості

Keywords: Rings of ball-bearings, oscillation pinning-out, cold raskatyvaniyame, exactness, hardness, class of roughness

Дата надходження статті: 12 квітня 2013 р.

УДК 669.187.56

Власов А.Ф.
ДГМА, г Краматорск, Украина

РАЗРАБОТКА СОСТАВА ЭКЗОТЕРМИЧЕСКОГО ФЛЮСА И СПОСОБА ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СТАЛИ 35

Введение

Существующие электрошлаковые процессы (электрошлаковая сварка, электрошлаковый переплав, электрошлаковое литьё) осуществляются на "твёрдом" или "жидком" старте. При "твёрдом" старте расплавление рабочего флюса, наведение шлаковой ванны необходимого объёма осуществляется в дуговом режиме. Данный способ характеризуется нестабильностью (частыми короткими замыканиями), неравномерным и длительным расплавлением флюса (низкой производительностью) [1].

При "твёрдом" старте флюс, засыпанный в кристаллизатор, расплавляется расходным электродом. Расплавление флюса и наведение шлаковой ванны при этом выполняется различными способами: применением электропроводного в твёрдом состоянии флюса

АН-25, использованием прессованных экзотермических брикетов или самоплавящихся флюсовых смесей. Расход самоплавящихся флюсов обычно невелик и не превышает 2% от массы рабочего флюса. Основная роль таких флюсов заключается в обеспечении начала расплавления флюса путем быстрого перехода от дугового к бездуговому процессу. При этом на полное расплавление флюса тратится значительное количество времени, в результате чего снижается производительность печи. За рубежом для ускорения твёрдого старта используется способ [2] с использованием экзотермической смеси, содержащей плавиковый шпат, алюминий, молотую окалину и перхлорат аммония. Из-за отсутствия в смеси легирующих элементов и небольшого количества окалины (20...30%) он не позволяет существенно снизить время на расплавление всего флюса и повысить выход годного металла.

Потери металла донной части слитка, идущего в обрезь, при вышеуказанных способах наведения шлаковой ванны, составляют от 5 до 10% от общей массы слитка [1].

Недостатки вышеуказанных способов наведения шлаковой ванны необходимого объёма могут быть устранены разработанными способами электрошлаковой сварки [3], электрошлаковой наплавки [4] и электрошлакового переплава [5].

Электрошлаковое литьё крупных заготовок осуществляется на печах бифилярного или трехфазного типа с использованием только "жидкого" старта путем сифонной заливки расплавленного за пределами печи шлака в нижнюю часть кармана (при электрошлаковой сварке), кристаллизатора (при электрошлаковом переплаве) или тигля (при электрошлаковом кокильном литье). Однако трудоемкость выплавки заготовки с учетом времени расплавления флюса во флюсоплавильных печах значительно выше по сравнению с "твёрдым" стартом.

Целью настоящей работы является разработка экзотермического флюса и способа электрошлакового переплава применительно к стали 35, обеспечивающего соответствие при их расплавлении физико-химических свойств электрошлакового металла основному; электропроводность в твёрдом состоянии и возможность проведения процесса по монофилярной схеме на "твёрдом" старте.

Основная часть

В данной работе поставленная цель решалась применением экзотермических металлофлюсовых смесей (экзотермического флюса), представляющих собой механическую смесь окалины, алюминиевого порошка, легирующих элементов в виде ферросплавов (ферромарганца и ферросилиция) и стандартного флюса (АНФ-6 или др.).

С целью определения возможности получения восстановленного металла с заданным химическим составом и сокращения количества экспериментов разработка состава экзотермического флюса применительно к электрошлаковому переплаву стали 35 производилась с применением метода математического планирования эксперимента, матрица которого приведена в табл.1.

Таблица 1

Матрица планирования эксперимента по определению оптимального состава экзотермического флюса применительно к электрошлаковому переплаву стали 35

Уровень факторов и интервал варьирования	Изменяемые факторы			
	FeMn	FeSi	графит	Отношение окислы к алюминию(α)
Основной уровень	2,0	1,67	0,50	3,75
Верхний предел	2,67	2,00	0,67	4,00
Нижний предел	1,33	1,33	0,33	3,50
Интервал варьирования	0,67	0,33	0,17	0,25
Кодовое обозначение переменных	X_1	X_2	X_3	X_4

В табл.1 приведены процентные содержания ферросплавов по массе от общего количества экзотермической связки (окалина с алюминиевым порошком).

Химический состав компонентов, входящих в состав экзотермической связки (флюса) приведен в табл.2.

Таблица 2

Химический состав компонентов экзотермической связки (флюса)

Наименование компонента	Содержание элементов, %				
	C	Mn	Si	S	P
Ферросилиций	Не опр.	0,95	44,5	0,195	0,13
Ферромарганец	2,02	86,5	1,48	0,007	0,16
Графит	72,9	–	–	0,235	–
Алюминиевый порошок	Al (94,3)	Cu (1,20)	3,07	Fe(1,03)	–

Все плавки производились на твердом старте в стальном кристаллизаторе диаметром 180 мм на одном и том же режиме: $I = 5,0 \dots 5,4$ кА; $U = 40 \dots 41$ В; линейная скорость плавления электрода – $8 \dots 10$ мм/мин. В качестве расходоуемого электрода использовался прокат из стали 35 диаметром 130 мм. При этом масса экзотермической связки составляла 3 кг, а рабочего флюса АНФ-6 – 6 кг. Давление воды – 2 атм.

План и результаты, полученные при реализации математического планирования эксперимента, приведены в табл. 3.

Таблица 3

План и результаты, полученные при реализации математического планирования эксперимента

Номер состава	X_1	X_2	X_3	X_4	C	Si	Mn	S	P	Al	Отношение Ок/Алюм(α)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	+	+	0	0	0,34	0,28	0,70	0,017	0,014	0,20	3,75
2	–	–	0	0	0,29	0,19	0,16	0,028	0,012	0,17	
3	+	–	0	0	0,36	0,24	0,65	0,021	0,013	0,18	
4	–	+	0	0	0,35	0,25	0,47	0,026	0,013	0,25	
5	+	+	+	+	0,35	0,22	0,71	0,018	0,014	0,032	4,0
6	–	+	+	+	0,38	0,46	0,60	0,013	0,013	0,048	
7	+	–	+	+	0,34	0,36	0,61	0,022	0,018	0,055	
8	–	–	+	+	0,29	0,10	0,05	0,036	0,008	0,07	

Продолжение табл.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
9	+	+	-	-	0,31	0,57	1,20	0,016	0,011	0,87	3,5
10	-	+	-	-	0,28	0,86	0,91	0,018	0,018	1,17	
11	+	-	-	-	0,32	0,44	1,12	0,016	0,013	1,00	
12	-	-	-	-	0,35	0,32	0,43	0,018	0,012	0,92	
ГОСТ 977-75					0,32-0,40	0,20-0,52	0,40-0,90	≤0,06	≤0,06	-	-
Расходуемый электрод					0,36	0,31	0,49	0,021	0,013	-	-

Для определения химического состава восстановленного металла стружка бралась из донной части слитка. Из табл. 3 следует, что химический состав восстановленного металла удовлетворяет требованиям ГОСТ 977-75 к литой стали 35 только при отношении окислы к алюминиевому порошку равному 4,0. При других значениях α в нем содержится значительное количество алюминия, оказывающего отрицательное влияние на качество металла. Таким образом, определена принципиальная возможность получения заданного химического состава восстановленного металла путем применения экзотермического флюса соответствующего состава.

С учетом содержания в восстановленном металле основных элементов Si, Mn и Al за оптимальный состав экзотермического флюса применительно к электрошлаковому переплаву стали 35 принят состав № 5.

С целью определения оптимального состава слоев и содержания в них экзотермической связки и рабочего флюса по монофилярной схеме ведения электрошлакового переплава испытывались различные варианты разрабатываемого способа старта (табл.4).

Таблица 4

Исходные данные и показатели процесса наведения шлаковой ванны при проведении экспериментальных плавов по определению оптимального варианта разрабатываемого способа старта

Номер слоя	Состав слоев	Содержание послойных составляющих в масс.%				
		Номер варианта				
		1	2	3	4	5
1	Экзотермический флюс	100	100	100	100	100
	Рабочий флюс	0	0	0	0	25
Масса слоя, %		20	33,3	19,4	20	26,6
2	Экзотермический флюс	16,7	0	0	0	25
	Рабочий флюс	83,3	100	100	100	75
Масса слоя, %		80	66,7	38,8	20	53,4
3	Экзотермический флюс	0	0	100	22,2	0
	Рабочий флюс	0	0	0	77,8	100
Масса слоя, %		0	0	18,9	60	20
4	Экзотермический флюс	0	0	0	0	0
	Рабочий флюс	0	0	100	0	0
Масса слоя, %		0	0	27,9	0	0
Примечание: указана масса слоя в процентах от общего количества расплавляемого рабочего и экзотермического флюса						
Показатели процесса плавления исследуемых вариантов						
Время установления заданного режима плавки, мин		4	5,5	5	7	4
Средняя производительность процесса плавления, кг/мин(в начальный период плавки)		1,85	2,40	2,25	2,31	3,0

Экспериментальные плавки осуществлялись в медном водоохлаждаемом кристаллизаторе диаметром 235/240 мм. В качестве расходного электрода применялся прокат из стали 35 диаметром 150 мм. Режим электрошлакового переплава: $I = 5,5$ кА, $U = 48$ В. В пределах каждого варианта количество экзотермической связки составляло 5 кг, а рабочего флюса (АНФ-6) - 10 кг.

Оценочными критериями (табл.4) при выборе оптимального варианта предлагаемого способа старта являлись: стабильность процесса наведения шлаковой ванны с объемом, необходимым для установления заданного режима плавки; время установления заданного режима плавки; средняя производительность процесса за один и тот же промежуток времени в начальный период плавки. Лучшая стабильность, спокойный характер протекания процесса расплавления флюса и наивысшая производительность была достигнута при варианте № 5, принятом за оптимальный. Процесс наведения шлаковой ванны по 1-ому и 5-ому вариантам было стабильное; при использовании 2-ого варианта был не стабильный и имелись выплески; при использовании 3-ого варианта был не стабильный при расплавлении 3-ого слоя; 4-ый вариант был нестабильный в начальный период плавки.

С целью определения крайних значений соотношений между рабочим флюсом и экзотермической связкой в каждом слое, производились экспериментальные плавки в стальном кристаллизаторе диаметром 180 мм. В качестве расходного электрода использовался прокат из стали 35 диаметром 120 мм. В пределах каждого варианта количество экзотермической связки составляло 3 кг, а рабочего флюса (АНФ-6) - 6 кг. Все плавки велись на одном и том же режиме: $I = 4$ кА, $U = 40$ В, давление воды на входе в кристаллизатор -2 атм. Время выхода на заданный режим плавки фиксировалось с помощью секундомера. Результаты проведенных плавки приведены в табл.5, из которой следует, что лучшие результаты получены при содержании в первом слое экзотермической связки 75...80% от массы слоя и рабочего флюса 20...25% (составы 3 и 4).

Таблица 5

Исходные данные и показатели процесса наведения шлаковой ванны при монофилярной схеме ведения электрошлакового переплава стали 35

Номер слоя	Состав слоев	Содержание послойных составляющих в масс.%				
		Номер варианта				
		1	2	3	4	5
1	Экзотермический связка	50	66	75	80	85
	Рабочий флюс	50	34	25	20	17
	Масса слоя, %	22	25,0	26,7	28	28,6
2	Экзотермический связка	50	34	25	20	17
	Рабочий флюс	50	66	75	80	85
	Масса слоя, %	45	50	53,3	56	57,2
3	Экзотермический связка	0	0	0	22,2	0
	Рабочий флюс	100	100	100	100	100
	Масса слоя, %	33	26	20	16	14,2
Примечание: указана масса слоя в процентах от общего количества расплавляемого рабочего и экзотермического флюса						
Показатели процесса плавания исследуемых вариантов						
Время установления заданного режима плавки, мин		6	5	3,5	4	4
Средняя производительность процесса плавания, кг/мин(в начальный период плавки)		1,25	1,30	1,38	1,38	1,31
Характеристика процесса наведения шлаковой ванны		не ста- биль- ный	стаби- льный	стаби- льный	стаби- льный	име- лись вып- лески

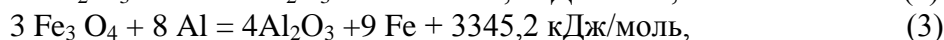
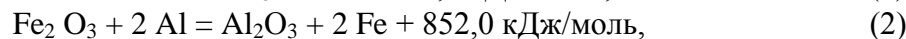
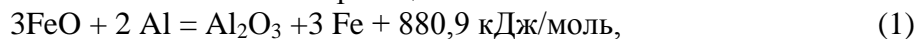
При этом установлена возможность ведения процесса электрошлакового переплава без затравки (при монофилярной схеме) путем засыпки 1-го слоя смеси рабочего флюса и экзотермической связки непосредственно на медный водоохлаждаемый поддон (рис.1) и получать заданный состав легированного металла в донной части слитка при использовании легированного экзотермического флюса.



Уменьшено в 1,1 раза

Рис. 1. Макроструктура центрального продольного темплета слитка, выполненного способом ЭШП без затравки (сталь 35)

Сущность предлагаемого способа старта заключается в следующем. Благодаря наличию в первом и втором слоях экзотермической связки достигается ускорение расплавления рабочего флюса за счет снижения электропроводности шлака и тепла, выделяющегося при взаимодействии окислов железа с алюминием по реакциям:



Проведенными исследованиями [6] установлено, что при изменении содержания в покрытии электродов экзотермической смеси, состоящей из окалины и алюминиевого порошка, от 35 до 64% прирост температуры составил 1280°C и является достаточным для полного расплавления ферросплавов.

В первом слое от данных экзотермических реакций развиваются температуры, способствующие быстрому расплавлению рабочего флюса и разогреву расходуемого электрода. Уменьшение электропроводности шлака достигается введением в расплавленный флюс оксида алюминия, образующейся от взаимодействия алюминия с оксидами железа. При этом, при неизменном электрическом режиме повышается температура шлаковой ванны, увеличивается производительность плавки и снижается удельный расход электроэнергии. Благодаря оптимальному соотношению ингредиентов в первом слое он является электропроводным в твердом состоянии. Содержание оксидов железа и алюминиевого порошка в выбранных пределах позволяют полностью прореагировать алюминию с образованием его оксида. При указанном соотношении рабочего флюса и экзотермической связки во втором слое происходит ускоренное его расплавления без выплесков и бурления.

При плавлении экзотермической связки восстанавливается железо (~70% от массы окалины), которое оседает на поддон или затравку и образует нижнюю часть отливки, в последствии удаляемую в обрезь; рафинированный же металл расходуемого электрода ложится на образовавшийся слой из восстановленного железа и начинается формирование качественной отливки. В результате этого потери расходуемого электрода сведутся до минимума, а качество металла в донной части слитка улучшится из-за того, что расплавление электрода происходит в жидком шлаке подобно электрошлаковому процессу с сифонной заливкой шлака.

Выводы

1. Эффективным способом повышения производительности электрошлаковых процессов является использование экзотермической смеси (окалины и алюминиевого порошка) или экзотермического флюса (окалины, ферросплавов и алюминиевого порошка в количествах достаточных для протекания экзотермических реакций).

2. Разработан технологический процесс ускоренного наведения шлаковой ванны на "твердом" старте при монофилярной схеме ведения процесса.

3. Определена принципиальная возможность разработки состава экзотермического флюса, обеспечивающего получение химического состава восстановленного металла эквивалентного марочному составу стали 35.

Перечень источников литературы: 1. Электрошлаковый переплав / Ю.В. Латаш, Б.И. Медовар.– К.: Metallurgy.-1970.-239с. 2. Патент 1225783 Англия. Способ электрошлакового переплава.- Заяв.26.04.1967, №1181663; опубл. 24.03.1971.МКИ В22Д, 23/06. 3. Декларацийний патент 36618А, Україна, МКИ В23К 25/00. Спосіб електрошлакового зварювання / Карпенко В.М, Власов А.Ф. Заявлено 13.01.00 №200001024;опубл.16.01.01, Бюл. №3. 4. Декларацийний патент 71290А, Україна, МКИ В23К 9/04. Спосіб електродугового наплавлення/ Власов А.Ф., Карпенко В.М, Жаріков С.В, Нерівний А.В. Заявлено 18.12.03 №20031211810; опубл.15.11.04р, Бюл. №11. 5. А.с.№1200581 СССР, МКИ В 22 д, 27/02. Способ старта электрошлакового переплава /А.Ф.Власов, Г.А. Молодан, А.С Волков, В.В. Бежин, В.А.Волвенко.- №3421264/25; Заявл.12.04.82. 6. Экспериментальное определение экзотермического процесса, протекающего при нагреве и плавлении электродов / Власов, А.Ф. Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. - №2(4). - 2006.– С.65-68.

Рецензент: **Макаренко Н.А.**, д.т.н., проф. ДДМА

РАЗРАБОТКА СОСТАВА ЭКЗОТЕРМИЧЕСКОГО ФЛЮСА И СПОСОБА ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СТАЛИ 35

Власов А.Ф.

Экспериментальными методами установлено, что эффективным способом повышения производительности электрошлаковых процессов является использование экзотермической смеси (окалины и алюминиевого порошка) или экзотермического флюса (окалины, ферросплавов и алюминиевого порошка) в количествах достаточных для протекания экзотермических реакций). Разработан технологический процесс ускоренного наведения шлаковой ванны на "твердом" старте при монофилярной схеме ведения процесса.. Определена принципиальная возможность разработки состава экзотермического флюса, обеспечивающего получение химического состава восстановленного металла эквивалентному марочному составу стали 35.

РОЗРОБКА СКЛАДУ ЕКЗОТЕРМІЧНОГО ФЛЮСУ Й СПОСОБУ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВУ СТОСОВНО ДО СТАЛІ 35

Власов А.Ф.

Експериментальними методами встановлено, що ефективним способом підвищення продуктивності електрошлакових процесів є використання екзотермічної суміші (окалини і алюмінієвого порошку) або екзотермічного флюсу (окалини, феросплавів і алюмінієвого порошку) в кількості достатньої для протікання екзотермічних реакцій). Розроблений технологічний процес прискореного наведення шлакової ванни на "твердому" старті при монофілярній схемі ведення процесу. Визначена принципова можливість розробки складу екзотермічного флюсу, що забезпечує одержання хімічного складу відновленого металу еквівалентному марочному складу сталі 35.

DEVELOPMENT OF COMPOSITION AND METHOD OF EXOTHERMIC FLUX ESR APPLIED TO STEEL 35.

Vlasov A.F.

Experimental methods found that an effective way to improve the performance of the electroslag process is the use of exothermic mixture (scale and aluminum powder) or exothermic flux (scale, ferroalloys and aluminum powder) in an amount sufficient for the occurrence to exothermic reactions). Developed technological process of accelerated guidance cue slag bath solid start at monofilyarnoy scheme of the process. Defined a basic developing of the possibility of exothermal flux that will ensure the chemical composition of the reconstructed metal equivalent vintage composition steel 35.

Ключевые слова: экзотермической флюс, шлаковая ванна, "твердый" старт, сталь 35, химический состав, восстановленный металл

Ключові слова: екзотермічний флюс, шлакова ванна, "твердий" старт, сталь 35, хімічний склад, відновлений метал

Key words: Exothermic flux, slag bath, "solid" start, steel 35, chemical composition, reduced metal

Дата надходження статті: 13 травня 2013 р.

УДК 621.91

Колот Л.П., Онищук С.Г.
ДДМА, м. Краматорськ, Україна

ЗМЕНШЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ ДЕФОРМАЦІЙ НЕЖОРСТКИХ ДЕТАЛЕЙ

Постановка проблеми

Характерною особливістю при виготовленні нежорстких деталей машинобудування є виникнення залишкових деформацій після операцій механічної обробки. Постійне зростання вимог до якості виготовлення деталей машин викликає необхідність використання різноманітних методів, які забезпечують задані параметри якості виробів.

При механічній обробці нежорстких деталей виникають порушення рівноваги залишкових напружень, що приводить до деформацій деталей та зниження якості виконання робочих функцій під час їх експлуатації.

Для уникнення цього небажаного явища у технологічному процесі механічної обробки передбачені додаткові операції, як наприклад, операція механічної правки, багаторазова переустановка при механічній обробці деталей, їх природне та штучне старіння. Все це приводить до збільшення технологічного циклу виготовлення деталей, зниженню продуктивності і не в повній мірі стабілізує показники якості деталей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питанню уникнення залишкових деформацій при обробці нежорстких деталей машинобудування присвячено ряд наукових робіт і публікацій. Автором [1] подано теоретичне обґрунтування оптимальних режимів різання, які забезпечують бездеформаційну обробку нежорстких валів. Робота [2] присвячена математичному моделюванню процесу різання при обробці нежорстких валів, що піддаються залишковим деформаціям при обробці їх різанням.

У роботах [3, 4] наведені технологічні способи, які використовуються при механічній обробці нежорстких деталей. Всі ці способи базуються на створенні урівноваженого стану залишкових напружень в деталях шляхом штучного локального вторгнення допоміжних залишкових напружень, які компенсують ті, що вилучені зі знятим припуском [5]. В роботі [6] приведений метод реалізації способу випрямлення зразків вібраційним методом, де використовують промисловий вібратор для здійснення вібрацій зразка, який необхідно установити на демпфіруючі підставки поза верстата, що потребує допоміжних технічних засобів і збільшує цикл обробки.

Проте використання кожного способу має свою специфіку, що зумовлює потребу в подальших дослідженнях.

Мета роботи

Головною метою цієї роботи є розроблення способу компенсації залишкових деформацій, що виникають під час механічної обробки нежорстких деталей машинобудування, шляхом здійснення вібрацій інструмента безпосередньо на верстаті з подачею суспензії з абразивними частинками для скорочення циклу обробки за рахунок забезпечення фінішної обробки без видалення припуску з деталі.

Виклад основного матеріалу

Реалізація способу вібраційного виправлення нежорстких деталей здійснюється при використанні відомого ефекту про те, що величину залишкових деформацій визначає, як правило, пружна післядія невірноважених початкових залишкових напружень. Запропоновано здійснювати компенсацію похибок від жолоблення виправленням виробів вібрацією,

підданих попередньому пружному вигинові в зворотному напрямку так, щоб після вібрацій виріб вигнувся на бажану величину.

Вібрація виробу передається через чистовий різець, а для створення його вібрацій застосовується генератор. В зону обробки подається суспензія з абразивними частинками, яка переміщується під дією коливних рухів різця і абразивні частки створюють удар по поверхні заготовки та згладжують мікронерівності, тобто створюють ефект полірування, чим забезпечується необхідна шорсткість поверхні деталі.

Деталь, яка підлягає обробці, має початкову деформацію f_n (рисунок 1, а), яку усувають притисненням до столу 4 верстата (рисунок 1, б) і здійснюють перший робочий хід інструмента 2 з вібраційною частотою $\omega_0 = 3000$ Гц та подачею суспензії з абразивними частками 3. Після першого робочого ходу деталь розкріплюють (рисунок 1, в), визначають залишкову деформацію $f_{зал}$ та знову притикають до столу верстата до усунення $f_{зал}$. Виконують другий робочий хід обробки деталі (рисунок 1, г) з частотою:

$$\omega = \frac{(f_n - f_{зал})\omega_0}{f_n},$$

де f_n – початкова деформація деталі;
 $f_{зал}$ – деформація після першого робочого ходу;
 ω_0 – частота вібрацій при першому робочому ході;
 ω – частота вібрацій при другому робочому ході.

Після виконання другого робочого ходу деталь має деформацію $f_{зал} = 0$ (рисунок 1, д).

Експериментальні дослідження виконувались на стругальному верстаті мод. 7305ТД широким чистовим різцем, вібрації якого створювались генератором. Зразки зі сталі 40Х розмірами 100x40x10 мм мали початкову деформацію в інтервалі 0,08...1,1 мм. Початкову частоту коливань різця брали в діапазоні 1600...2000 Гц. Зразки по черзі обробляються зазначеним способом.

На рисунку 2 зображено графік, де показано залежність залишкових деформацій $f_{зал}$ від частоти вібрацій різця ω_0 при першому робочому ході і початкових деформацій зразків f_n . На рисунку 3 зображено графік, де показана залежність залишкових деформацій $f_{зал}$ від частоти ω коливань різця при другому робочому ході.

Із графіків можна визначити, що збільшення частоти коливань різця знаходиться в прямій залежності від залишкових деформацій зразків.

З фізичної точки зору залишкові деформації зразків $f_{зал}$ з початковими деформаціями f_n знижуються під дією вібрацій різця при його робочих ходах. Згідно теорії нерозривності деформацій і внутрішніх залишкових напружень, які знаходяться в прямій пропорційній залежності, зниження залишкових напружень методом вібрацій приводить до зниження залишкових деформацій в зразках. Механічна енергія вимушених коливань демпфірується на границях зерен за рахунок внутрішнього тертя.

При цьому відбувається рух дислокацій і вирівнюються викривлення кристалічних ґраток, що характеризує зміну напруженого стану зразка, тобто здійснюється релаксація залишкових напружень. В запропонованому способі обробка вібраціями здійснюється безпосередньо на робочому місці, що дозволяє зменшити технологічний цикл механічної обробки деталі.

При використанні розглянутого методу стабілізації розмірів нежорстких деталей дозволяє зменшити похибки деталей з 1,1 до 0,07 мм. Шорсткість поверхні заготовок, що визначена за допомогою профілометра 203, становила $Ra=1,6$ мкм по ГОСТ 2789–73.

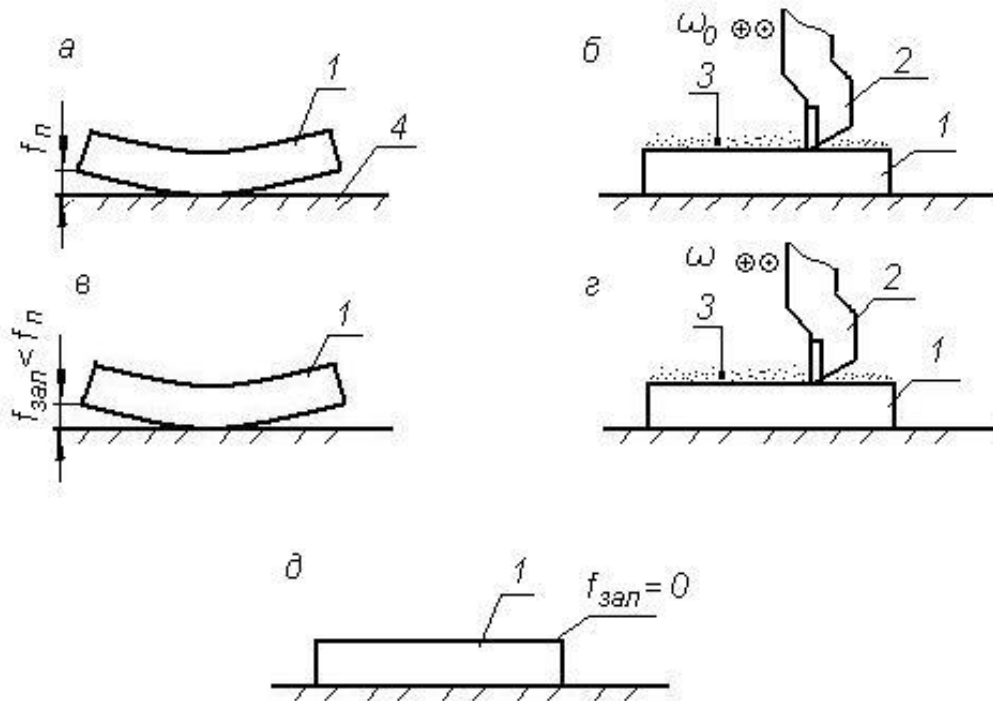


Рис. 1. Послідовність реалізації способу холодної правки нежорстких деталей:
 а – форма деталі до обробки; б – схема виконання першого робочого ходу;
 в – форма деталі після першого робочого ходу; г – схема виконання другого робочого ходу;
 д – форма деталі після обробки; 1 – оброблювана деталь; 2 – чистовий різець;
 3 – суспензія з абразивними частинками; 4 – стіл верстата;
 f_n – початкова деформація оброблюваної деталі;
 $f_{зал}$ – деформація деталі після першого проходу різця; ω, ω_0 – частота рухів різця.

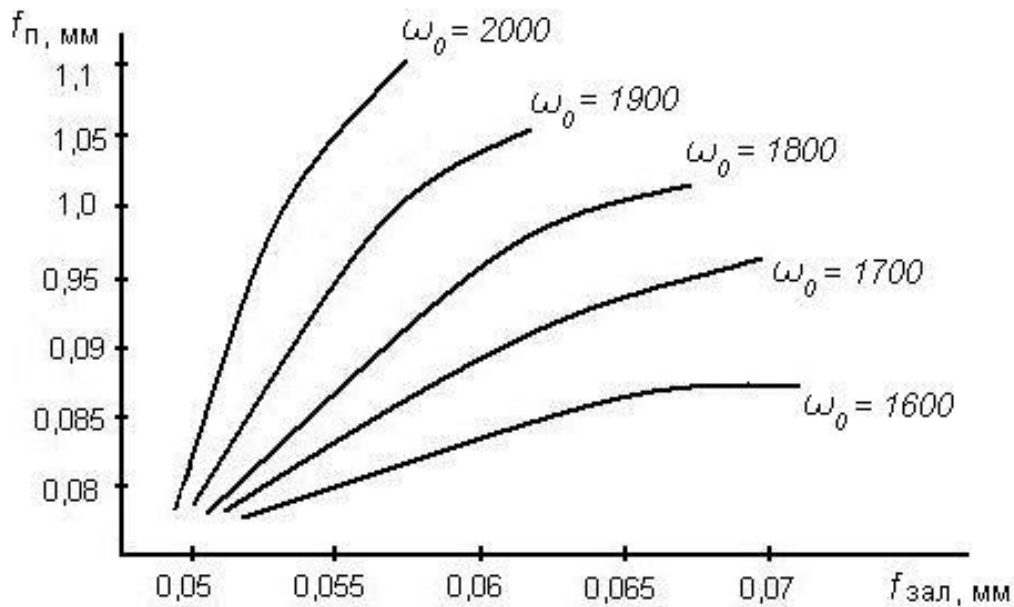


Рис. 2. Графік залежності $f_{зал}$ від f_n при їх обробці вібраціями частотами ω_0 при першому робочому ході

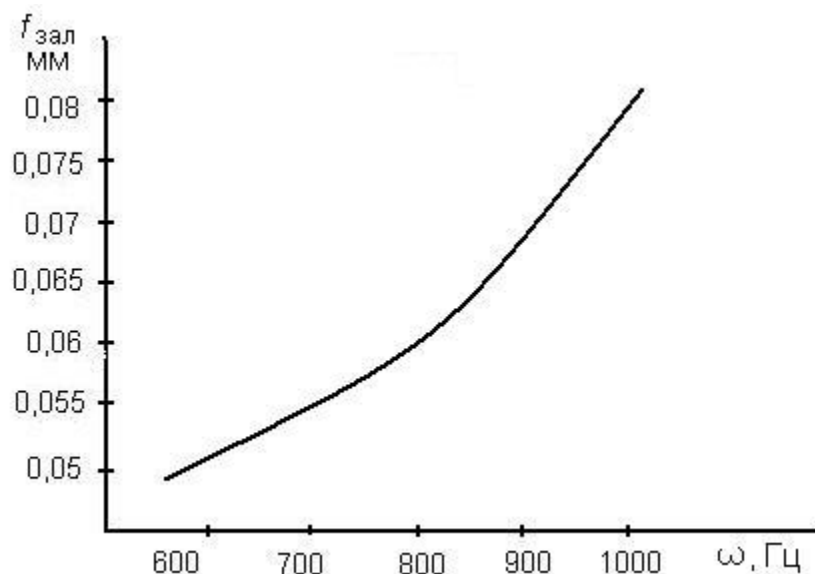


Рис. 3. Графік залежності $f_{\text{зал}}$ від частоти ω коливань різця при другому робочому ході

Висновки

Визначено, що дія на нежорсткі зразки вібраціями різця може бути надійним та ефективним засобом підвищенню якості нежорстких деталей. Існуючі способи мають недоліки, тому запропоновано новий спосіб холодної правки нежорстких деталей, на який авторами отриманий патент на корисну модель [7]. Спосіб передбачає холодну правку деталей за допомогою вібрацій, що передаються через інструмент, забезпечує стабілізацію залишкових напруг в деталі, які нерозривно пов'язані з залишковими деформаціями і зменшують їх, тобто підвищується якість деталі. Суспензія з абразивними частинками дозволяє одержати необхідну якість оброблюваної поверхні без видалення припуску, що в цілому скорочує витрати на метал. Впровадження даного способу дозволило зменшити похибки при обробці зразків від 1,1 до 0,07 мм. При цьому якість обробленої поверхні $Ra = 1,6$ мкм, вимоги по точності відповідають вимогам кресленням, знижується цикл обробки та підвищується якість виробів.

Перелік джерел літератури: 1. Гаврилов В.А., Гребень В.Г. Оптимизация режимов резания при точении нежестких валов // Технология машиностроения – № 1. – 2006. 2. Васильевых С.Л., Иванайский А.В. Математическое моделирование процесса резания при продольном точении // Технология машиностроения – № 6. – 2010. 3. А.С. 175787 СССР В23С3/00. Способ односторонней механической обработки деталей / Л.П. Колот, Ю.Ф. Глазунов, В.А. Колот, А.В. Колот. – № 4891576/08, Заявл. 17.12.1990. – Опубл. 30.08.1992. – Бюл.№32. 4. А.С. 152957 СССР В241/100. Способ обработки деталей / В.А. Колот, Л.П. Колот. – № 4419705/31-08, Заявл. 14.03.1988. – Опубл. 07.12.1989. – Бюл.№45. 5. Шулев Г.С. Стабилизация свойств точных деталей машин с использованием магнитного поля и электрического тока // Сборник докладов международного научно-технического семинара. – Варна, 1997. – С. 46-49. 6. А.С. 1538949 СССР В21Д3/46. Способ холодной правки нежестких деталей / В.А. Колот, Л.П. Колот, В.Н. Черненко, Л.А. Ксенофонтов. – № 4678574/06, Заявл. 15.12.1988. – Опубл. 27.02.1990. – Бюл.№4. 7. Патент на корисну модель 61518 Україна В24С1/00. Спосіб холодної правки нежорстких деталей / Л.П. Колот, С.Г. Онищук, І.М. Стародубцев. – № u2010 14729, Заявл. 08.12.2010. – Надрук. 25.07.2011. – Бюл.№14.

Рецензент: **Клименко Г.П.**, д.т.н., проф., ДДМА

ЗМЕНШЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ ДЕФОРМАЦІЙ НЕЖОРСТКИХ ДЕТАЛЕЙ

Колот Л.П., Онищук С.Г.

Пропонується новий спосіб підвищення точності обробки нежорстких деталей шляхом прогину деталі в бік, протилежний початковому прогину, з наступною обробкою поверхні двома робочими ходами з вимірюванням прогину після першого робочого ходу. При цьому інструменту, яким обробляється поверхня, задається вібрація. Величина коливань рухів інструменту визначається шляхом корекції частоти коливань при другому проході інструменту з урахуванням величини вимірюваного після першого робочого ходу. При цьому обробка вібраціями здійснюється безпосередньо на робочому місці, що дозволяє зменшити технологічний цикл механічної обробки деталі. Подача в зону обробки суспензії з абразивними частинками дозволяє одержати необхідну якість оброблюваної поверхні без видалення припуску. Абразивні частки створюють удар по поверхні заготовки та розгладжують мікронерівності, чим забезпечується необхідна шорсткість поверхні деталі. Визначено залежність вібрації різця від початкових деформацій деталі, що знаходяться в прямій залежності.

УМЕНЬШЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ НЕЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ

Колот Л.П., Онищук С.Г.

Предлагается новый способ повышения точности обработки нежестких деталей с помощью вибраций инструмента, которым осуществляется обработка. Величина колеблющихся движений инструмента определяется путем коррекции частоты колебаний при втором проходе инструмента. В зону обработки подается суспензия с абразивными частицами, чем обеспечивается высокое качество поверхности без удаления припуска. При этом обработка вибрациями осуществляется непосредственно на рабочем месте, что позволяет уменьшить технологический цикл механической обработки детали. Подача в зону обработки суспензии с абразивными частицами позволяет получить необходимое качество обрабатываемой поверхности без удаления припуска. Абразивные частицы создают удар по поверхности заготовки и разглаживают микронеровности, чем обеспечивается необходимая шероховатость поверхности детали. Определена зависимость вибрации резца от начальных деформаций детали, находящиеся в прямой зависимости.

DECREASE PERMANENT DEFORMATION OF NON-RIGID DETAILS

L.P. Kolot, S.G. Onishchuk

A new method to improve the accuracy of processing of non-rigid parts with the aid of vibration tools that process. Value oscillating tool movements is determined by correcting the oscillation frequency of the second pass tool. In the processing area is served suspension of abrasive particles, which ensures high quality of the surface without removing the stock. In this case, treatment is carried out vibrations at the workplace in order to reduce process cycle machining parts. Filing into the processing zone a suspension of abrasive particles can get the required surface quality without removing the stock. Abrasive particles create a blow to the workpiece surface and smooth the microroughnesses, which ensures the necessary roughness of the surface of the part. Determined the dependence vibration of the tool on the initial deformations live parts are in direct relation.

Ключові слова: нежорсткі деталі, холодна правка, суспензія, вібрація, різець, абразивні частинки

Ключевые слова: нежесткие детали, холодная правка, суспензия, вибрация, резец, абразивные частички

Key words: non-rigid details, cold correction, suspension, vibration, tool, abrasive particles

Дата надходження статті: 16 квітня 2013 р.

УДК 621.9

Донченко Е.И., Шишкин А.В., Пантелеев А.Е.
ДГМА, Г. Краматорск, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КОЛИЧЕСТВА МАЛОРАЗМЕРНЫХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Введение

В настоящее время в ряде отраслей народного хозяйства существует необходимость регистрации малоразмерных неметаллических объектов, движущихся с высокой скоростью в неоднородном потоке. В современных условиях производства для регистрации объектов используются оптические, индуктивные и емкостные датчики. Индуктивные датчики предназначены для бесконтактного измерения вибрации, перемещения, частоты вращения электропроводящих объектов, поэтому они не пригодны для регистрации неметаллических объектов. Оптические датчики справляются с поставленной задачей, но имеют существенные недостатки: они чувствительны к запылению, к паразитным засветкам, к изменению свойств поверхности регистрируемых предметов и не могут отличить попарно летящие объекты от одиночных. Среди классов емкостных датчиков для поставленной цели могут быть применены выключатели бесконтактные, датчики уровня, датчики приближения и прикосновения, однако они не способны регистрировать малогабаритные (например, 3x3x6 мм) и тем более быстроперемещающиеся (например, 2-5 м/с).

Цель работы

Целью работы является исследование условий создания емкостных датчиков, позволяющих выполнять регистрацию малоразмерных предметов, движущихся с высокой скоростью в неоднородном потоке. Для этого была выполнена разработка математической модели и структуры датчика, соответствующего требованиям использования в системах контроля количества объектов в промышленности и сельском хозяйстве. Датчик (рис. 1), должен решать проблему учета деталей из любого материала, способствовать увеличению точности регистрации, должен быть оснащен интерфейсом связи промышленного стандарта.

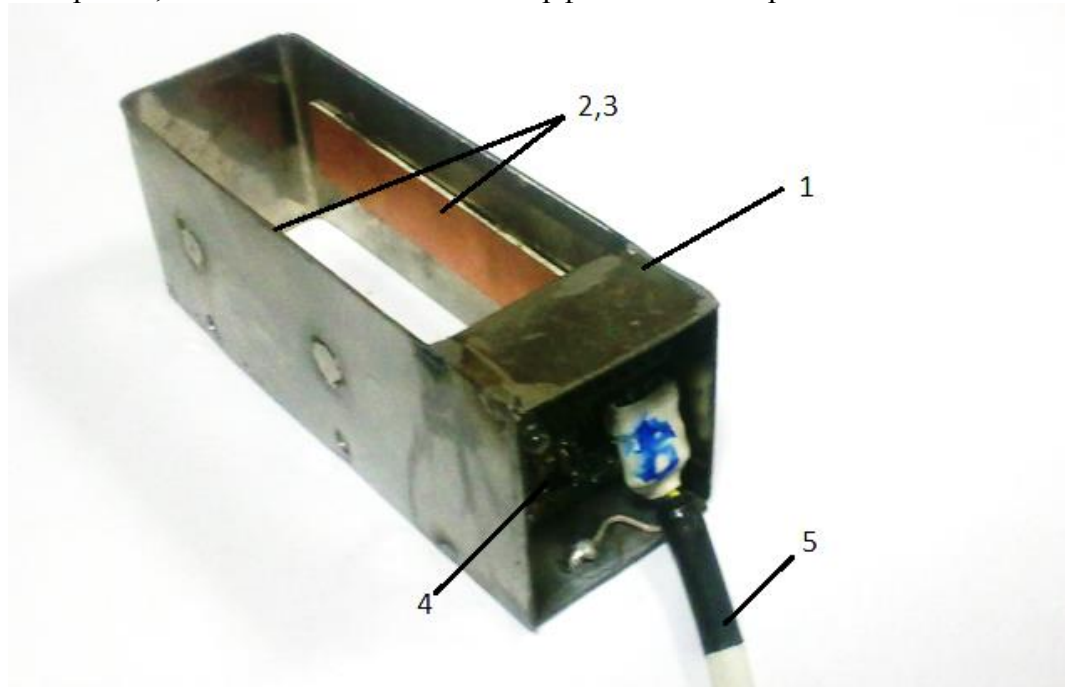


Рис. 1 – Внешний вид датчика

Основное изложение материала

Конструктивно датчик представляет собой металлический каркас 1 с расположенными в нём излучающей 2 и принимающей 3 параллельными пластинами, образующими ёмкость измерительного конденсатора, вычисляемого по формуле (1). В торцевой части корпуса расположена электронная плата датчика 4. Подключение датчика к измерительной системе осуществляется кабелем 5.

$$C = \frac{\varepsilon_0 S}{d} \quad (1)$$

где ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды, заключенной между обкладками, для воздуха равна единице и может не использоваться в расчетах,

S и d – площадь поверхности рассматриваемых обкладок и расстояние между ними.

Для определения параметров датчика была составлена простейшая модель электростатических процессов, происходящих при внесении малоразмерного неметаллического объекта между обкладками (рис. 2).

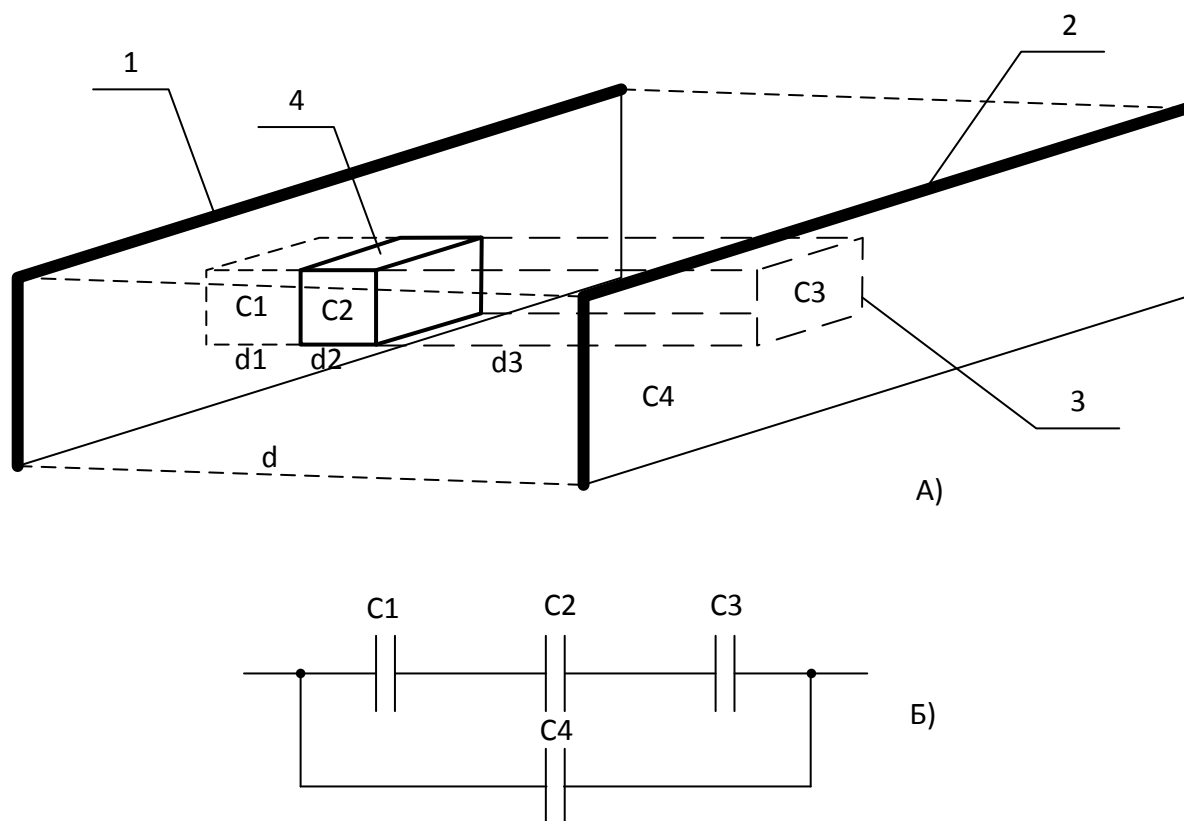


Рис 2 – Измерительная модель (А) и схема ее замещения (Б)

Между обкладками датчика 1 и 2 (рис. 2 А) существует электрическое поле, обусловленное разностью потенциалов между ними. Принято допущение что линии электрического поля в центральной части датчика параллельны, откуда определено существование конденсаторов $C1$, $C2$ и $C3$, образованных проекцией 3 объекта 4 на обкладки датчика 1 и 2:

$C1$ - ёмкость между излучающей пластиной и объектом;

$C2$ - ёмкость конденсатора, образуемого поляризацией диэлектрика объекта в электрическом поле;

$C3$ - ёмкость между объектом и принимающей пластиной;

$C4$ - ёмкость между 2 пластинами по остальной площади.

Определим аналитическую зависимость параметров схемы замещения рис.2 Б) от геометрических параметров измерительной модели:

1) Ёмкость между излучающей пластиной и объектом. Определяется по формуле (1), с

учетом диэлектрической проницаемости воздуха $\varepsilon=1$.

$$C_1 = \frac{\varepsilon_0 S}{d_1}, \quad (2)$$

где S – площадь проекции объекта на измерительные пластины;

d_1 – расстояние между излучающей пластиной и стороной объекта;

2) Ёмкость конденсатора, образуемого сторонами объекта в электрическом поле.

$$C_2 = \frac{\varepsilon_0 S}{d_2}, \quad (3)$$

где d_2 – расстояние между сторонами объекта по вектору электрического поля.

ε – диэлектрическая проницаемость объекта;

3) Ёмкость между объектом и принимающей пластиной.

$$C_3 = \frac{\varepsilon_0 S}{d_4}, \quad (4)$$

где d_4 – расстояние между пластиной и объектом.

4) Ёмкость между излучающей и принимающей пластиной.

$$C_4 = \frac{\varepsilon_0 (S_{nl} - S)}{d}, \quad (5)$$

где d – расстояние между пластинами;

S_{nl} – площадь обкладок емкостного датчика.

В качестве образца была принята пластиковая шпилька с диэлектрической проницаемостью ε равной 3. Геометрические размеры образца $a=3$ мм, $b=6$ мм (рис. 3).

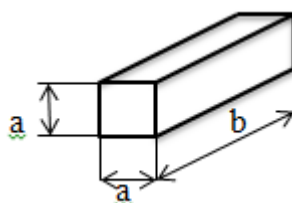


Рисунок 3 – Общий вид регистрируемого объекта

Общая ёмкость датчика при внесении объекта определяется по схеме замещения (рис. 2Б):

$$C_0 = \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot C_3}{C_1 \cdot C_2 + C_1 \cdot C_3 + C_2 \cdot C_3} + C_4. \quad (6)$$

Подставляя в выражение (6) формулы (2), (3), (4):

$$C_0 = \varepsilon_0 \cdot S \frac{1}{d_3 + \frac{d_2}{\varepsilon} + d_1} + C_4, \quad (7)$$

Анализ выражения (7) показывает, что изменение соотношения дистанций d_1 и d_3 (т.е. положения объекта) не влияет на результат. Поэтому дальнейшие преобразования выражения (7) могут быть проведены для частного случая:

$$d_1 = d_3. \quad (8)$$

Как принято в измерительной модели (рис.2 Б) дистанции соотносятся между собой выражением:

$$d_1 + d_2 + d_3 = d, \quad (9)$$

С учетом уравнений (8), (9) получим частный случай для выражения (7):

$$C_0 = \varepsilon_0 \cdot \left(S \frac{1}{d - d_2 \cdot (1 - 1/\varepsilon)} + \frac{S_{nl}}{d} - \frac{S}{d} \right), \quad (10)$$

Используя выражение (10) составим передаточную функцию измерительной модели по изменению площади проекции S :

$$K(S) = \frac{\Delta C}{\Delta S} = \varepsilon_0 \cdot \left(\frac{1}{d - d_2 \cdot (1 - 1/\varepsilon)} - \frac{1}{d} \right), \quad (11)$$

Используя выражение (11), построим график зависимости чувствительности измерительной модели от расстояния между обкладками d и размеров объекта в направлении вдоль линии электрического поля d_2 (рис.4).

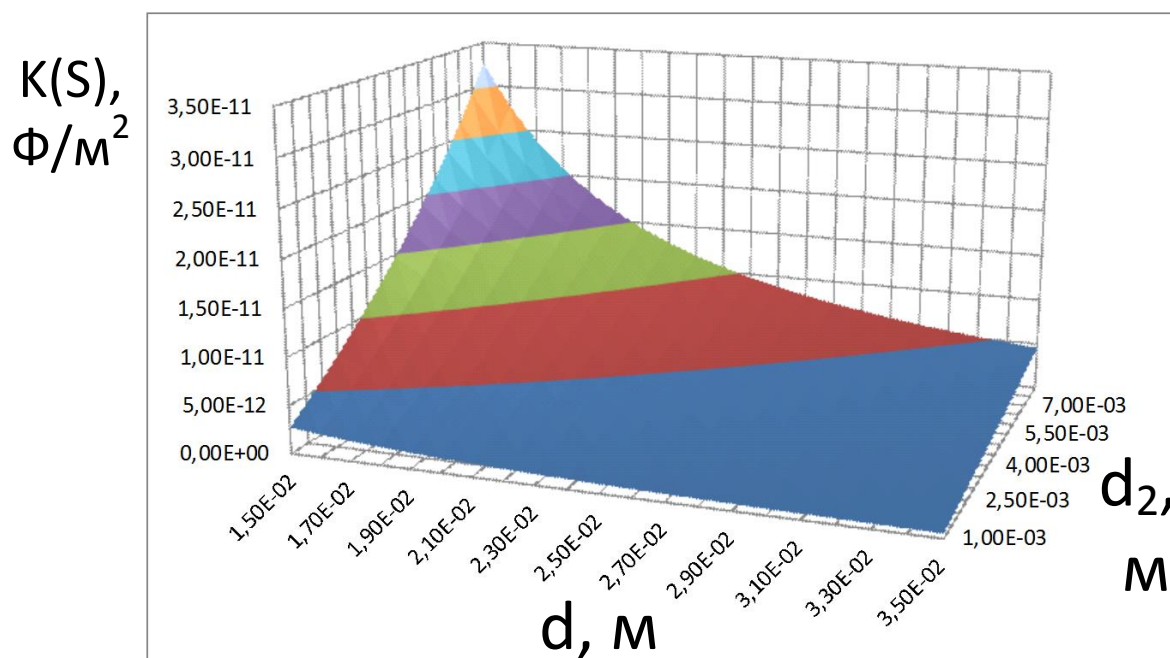


Рис. 4 – Зависимость чувствительности датчика от соотношения геометрии объекта измерения и расстояния между обкладками

Анализ графика показывает нелинейную зависимость коэффициентом передачи от расстояния между пластинами, это особенно заметно при сравнимых размерах объекта и расстояния между пластинами.

Таким образом, для обеспечения линейной чувствительности датчика необходимо обеспечить примерное соотношение:

$$\frac{d}{d_2} > 5. \quad (12)$$

Анализ выражения (10) позволил предположить, что передаточная функция датчика зависит от ориентации малоразмерного объекта относительно пластин измерительного конденсатора.

Существует два основных варианта размещения объекта по отношению к вектору электрического поля:

1. вектор электрического поля направлен вдоль оси b , $d_2^1 = 6$ мм

2. вектор электрического поля направлен вдоль любой из осей a , $d_2^2 = 3$ мм.
Площадь измерительного конденсатора (рис. 5), определяемая по формуле (6):

$$S_{пл} = H \cdot B \quad (13)$$

где $H = 13$ мм; $B = 72$ мм; $d = 28$ мм.

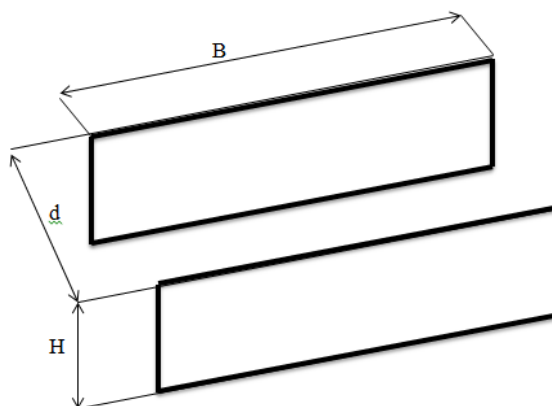


Рис. 2 – Изображение обкладок датчика

Тогда для первого варианта ориентации: $C_0 = 3.0167 \cdot 10^{-13}$.

Для второго варианта: $C_0 = 3.0736 \cdot 10^{-13}$.

Из расчетов видно, что при внесении объекта между обкладками ёмкость конденсатора изменяется на 1,9 % для первого варианте и на 3,8 % для второго варианта.

Таким образом, даже в упрощенной модели наблюдается изменение значения емкости в зависимости от ориентации объекта. Поэтому точное измерение количества объектов, пролетающих между обкладками, невозможно измерить интегральными методами (т.е. путем суммирования изменения емкости во времени). Из этого можно сделать вывод, что более точным является поштучный учет.

Известно, что в настоящее время существуют датчики для регистрации малоразмерных неметаллических объектов. Структура измерительной системы существующего датчика показана на (рис. 4).

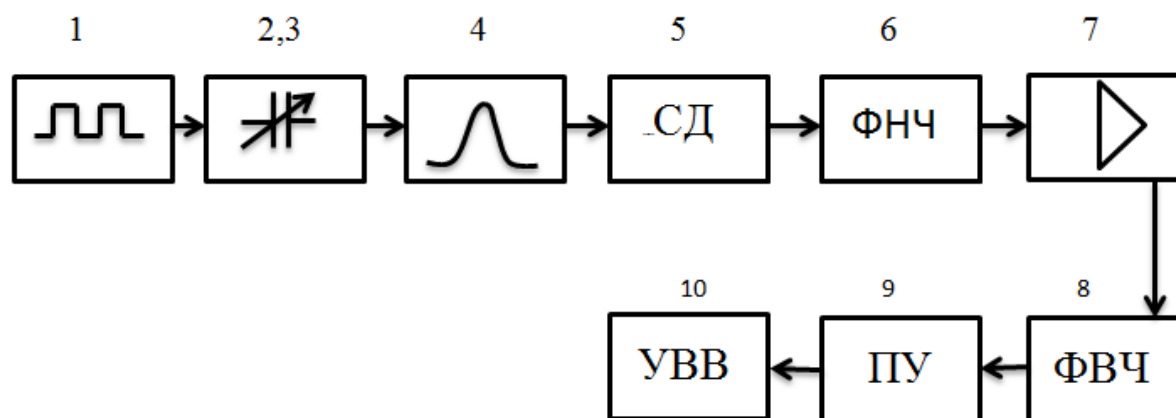


Рис. 4 – Структурная схема существующего датчика

Прототип включает следующие узлы: генератор прямоугольных импульсов 1, питает излучающую пластину измерительного конденсатора 2. На принимающей пластине 3 появляется напряжение пропорциональное относительной диэлектрической проницаемости измерительного конденсатора, т.е. зависящая от внесённого неметаллического объекта. Это напряжение усиливается при помощи резонансного усилителя 4, настроенного на частоту

генератора и подаётся на линейный однополупериодный амплитудный детектор 5. Пульсирующий сигнал с выхода детектора сглаживается при помощи ФНЧ 6 и усиливается усилителем 7. С выхода усилителя 7 через дополнительный ФВЧ 8 сигнал подаётся на пороговое устройство 9, после чего подаётся на вход устройства ввода-вывода информации 10.

Существующий датчик основан на линейном усилителе и пороговом детекторе, в виду чего его характеристики сильно зависят от изменения параметров обкладок. Датчик слабоустойчив к наводкам переменного напряжения 50 Гц. Практика эксплуатации датчика показала, что он не работоспособен при воздействии электромагнитных полей.

Структура измерительной системы предложенного датчика показана на рисунке 5. Она включает в себя следующие узлы: микроконтроллер, который формирует на выходе МАТ прямоугольный импульсный сигнал 3,3В, который усиливается ключевым усилителем до напряжения 5В. Сигнал поступает на излучающую пластину измерительного конденсатора датчика. На принимающей пластине появляется напряжение, амплитуда которого пропорциональна емкости измерительного конденсатора, эквивалентного $C1-C4$ (рис2.). Это напряжение усиливается при помощи резонансного усилителя, настроенного на частоту генератора и подаётся на фильтр верхних частот (ФВЧ). С выхода ФВЧ, через повторитель, сигнал подаётся на синхронный детектор, который управляется таймером контроллера через выход МАТ. С выхода синхронного детектора сигнал через повторитель подаётся на фильтр нижних частот. После сигнала коррекции подаётся на вход АЦП микроконтроллера. Эта информация используется для настройки амплитуды синусоиды на выходе резонансного усилителя и для настройки фазы синхронного детектора. Полезную информацию о движении регистрируемого объекта выделяет фильтр верхних частот с полосой пропускания свыше 50 Гц. Это переменная составляющая в полосе частот от 50 Гц до 2 кГц усиливается и подаётся на вход АЦП микроконтроллера программа управления регистрирует факт движения объекта. При обнаружении объекта программа обработки подаёт сигнал на светодиодную индикацию. Время обнаружения сигнала сохраняется в памяти микроконтроллера и по запросу отправляется через интерфейс RS-485 устройству сбора данных.

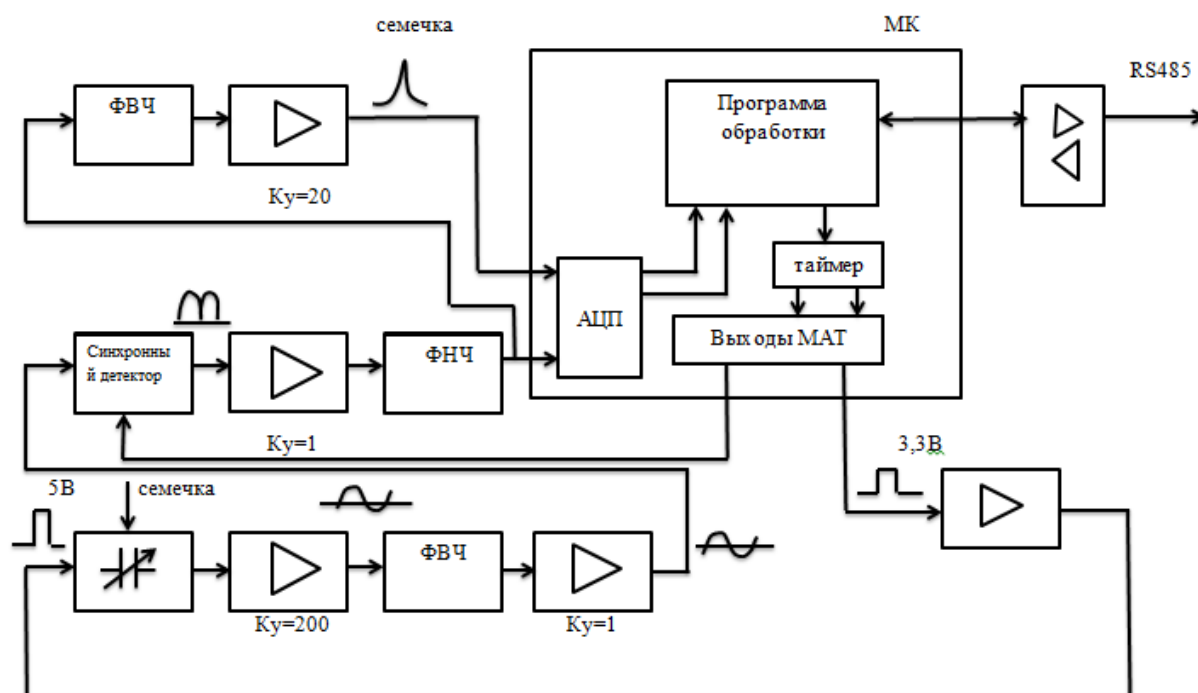


Рис. 3 – Структурная схема разработанного датчика

Выводы

В работе было принято допущение, что линии электрического поля в зоне регистрации датчика параллельны, благодаря чему влияние регистрируемого объекта на измерительную систему было определено аналитически. При этом были получены рекомендации для соотношения геометрических размеров объекта измерения и расстояния между пластинами. Анализ измерительной модели емкостного датчика показал эффективность регистрации малоразмерных непроводящих объектов в поштучном режиме. Для этого был разработан усовершенствованный по сравнению с прототипом датчик, который соответствует требованиям использования в системах контроля количества объектов в промышленности и сельском хозяйстве. Основанный на использовании встроенного микроконтроллера, благодаря гибкости программного обеспечения датчик решает проблему учета деталей из любого материала, увеличивает точность учета за счет распознавания деталей любой ориентации, оснащен интерфейсом связи промышленного стандарта.

Рецензент: **Сердюк А.А.**, к.т.н., ДГМА

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КОЛИЧЕСТВА МАЛОРАЗМЕРНЫХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Донченко Е.И., Шишкин А.В., Пантелеев А.Е.

Проведены исследования и создана структура системы контроля, решающая проблему учета малоразмерных быстролетающих неметаллических объектов на основе емкостного датчика. Определена передаточная функция измерительного конденсатора, приведены рекомендации по выбору его размеров.

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ КІЛЬКОСТІ МАЛОРОЗМІРНИХ НЕМЕТАЛЕВИХ ОБ'ЄКТІВ

Донченко Є.І., Шишкін А.В., Пантелєєв А.Є.

Проведено дослідження і створена структура системи контролю, яка вирішує проблему обліку малорозмірних швидколетящих неметалевої об'єктів на основі ємнісного датчика. Визначено передавальна функція вимірювального конденсатора, наведено рекомендації щодо вибору його розмірів.

STUDY OF CONTROL NUMBER OF SMALL NON-METALLIC OBJECTS

Donchenko E.I. , Shishkin A.V. , Panteleev A.E.

The research and monitoring system, a structure that solves the problem of rapidly moving account of small metallic objects on the basis of a capacitive sensor. Determined by measuring the transfer function of the capacitor provides guidelines for choosing its size.

Ключевые слова: емкостной датчик, измерение количества, система контроля

Ключові слова: ємнісний датчик, вимірювання кількості, система контролю

Keywords: capacitance sensor, measuring the amount, the control system

Дата надходження статті: 16 травня 2013 р.

РОЗДІЛ 4

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

УДК 62-50:658.564:621.923:924

Петраков Ю.В., Кореньков В.М., Мацківський О.С.
НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ НА ВЕРСТАТІ З ЧПК

Вступ

Сучасне машинобудівне виробництво характеризується підвищеною складністю поверхонь деталей, виготовлення яких вимагає застосування верстатів з ЧПК. Технологічне підготування такого виробництва, а саме, проектування управляючих програм, неможливе без використання інтегрованих CAD/CAM систем [1]. Процес різання при обробленні більшості деталей є квазістаціонарним, що вимагає перманентного управління для компенсації збурюючого впливу на технологічну обробляючу систему (ТОС) [1,2].

Відомі два основних принципи управління, що використовуються для стабілізації процесу різання: за збуренням і за помилкою [2]. Управління за збуренням передбачає проектування управління, наприклад, за подачею, з використанням апріорної інформації під час технологічної підготовки виробництва за допомогою САМ систем [2,3]. Результат такого управління цілком залежить від точності апріорної інформації про процес і адекватності математичної моделі ТОС.

В той же час доведено, що управління за помилкою через замкнені системи автоматичного управління (САУ) не потребує такої інформації і автоматично компенсує всі збурюючі впливи, які діють на елементи ТОС, охоплені зворотним зв'язком [4]. Такі перші САУ процесом різання були розроблені ще у 80-х роках ХХ століття школою професора Балакшина Б.С [5]. Однак, у ті часи відсутність належної матеріальної бази не дозволило повністю реалізувати потенціал такого принципу управління, а низька надійність творених САУ завадила широкому впровадженню у виробництво.

Наразі сучасні верстати з ЧПК оснащуються потужними комп'ютерами, приводами безступінчастого регулювання, датчиками зворотного зв'язку тощо. Таким чином, ідеї, що були закладені раніше, отримали матеріальну базу для їх втілення на сучасному рівні і деякі компанії скористалися такою нагодою. Так, фірма Omative System (США) пропонує замкнені САУ, в які входять спеціально розроблені САМ-модулі для управління різними видами оброблення на верстатах з ЧПК: точінням, фрезеруванням, свердлінням, шліфуванням тощо [6]. Цілком зрозуміло, що реалізація таких систем є know-how компаній і алгоритми управління не розкриваються.

Ураховуючи досвід з управління процесами різання на верстатах з ЧПК, накопичений на кафедрі технології машинобудування НТУУ «КПІ», а також нові підходи з моделювання процесів різання, були розпочаті роботи по створенню САМ системи автоматичного управління процесом різання, що використовує відомий принцип управління за помилкою.

Основна частина

Однією з важливих складових будь-якої замкненої САУ є побудова каналу зворотного зв'язку. У разі використання САУ на верстаті з ЧПУ необхідно будувати цифрову систему, а канал зворотного зв'язку має забезпечувати проходження сигналу on-line з певною швидкістю, щоб не обмежувати швидкодію всієї САУ.

Функціональна схема САУ on-line управління процесом різання на верстаті з ЧПК передбачає використання деякої характеристики X процесу різання (наприклад, потужності

P), що може вимірюватись на верстаті, в якості цілі управління і автоматичного впливу на управління U з метою стабілізації цієї характеристики на заданому рівні (рис.1). Для стабілізації процесу різання при точінні за рахунок управління подачею F необхідно ураховувати також поточний діаметр обробки, тобто координату вісі X .

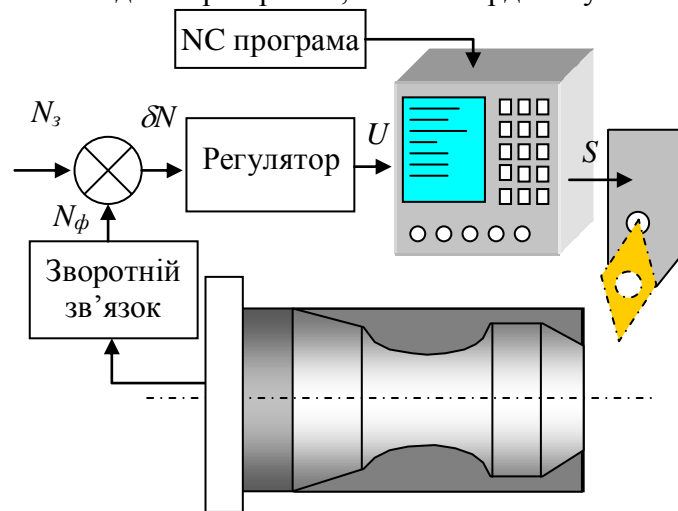


Рис.1. Функціональна схема

При реалізації такої САУ необхідно вирішити дві головні задачі: створення системи визначення потрібної характеристики процесу різання для забезпечення зворотного зв'язку і управління обраним для впливу параметром (наприклад, подачею) через стійку ЧПК. Щодо регулювання подачі під час різання, для цього використовуються можливості будь-якого сучасного верстата з ЧПК, де передбачені опції зменшення чи збільшення подачі під час виконання управляючої програми.

Сучасні верстати з ЧПУ можуть надсилати параметри, що актуальні на певний момент часу. А саме координати положення кожної з осей; потужність на шпинделі і його частота обертання; номер інструмента, що використовується; величина подачі та інші параметри.

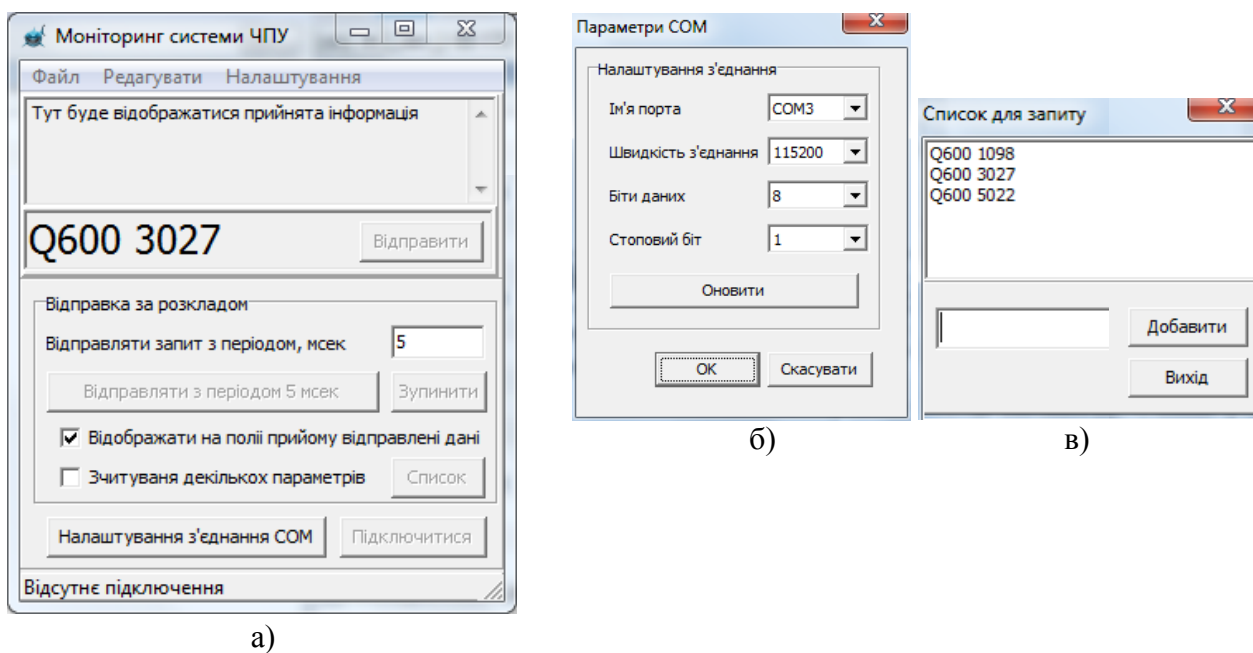
Для використання таких можливостей в якості сигналів зворотного зв'язку було розроблено програмний засіб, головною функцією якого є зчитування необхідних параметрів із системи управління верстата (рис.2). На головний інтерфейс програми виведені всі необхідні опції для попереднього налаштування. Передбачено налаштування за параметрами з'єднання і списком необхідних параметрів, що потрібно зчитувати з верстату.

За умовами експерименту оброблялася заготовка зі сталі 40Х, Ø35мм на довжині 40мм за два проходи так, щоб на першому проході припуск на сторону змінювався від 1,5мм до 0мм (точіння конуса), а на другому проході – від 1мм до 2,5мм (точіння циліндра Ø30мм). Таким чином забезпечується зміна умов різання в заданому діапазоні. Для виконання такого циклу точіння була розроблена управляюча програма, де закладений наступний режим різання: за подачею 0,12 мм/об і частотою обертання шпинделя 1000 об/хв.

Для тестування програми за умовами експериментальних досліджень були встановлені наступні параметри, що визначатимуть часові та інформаційні характеристики з'єднання (дивись рис.2,б), далі записується список параметрів для запиту (рис.2,в):

- Q600 1098 – навантаження (потужність) на шпиндель;
- Q600 3027 – частота обертання шпинделя;
- Q600 5022 – координата вісі Z на момент запиту.

Інтервал, з яким зчитувалися параметри був встановлений на 250 мс. Програма виконується на персональному комп'ютері, що підключений до системи управління верстата за допомогою кабелю RS-232 (рис.3).



а) – головний інтерфейс, б) – вікно налаштування з'єднання, в) – вікно списку параметрів
Рис.2. Інтерфейси програми:



Рис.3. Підключення ПК до токарного обробляючого центру ST20 HAAS

Під час експерименту дані, що отримані за допомогою створеної програми, були записані в файл, за яким побудовані графіки зміни потужності двигуна головного руху (лінія 2 на рис.4) і глибини різання (за координатою X) від координати Z (лінія 1 на рис.4).

Перевірка адекватності записаної інформації, а саме потужності двигуна головного руху проводилась з використанням відомої залежності складової P_z сили різання від режиму: $P_z = C_p H^{x_{pz}} S^{y_{pz}} V^n k$ і розрахунку потужності N_p різання за формулою:

$$N_p = \frac{P_z \pi D n}{1000 \cdot 60}.$$

З іншого боку, оскільки під час експерименту записувалась вся потужність N , то потужність, що витрачається на різання: $N_p = N - N_{x.x.}$, де $N_{x.x.}$ – потужність холостого ходу. Потужність холостого ходу легко визначається з записаних даних при глибині різання, що

дорівнює нулю (дивись рис.4). Така перевірка повністю підтвердила можливість ідентифікації характеристик процесу різання за допомогою розробленої програми.

Що стосується швидкодії, то обмеження, яке накладається властивостями послідовного порту RS232 та кількість інформації, що фіксується на кожному кроці опитування не дозволяють використовувати такий зв'язок для регулювання швидкоплинними процесами різання, проте зафіксована швидкодія цілком достатня для управління через канал подачі, яка при точінні (і багатьох інших видах лезової обробки) змінюється з порівняно невели-

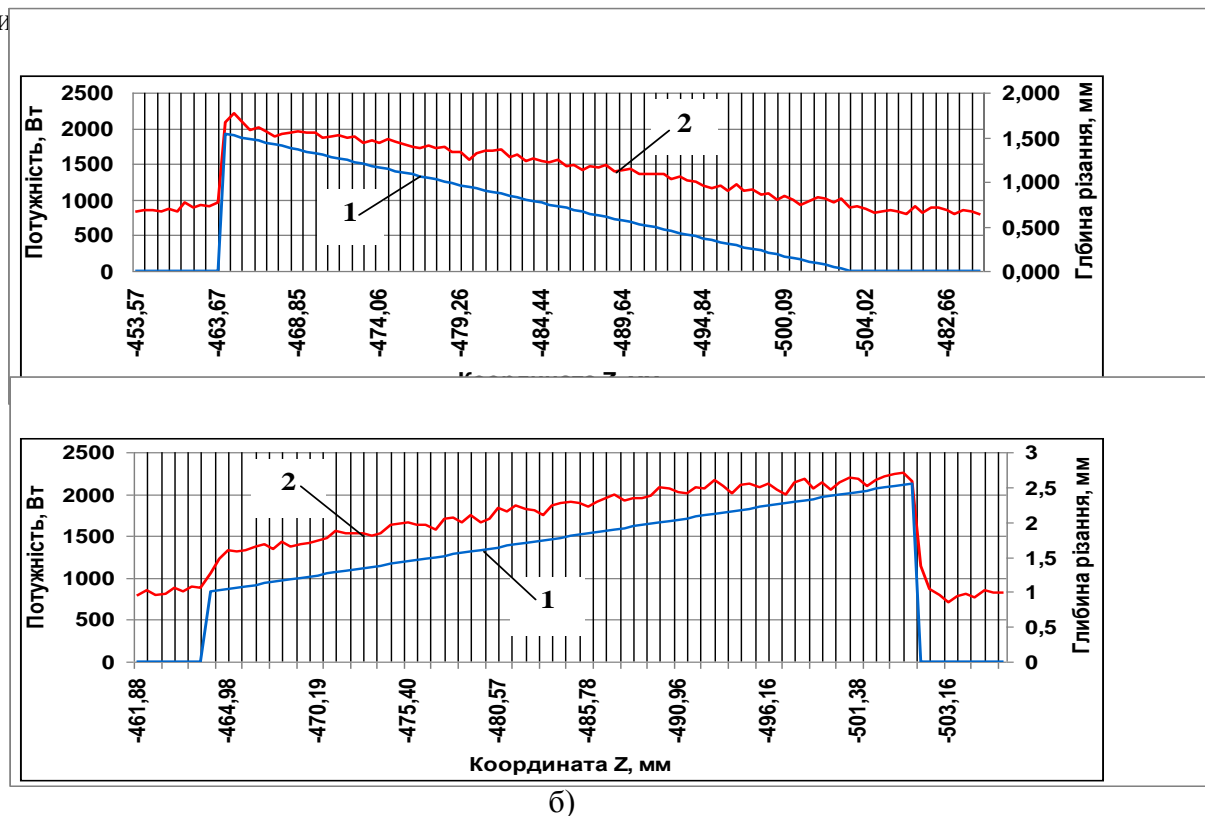


Рис.4. Графіки залежності потужності двигуна головного руху від глибини різання за координатою Z:

а) – зміна глибини різання від 1,5мм до нуля, б) – зміна глибини різання від 1мм до 2,5мм

Теоретичні розробки, виконані на кафедрі технології машинобудування і деякий практичний досвід з впровадження у виробництво, можливість виконання експериментальних досліджень в Навчально-тренінговому центрі НТУУ «КПІ» - НААС, порівняння з тенденціями розвитку провідних фірм світу з розробки САМ-систем, створює підставу вважати започаткований напрямок таким, що дає сподівання на розробку вітчизняних наукоємних продуктів на рівні кращих зразків світу.

Висновки

Доведено, що розроблений програмний засіб дозволяє адекватно ідентифікувати різні характеристики процесу різання на сучасному верстаті з ЧПК. Експериментальні дослідження підтвердили його спроможність використовуватись в якості каналу зворотного зв'язку в системі автоматичного регулювання управління процесом різання за подачею.

Перелік джерел літератури: 1. Петраков Ю.В. Развитие САМ-систем автоматизованого програмування верстатів з ЧПУ : Монографія. – К.: Січкарь, 2011. – 220с. 2. Петраков Ю.В., Драчев О.И. Автоматическое управление процессами резания: учебное пособие. Старый Оскол: ТНТ, 2011.-408с. 3. Machine DNA Profiler – новая технология оптимизации управляющих программ для станков с ЧПУ от компании Delcam. 4. Петраков Ю.В. Методи управління точністю оброблення різанням: Сб. Вестник Национального

технического университета Украины «КПИ», №48, 2006.-с.102-110. **5.** Адаптивное управление станками. Под ред. Б.С. Балакшина. М.: Машиностроение, 1973.-688с. **6.** Системы адаптивного регулирования и мониторинга для металлообрабатывающих станков с CNC / <http://www.omative.com/173890/ACM>.

Рецензент: **Ковалёв В.Д.**, д.т.н., проф., ДГМА

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ НА ВЕРСТАТІ З ЧПК

Петраков Ю.В., Кореньков В.М., Мацківський О.С.

Представлена функціональна схема системи автоматичного регулювання процесу різання на верстаті з ЧПК, що стабілізує обраний параметр в режимі on-line. Для забезпечення каналу зворотного зв'язку розроблена спеціальна програма для зчитування даних з верстата при обробленні. Проведено тестування програми під час точіння зі змінною глибиною різання на верстаті ST20 HAAS, яке підтвердило адекватність параметрів, що ідентифікуються, та необхідну швидкодію. Доведена спроможність розробленого засобу забезпечувати зворотний зв'язок для запропонованої системи автоматичного регулювання.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ НА СТАНКЕ С ЧПУ

Петраков Ю.В., Кореньков В.М., Мацкивский О.С.

Представлена функциональная схема системы автоматического регулирования процесса резания на станке с ЧПУ, которая стабилизирует избранный параметр в режиме on-line. Для обеспечения канала обратной связи разработана специальная программа для считывания данных со станка при обработке. Проведено тестирование программы во время точения с переменной глубиной резания на станке ST20 HAAS, которое подтвердило адекватность идентификации параметров и необходимое быстродействие. Доказана способность разработанного средства обеспечивать обратную связь для предложенной системы автоматического регулирования.

AUTHENTICATION OF CUTTING PROCESS ON A CNC MACHINE-TOOL

Petrakov Y.V., Koren'kov V.M., Mackivskiy O.S.

The functional schema of the control automatic system of cutting process on a CNC machine-tool, which stabilizes a select parameter in the on-line regime is presented. For providing of feed-back channel the special program is developed for the read-out of information from a machine-tool at machining. Testing of the program is conducted during sharpening with the variable depth of cutting on the CNC machine-tool ST20 HAAS, which confirmed adequacy of authentication of parameters and necessary fast-acting. Ability of the developed mean to provide a feed-back for the offered system of automatic control is well-proven.

Ключові слова: ідентифікація процесу різання, верстат з ЧПК, система автоматичного управління.

Ключевые слова: идентификация процесса резания, станок с ЧПУ, система автоматического управления.

Keywords: authentication of cutting process, CNC machine-tool, system automatic control with feed-back

Дата надходження статті: 25 травня 2013 р.

УДК 669.018.25

Сорока О.Б., Родічев Ю.М., Ковальов В.Д., Васильченко Я.В.

ІПМіц НАН України, ДДМА

rym3@mail.ru

ПРОГНОЗУВАННЯ ВТОМНОЇ МІЦНОСТІ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ, ОБРОБЛЕНИХ ІМПУЛЬСНИМ МАГНІТНИМ ПОЛЕМ

Інструментальні матеріали для різального інструменту, що використовуються при механічному обробленні великогабаритних деталей для важкого машинобудування працюють в екстремальних умовах термосилового навантаження. Глибина різання при обробленні валкових сталей досягає 15...20 мм, подача супорта до 1...2 мм при швидкості різання 0,5...2 м/с [1, 2]. Окрім підвищеного рівня зусиль різання на граничний стан інструменту негативно впливає відсутність охолоджувальної рідини, висока – до 800 °С температура у зоні різання та циклічність гармонічного і динамічного навантаження. На відміну від звичайних верстатів, разом з підвищенням зносу на граничний стан інструменту впливають механізми мікро- і макро викришування, зламу кромки та руйнування різальних пластин у цілому (рис. 1).

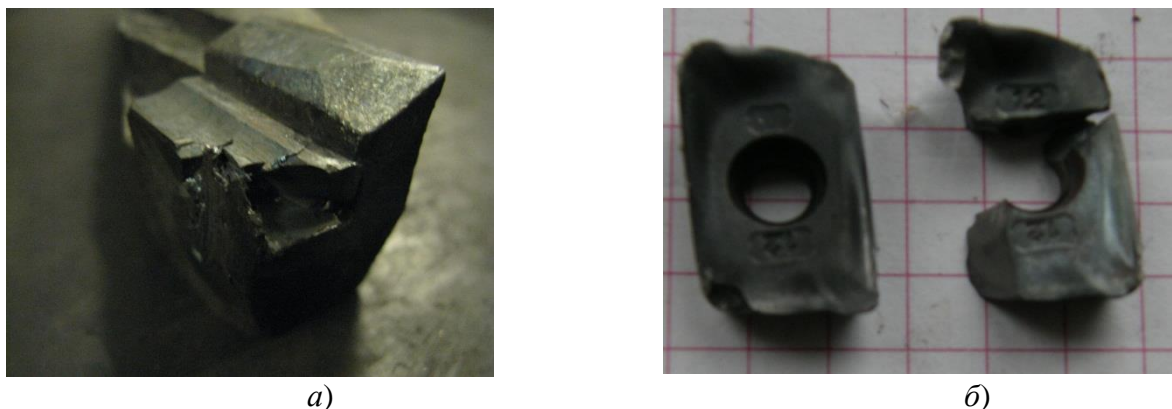


Рис. 1. Характер руйнування напайних змінних пластин з Т5К10 при чорновому точінні (а) та непереточуємих твердосплавних пластин R390-180612М при фрезеруванні (б)

Тому підвищення характеристик конструкційної міцності та опору руйнуванню інструментального матеріалу при статичному і циклічному навантаженні є актуальною проблемою. З цією метою пропонується модифікувати твердосплавний різальний інструмент методом обробки імпульсним магнітним полем (ОІМП) [2]. Надійні оцінки границі витривалості при циклічному навантаженні в умовах гармонічного та динамічного режимів зміни напружень у циклі для модифікованих твердих сплавів, що враховують особливості роботи важких верстатів, відсутні. Проведення відповідних експериментальних досліджень потребує розроблення спеціальних методик, багато часу і значних матеріальних витрат. Тому для оперативних попередніх оцінок ефективності режимів обробки за характеристиками втомної міцності корисними можуть бути непрямі розрахункові методи прогнозування, що базуються на узгаленні відомих експериментальних результатів по цьому напрямку.

Метою дослідження є оцінка можливості прогнозування характеристик циклічної міцності твердих сплавів на основі експериментальних значень статичної міцності, в тому числі для сплавів, модифікованих методом ОІМП.

Найбільш детально досліджено міцність і довговічність основних типів вітчизняних твердих сплавів у роботі [3]. Серед важливих характеристик міцності твердих сплавів для

важких умов експлуатації, окрім твердості, визначальними вважаються міцність на згин при статичному та циклічному навантаженні. У таблиці 1 наведено характеристики міцності деяких вольфрамокобальтових та титановольфрамів твердих сплавів [3, 4-6], які можуть бути використані для визначення базових закономірностей зміни їх співвідношення з рівнем короточасної міцності на згин.

Таблиця 1

Міцність на згин і механічні характеристики твердих сплавів

Марка сплаву	Кобальт,	Границя міцності на згин σ_n дані випробувань [3], (інші дані), МПа	Границя витривалості при пульсуючому циклі, МПа та співвідношення з σ_n			Твердість HV, $\times 10^{-3}$ МПа	Ударна в'язкість a , $\times 10^{-3}$ Дж/м ²
			σ_{0n} / σ_n (10^5 цикл)	$\sigma_{0уд} / \sigma_n$ (10^3 цикл)	$\sigma_{0ст} / \sigma_n^*$ (2×10^6 цикл)		
ВК 6	6	1450 (1300-1900)	~820/ 0,56 (1250/0,69)	900/ 0,61	5600/3,8	15,0	16,7
ВК 8	8	1480 (1480-2000)	1030/ 0,62	1100/0,66	5300/3,2	14,0	20,6
ВК10	10	1764 (1764-2000)	1120 0,63	1230/0,70	5100/2,9	-	-
ВК 15	15	1900 (1862-2200)	1350/ 0,71	1480/0,79	4800/2,6	11,5	31,39
ВК 20	20	2160 (2000-2580)	1445/ 0,67	1590/0,62	4200/1,6	9,8	37,28
T15K6	6	1100 (1100-1300)	900/ 0,75 (1150/0,88)	-	-	-	18,0
T14K8	8	1270 (1150-1300)	~800/ 0,63 (1250/0,85)	-	-	-	17,0
T5K10	10	1550 (1150-1700)	930/ 0,6 (1250/0,80)	-	-	-	22,0

*для зерна 1 мкм

Для порівняння механічних характеристик сплавів групи ВК приймали рівні міцності на згин за результатами випробувань дослідженої у [3] партії твердих сплавів, які відрізнялися від наведених даних за ГОСТ 3882-74 та іншим джерелам (дано у дужках). За відсутності цих результатів (ВК 10) порівняння вели на основі даних ГОСТ 3882-74.

Міцність на згин σ_n сплавів ВК та ударна в'язкість a підвищуються із збільшенням процентного вмісту кобальту. По відношенню до сплаву ВК8 міцність на згин сплаву ВК20 збільшується у 1,5 рази, а ударна в'язкість більше ніж удвічі. Така важлива закономірність є справедливою і для границі витривалості сплавів при гармонічному та ударному циклічному навантаженні при пульсуючому циклі. При цьому зменшується твердість по Вікерсу (для сплаву ВК20 у 1,5 рази). Важливою тенденцією є також зменшення міцності на стиск при циклічному ударному навантаженні (у 2,37 рази).

За наведеними результатами були розраховані середні значення співвідношення границь витривалості сплавів до міцності на згин при статичному навантаженні. Для сплавів ВК при гармонічних циклічних випробуваннях σ_{0n}/σ_n було у діапазоні 0,55...0,72, при динамічних – $\sigma_{0уд}/\sigma_n$ знаходилось у діапазоні 0,6...0,8. Деяко більшим це співвідношення є для сплавів групи ТК. Діапазон експериментального співвідношення σ_{0n}/σ_n при гармонічних циклічних випробуваннях сплавів ТК склав 0,6...0,8.

На рівень границі витривалості твердих сплавів значно впливає метод обробки інструменту. Залежно від нього границя витривалості для сплаву ВК8 знаходиться у межах від 420 МПа після електроіскрової обробки до 1050 МПа при якісному алмазному

обробленні кругом АСМ 40Б. Відповідний діапазон зміни границі витривалості для сплаву Т5К10 складає 420...930 МПа [6].

Стандартні методи випробувань твердих сплавів на згин та інші види тестування з використанням спеціальних зразків не відображають реальних властивостей інструменту внаслідок великої різниці у технології їх виготовлення, конструкції, фактичного напруженого стану та геометрії робочої частини по відношенню до відповідальних ділянок інструменту у зоні різання. Але вони визначають важливі тенденції механічної поведінки, які можуть бути базовими для орієнтовної оцінки роботоздатності нових інструментальних матеріалів та контролю якості інструменту за відсутності можливості виконання відповідних складних експериментів. Важливість розвитку методів контролю або прогнозування міцності та довговічності зростає внаслідок запровадження нових технологій зміцнення твердих сплавів за рахунок об'ємної та поверхневої модифікації. Нажаль, конкретні результати модифікації та дані щодо фактичного рівня підвищення міцності та ресурсу інструменту не надаються виробниками.

У таблиці 2 дано результати випробувань конструкційної міцності на згин квадратних змінних різальних пластин із твердого сплаву Т5К10 з розмірами 16 x 16 x 5 мм, що використовуються для токарних прохідних і розточних різців і торцевих фрез. На різальні поверхні пластин було нанесено PVD - покриття завтовшки 5 мкм. Для підвищення міцності пластини було модифіковано з використанням обробки імпульсним магнітним полем. Застосовували два експериментальні режими оброблення, що відрізнялися потужністю випромінювання та напруженістю магнітного поля.

Пластини випробували на трьохточковий згин. Поверхню з різальною кромкою та покриттям розташовували у зоні дії напружень розтягу. Тестування проведено на гідравлічній машині ZD-4 з швидкістю навантаження 6,5...10 МПа/с. Випробували три партії пластин кількістю по 5 шт. Для порівняння міцності традиційних зразків $\sigma_{u зр}$ з цього сплаву з реальним рівнем міцності у різальних пластинах $\sigma_{u пл}$ у таблиці дано відношення $\sigma_{u пл}/\sigma_{u зр}$ з урахуванням діапазону зміни літературних даних за різними джерелами щодо границі міцності сплаву Т5К10 (1150-1700 МПа).

Таблиця 2

Конструкційна міцність на поперечний згин різальних пластин із сплаву Т5К10

Стан пластин	Границя міцності $\sigma_{u пл}$ на згин, МПа	Розкид $\sigma_{u \min}$ $\sigma_{u \max}$ МПа	Відношення $\sigma_{u пл}/\sigma_{u зр}$	Ступінь зміцнення, %
Вихідний	892	711/1046	0,5 – 0,75	-
Зміцнений ОІМП по режиму 1	1037	762/1280	0,6 - 0,9	16
Зміцнений ОІМП по режиму 2	1130	884/1295	0,66 - 0,98	27

Аналіз отриманих результатів випробування модифікованих різальних пластин сплаву Т5К10 показує, що внаслідок впливу комплексу технологічних і конструкційних факторів конструкційна міцність на згин різальної пластини з твердого сплаву є значно меншою ніж міцність традиційних стандартних призматичних зразків. Залежно від технології оброблення та умов випробувань зразків міцність реальних різальних пластин може зменшуватися на 10...50% відносно результатів традиційних механічних випробувань твердих сплавів на згин, що безпосередньо впливає на роботоздатність інструменту, достовірність оцінок його довговічності та на ефективність його застосування у важких умовах різання.

Встановлено також, що застосований спосіб модифікації твердого сплаву Т5К10 дозволяє підвищити його міцність на згин на 16...27 % залежно від режиму оброблення імпульсним магнітним полем.

Для визначення впливу такої модифікації на втомні характеристики було виконано попередню оцінку можливого підвищення границі витривалості пластин при циклічному навантаженні з використанням закономірностей втомного руйнування твердих сплавів та експериментально встановлених співвідношень їх міцності на згин при статичному і циклічному навантаженні.

Внаслідок довготривалості та високої вартості випробувань на втому металевих конструкційних матеріалів широке застосування для оцінки границі їх витривалості отримали непрямі методи, що базуються на результатах статичних випробувань зразків та елементів і результатах кореляційного і регресійного аналізу відомих експериментальних результатів при циклічному навантаженні.

У перших таких оцінках границю витривалості сталей приймали як певну долю границі міцності в умовах розтягу,

$$\sigma_{-1} = K \sigma_B, \quad (1)$$

де для багатьох сталей приймали $K = 0,4 \dots 0,6$ [7,8].

Залежно від властивостей матеріалу, технології, конструкції та напруженого стану елементів, режимів і умов циклічного навантаження було встановлено чисельні емпіричні залежності між границею витривалості та характеристиками механічних властивостей металів – границею текучості, твердістю та іншими [8]. Для орієнтовної оцінки границі витривалості при розтягу σ_{-1} , згині $\sigma_{-1и}$ і крутінні τ_{-1} рекомендуються наступні співвідношення: для сталей $\sigma_{-1} = 0,8\sigma_{-1и}$, для крихких матеріалів типу чавуну $\sigma_{-1} = 0,65\sigma_{-1и}$, $\tau_{-1} = 0,8\sigma_{-1и}$, для сталей та легких сплавів $\tau_{-1} = 0,55\sigma_{-1и}$. Ці співвідношення відображають важливі загальні тенденції але потребують обов'язкового уточнення для оцінки реальної працездатності конструкцій.

Експериментальні результати різних джерел, наведені у таблиці 1, та виконане їх узагальнення вказують на те, що залежно від хімічного складу, структури та технологій, застосованих для виготовлення і оброблення інструменту характеристики твердих сплавів можуть визначатися закономірностями, що є характерними для крихких або пружно-пластичних міцних металевих сплавів. Так для сплавів ВК6, ВК8 та ВК10 з меншим вмістом пластичного кобальту параметр $\sigma_{0и} / \sigma_{и}$ коливається від 0,55 до 0,65, як і для чавуну при симетричному циклі навантаження. Для більш пластичного сплаву ВК15 та титановольфрамкових твердих сплавів співвідношення $\sigma_{0и} / \sigma_{и}$ може бути більш високим – від 0,6 до 0,8.

На основі великого обсягу статистично достовірних результатів у роботі [9] було показано можливість надійної оцінки границі втомної міцності при симетричному згині σ_{-1} широкого кола конструкційних металевих сплавів на основі значень їх границі міцності при статичному розтягу σ_B . Діапазон значень границі міцності був від 100 ... 650 МПа для сплавів алюмінію до 1700 ... 2150 МПа для вуглецевих і легованих сталей. Для розрахунків використовувалися лінійне та степеневе рівняння лінії регресії:

$$\sigma_{-1} = a + b \sigma_B \quad (2)$$

$$\sigma_{-1} = c \sigma_B^a, \quad (3)$$

яке при логарифмуванні зводиться до лінійного

$$\lg \sigma_{-1} = \lg c + \lg \sigma_B \quad (4)$$

На рисунку 2 показано експериментальні залежності границь витривалості для твердих сплавів ВК (крива 1) та титановольфрамкових сплавів (крива 2), побудовані нами за узагальненими результатами, наведеними у таблиці 1. Значення границь міцності та витривалості на згин приймали за результатами випробувань і даними [3] (без дужок). Ці значення границі витривалості відповідають меншим величинам співвідношення $\sigma_{0и} / \sigma_{и}$ у порівнянні з показаними у дужках. Такий підхід забезпечує збільшення запасу міцності і довговічності при прогнозуванні втомної міцності твердих сплавів.

Нелінійна форма кривої 1 для сплавів групи ВК не відповідає рівнянням (2) і (3) і при $\sigma_u \geq d$ краще може бути апроксимована емпіричним рівнянням

$$\sigma_{0u} = b + c (\sigma_u - d)^a, \quad (5)$$

де параметри $b=500$, $c = 1,55$, $d=1000$, $a = 0,9$.

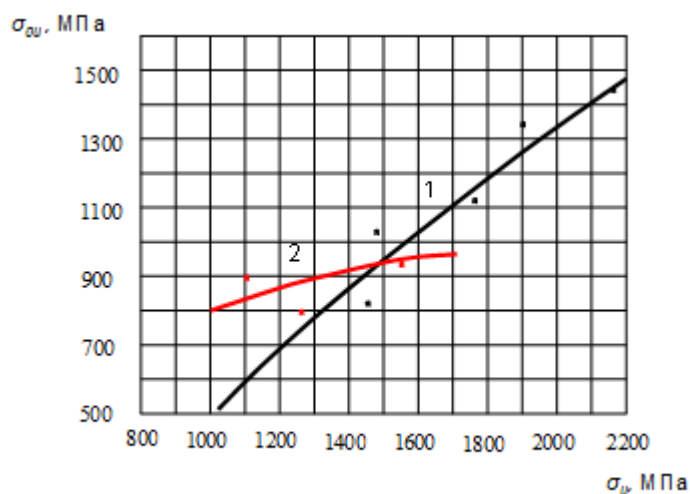


Рис. 2. Узагальнені залежності границь витривалості від статичної міцності на згин для твердих сплавів ВК (1) та ТК(2)

Таким чином, використання графіка (рис.2) дозволяє зробити прогноз щодо приросту σ_{0u} , виходячи з експериментально отриманого значення σ_u модифікованого сплаву. Так, очікуємо, що зразку з Т5К10, модифікованому ОІМП за режимом 1 ($\sigma_u = 1037$ МПа) відповідає $\sigma_{0u} = 830$ МПа, а за режимом 2 ($\sigma_u = 1130$ МПа) – $\sigma_{0u} = 860$ МПа. З рис.2 видно, що залежність границі витривалості при гармонічному циклічному навантаженні від статичної міцності на згин для сплавів ВК характеризується більш значним підвищенням значень із збільшенням σ_u .

На рис. 3 дано загальні тенденції механічної поведінки сплавів ВК при циклічному гармонійному (крива 2) та динамічному навантаженні (крива 1) при згині та динамічному навантаженні в умовах стиску (крива 3), встановлені за результатами аналізу даних таблиці 1. Слід зазначити, що для сплавів групи ВК залежності співвідношення σ_{0u} та σ_u від σ_u як при гармонійному, так і при динамічному навантаженні мають явно виражений екстремум, а залежність співвідношення границі витривалості при динамічному навантаженні в умовах дії напружень стиску за пульсуючим циклом σ_{0cm} та σ_u монотонно та лінійно спадає із зростанням σ_u .

Більшість розглянутих сплавів відноситься до крихких та квазікрихких матеріалів з значною різницею опору руйнуванню при розриві в умовах розтягу, згину та стиску. Тому встановлена принципова різниця кривих 1, 2 та 3 може мати важливе значення при оцінці конструкційної міцності розглянутих матеріалів в умовах складного напруженого стану, який є характерним для різального інструменту. Вона дозволяє враховувати визначені особливості втомної міцності твердих сплавів при різних видах напруженого стану на стадії попередньої оцінки ефективності застосованих методів модифікації матеріалу та можливого підвищення роботоздатності різальних інструментів.

Слід підкреслити необхідність експериментального уточнення отриманих таким чином оцінок обраних режимів оброблення з використанням результатів спеціальних механічних випробувань та експериментів по визначенню стійкості та міцності модифікованого інструменту у лабораторних та реальних умовах різання, характерних для виробів важкого машинобудування.

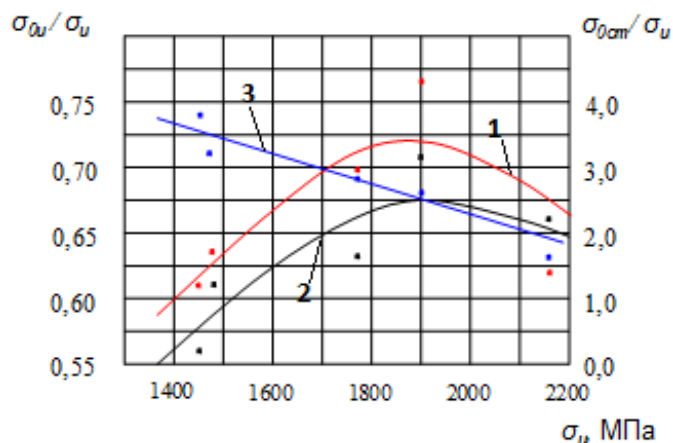


Рис. 3. Закономірності механічної поведінки сплавів ВК при циклічному гармонійному та динамічному навантаженні при згині та стиску.

Висновки

Показано, що методом, який базується на результатах статичних випробувань зразків з твердих сплавів та результатах кореляційного і регресійного аналізу відомих експериментальних результатів при циклічному навантаженні, можна отримати прогнозні значення границі витривалості.

Отримано, що модифікація твердого сплаву Т5К10 обробкою імпульсним магнітним полем залежно від застосованих режимів призводить до зростання границі міцності на згин при статичному навантаженні на 16...27%, що дозволяє прогнозувати зростання границі витривалості.

Перелік літературних посилань: 1. Каталог изделий из твердых сплавов.- ГНПП "Алкон-твердосплав".-Київ.-2013, <http://www.ism.kiev.ua/publications/katalog.pdf>. 2. Клименко Г.П. Основы рациональной эксплуатации режущего инструмента: Учеб. пособие.- ДГМА. Краматорск.-2006.- 200 с. 3. Лошак М.Г. Прочность и долговечность твердых сплавов. Киев : Наук. Думка, 1984. 328 с. 4. Твердые сплавы. Библиотека технической литературы.- 2013.- <http://bibt.ru>. 5. Куклин Л.Г. Влияние качества поверхности твердого сплава на его усталостную прочность.- Станки и инструмент.- 1968.-№3.-с. 30-41. 6. Конструкционные материалы. Под ред, Б. Н. Арзамасова. Москва, «Машиностроение», 1990. 7. Хейвуд Р.Б. Проектирование с учетом усталости/ Пер. с англ. под ред. И.Ф. Образцова.-М.: Машиностроение.- 1969.- 504 с. 8. Трощенко В.Т., Красовский А.Я., Покровский В.В., Сосновский Л.А., Стрижало В.А. Сопrotивление материалов деформированию и разрушению.-Справочное пособие- под ред. В.Т. Трощенко.-Т.2.- Киев, Наукова думка.- 1994.-701с. 9.Степнов М.Н. Усталость материалов и конструкций.- Учебный курс. М. МАТИ-РГТУ им. К.Э. Циолковского.- 2013: www.mysopromat.ru.

Рецензент: **Ковалёв В.Д.**, д.т.н., проф., ДГМА

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ,
ОБРАБОТАННЫХ ИМПУЛЬСНЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Родичев Ю.М., Сорока Е.Б., Ковалев В.Д., Васильченко Я.В.

Показано, что методом, который базируется на результатах статических испытаний образцов из твердых сплавов и результатах корреляционного и регрессионного анализа известных экспериментальных данных при циклическом нагружении, можно получить прогнозные значения предела выносливости. Получено, что модификация твердого сплава Т5К10 обработкой импульсным магнитным полем приводит к росту предела прочности на изгиб при статической нагрузке на 16 ... 27%, что позволяет прогнозировать рост предела выносливости.

ПРОГНОЗУВАННЯ ВТОМНОЇ МІЦНОСТІ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ, ОБРОБЛЕНИХ
ІМПУЛЬСНИМ МАГНІТНИМ ПОЛЕМ

Родічев Ю.М., Сорока О.Б., Ковальов В.Д., Васильченко Я.В.

Показано, що методом, що базується на результатах статичних випробувань зразків з твердих сплавів та результатах кореляційного і регресійного аналізу відомих експериментальних результатів при циклічному навантаженні, можна отримати прогнозні значення границі витривалості. Отримано, що модифікація твердого сплаву Т5К10 обробкою імпульсним магнітним полем призводить до зростання границі міцності на згин при статичному навантаженні на 16...27%, що дозволяє прогнозувати зростання границі витривалості.

PREDICTION OF FATIGUE STRENGTH OF HARD ALLOY TREATED WITH PULSED
MAGNETIC FIELD

Rodichv Y., Soroka H., Kovalov V., Vasilchenko Y.

It is shown that the method, based on the results of static tests of hard alloy and results of correlation and regression analysis of the experimental results under cyclic loading, allows predicting value of fatigue limit. It is obtained that modification of hard alloy T5K10 by pulsed magnetic field leads to an increase in bending strength under static load of 16 ... 27%, which allows predicting the growth of fatigue limit.

Ключові слова: твердий сплав, границя міцності при згині, границя витривалості, циклічне навантаження, обробка імпульсним магнітним полем

Ключевые слова: твердый сплав, предел прочности при изгибе, предел выносливости, циклическое нагружение, обработка импульсным магнитным полем

Key words: hard alloy, bending strength, fatigue limit, cyclic loading, pulsed magnetic field

Дата надходження статті: 27 травня 2013 р.

УДК 621.9;658.5;519.8

Залога В.А., Зинченко Р.Н.
СумГУ, г. Сумы, Україна
info@tmvi.sumdu.edu.ua

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА В ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ

Введение

Как известно, наиболее слабым звеном при обработке резанием является режущий инструмент (РИ), работающий в сложных условиях. При механической обработке лезвийным инструментом, особенно труднообрабатываемых материалов, инструмент подвержен, как правило, процессу интенсивного изнашивания. Дороговизна режущего инструмента требует максимального использования ресурса его работы, поскольку только в этом случае возможно получение экономического эффекта от его использования. Эта задача решается при использовании систем диагностики состояния режущего инструмента, как непосредственно в процессе резания (on-line диагностирование), так и за его пределами (off-line диагностирование, когда инструмент отводится в специально отведенное место для проведения замеров). Вместе с тем, следует отметить, что системы off-line диагностирования хоть конструктивно и проще, но наделены серьезным недостатком, связанным с тем, что не всегда можно прервать технологический процесс обработки поверхности для проведения процедуры контроля инструмента с целью определения степени его износа и возможности продолжения процесса резания. Это является очень неудобным, а в некоторых случаях и недопустимым, особенно тогда, когда может иметь место ситуация, что в промежутке между двумя оценками состояния РИ инструмент достигает величины принятого критерия износа [1], что, в свою очередь, может привести к возникновению брака. Поэтому очень важной задачей любой системы диагностирования является непрерывное прогнозирование состояния РИ как в процессе обработки, т.е. on-line диагностирование, так и в off-line режиме.

Целью данной работы является разработка методики учета и прогнозирования состояния РИ в on-line режиме при различных условиях обработки резанием.

Основная часть

Известно [2], что в процессе обработки резанием в результате силового и температурного взаимодействия инструмента со стружкой и поверхностями на обрабатываемой детали, а также специфичных условий трения [1,3] на контактных поверхностях лезвия, его состояние и, соответственно, режущие свойства изменяются таким образом, что интенсивность изнашивания инструмента возрастает. Вместе с тем, износ инструмента существенно влияет на характер обработки в целом, что при определенных условиях (при достижении принятого критерия износа критически допустимой величины) требует остановки процесса резания и восстановления режущих свойств лезвия путем его замены.

Объем работы режущего инструмента до затупления («ресурс», «наработка режущего инструмента», «наработка между отказами режущего инструмента», «наработка до отказа режущего инструмента (лезвия)») может быть выражен: интервалом времени, массой или объемом снятого материала, длиной пути резания, площадью обработанной поверхности или числом обработанных заготовок [4].

На практике чаще всего пользуются временным параметром, т.е. временем наработки между отказами режущего инструмента (временная наработка), которое может выразиться временем резания, машинным временем, продолжительностью цикла работы автоматического оборудования (автоматической линии) и т. п. Частным случаем временной наработки до отказа и между отказами, когда наработка выражена временем резания,

является период стойкости T - время резания новым или восстановленным режущим инструментом (лезвием) от начала резания до отказа [4].

Однако, как показывает практика, использование вышеперечисленных характеристик «жизнеспособности» инструмента в процессе эксплуатации будет оправдано только тогда, когда инструмент все время работает практически при неизменных в процессе резания условиях, т.е. на одном и том же режиме обработки. В этом случае заранее известно (по табличным данным или по предварительно проведенным экспериментам), что инструмент обладает определенным (заданным) периодом стойкости T и при известном времени обработки только одной поверхности детали с постоянными размерными параметрами можно очень просто определить не только то количество деталей, которое инструмент обработает за период стойкости T , но и спрогнозировать выход соответствующего параметра износа инструмента за допустимое значение принятого критерия. В действительности же на современном оборудовании (станки с ЧПУ, обрабатывающие центры и т.п.) все значительно сложнее, т.к. один и тот же инструмент, может выполнять различные операции (продольное точение, профильное точение, подрезка торца и др.) с различными режимами обработки - V , S , t (например, в зависимости от требований к точности и шероховатости на различных участках обрабатываемой поверхности, при обработке фасонных поверхностей, ступенчатой обработке поверхностей с различными размерными параметрами и т.п.). В таких случаях достаточно сложно определить момент выхода параметра износа инструмента за его критерий с помощью только традиционно применяемых методик и, следовательно, проводить прогнозирование состояния инструмента в процессе обработки без применения дополнительных методик практически невозможно.

В первую очередь это связано с тем, что на стойкость инструмента влияют как режимы резания (скорость резания (рис. 1-2), подача (рис. 1), глубина (рис. 2), вид обработки (обтачивание, растачивание (рис. 3)), диаметр обрабатываемой детали (рис. 4-5), инструментальный материал (быстрорежущая сталь, твердый сплав и др.(рис. 6)); геометрия инструмента (передний угол (рис. 7), задний угол (рис. 8), радиус округления режущей кромки (рис. 9)) и др.

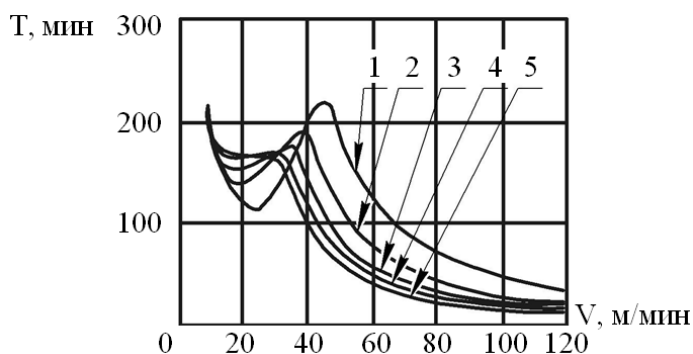


Рис. 1. Влияние скорости резания на стойкость резцов (инструментальный материал - Гексанит-Р; обрабатываемый материал - сталь ШХ15; диаметр заготовки - 45мм; $t=0,1$ мм) [5]:
1) $S=0,025$ мм/об; 2) $S=0,05$ мм/об;
3) $S=0,075$ мм/об; 4) $S=0,1$ мм/об;
5) $S=0,125$ мм/об;

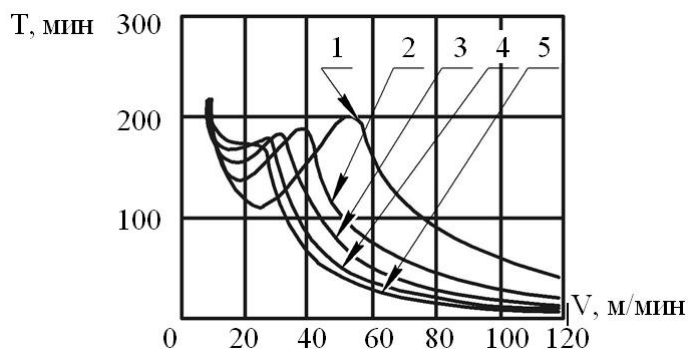


Рис. 2. Влияние скорости резания на стойкость резцов (инструментальный материал - Гексанит-Р; обрабатываемый материал - сталь ШХ15; диаметр заготовки - 45мм; $S=0,05$ мм/об) [5]:
1) $t=0,05$ мм; 2) $t=0,1$ мм; 3) $t=0,15$ мм;
4) $t=0,2$ мм; 5) $t=0,25$ мм

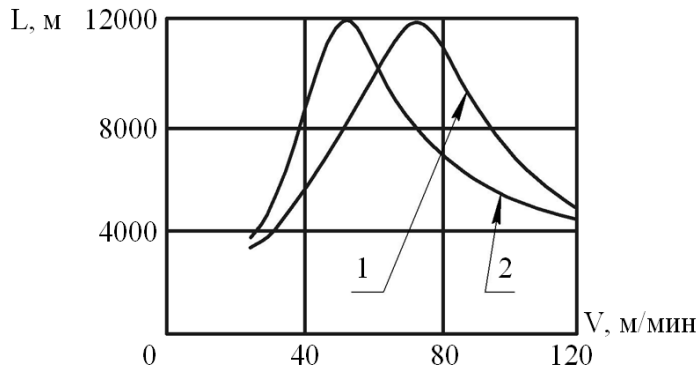


Рис. 3. Влияние скорости резания на длину пути резания (инструментальный материал - Гексанит-Р; обрабатываемый материал - сталь ШХ15 (HRC63); $S=0,05\text{мм/об}$; $t=0,1\text{мм}$; диаметр заготовки - 100мм;) [5]: 1) точение; 2) растачивание

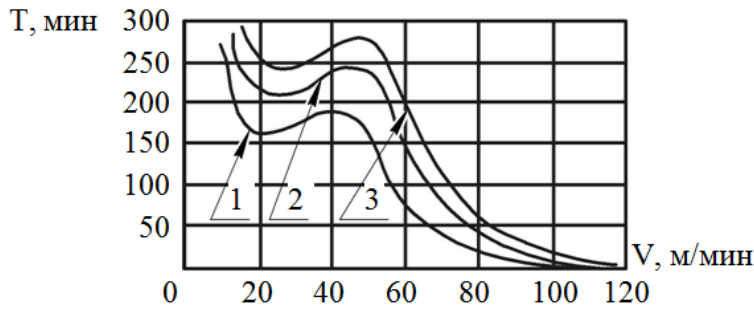


Рис. 4. Зависимость $T(V)$ при различных значениях диаметров (инструментальный материал - Гексанит-Р; обрабатываемый материал - сталь ШХ15; $S=0,025\text{мм/об}$; $t=0,1\text{мм}$) [5]: 1) $d=45\text{мм}$; 2) $d=75\text{мм}$; 3) $d=100\text{мм}$;

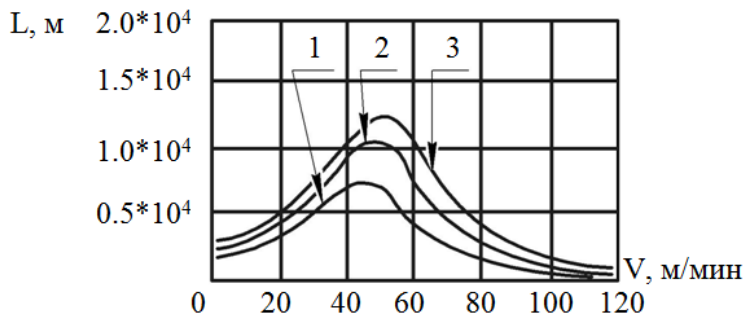


Рис. 5. Зависимость $L(V)$ при различных значениях диаметров (инструментальный материал - Гексанит-Р; обрабатываемый материал - сталь ШХ15; $S=0,025\text{мм/об}$; $t=0,1\text{мм}$) [5]: 1) $d=45\text{мм}$; 2) $d=75\text{мм}$; 3) $d=100\text{мм}$;

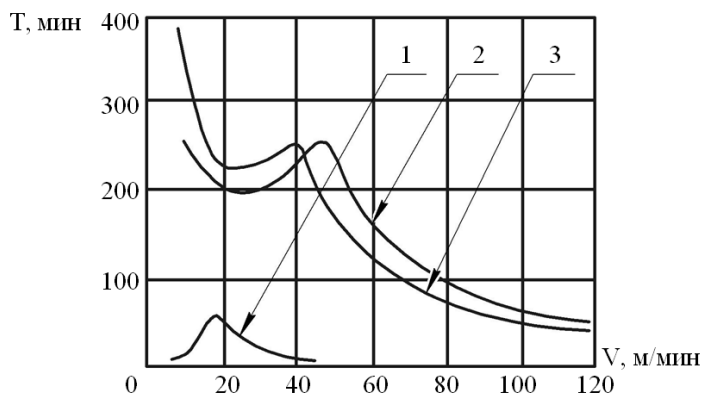


Рис. 6. Влияние технологических режимов на стойкость резцов (обрабатываемый материал - сталь ШХ15 ; диаметр заготовки - 75мм; $S=0,05\text{мм/об}$; $t=0,1\text{мм}$;) [5]: 1) Т15К6; 2) Эльбор-Р; 3) Гексанит-Р

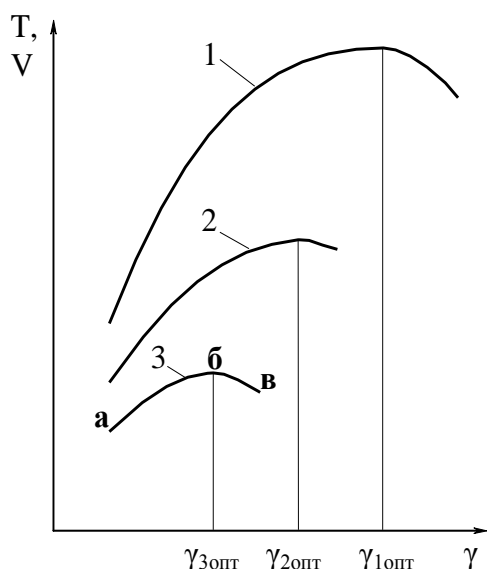


Рис. 7. Зависимость стойкости инструмента T и допустимой скорости резания V от переднего угла γ при твердости обрабатываемого материала (стали) [1]: 1) $\sigma_B < 800$ МПа; 2) $\sigma_B \cong 1000$ МПа; 3) $\sigma_B > 1200$ МПа

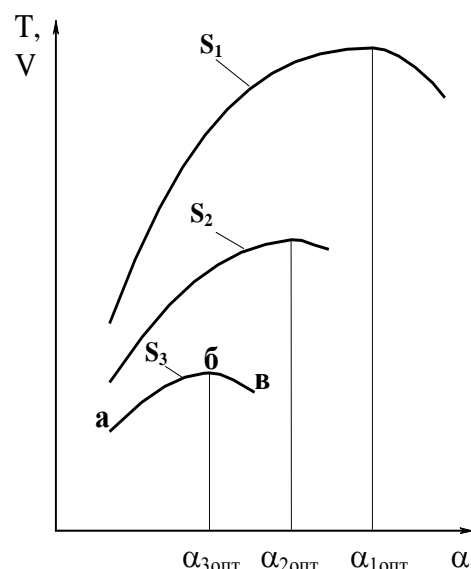


Рис. 8. Зависимость стойкости инструмента T и допустимой скорости резания V от заднего угла α при подачах S ($S_1 < S_2 < S_3$) [1]

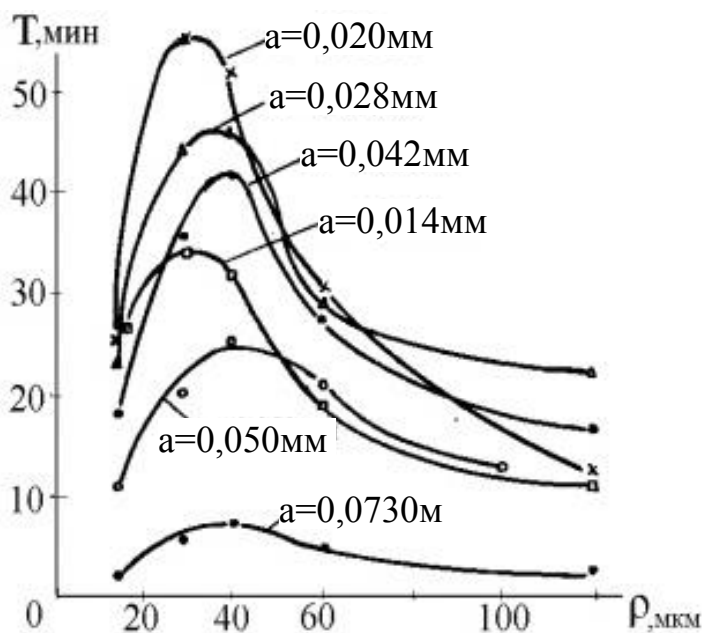


Рис. 9. Влияние радиуса округления режущей кромки на стойкость резцов из стали Р6М5 при разных толщинах сечения среза (обрабатываемый материал - сталь 40ХН; $V=90$ м/мин; $S=0,05$ мм/об; $t=0,2$ мм) [6]

Поэтому проводить прогнозирование инструмента в реальных условиях достаточно сложная задача, которая зависит от многих вышеперечисленных факторов. Для решения поставленной задачи предлагаем применять следующую методику, которая основана на критерии скорости износа инструмента $V_{изн}$, которую можно определять как экспериментально, так и по уже известным кривым износа инструмента из различных справочников. Данный критерий показывает скорость изменения площадки износа инструмента во времени при определенных параметрах обработки:

$$V_{изн} = h_z / t_z,$$

где h_z – фаска износа по задней поверхности инструмента; t_z – промежуток времени, за которое фаска износа по задней поверхности достигла значения h_z .

Так, например, для кривых износа представленных на рис.10, определим параметр $V_{изн}$, для кривой 1 – 0,26мм/мин; для кривой 2 – 0,06мм/мин; для кривой 3 – 0,012мм/мин; для кривой 4 – 0,006мм/мин.

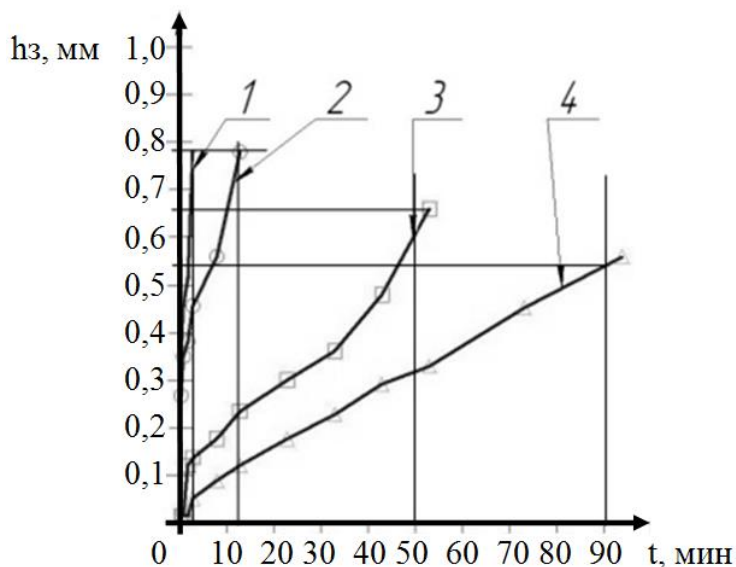


Рис. 10. Зависимость износа по задней поверхности h_z , твердосплавных пластин от времени при точении стали 45 ($S=0,3$ мм/об; $t=1$ мм; $V=150$ м/мин) [7]: 1)VK10XOM; 2)BPK-13; 3)VK10XOM-Ti-(Ti,Al)N-TiN; 4)BPK-13-Ti-(Ti,Al)N-TiN

В соответствии с вышеприведенным методика прогнозирования состояния режущего инструмента (РИ), при диагностировании его состояния, состоит в следующем (см.рис.11):

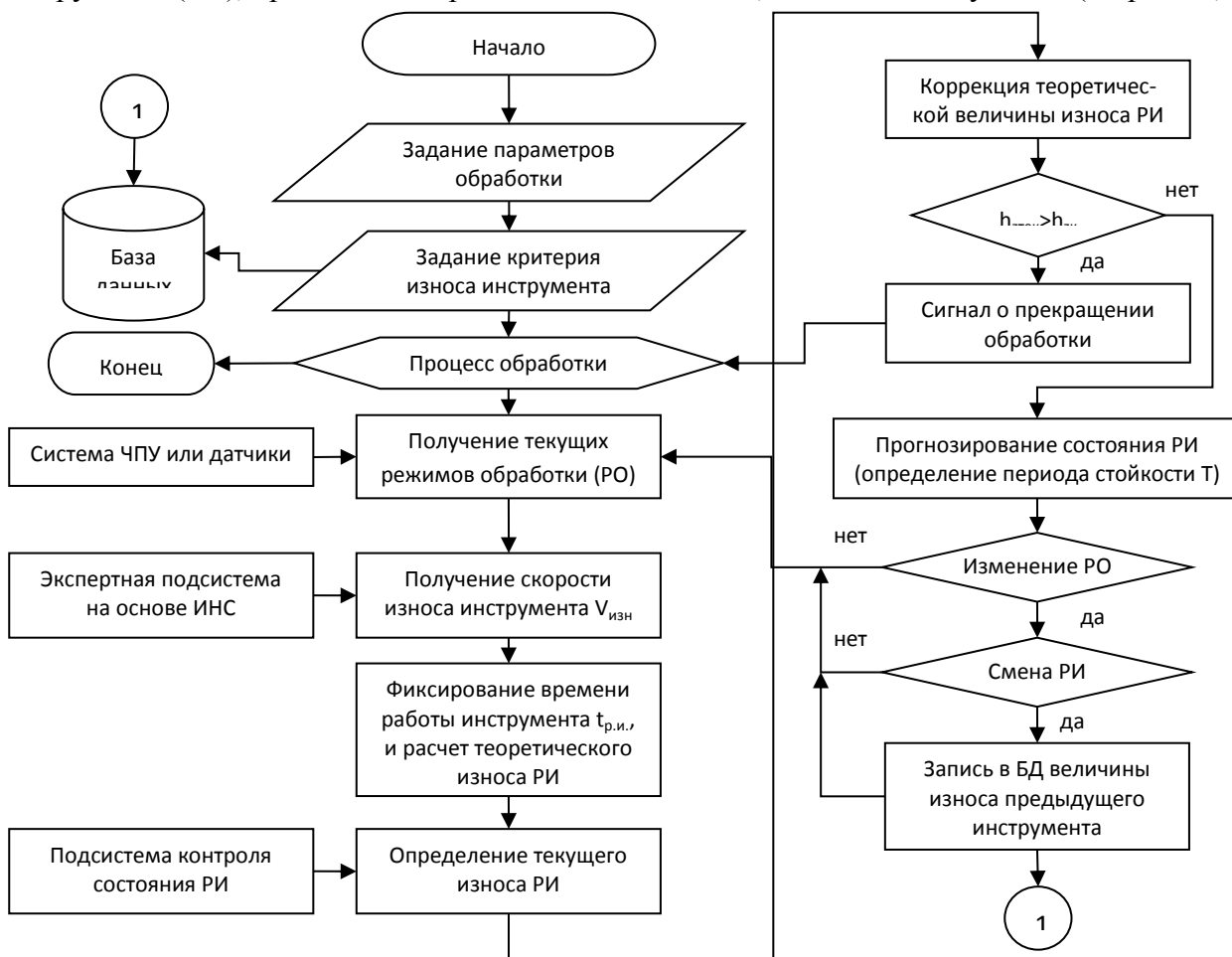


Рис. 11. Методика прогнозирования состояния РИ в процессе обработки с помощью системы диагностики состояния режущего инструмента СДСРИ

1. На начальном этапе задаются параметры обработки: обрабатываемый материал, инструментальный материал, геометрия инструмента.

2. Задаются критерий износа для каждого инструмента в наладке, и эти данные записываются в базу данных (БД).

3. Производится процесс обработки детали.

4. Для текущего инструмента в процессе обработки получаем текущие режимы обработки: скорость резания, подача, глубина резания, диаметр обработки и вид обработки (точение, растачивание, подрезание торца), с системы ЧПУ станка или датчиков.

5. По данным п.4, экспертная подсистема на базе искусственной нейронной сети определяет скорость износа инструмента $V_{\text{изн}}$ (причем включение экспертной подсистемы оправдывается тем фактом, что провести стойкостные испытания для всех режимов обработки и для всех материалов невозможно, вследствие чего необходимо аппроксимировать уже существующие данные).

6. Подсистема контроля состояния РИ СДСРИ определяет текущее значение износа РИ - $h_{\text{зтек}}$.

7. Коррекция теоретической величины износа РИ по данным полученным с п.6.

8. Проверка условия превышения величины износа РИ критерия износа. Если условие превышения выполняется, то система выдает сообщение о прекращении обработки и далее оператор станка с ЧПУ принимает решение о прекращении обработки и смене РИ, если решение не принято, то далее п.3. Если условие превышения не выполняется, то п.9.

9. Прогнозирование состояния РИ на основании скорости износа инструмента (п.5) и текущей величины износа инструмента (п.7), и далее к п.3.

10. При изменении режимов обработки, происходит проверка смены инструмента. Если инструмент сменили, то запись в БД для предыдущего инструмента значения величины износа и переход к п.4. Если инструмент не сменяли, то переход к п.4.

Выводы

1) в результате исследований установлено, что на износ инструмента влияют такие параметры, как режимы резания (скорость резания, подача, глубина), вид обработки (точение растачивание и др.), диаметр обрабатываемой детали, геометрия инструмента (передний угол, задний угол, радиус округления режущей кромки и др.) и др., и поэтому все эти параметры обязательно должны быть учтены при прогнозировании состояния режущего инструмента как непосредственно в процессе резания, так и за его пределами. Для реализации этого, необходимо либо создавать базу данных с записями «Параметры обработки» и соответствующий(е) им «Параметр(ы) прогнозирования» (под «Параметром прогнозирования» может применяться любой параметр, с помощью которого возможно определить как текущее состояние РИ, так и то, каким будет состояние инструмента через определенный пользователем либо системой промежуток времени); 2) для осуществления возможности прогнозирования состояния РИ, предложено использовать в качестве «Параметра прогнозирования» такой параметр, как скорость износа инструмента, который может определяться как экспериментально, так и быть определенным по уже известным кривым износа инструмента из различных справочников и научных работ; 3) для определения скорости износа инструмента (для таких параметров обработки при которых он не был задан первоначально) предложено использовать экспертную систему на базе искусственных нейронных сетей, применение которой позволит аппроксимировать кривую скорости износа инструмента по уже существующим данным режимов обработки, а также проводить как интерполирование так и экстраполирование данных; 4) на основании вышеизложенного, разработана методика прогнозирования состояния РИ, которая основанная на параметре скорости износа инструмента и экспертной подсистемы на базе искусственной нейронной сети.

Перечень источников литературы: 1. Зношування і стійкість різальних лезових інструментів: навчальний посібник/ Ю.М. Внуков, В.О. Залого. - Суми: Вид-во СумДУ,

2011. - 243с. **2.** Мазур М.П. Основы теории резания материалов: учебник [для высш. навч. закладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок, В.О. Залого, Ю.К. Новосьолов, Ф.Я. Якубов; під заг. ред. М.П. Мазура. – Львів: Новий Світ-2000, 2010. – 422с. **3.** Моделирование процессов резания методом конечных элементов: методологические основы: монография / Д.В.Криворучко, В.А.Залого; под общ. ред. В.А.Залого. – Сумы: Университетская книга, 2012. – 435с. **4.** ГОСТ 25751-83. Инструменты режущие. Термины и определения. - М.: Издательство стандартов, 1983. - 24с. **5.** Рабочие процессы высоких технологий в машиностроении: Учебное пособие / Н.В.Верезуб, Е.Весткемпер, А.И. Грабченко и др.; под общ. ред. А.И. Грабченко. -Х.: ХГТУ, 1999. -436с. **6.** Барон Ю.М., Халбаев К.А. Влияние радиуса закругления режущей кромки инструментов из быстрорежущей стали на их стойкость./ Н.-т. конфер. «Повышение эффективности обработки конструкционных материалов». - Улан-Уде: Вост.-Сибир. технолог.ин-т , 1985. - с.87-88. **7.** Верещака А.С., Дачева А.В., к.т.н., доц. Аникеев А.И. Повышение работоспособности режущего инструмента при обработке труднообрабатываемых материалов путем комплексного применения наноструктурированного износостойкого покрытия и твердого сплава оптимального состава// Известия Московского государственного университета «МАМИ».- М:МГТУ «МАМИ», №1, 2010, -с.99-106.

Рецензент: **Гузенко В.С.**, к.т.н., проф., ДГМА

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА В ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ

Залога В.А., Зинченко Р.Н.

В статье разработана методика прогнозирования состояния режущего инструмента в процессе резания основанная на параметре скорости износа инструмента, который может определяться как экспериментально, так и быть определенным по уже известным кривым износа инструмента из различных справочников и научных работ. Для определения параметра скорости износа инструмента, при таких условиях обработки при которых он не был задан первоначально, предложено использовать экспертную систему на базе искусственных нейронных сетей.

ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ У ПРОЦЕСІ РІЗАННЯ

Залога В.О., Зінченко Р.М.

У статті розроблено методику прогнозування стану різального інструменту в процесі різання яка основана на параметрі швидкості зносу інструменту, який може визначатися як експериментально, так і бути визначеним по уже відомим кривим зносу інструменту із різних довідників та наукових робіт. Для визначення параметра швидкості зносу інструменту, при таких умовах, при яких його не було задано попередньо, запропоновано використовувати експертну систему на базі штучних нейронних мереж.

PREDICTION OF THE STATE OF THE CUTTING TOOL DURING CUTTING

Zaloga V.O., Zinchenko R.M.

In this article developed a method of prediction the state of the cutting tool during the cutting process, which based on the wear rate of the tool parameter, which can be determined by both experiment and be determined from the known curves tool wear from various reference books and scientific papers. To determine the rate of tool wear parameter under such processing conditions under which it was originally set is proposed to use the expert system based on artificial neural networks.

Ключевые слова: износ инструмента, прогнозирование состояния режущего инструмента, искусственная нейронная сеть, скорость износа инструмента.

Ключові слова: знос різального інструменту, прогнозування стану різального інструменту, штучна нейронна мережа, швидкість зносу інструменту.

Keywords: tool wear, prediction the state of the cutting tool, artificial neural networks, rate of tool wear.

Дата надходження статті: 15 травня 2013 р.

УДК 658.52.011.56

Клочко А.А., Тимофеев Ю.В., Шелковой А.Н.

НТУ «Харьковский политехнический институт» г. Харьков, Украина

ОБЛАСТИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ТОЧНОСТИ, КАЧЕСТВА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЗУБООБРАБОТКИ ЗАКАЛЕННЫХ КРУПНОМОДУЛЬНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Введение

Построение области оптимального управления параметрами точности, качества и производительности зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес является одним из этапов управления технологической структурой. Области оптимального управления параметрами точности, качества и производительности зубообработки рассматриваются как объект управления, состоящий из ряда технологических объектов: исходный материал (вход объекта управления); окружающая среда (условия протекания процесса); зубчатое колесо (выход объекта управления, количественная и качественная характеристика поверхностного слоя); модуль обработки с системой управления и технологической оснасткой (собственно объект управления).

Основная часть

С целью обеспечения параметрами точности, качества и производительности определим зависимость $v=f(t, \rho)$ и $v=f(S, \rho)$ во всем диапазоне изменения технологических параметров обработки, в т.ч. толщины срезаемого слоя, радиуса округления режущей кромки фрезы, подачи и скорости резания.

$$v_{\max(s)}^{(p_y)} = c_v c_p^{xv/xp} / [t_{cm}^m (\frac{1}{m} - 1)^m \cdot \rho^m P_y^{xv/xp} S^{(y_v - \frac{v_y p}{x_v})}]; \quad (1)$$

$$v_{\max(t)}^{(p_y)} = c_v c_p^{yv/yp} / [t_{cm}^m (\frac{1}{m} - 1)^m \cdot \rho^m P_y^{yv/yp} t^{(x_v - \frac{y_v p}{y_p})}]; \quad (2)$$

Учитывая, что $x_v < y_v$, а $x > y_p$ можно заключить: $y_v - x_v y_p / x_p > 0$; $x_v - y_v x_p / y_p < 0$.

На рис. 1, а кривой 1 показана зависимость (1), кривой 2 – зависимость (2), являющиеся геометрическим местом точек, представляющих оптимальные сочетания технологических параметров зубофрезерования для обеспечения заданной точности при максимально достижимой производительности в условиях действующих технологических и энергетических ограничений [1].

Ограничение по минутной подаче представлено кривой 3 в плоскости $v=f(S)$, зависимость $v=f(S)$ при минимально допустимой подаче – кривой 4. Совместное решение уравнений по минимально допустимой подаче позволяет установить зависимость:

$$v = A / t^{xp/(1-yv)} \quad (3)$$

где $A = [k_p 1000^{yp} c_p t ((\frac{1}{m} - 1)^m \cdot t_{cm}^m \cdot S^{yv} M_{min} \cdot \pi^{yv} D^{yv})]^{1/(1-yv)}$.

Максимально допустимая подача S_{max} (S_z) обусловлена требованиями к качеству поверхностного слоя закаленных крупномодульных зубчатых колес и определяется

емпирическими зависимостями для расчета параметров состояния эвольвентных поверхностей цилиндрических зубчатых колес при механических методах их обработки.

Скоростное зубофрезерование фрезами [2], оснащенными режущими пластинками из твердого сплава и минералокерамики после термообработки ТВЧ и спреерной заковки (сталь 34ХНМ) обеспечивает:

$$R_a = 4830 \cdot \frac{S_z^{1.69} \cdot t^{0.15}}{V^{1.25} \cdot \rho^{0.14} \cdot Z_1^{0.24} \cdot Z_2^{0.28} \cdot (HRC)^{4.02} \cdot t^{0.32} \cdot K_{\delta\delta}^{1.24}} \cdot \frac{1}{k_m \cdot k_0} \quad (4)$$

$$R_p = 8730 \cdot \frac{S_z^{1.15}}{V^{1.27} \cdot \rho^{0.24} \cdot Z_1^{0.14} \cdot Z_2^{0.17} \cdot (HRC)^{2.82} \cdot t^{0.26} \cdot K_{\delta\delta}^{1.24}} \cdot \frac{1}{k_m \cdot k_0} \quad (5)$$

$$W_z = 5500 \cdot \frac{S_z^{1.01} \cdot t^{0.46} \cdot \rho^{0.16} \cdot \gamma^{0.54}}{V^{1.52} \cdot \rho^{0.24} \cdot Z_1^{0.14} \cdot Z_2^{0.17} \cdot (HRC)^{2.82} \cdot K_{\delta\delta}^{1.24}} \quad (6)$$

$$S_m = 17 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{(HRC)^{1.58}}{\rho^{0.24} \cdot Z_1^{0.07} \cdot Z_2^{0.11} \cdot V^{2.04}} \cdot \frac{k_0}{k_m} \quad (7)$$

где S_z – подача на зуб (0,06 – 0,5 мм); S_0 — подача на оборот (0,1 – 0,5 мм/об); V – скорость резания при фрезеровании (0,6 – 5 м/с); t – глубина резания (0,3 – 2,5мм); ρ – радиус округления режущей кромки ($\rho=0,05$ – 0,8мм); γ – передний угол фрезы; HRC – твердость обрабатываемого зубчатого колеса (HRC 30 – 60); Z_1 и Z_2 – число зубьев нарезаемого зубчатого колеса и число режущих кромок зубьев фрезы, k_M – коэффициент, зависящий от марки обрабатываемого материала; k_0 – коэффициент, зависящий от способа формообразования эвольвентных поверхностей цилиндрического зубчатого колеса.

Скорость резания в функции от глубины резания при максимально допустимой подаче (кривая 5) определяется при $S = S_{max}$.

Работа системы управления на граничных значениях технологических параметров зубофрезерования при обеспечении заданной точности с максимально достижимой производительностью в условиях действующих технологических и энергетических ограничений может находиться в экстремальных условиях с возможной нестабильностью процесса формообразования.

В связи с этим при управлении технологическими параметрами зубофрезерования необходимо определить ограничения на допустимую подачу и глубину резания по вибрациям на границе области устойчивой работы динамической технологической станочной системы (ДТСС).

На рис. 1, б показана упрощенная структурная схема замкнутой динамической системы станка, элементами которой являются упругая динамическая технологическая станочная система (ДТСС) и технологические параметры зубофрезерования при обеспечении заданной точности с максимально достижимой производительностью. Анализ динамической системы станка позволяет определить область устойчивой работы системы ДТСС в условиях управления размером динамической настройки при максимально достижимой производительности.

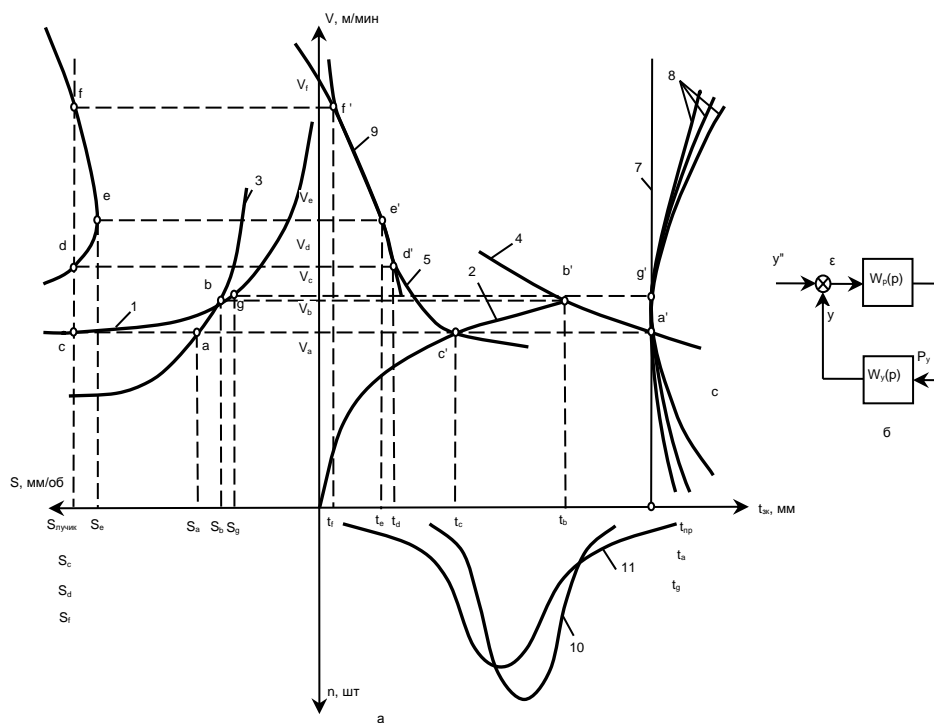


Рис. 1. Область оптимального управления технологическими параметрами зубофрезерования для обеспечения заданной точности при максимально достижимой производительности (а) и упрощенная схема динамической системы станка (б)

Передаточные функции упругой динамической технологической станочной системы (ДТСС) и технологические параметры зубофрезерования при обеспечении заданной точности с максимально достижимой производительностью в операторной форме имеют следующий вид:

$$W_y(p) = Y(p)/P_y(p) = k_y / (T_{2y}p^2 + T_{1y}p + 1);$$

$$W_p(p) = P_y(p)/\epsilon(p) = k_p / (T_p p + 1),$$

где $Y(p)$ – операторное изображение упругого перемещения фрезы в радиальном направлении; $P_y(p)$ — операторное изображение составляющей силы резания; $\epsilon(p) = Y^0(p) - Y(p)$; причем $Y^0(p)$ – операторное изображение изменения толщины срезаемого слоя a_i , обусловленное изменением динамической настройки; $T_{2y} = m_y / c_y$; $T_{1y} = n_y / c_y$; $k_y = 1/C_y$ – постоянные времени и коэффициент передачи динамической технологической станочной системы (ДТСС); m_y , n_y , c_y – соответственно масса, коэффициент демпфирования и жесткость динамической технологической станочной системы (ДТСС) в направлении оси y ; k_p – коэффициент формообразования поверхностного слоя.

После преобразования уравнений, получим:

$$v = \frac{aS(T_{2y}\omega^2 - 1)}{T}; \quad t = \frac{(T_{2y}\omega^2 - 1) + T_{1y}^2\omega^2}{(T_{2y}\omega^2 - 1)kk_y}. \quad (8)$$

Построим семейство границ устойчивости динамической системы станка при изменении ω в пределах от $-\infty$ до $+\infty$. Получим геометрические расположения значений глубины резания t от скорости v при различных фиксированных значениях величины подачи S с учетом минимального угла скольжения $\psi_{\text{н\acute{e}}} = \arcsin \frac{E_{\text{н\acute{л}E}} \cdot \rho}{S_z \cdot \sin \varphi}$ (кривые б) [2]:

$$T = \frac{T_{1y}}{kk_y} \left(\frac{v}{aS\xi} + \frac{aS\xi}{vT_{2y}} + \frac{T_{1y}}{T_{2y}} \right). \quad (9)$$

Анализ расположенных кривых $t = f(v)$ для фиксированных значений S показывает, что скорость резания в нижней части области устойчивости невелика и не соответствует современным возможностям инструмента, тогда как работа в верхней части кривых 6 (рис. 3.19, а) не всегда возможна из-за недостаточной стойкости фрез. В связи с этим следует использовать диапазон скоростей резания с учетом абсолютной устойчивости процесса, расположенной слева от прямой 7 и являющейся геометрическим местом расположения предельных значений подачи $S_{пр}$. Достижение системой предельной подачи $S_{пр}$ должно вызывать уменьшение подачи на величину меньшую $S_{пр}$. Для определения значения $S_{пр}$ продифференцируем выражение (9) по скорости и приравняем производную нулю. В результате получим

$$v_{np} = a \cdot \rho S \cdot \xi / \sqrt{T_{2y}} \quad (10)$$

Решая совместно выражения (9) и (10), определим величину предельной подачи, обеспечивающую абсолютную устойчивость процесса:

$$S_{пр} = T_{1y} \left(2 + \frac{T_{1y}}{\sqrt{T_{2y}}} \right) \left(\frac{1}{kk_y \sqrt{T_{2y}}} \right) \quad (11)$$

Пусть $k_p - k_a$ — интенсивность изменения составляющей силы резания P_y от толщины срезаемого слоя $a_i = S_z \cdot \sin \Psi_{ск} \cdot \sin \varphi$. Жесткость резания $k_p = kS$. С учетом характеристического уравнения системы после подстановки параметров T_p и k_v процесса резания и Д-разбиения по параметрам режима резания v и S получим оптимальные значения S и v :

$$\left. \begin{aligned} S &= [T_1^2 \cdot \omega^2 + (T_{2y} \cdot \omega_2 - 1)^2] / [kk_y (T_{2y} \omega^2 - 1)] \\ v &= \frac{[T_{1y}^2 \cdot \omega^2 + (T_{2y} \cdot \omega^2 - 1)^2] a \xi}{T_{1y} \cdot kk_y} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Совместное решение системы уравнений (12) позволяет определить границу устойчивости зубофрезерного станка в виде зависимости $S=f(v)$ (кривая 8):

$$S = v/2(T_{1y/z} \pm \sqrt{T_{1y/z}^2 + 4T_{2y}/(a\xi z)}), \quad (13)$$

где $z = (k_y k T_{2y} v) / T_{1y} a \xi$

После подстановки выражения (12) в уравнение (13) получаем зависимость, по которой строится кривая 9 ограничений скорости от глубины резания при предельных с точки зрения устойчивости процесса значениях подачи. Кривые 10, 11 характеризуют законы случайного распределения погрешностей в партии η обрабатываемых цилиндрических зубчатых колес.

Чаще используется задача управления процессом зубообработки в более обобщенной постановке, учитывающей затраты как живого, так и овеществленного труда: обеспечение требуемой точности обработки при достижении минимальной себестоимости этого процесса.

Технологическая себестоимость C_m представляет собой переменную часть себестоимости зуборезной операции, зависящую от режима резания.

$$C_{yn} = (BC_i / vSt) [1 + (И/Б) / T] \quad (14)$$

где $C_i = \pi D_{фр} L h / 1000$; D , L — соответственно диаметр фрезы и длина перемещения

фрезы с учетом перебега фрезы; h – припуск на обработку; I – сумма затрат за период стойкости T , связанных с эксплуатацией фрезы; B – стоимость станко-минуты без учета инструментальной составляющей.

Задача оптимального управления сводится к поддержанию такого сочетания технологических параметров t , S , v , при котором достигается минимум себестоимости C_{yn} или максимум оценочной функции J_c :

$$J_c = I / C_{yn} = vSt [T / (BT + B\tau_{cm} + I)]. \quad (15)$$

Предположим, что коэффициенты, входящие в оценочную функцию J_c , для узкого интервала времени достоверны и неизменны, а параметры резания не зависят от времени. Тогда, воспользовавшись степенной аппроксимацией зависимости между стойкостью инструмента и параметрами режима резания, и продифференцировав выражение (15) по периоду стойкости T , определим значение T_c , которому соответствует максимум $J_{c \max}$.

Рассмотрим характер изменения показателя оптимальности при $t = \text{const}$ (v и $S - \text{var}$).

$$v_c = c_2 / S^{yv} \quad (16)$$

Графически оценочная функция в этом случае интерпретируется поверхностью отклика в трехмерном пространстве, представляющей собой объемную модель зависимостей себестоимости от параметров v , S .

С учетом формулы (16) определяем аналитическое выражение функции себестоимости C , из уравнения (14):

$$C_y = c_y / v_c S \quad (17)$$

Следовательно, оценочная функция уменьшается (себестоимость уменьшается) с увеличением произведения параметров $v_c S$, связанных функциональной зависимостью (16), т. е. выражение (3.88) справедливо только для тех сочетаний v и S , которые не нарушают условия (16). Совместное решение выражений (16) и (17) позволяет определить характер изменения оценочной функции вдоль линии инструмента, построенной по выражению (16) и представленной на рис. 3.19, *a* наклонной 1; в результате зависимости $C_{(v)}^{(v)} = f(v_c)$ и $C_{(S)}^{(S)} = f(S)$ (на рис. 3.19, *a* соответственно наклонные 2 и 3 можно представить в виде

$$\left. \begin{aligned} C_{(v)}^{(v)} &= c_3 v^{(1/yv-1)} / c_2^{1/yv}; \\ C_{(S)}^{(S)} &= c_3 / c_2 S^{(1-yv)}. \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

При $v_c \rightarrow 0$, $S \rightarrow \infty$ функция $C_{(v)} \rightarrow 0$. Наклонная 2 представляет собой геометрическое место расположения частных экстремумов зависимостей $C_y = f(v)$ (кривые 4) при фиксированных значениях подачи, причем с увеличением S экстремум функции $C_y = f(v)$ уменьшается, т. е. оптимальные режимы резания лежат в области больших подач и малых скоростей резания. Однако достижимый минимум функции $C_y = f(v)$, определяется физико-технологическими и техническими ограничениями параметров режимов резания, и область возможных сочетаний v и S ограничена: оптимальным можно считать такой режим резания, при котором наибольшее значение оценочной функции J_c будет находиться на границе допустимых значений v и S для прогнозирования показателей качества поверхностного слоя с учетом технологических, геометрических параметров и физико-механических свойств при условии перехода пластического оттеснения материала с обрабатываемой поверхности закаленных крупномодульных зубчатых колес во взаимосвязи с комплексным параметром состояния поверхностного слоя, выраженном через параметр шероховатости R_z .

С учетом допустимой мощности N_{cm} на шпинделе станка параметры v и S связаны функциональной зависимостью

$$Y = N_{cm} \tau [6] 20 / (c_p t^x p S^y p) = c_4 / S^y p \quad (19)$$

где η – КПД станка.

На рис. 2, а выражение (19) представлено наклонной 5. Пересечение линий 1 (фрезы) и 5 (станка) определяется параметрами резания v_a и S_a , обеспечивающими экономическую стойкость инструмента при максимальной загрузке станка по мощности. В интервале подач $0 < S < S_a$ ограничения по инструменту не позволяют использовать возможности станка по мощности, тогда как при работе в области $S > S_a$ (например, S_b) ограничения по мощности станка не позволяют использовать оптимальным образом возможности по инструменту.

Так, в случае $S = S_b$ необходимо либо уменьшить подачу $S_b \rightarrow S_j$, чтобы сохранить скорость резания $v_c = v_b$ с большим частным оптимумом в точке K (линия 6, при этом $C_k < C_g$) на кривой затрат, построенной для v_e при $S_j = \text{const}$ с недостижимым оптимумом в точке E ($C_e < C_k$) из-за ограничений по мощности, либо уменьшить скорость резания $v_h \rightarrow v_g$ при неизменной подаче S_b с затратами на операцию $C_i > C_g$. Для сравнения величин C_k и C_i , необходимо определить характер изменения себестоимости вдоль линии 5, из которого следует, что для настройки на оптимальный режим резания целесообразно изменять скорость резания, а не подачу, т. е. $v_b \rightarrow v_g$ при $S = S_b$. С учетом условий минимальной себестоимости, выражение (13) для переменных t , S и v соответственно имеет вид (20).

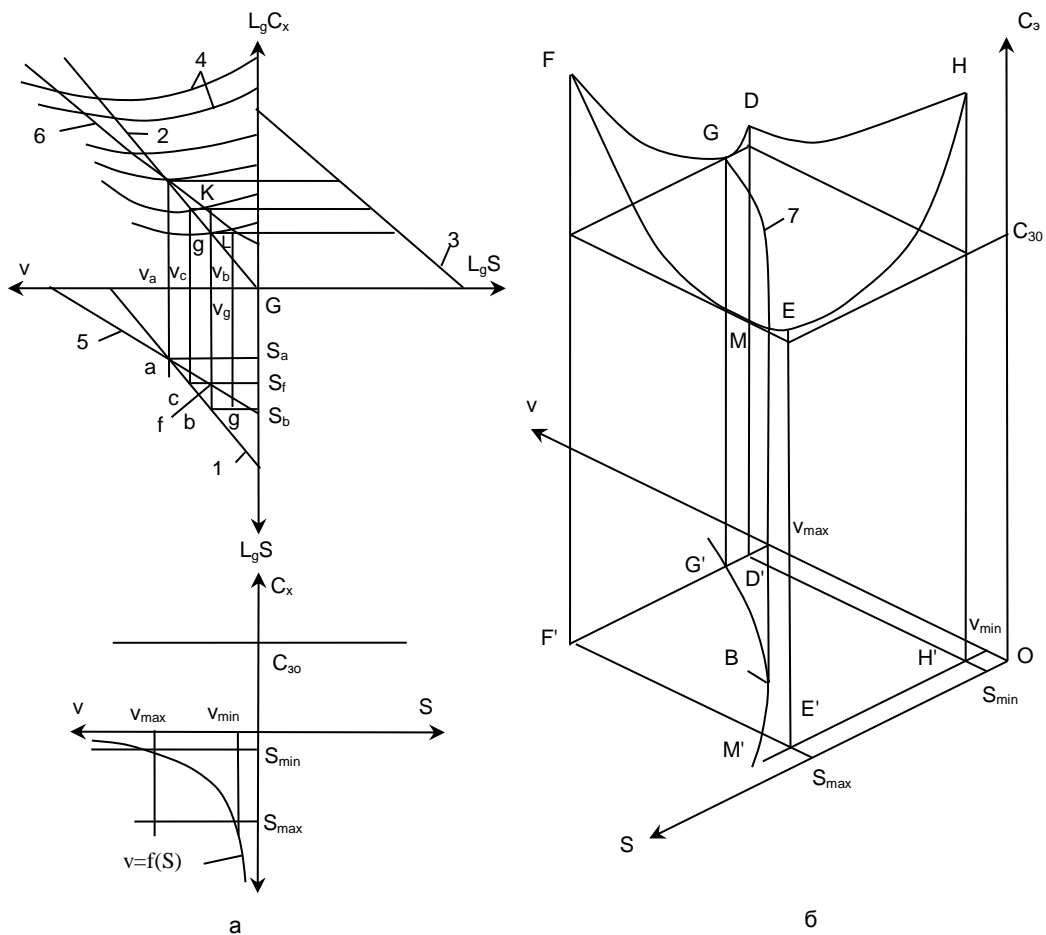


Рис. 2. Графическое представление частных оптимумов по себестоимости с учетом технологических ограничений (а) и экстремальная поверхность отклика целевой функции (б)

$$\left. \begin{aligned}
 C_3^{(v,S)} &= c_1 B \frac{1}{\left(\frac{P_y}{c_p}\right)^{\frac{1}{x}} p v S^{(1-y)p} p} + \\
 &+ (\tau_{cm} + II/B) v^{(1/m-1)} S^{1/m[xv-m-yp/xp] (xv-m)} / [c_c^m (P_y/c_p)^{\frac{m-xv}{mxp}}] \\
 C_3^{(v,t)} &= c_1 B \frac{1}{[(P_y/c_p)^{1/yp} v t^{(1-xp/yp)}]} + \\
 &+ (\tau_{cm} + II/B) v^{(1/m-1)} t^{1/m[xv-m-xp/yp] (yv-m)} / [c_c^m (P_y/c_p)^{\frac{m-yv}{myv}}]
 \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

Экстремальные поверхности, соответствующие выражениям (20), представлены на рис. 2, б поверхностями отклика $EFDH$ и $E'F'D'H'$. Граничные точки имеют следующие координаты:

$$\left. \begin{aligned}
 &H(v_{min}, S_{min}) ; \\
 &E(v_{min}, S_{max}) ; \\
 &H'(v_{min}, t_{min}) ; \\
 &E'(v_{min}, t_{max}) ; \\
 &F(v_{max}, S_{max}) ; \\
 &D(v_{max}, S_{min}) ; \\
 &F'(v_{max}, t_{max}) ; \\
 &D'(v_{max}, t_{min}) .
 \end{aligned} \right\}$$

Областями управления являются плоскости $v - 0 - S$ и $v - 0 - t$. Пересекая поверхность отклика плоскостями, параллельными плоскости $v - 0 - C_3$, получаем частные оптимумы себестоимости, так как каждая секущая плоскость для соответствующих значений глубины резания t является плоскостью ограничения по подаче S в соответствии с выражениями (17) при $P_y = const = max$.

Дифференцируя выражения (20) по скорости, получаем уравнения частных оптимумов

$$\left. \begin{aligned}
 Y_c^{(s)} &= c_v c^{xv/xp} / [T_c^m P_y^{xv/xp} S^{(yv-ypxv/xp)}] ; \\
 Y_c^{(t)} &= c_v c^{yv/yp} / [T_c^m P_y^{yv/yp} S^{(yv-ypxv/yp)}] .
 \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

Зависимость $v_c^{(S)}$ представлена на рис. 1, б кривой 7 GM и является геометрическим местом расположения изображающих точек с минимальными значениями функции $C_3 = f(v, S)$.

Решая попарно выражения (20) и (21), можно проследить характер изменения функций (20) вдоль кривых частных оптимумов:

$$\left. \begin{aligned}
 C_3^{(s)} &= B \cdot c_1 \cdot T_c^m \cdot c_p^{(1-xv)/xp} / [(1-m) \cdot c_v \cdot P_{y\max}^{(1-xv)/xp} S^{n1/xp}] \\
 C_3^{(t)} &= B \cdot c_1 \cdot T_c^m \cdot c_p^{(1-yv)/yp} / [(1-m) \cdot c_v \cdot P_{y\max}^{(1-yv)/yp} t^{n1/xp}]
 \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

де $n_1 = x_p - y_v x_p - y_p + y_p x_v$; $n_2 = y_p - x_v y_p - x_v + x_p y_v$. Аналогично можно определить и зависимости $C_3 = f(v)$. Для стали 40ХН показатели n_1 и n_2 близки к нулю. Следовательно, величина оптимальной себе стоимости операции при обработке стали 40ХН с учетом силовых ограничений не зависит от изменения параметров t , S , v и при их оптимальной совокупности не изменяется за цикл обработки. Тогда

$$C_{3,Д.} = B c_1 T_c^m / (c_4 P_{y\max}^a), \quad (23)$$

где $a = (1 - x_v)/x_p$ или $a = (1 - y_0)/y_{Py}$; $c_4 = c_v(1 - m)/C_p^a$. Таким образом, выражение (23) представляет собой наименьшую себестоимость операции, которая может быть достигнута

Точность работы системы управления характеризуется ошибкой $\varepsilon = \varepsilon_y^0 + \varepsilon_f$, причем ε_y^0 – ошибка, вызванная управляющим воздействием $Y(t)$; ε_f – ошибка, вызванная возмущением $f(t)$:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_y^0(p) &= [1 + W_p(p) W_y^y(p)] Y^0(p) / [1 + W_p(p) W_y^y(p) + W_p(p) W_y^y(p) W_u(p)]; \\ \varepsilon_f(p) &= W_y^f(p) f(p) / [1 + W_p(p) W_y^f(p) + W_p(p) W_y^y(p) W_u(p)]. \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

С учетом выражений (26) система уравнений (24) принимает вид

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_y^0(p) &= (b_4 p^4 + b_3 p^3 + b_2 p^2 + b_1 p + b_0) Y^0(p) / (d_4 p^4 + d_3 p^3 + d_2 p^2 + d_1 p + d_0); \\ \varepsilon_f(p) &= (c_2 p^2 + c_1 p + c_0) f(p) / (d_4 p^4 + d_3 p^3 + d_2 p^2 + d_1 p + d_0); \\ d_0 &= 1 + k_p k_y + k_u k_p k_y; \quad b_0 = 1 + k_p k_y; \quad d_1 = b_1 = T_4 + T_p + T_{1y} \\ d_2 &= b_2 = T_p T_u + T_{1y} + T_{2y}; \quad d_3 = b_3 = T_p T_{1y} + T_{2y} T_u \\ d_4 &= b_4 = T_p T_{2y} T_u; \quad c_0 = k_f (T_p + T_u); \quad c_2 = k_f T_p T_u. \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

Установившиеся значения ошибок представляется в виде убывающего ряда

$$\begin{aligned} \varepsilon_{y0}(t) &= g_0 Y(t) + g_1 \frac{dY(t)}{dt} + \frac{g_2}{2!} \frac{d^2 Y(t)}{dt^2} + \dots; \\ \varepsilon_{y0}(t) &= h_0 f(t) + h_1 \frac{df(t)}{dt} + \frac{h_2}{2!} \frac{d^2 f(t)}{dt^2} + \dots; \end{aligned}$$

где $g_0, g_1, g_2, \dots; h_0, h_1, h_2, \dots$ – коэффициенты ошибок, характеризующие точность работы системы и зависящие от ее структуры. В структуре системы управления (рис. 2, а) значения коэффициентов ошибок определяются соотношениями

$$\left. \begin{aligned} n_0 &= u_0 \cdot \varepsilon_0 \text{ ж } n_1 = (u_1 - \varepsilon_1 n_0) \cdot \varepsilon_0 \text{ ж } n_2 = (u_2 - \varepsilon_2 n_1 - \varepsilon_1 n_0) \cdot \varepsilon_0 \\ h_0 &= c_0 / d_0; \quad h_1 = (c_1 - d_1 h_0) / d_0; \quad h_2 / 2 = (c_2 - d_2 h_1 - d_1 h_0) / d_0 \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

Для зубофрезерных станков повышенной точности основную погрешность составляют коэффициенты статических и кинематических ошибок g_0, h_0 и g_1, h_1 . Устранение этих ошибок позволит существенно повысить один из основных параметров эксплуатационной характеристики системы – технологические параметры зубофрезерования при обеспечении заданной точности с максимально достижимой производительностью.

Для решения поставленной задачи введем в систему управления упругими перемещениями ДТСС дополнительную положительную обратную связь по составляющей P_y силы резания с передаточной функцией W_{oc}^y . В этом случае ошибка ε_{y0} по управлению Y^0 .

$$\varepsilon_{y0}(p) = \frac{[1 - W_p(p) W_y(p) W_x^y(p) + W_c^y(p) W_p(p)] Y^0(p)}{1 - W_p(p) W_y(p) W_{oc}^y(p) + W_p(p) W_y^s(p) + W_y^y(p) W_p(p) W_u(p)} \quad (28)$$

Приравняв числитель выражения (28) к нулю, определим структуру и параметры передаточной функции W_{oc}^y , при которых устраняется ошибка $\varepsilon_{y0}(p)$:

$$W_{oc}^y(p) = [1 + W_y^y(p) W_p(p)] / [W_p(p) W_u(p)]. \quad (29)$$

Выражение (29) является условием полной инвариантности системы управления по

управляющему воздействию $Y^0(t)$, и при его выполнении коэффициенты g_i , (где $i = 1, 2, 3, \dots$) равны нулю. Однако выполнение условия (29), как правило, приводит к физически нереализуемым системам. В то же время достаточная для практики точность обработки достигается при $g_0=0$ и $g_1=0$. Для этого достаточно, чтобы $b_0=0$ и $b_1=0$. Однако при $b_1=0$ и $d_1=0$, что приводит к потере устойчивости технологической системы. Поэтому для рассматриваемого класса систем достаточно устранить кинематическую ошибку $g_0=b_0/d_0=0$. Последнее достигается введением положительной обратной связи по силе резания P_y с передаточной функцией $W_{oc}^y(p)=k_{oc}$. При этом $b_0=1+k_p k_y - k_p k_u k_{oc}$.

$$k_{oc}=(1+k_p k_y)/(k_p k_u). \quad (30)$$

Определим ошибку, вносимую возмущающими воздействиями $f(p)$, с учетом $W_{oc}^y(p)$:

$$\varepsilon_f(p)=\frac{w_y^y(p)[1-w_p(p)w_y(p)w_{oc}^f(p)]/W(p)}{1-w_p(p)w_u(p)w_{oc}^f(p)+w_y^f(p)w_p(p)w_u(p)+w_y^y(p)w_p(p)} \quad (31)$$

Приравняв числитель выражения (31) нулю, найдем условие полной инвариантности по $f(t)$:

$$W_{oc}^f(p)=1/[W_p(p)W_u(p)]=(T_p p+1)/(k_p k_u). \quad (32)$$

Условие (32) выполняется, если структура передаточной функции обратной связи определяется выражением $W_{oc}^f(p)=k_{oc}+T_{oc}k_p k_u$, а параметры выбираются из условий $c_0=1-k_p k_u k_{oc}=0$, $c_1=T_0+T_u-T_p p=0$, причем $k_{oc}=1/k_u k_o$; $T_{oc}=(T_p+T_u)/(k_p k_u)$.

Техническая реализация положительной обратной связи по силе резания P_y (P_z , P_x), компенсирует влияние кинематических ошибок, представлена на рис. 3, б. В качестве чувствительных и преобразующих элементов I используются системы электронного адаптивного управления с датчиками обратной связи.

Блок 2 позволяет компенсировать воздействия температуры и колебания питающего напряжения. Выходной сигнал усилителя $U_{p,y}$ поступает на вход дифференцирующей цепи 4 и делитель управления технологической системы 3. При изменении сигнала в цепи 4 регулируется значение T_{oc} , а в цепи 3 – k_{oc} . Сигналы $U_2=f(T_{oc}p)$ и $U_1=f(k_{oc})$ суммируются на входе сумматора.

Полученные зависимости (1) – (3), (10), (12), (15) – (22) и построенные в координатах t , S , v области оптимальных технологических параметров зубофрезерования позволяют перейти к алгоритмизации оптимального управления технологических процессов зубообработки с разработкой системы технологического оптимального управления, реализующие такие алгоритмы [1].

Выводы

Обобщенная модель технологического процесса изготовления цилиндрических зубчатых колес обеспечивает построение оптимальной математической модели управления процессом формообразования поверхностного слоя закаленных крупномодульных зубчатых колес. В основе анализа оптимизации технологического процесса как объекта управления и выбора класса математической модели лежат закономерности протекающих в них явления, а также априорная информация о процессах в подобных объектах.

Анализ взаимных связей в системе ДТСС позволяет выделить основные особенности динамической системы станка, замкнутой через процесс зубофрезерования многоконтурной системы с источником энергии и воздействием основных элементов системы с взаимодействием между рабочими процессами через упругую систему. В связи с разделением элементами упругой системы участков протекания технологических процессов, представляется возможным перейти к эквивалентному представлению о динамической системе станка как об одноконтурной системе.

В дальнейшем после выбора математической модели и структуры объекта управления на этапе реализации технологической модели осуществляется оценка адекватности математической модели идентифицируемого объекта с учетом технологического обеспечения параметров поверхностного слоя закаленных цилиндрических зубчатых колес.

Перечень источников литературы: 1. Ямпольский, Л.С. Оптимизация технологических процессов в гибких производственных системах / Л. С. Ямпольский, М. Н. Полищук. – К.:Тэхника, 1988. – 175 с. 2. Технологические особенности обработки крупномодульных закаленных зубчатых колес [Текст] / Н.В. Кравцов, Ю.В. Тимофеев, А.А.Клочко [и др.]; Науч. Ред.. А.А.Пермяков; ВолГТУ – Тольятти: ЗАО «ОНИКС», 2012 – 254 с., ил., табл.; - (Серия: Управление качеством технологических процессов в машиностроении / общ. ред. Ю.М. Соломенцев), ISBN 978-59903090-6-7.

Рецензент: **Клименко Г.П.**, д.т.н., проф., ДГМА

ОБЛАСТИ ОПТИМАЛЬНОГО. УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ТОЧНОСТИ,
КАЧЕСТВА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЗУБООБРАБОТКИ ЗАКАЛЕННЫХ
КРУПНОМОДУЛЬНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Клочко А.А., Тимофеев Ю.В., Шелковой А.Н.

Рассмотрены области оптимального управления параметрами точности, качества и производительности зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес. Обобщенная модель технологического процесса изготовления цилиндрических зубчатых колес обеспечивает построение оптимальной математической модели управления процессом формообразования поверхностного слоя закаленных крупномодульных зубчатых колес. В основе анализа оптимизации технологического процесса как объекта управления и выбора класса математической модели лежат закономерности протекающих в них явления, а также априорная информация о процессах в подобных объектах.

ОБЛАСТІ ОПТИМАЛЬНОГО. УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ ТОЧНОСТІ, ЯКОСТІ
ТА ПРОДУКТИВНОСТІ ЗУБООБРАБОТКИ ЗАГАРТОВАНИХ КРУПНОМОДУЛЬНИХ
ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

Клочко О.О., Тимофєєв Ю.В., Шелковий О.М.

Розглянуті області оптимального управління параметрами точності, якості і продуктивності зубообработки загартованих крупномодульных зубчастих коліс. Узагальнена модель технологічного процесу виготовлення циліндричних зубчастих коліс забезпечує побудову оптимальної математичної моделі управління процесом формування поверхневого шару загартованих крупних модульних зубчастих коліс. У основі аналізу оптимізації технологічного процесу як об'єкту управління і вибору класу математичної моделі лежать закономірності тих, що протікають в них явища, а також априорна інформація про процеси в подібних об'єктах.

AREAS OPTIMAL. MANagements BY PARAMETERS OF EXACTNESS, QUALITY AND
PRODUCTIVITY OF GEAR TREATMENT OF HARD-TEMPERED LARGE MODULE GEAR-
WHEELS

Klochko A.A., Timofeev U.V., Shelkovoy A.N.

The areas of optimal management are considered the parameters of exactness, quality and productivity of gear treatment of hard-tempered крупномодульных of gear-wheels. The generalized model of technological process of making of cylindrical gear-wheels provides the construction of optimal mathematical case frame the process of формообразования of superficial layer of hard-tempered крупных of module gear-wheels. In basis of analysis of optimization of technological process as an object of management and choice of class of mathematical model conformities to law of aleak in them the phenomena, and also a priori information about processes in similar lie objects.

Ключевые слова: Технологические параметры, точность, производительность, качество, крупномодульные зубчатые колеса, динамическая технологическая станочная система

Ключові слова: Технологічні параметри, точність, продуктивність, якість, крупномодульні зубчасті колеса, динамічна технологічна верстатна система

Keywords: Technological parameters, exactness, productivity, quality, крупные module gear-wheels, dynamic technological machine-tool system

Дата надходження статті: 6 травня 2013 р.

УДК 621.774.001

Ковалевский С.В., Тулупов В.И., Стародубцев И.Н.

ДГМА, г. Краматорск, Украина

prorector.uo@dgma.donetsk.ua

ФОРМИРОВАНИЕ УПОРЯДОЧЕНЫ СТРУКТУР РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Введение

Анализ методов обеспечения заданных свойств деталей позволяет выявить некоторые особенности тенденций этой области: для обеспечения определенных требований работы деталей (долговечность, износостойкость и т.д.) предъявляются достаточно жесткие требования к точности, качеству и физико-механическим свойствам деталей машин. Этих требований можно достигнуть на основе создания специальных сплавов и сталей, обладающих высокими эксплуатационными показателями. Однако во многих случаях становится нерациональным использование дорогостоящих материалов. Упрочнение путем цементации, азотирования, термической обработки является эффективным, но достаточно энергоемким, требующим финишной обработки. Современные и прогрессивные методы упрочнения и придания специальных свойств деталей машин основанном на создании регулярных структур на поверхности деталей, а так же покрытий, обладающих повышенными физико-механическими свойствами по отношению к основному материалу детали, в том числе, на нано уровне, свойства которого значительно отличаются от свойств материала полученного традиционными методами упрочнения, не требующие финишной механической обработки, а также не влекут за собой изменение размерных характеристик детали.

Целью работы является систематизация и поиск новых путей формирования упорядоченных структур поверхностных слоев деталей машин при упрочняющей обработке.

Основная часть

Известно, что каждому виду эксплуатационных свойств изделий отвечает определенное поле рассеивания комплекса показателей качества, поэтому обеспечение отдельных показателей качества не гарантирует требуемые эксплуатационные свойства изделия. Формирование свойств изделия можно представить как процесс взаимодействия предмета производства с технологической и окружающей средой, которые являются носителями механизма наследования и трансформации свойств изделий во время их изготовления. Для каждой детали должна быть создана оптимальная технологическая среда, в которой должны формироваться оптимальные эксплуатационные свойства [0, 4, 6, 7].

В «Научно-исследовательской лаборатории специальных методов обработки деталей машин тяжелого машиностроения» кафедры Технологии и управления производством, Донбасской государственной машиностроительной академии ведутся разработки по усовершенствованию интегрированных методов упрочнения и создания специальных покрытий на поверхностях деталей машин. Основные результаты ее деятельности:

1. Созданы интегрированные технологические процессы, основой которых является обработка детали в управляемой, изменяющейся упорядоченной среде. К таким разработкам можно отнести *импульсную технологию в резонансном режиме*, способную многократно повысить производительность труда, эффективность использования ресурсов и снизить материалоемкость производства [0–0]. Сущностью этих методов является обработка поверхностей концентрированными потоками энергии в резонансном режиме, которые обеспечивают повышенную интенсивность технологического воздействия на материал, основанных на использовании мощных источников энергии [0, 0].

2. Созданы технологические методы обработки с образованием микрорельефов с высокооднородными по форме и размерам, регулярно расположенными микронеровностями, а также целенаправленным обеспечением структурных и фазовых изменений, напряженного

состояния и свойств металла поверхностных слоев деталей. В частности, к таким относится электромеханическое чистовое точение с использованием импульсных токов на среднеуглеродистой стали твердости поверхности в интервале 248–260 НВ, шероховатости в интервале Ra 3,2–2,5 мкм (рис.1).

Связь технологических режимов с показателями качества обработанной поверхности иллюстрируют графики, зависимости НВ и Ra от силы тока и его частоты при различных скважностях импульсного тока.

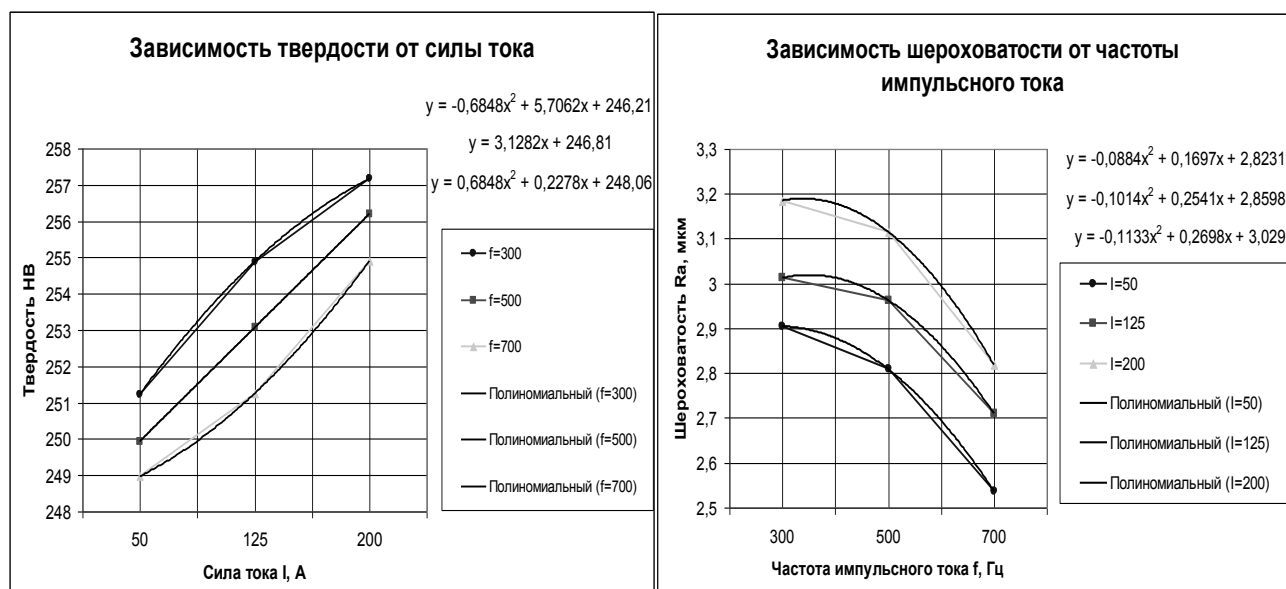


Рис. 1. - Зависимость твердости от силы тока и зависимость шероховатости от частоты импульсного тока соответственно.

3. Создан метод комбинированной абразивной обработка, основанной на использовании свободного абразива. Одним из таких перспективных способов обеспечения высокого качества рабочей поверхности является технология электро-магнитно-абразивной обработки (ЭМАО). Это метод прост в осуществлении, обеспечивает высокое качество обработанных поверхностей деталей [0, 0]. Электро-магнитно-абразивная обработка, осуществляемая при движении заготовки и абразивных зерен относительно друг друга в магнитном поле, созданного непосредственно в зоне резания, позволяет удалить припуск с применением порошковой ферромагнитной абразивной массы. Электро-магнитно-абразивным способом можно успешно обрабатывать поверхности: цилиндрические наружные и внутренние, плоские, тела вращения с криволинейной образующей, винтовые и др. (рис 2). Этим методом достигается твердость поверхности в интервале 231–297 НВ, шероховатость в интервале Ra 1,42–0,69 мкм. Упрочнение поверхности возрастает в 1,07–1,38 раз. Шероховатость на стали снижается в 2,3–4,6 раз.

4. Создан ряд методов, основанных на применении поверхностно-активных веществ (ПАВ) с эффектом резонанса, учитывая параметры объекта, его свойства, характеристики, позволяет получать упорядочивание структуры поверхности обрабатываемой детали, а также обеспечение требующих показателей качества (шероховатости) непосредственно в процессе резания [0–0]. В частности, используя жидкую плотную среду, например масло, рабочая среда выполняет силовую функцию, воздействуя на помещенную в нее обрабатываемую деталь в условиях резонанса при этом на поверхности заготовки, происходит наклеп, который устраняет микротрещины, выравнивает физико-механические свойства, структурные неоднородности, устраняет повышенные напряжения. Можно отметить, что используя сочетания слабых и сильных воздействий среды, которые позволяют изменять свойства и параметры объекта обработки, можно получать различные эксплуатационные свойства поверхностей деталей машин, тем самым минимизирую энергетические затраты [0].



1 – заготовка; 2 – патрон ГОСТ 2675–80; 3 – барабан с магнитом $\Phi 75$ мм;
4 – двигатель постоянного тока (ДПТ); 5 – токосъемник; 6 – держатель; 7 – резцедержатель;
8 – тара с абразивом и Al порошком.

Рис. 2 – Экспериментальная установка для проведения электро-магнитно-абразивной обработки

В связи с рассмотрением таких эффектов, вводя деталь в электромагнитное поле и воздействуя им на деталь в зависимости от частоты тока, наблюдаются так называемый скин-эффект, при этом реакция поведения детали способствует формированию фрактальных структур. Проявление упорядоченных и фрактальных структур напрямую зависит от размеров детали, материала, из которого она изготовлена, его состояния и параметров воздействия. Так называемый «ковёр Серпинского» наглядный пример образования фракталов, упорядоченных структур и реновации среды, этот эффект образуется под воздействием некоей среды, звуковых колебаний, электромагнитных колебаний и др. Получая такую упорядоченную структуру поверхность металла имеет отличительные эксплуатационные свойства от неупорядоченной структуры. Использование скин-эффекта и ввода дополнительной энергии позволяет получить определенные свойства углеродных связей на поверхности детали, в так называемой толщине скин-слоя, которая измеряется в микронах. Такая структура имеет фрактальный вид. Совмещение и учет всех параметров и свойств сред и объекта позволяет на поверхности детали получать нано покрытия в виде графена или углеродных нано трубок. Так как соотношение толщины скин-эффекта (среды), в которой формируется графен [0,0] и толщины получаемого слоя (нанометры), достаточно велики возникает возможность и целесообразность получать многослойные покрытия. Перспективы использования графена в технике существенно зависят от разработки способов его простого и дешевого изготовления. За последние годы в этом направлении была проделана очень большая работа [0,0]. Метод микромеханического расщепления, разработанный группой А.К. Гейма, является довольно трудоемким и позволяет получить только очень небольшие (порядка микрона) чешуйки графена. Более перспективными для промышленных приложений являются эпитаксиальное изготовление графена на поверхности карбида кремния, позволяющее получать большие образцы графена с контролируемым числом атомных слоев. Также очень перспективен метод газофазного осаждения графена на поверхность металла [0-0], позволяющий получить образцы графена размерами до десятков сантиметров. Для изготовления композитных материалов, включающих графен, были разработаны методы расщепления графена ультразвуком. Таким образом, имеются все основания полагать, что графен так или иначе будет использоваться не только в промышленно производящихся электронных устройствах, но и машиностроении уже в самые ближайшие годы. Как известно, что графен, фуллерены и нано трубки обладающие высокими прочностными характеристиками, имеет достаточно большую гибкость, тепло- и электропроводность, а покрытия из таких материалов позволяют повысить эксплуатационные свойства рабочих поверхностей деталей.

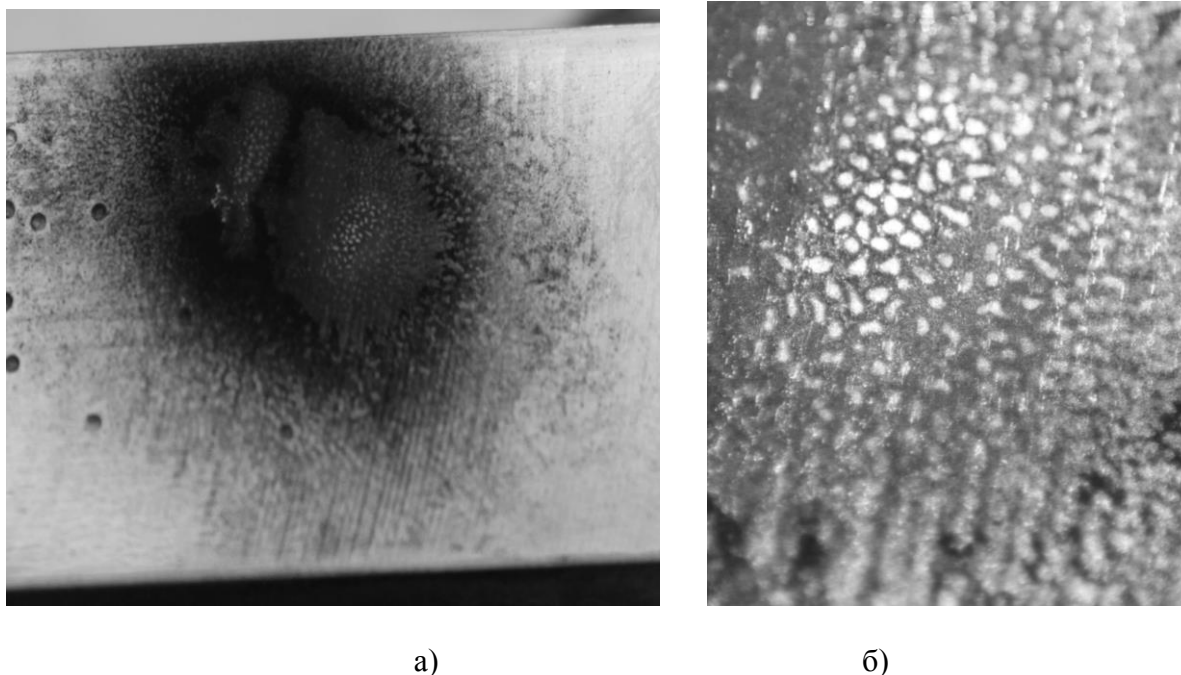
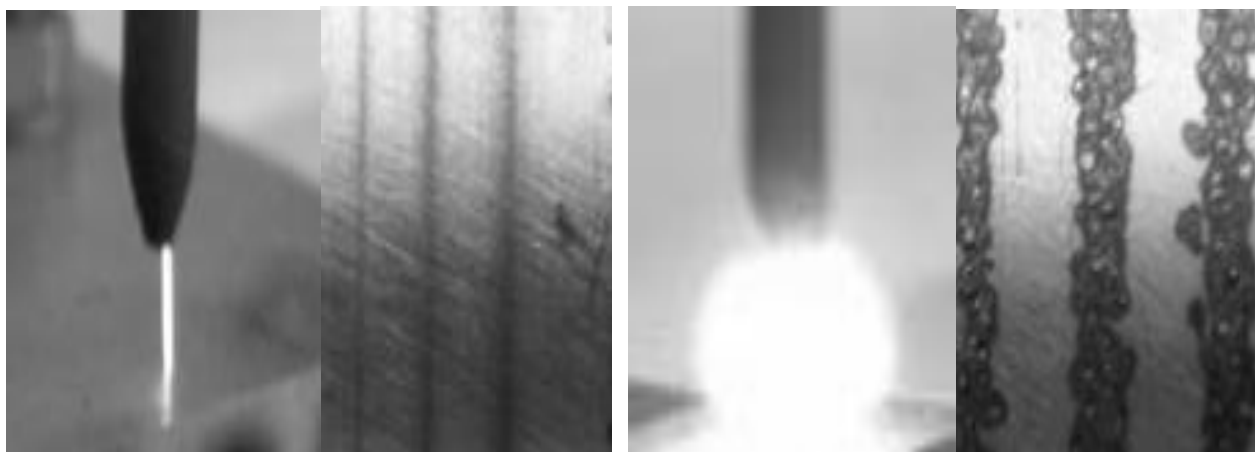


Рис. 3. - Фрактальная структура нанесенного графита на поверхность образца:
а – исходный образец; б – область фракталов.

Среда, в которую помещается деталь в процессе обработки может быть локальная, это хорошо видно из метода упрочнения и нанесение мелкодисперсных регулярных структур – электронно-ионная имплантация в открытом воздухе, на ряду с аналогичными видами обработки, которые производятся либо в вакууме или инертном газе. Как показали наши экспериментальные исследования совсем не обязательно весь объект сразу изолировать от процесса окисления, достаточно создать определенные условия в месте непосредственного воздействия. Упрочнение поверхности детали посредством нанесения СВС реагентов, термитных смесей на деталь, которое осуществляется с одновременным помещением в высокочастотное поле, приводит к упорядочиванию структуры поверхности детали после такой обработки, по сравнению с методом без использования высокочастотного поля. Так же эффект наблюдается в работе [0], где деталь помещалась в реактор и реакция происходила в среде аргона.

5. Создан метод электронно-ионной имплантации, который заключается в обработке деталей в среде коронного разряда с ускоряющим потенциалом между электродом-имплантатом и поверхностью детали. Это обеспечивает перенос ионов в потоке электрического тока высокой плотности, где в качестве проводника служит шнур коронного разряда напряжением до 25 кВ. Данному шнуру характерны свойства сложного проводника с высоким разряжением внутренней части шнура при условии согласования полярности тока, который и переносит формирующий имплантируемый поток ионов материала электрода (рис. 4).

Преимуществом такого метода является возможность использования оборудования, применяемого для выполнения предварительной механической обработки детали. При этом исключается использование сложного и дорогостоящего вакуумного оборудования, упрощается процесс обработки, что определяет низкие затраты на изготовление деталей машин заданного качества [21].



а)

б)

Рис. 4. Обработанный насыщением образец:
а – без дугового разряда, б – при дуговом разряде.

Обеспечение заданных эксплуатационных характеристик, при изготовлении деталей машин, возможно за счет различных технологических воздействий и в первую очередь более полного использования эффекта при сочетании силовых и слабых воздействий, применения технологической среды способствующей самоорганизации процессов.

Вывод

Созданные технологии позволяют получать заданные эксплуатационные характеристики, только лишь в том случае, когда учитывается технологическая наследственность на протяжении всего процесса изготовления машины, а также качество самого объекта, свойства материала и параметров используемых технологических сред. В сочетании несколькими видами воздействий, одно из которых является реновационной средой, а остальные силовыми механизмами, может получать улучшенные эксплуатационные свойства где, в отличие от традиционных методов достижения требуемых показателей качества, изложенный подход позволяет получать регулярные, фрактальные структуры, как поверхности металлов так и специальных покрытий, которые обладают более высокими эксплуатационными характеристиками с меньшими энергетическими затратами.

Перечень источников литературы: 1. Григорьева Н.С., Божидарник В.В., Шабайкович В.А. Повышение качества изделий при технологической наследственности и самоорганизации процессов. // Наукові нотатки. Електронне наукове видання – журнал. Луцк. 2007. с.115-119. 2. Тулунов В.И. Повышение эффективности использования электрической энергии для поверхностного упрочнения детали при чистовом точении // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали шостої Міжнародної науково-технічної конференції 2–5 червня 2008 року / Під заг. Ред. В.Д. Ковальова.– Краматорськ: ДДМА, 2008.– с.131. 3. Тулунов В.И. Повышение глубины упрочнения при электромеханическом чистовом точении // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць.– Краматорськ.– Київ, вип.№23, 2008 – с. 277–281. 4. Ковалевский С.В., Тулунов В.И. Комбинированная механическая обработка деталей типа тел вращения с использованием электропластического эффекта // Нейросетевые технологии и их применение. Сборник трудов международной научной конференции “Нейросетевые технологии и их применение 2004”.– Краматорск: ДГМА, 2004.– с.130–136. 5. Ковалевский С.В., Тулунов В.И. Поверхностная обработка импульсным магнитным полем деталей машин // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць.– Краматорськ.– Київ, вип.№19, 2006.– с. 181–185. 6. Багмутов В.П., Паршев С.Н., Дудкина Н.Г., Захаров И.Н. Электромеханическая обработка:

технологические и физические основы, свойства, реализация.– Новосибирск: Наука, 2003. – 318с. **7.** Новостройная О.С., Исследование режимов электромагнитно-абразивной обработки // Студенческий вестник ДГМА, 2010.– с. 89-93. **8.** Новостройная О.С., Исследование влияния наполнителей при электромагнитно-абразивной обработке // Молодая наука XXI века. Сборник трудов.–Краматорск: ДГМА, 2010.–с. 113-116. **9.** Стародубцев И. Н. Комбинированный технологический процесс механообработки деталей машин при помощи вибрационной обработки и поверхностно-активных веществ. // Студенческий вестник ДГМА.-сб. науч. Труд. – Краматорск. 2010. с 34-38. **10.** Стародубцев И. Н. Исследование процесса механообработки с применением резонансных частот и ПАВ. «Молодая наука 21 века» сб. науч. труд. - Краматорск. 2011. с 84-90. **11.** Кумабэ Д., Пер. с яп. С.Л Масленникова Вибрационное резание/Ред. Портнова И.И., Белова В.В.-М.:Машиностроение,1985.-423 с.:ил.-Библиогр.Библиогр.:с.417 **12.** Ковалевський С.В., Лукічов А.В., Матвієнко С.А., Аналіз стану проблеми реновації деталей автомобілів технологічними методами. ВІСНИК ЖДТУ. № 3 (62). 2012. С. 74-78. **13.** Ковалевский С.В., Стародубцев И.Н., Метод повышения качества рабочих поверхностей деталей машин с использованием реакций самораспространяющегося высокотемпературного синтеза // Вестник донбасской государственной машиностроительной академии №2(27). 2012. с.38-42. **14.** Козырева, Л.В. Ресурсосберегающие нанотехнологии на предприятиях технического сервиса: монография / Л.В. Козырева. Тверь: ТГТУ, 2010. 188 с. **15.** Елецкий: Елецкий А.В. Углеродные нанотрубки и их эмиссионные свойства // Успехи физ. наук. 2002. Т. 172. № 4. С. 401 – 438. **16.** A.K. Geim, Graphene: status and prospects, Science 324, 1530 (2009). **17.** S. Mikhailov, Physics and applications of graphene - theory, InTech, Rijeka (2011). **18.** A.N. Obraztsov, E.A. Obraztsova, A.V. Tyurnina, A.A. Zolotukhin, Chemical vapor deposition of thin graphite films of nanometer thickness, Carbon 45, 2017 (2007). **19.** A. Reina, X.T. Jia, J. Ho, D. Nezich, H.B. Son, V. Bulovic, M.S. Dresselhaus, J. Kong, Large area, few-layer graphene films on arbitrary substrates by chemical vapor deposition, Nano Lett. 9, 30 (2009). **20.** K.S. Kim, Y. Zhao, H. Jang, S.Y. Lee, J.M. Kim, K.S. Kim, J.H. Ahn, P. Kim, J.Y. Choi, B.H. Hong, Large-scale pattern growth of graphene films for stretchable transparent electrodes, Nature 457, 706 (2009). **21.** А.с. 64959 Україна, МПК С23С 14/40. Спосіб зміцнення поверхонь деталей машин методом іонної імплантації в повітряному середовищі / С.В. Сокур, 2011

Рецензент: **Ковалев В.Д.**, д.т.н., проф., ДГМА

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ УПОРЯДОЧЕННЫХ СТРУКТУР ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН.

Ковалевский С.В. Тулупов В.И., Стародубцев И.Н.

В статье представлены обоснования механизмов формирования упорядоченных структур поверхностных слоев деталей машин при упрочняющей обработке, направленных на улучшение их эксплуатационных свойств. Изложенные в статье подходы позволяют получать регулярные, фрактальные, упорядоченные структуры, как поверхности материалов, так и специальных покрытий, которые обладают более высокими эксплуатационными характеристиками при сокращении энергетических затрат. Исследованы и обоснованы преимущества применения различных технологических сред для обработки деталей, с целью создания фрактальных и упорядоченных структур поверхностных слоев деталей машин.

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМІВ ФОРМУВАННЯ ВПОРЯДКОВАНІСТІ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН.

Ковалевський С.В. Тулупов В.І., Стародубцев І.М.

У статті представлені обґрунтування механізмів формування впорядкованих структур поверхневих шарів деталей машин при зміцнювальній обробці, спрямованих на поліпшення їх експлуатаційних властивостей. Викладені у статті підходи дозволяють отримувати регулярні, фрактальні, впорядковані структури, як поверхні матеріалів, так і спеціальних покриттів, які володіють більш високими експлуатаційними характеристиками при скороченні енергетичних витрат. Досліджено та обґрунтовано переваги застосування різних технологічних середовищ для обробки деталей, з метою створення фрактальних і впорядкованих структур поверхневих шарів деталей машин.

INVESTIGATION OF THE MECHANISMS OF FORMATION OF ORDERED WORK SURFACES OF MACHINE PARTS.

S. Kovalevsky, V. Tulupov, I. Starodubtsev.

The paper presents the study of mechanisms of formation of ordered structures of the surface layers of machine parts in strengthening treatment to improve their performance characteristics. Set out in Article approaches can get regular, fractal, ordered structures, the surfaces of materials and special coatings that have higher performance while reducing energy costs. Investigated and substantiated benefits of various technological mediums for machining parts, to create fractal and ordered structures of the surface layers of machine parts.

Ключевые слова: интегрированные технологии, эксплуатационные свойства, СВС, резонанс, упрочнение, фракталы, графен.

Ключові слова: інтегровані технології, експлуатаційні властивості, СВС, резонанс, зміцнення, фрактали, графен.

Keywords: integrated technology, operational properties, SVC, resonance, hardening, fractals, graphene.

Дата надходження статті: 14 травня 2013 р.

УДК 658.52.011.56

Мироненко Е.В., Ключко А.А., Кошелева А.Д., Годзула И.Г.
ДГМА, г.Краматорск, Украина

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЗУБООБРАБОТКИ ЗАКАЛЕННЫХ КРУПНОМОДУЛЬНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Введение

Построение информационной модели технологических процессов зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес является одним из этапов управления технологической структурой и параметрами автоматизации проектирования технологического процесса. С учетом принципов классификации информации [1, 2] автоматизируемый процесс зубообработки рассматривается как объект управления, состоящий из ряда технологических объектов: исходный материал (вход объекта управления); окружающая среда (условия протекания процесса); зубчатое колесо (выход объекта управления, количественная и качественная характеристика поверхностного слоя); модуль обработки с системой управления и технологической оснасткой (собственно объект управления).

Основная часть

Каждый технологический объект (ТО), входящий в объект управления, можно в свою очередь рассматривать на более низкой иерархической ступени как самостоятельный объект, содержащий ряд технологических объектов.

Особенности процесса формообразования поверхностного слоя (рис. 1) связаны с исходными данными формирования технологических объектов моделирования технологических процессов зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес в таблице 1.

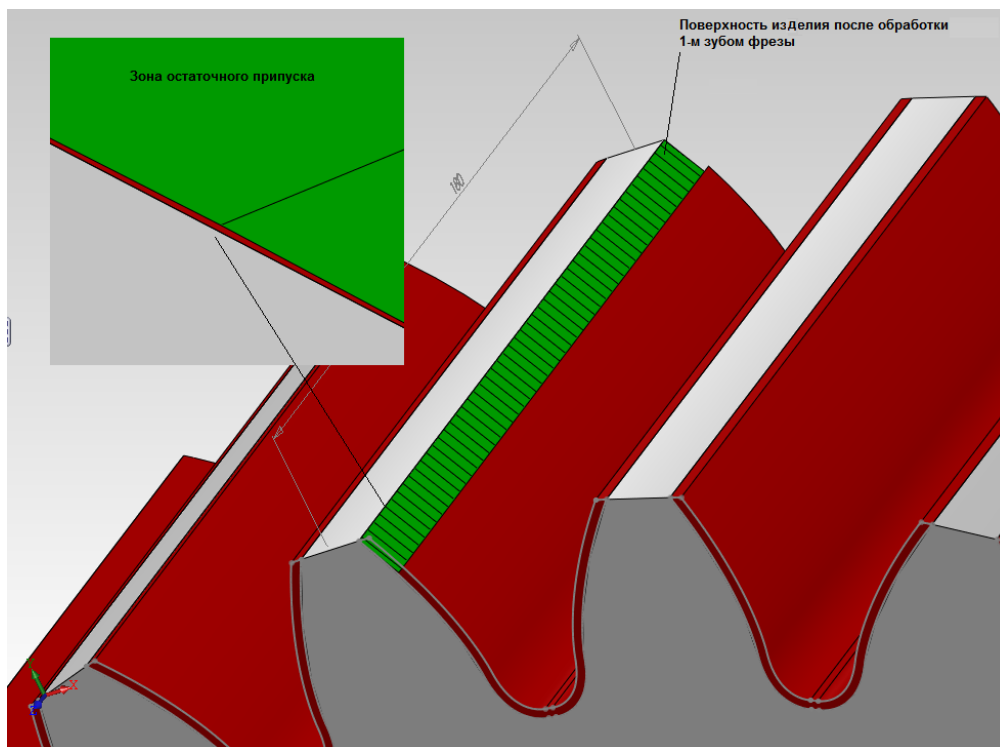


Рис. 1. Формообразование поверхностного слоя одним зубом зубообрабатывающей фрезы

Вид функционального назначения *AI* системы автоматического проектирования разработки технологических объектов (САПР ТО) управления зубообработкой, устанавливаемый на основе классификатора (рис. 2, уровень «функциональное назначение»), определяет объем и источник информации, необходимые для реализации процесса. Так, в программных САПР ТО управления зубообработкой алгоритм функционирования содержит предписание (исходная информация *a1*) изменять управляемые параметры в соответствии с заранее заданной последовательностью. В САПР ТО управления зубообработкой ограничения контролируемых параметры, характеризующие процесс (информация о процессе *a2*), не должны превышать максимальных допустимых их значений. Управляющие воздействия вырабатываются только при превышении этих значений. Во всех остальных случаях САПР ТО управления зубообработкой ограничения выполняют предписания исходной программы управления *a1*. В стабилизирующих САПР ТО управления зубообработкой программой предписывается поддерживать постоянным значение управляемой величины. При этом исходная программа *a1* не изменяется и контролируемый технологический параметр, характеризующий состояние процесса (*a2*), поддерживается постоянным при изменении внешних и внутренних возмущений, которые непосредственно не измеряются.

Необходимость улучшения технико-экономических показателей процесса и эксплуатационных характеристик зубообрабатывающего оборудования требует постановки задачи оптимального управления процессами формообразования зубчатых колес. Эффективность управления с учетом технико-экономических ограничений в оптимальных САПР ТО управления зубообработкой определяется отклонением показателя качества процесса от его оптимального значения. В детерминированных оптимальных САПР ТО управления зубообработкой приложенные к процессу воздействия и характеризующие их параметры являются детерминированными функциями переменных состояния и времени, в связи с чем непосредственного измерения информации *a3* о возмущениях не требуется. В статистических системах показатель оптимальности характеризует эффективность САПР ТО управления зубообработкой с учетом случайных возмущений *a3*; следовательно, измерение последних необходимо для определения среднего значения показателя оптимальности, на основании которого осуществляется формирование управляющих воздействий.

САПР ТО управления зубообработкой автоматически адаптируются к изменению внешних условий и свойств объекта управления, обеспечивая при этом необходимое качество управления путем изменения структуры и параметров системы управления технологическим процессом обработки закаленных крупномодульных зубчатых колес. Как правило, областью применения адаптивных систем являются объекты с недостаточно известными свойствами или условиями работы. К таким объектам управления в полной мере относятся технологические процессы зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес.

Адаптивные САПР ТО управления зубообработкой обеспечивают требуемое значение показателя оптимальности для конкретно сложившейся ситуации путем автоматического изменения алгоритма управления в условиях действия возмущающих воздействий (*a3*).

Основной задачей инвариантных САПР ТО (рис. 2) является компенсация как внешних, так и действующих внутри системы возмущающих сил.

Принцип инвариантности в сочетании с идеями построения самонастраивающихся систем приводит к созданию эффективных систем управления объектами с переменными параметрами. В частности, для управления такими объектами используется самонастраивающаяся система, а для обеспечения инвариантности относительно внешнего возмущающего воздействия создается дополнительный канал с постоянными параметрами.

Таблица 1

Классификация технико-экономических признаков процесса зубообработки для элементарных объектов САПР ТО

Технико-экономический признак	Обозначение	Наименование	Источник информации
Функциональное назначение	A1	Управление формообразованием зубчатых колес	Массив САПР ТО
Структурно-функциональная характеристика	A2	Тип структуры. Модель	Массив структур управления
Решаемая задача	A3	Целевая функция. Взаимосвязь параметров поверхностного слоя зубчатых колес с эксплуатационными характеристиками	Классификатор целевых функций
Конструктивно-технологическая база	A4	Признак построения системы: макроотклонения; волнистость; отклонение профиля;	Классификатор элементных модулей
Энергофункциональная характеристика	A5	Координаты управления: (параметры точности в соответствии с требованиями ГОСТ1643-81; микро и макротвердость поверхностного слоя зубчатых колес	оборудование; материал; заготовка; инструмент Целевая функция
Эксплуатационная характеристика	A6	Качество управления: Быстродействие; Точность; Пределы условий эксплуатации: Температура в зоне формообразования; Виброустойчивость процесса; Потребляемая мощность.	Данные теоретических и экспериментальных исследований во времени процесса формообразования зубчатых колес
Надежность	A7	Наработка на отказ; Время восстановления.	Расчетные или статистические данные
Производительность, себестоимость	A8	Наивысшая производительность при гарантированной стойкости фрезы	Технологический регламент зубообработки

Каждое наименование классификации с учетом обозначения подразделяется на вид, номер вида, номер кода, таблица 2.

Таблица 2

Подразделение классификации технико-экономических признаков процесса зубообработки для элементарных объектов САПР ТО

Обозначение	Вид	Номер вида	Номер кода
A1	1	1	0
A2	2	1 i_n	0 i_m
A3	3	1	1
A4	4	1 i_n	i_m
A5	5	1 2 i_n	1 1 i_m
A6	6	1 1 i_n	i_m
A7	7	1 1 i_n	0 1 i_m
A8	8	1 2 i_n	0 1 i_m

Наиболее удобным методом достижения физически реализуемых условий инвариантности является комбинированный принцип управления: по отклонению (информация $a1$ и $a2$) и возмущению (информация $a3$) [1].

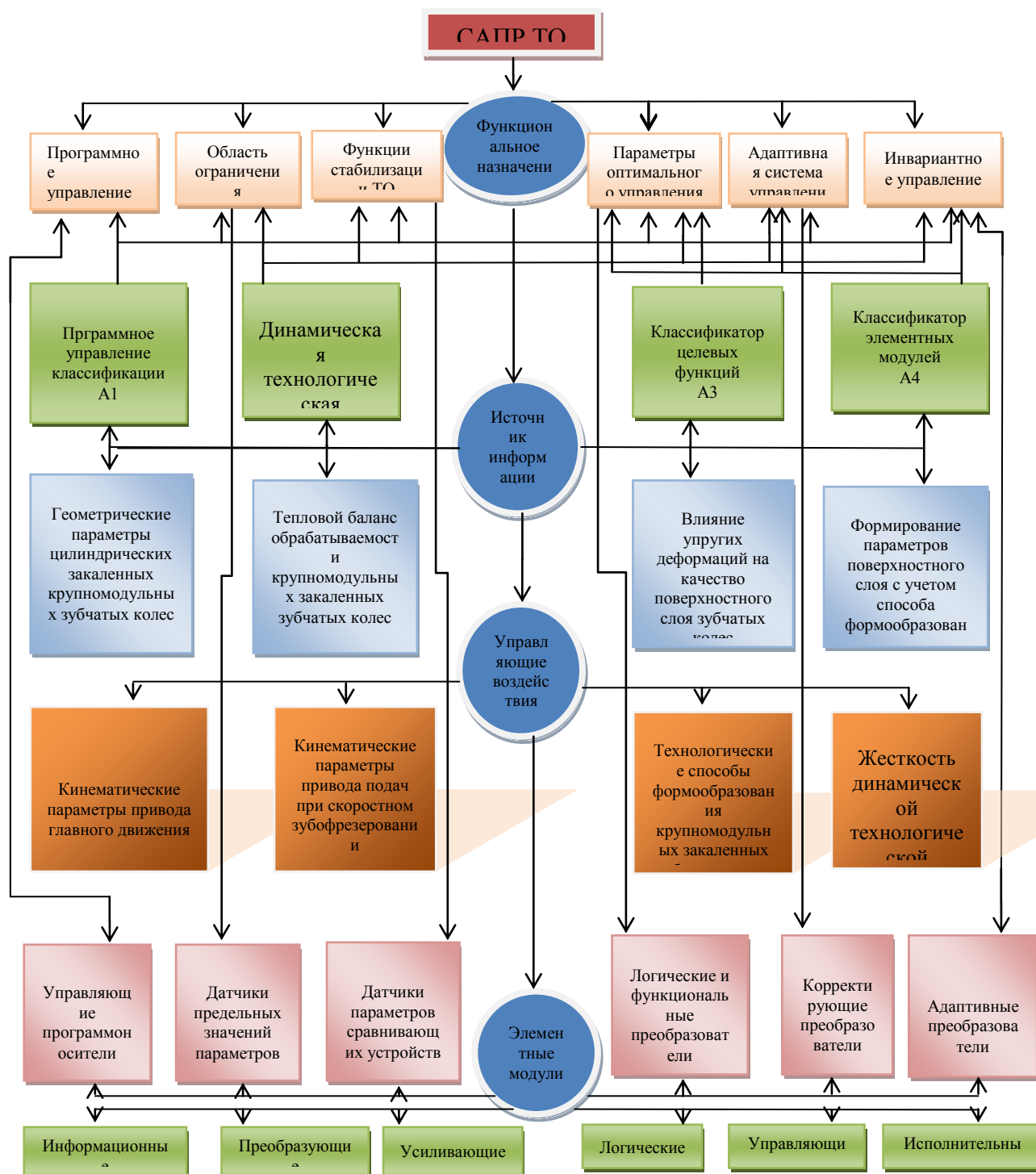


Рис. 2. Классификация САПР ТО моделирования технологических процессов оптимального управления параметрами точности, качества и производительности зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес

Комбинированный принцип управления позволяет использовать признак А2 структурно – функциональной характеристики САПР ТО (табл. 1) для определения ее модели и обобщенной структуры по объему и источникам информации информационного массива, который определяется видом функционального назначения системы: структура $a1$ – программное управление с жестким программированием; структура $a1$ — $a2$ — управление по

отклонению; $a_1 - a_3$ – управление по возмущению; $a_1 - a_2 - a_3$ – комбинированное управление; $a_1 - a_2 - a_4$ – оптимальное управление; $a_1 - a_2 - a_3 - a_4$ – адаптивное, инвариантное управление [62, 132, 251]. В обобщенном виде информационный массив САПР ТО представлен в табл. 2. Источником информации может служить целевая функция, динамическая технологическая станочная система (ДТСС), окружающая среда и система управления (рис. 3 и рис. 4).

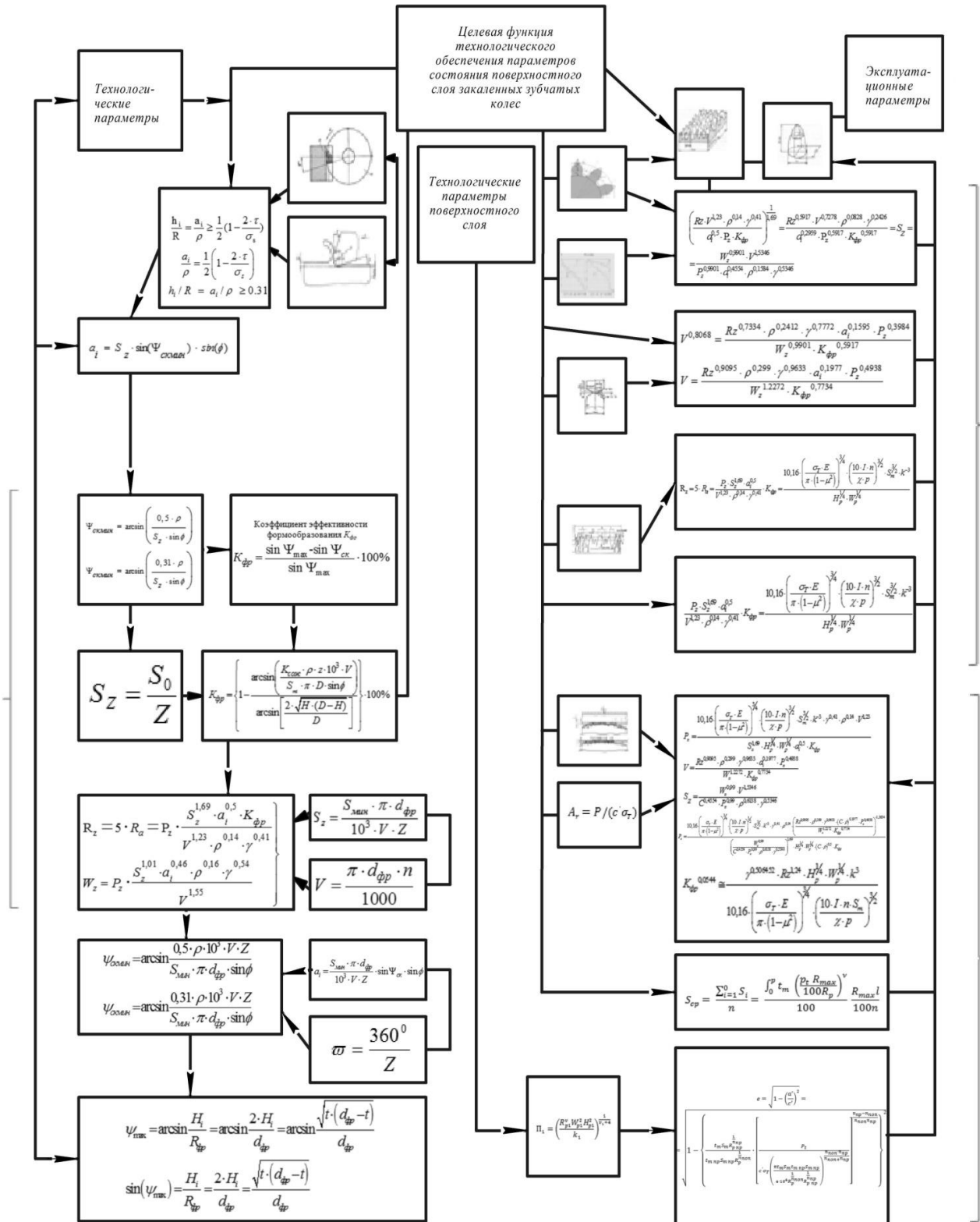


Рис. 3. Целевая функция технологического обеспечения параметров состояния поверхностного слоя закаленных зубчатых колес

Конструктивно-технологическая база (A4) характеризует признак построения системы управления. При большом многообразии технологических задач и конструктивных решений зубообрабатывающего оборудования [3, 4], оснастки, эффективное внедрение модуля оптимизации возможно только при типизации решений, максимальной унификации элементов САПР ТО и автоматизации на этой основе процесса проектирования САПР ТО с использованием ПК. При этом элементная база типовых модулей оптимизации содержит как элементы общего назначения – информационные, преобразующие, усиливающие, логические, управляющие и исполнительные, так и специфические для каждого из видов САПР ТО (рис. 2 и рис. 4).

Число и вид координат управления определяют энергофункциональную характеристику (A5) САПР ТО, которая зависит от задачи управления, - энергофункциональной характеристики ЭО «станок», свойств ЭО «исходный материал» и возможностей ЭО «инструмент» и соответствует уровню управляющего воздействия.

Надежностные и экономико-организационные параметры в наибольшей мере определяются структурно-функциональной характеристикой и конструктивно-технологической базой.

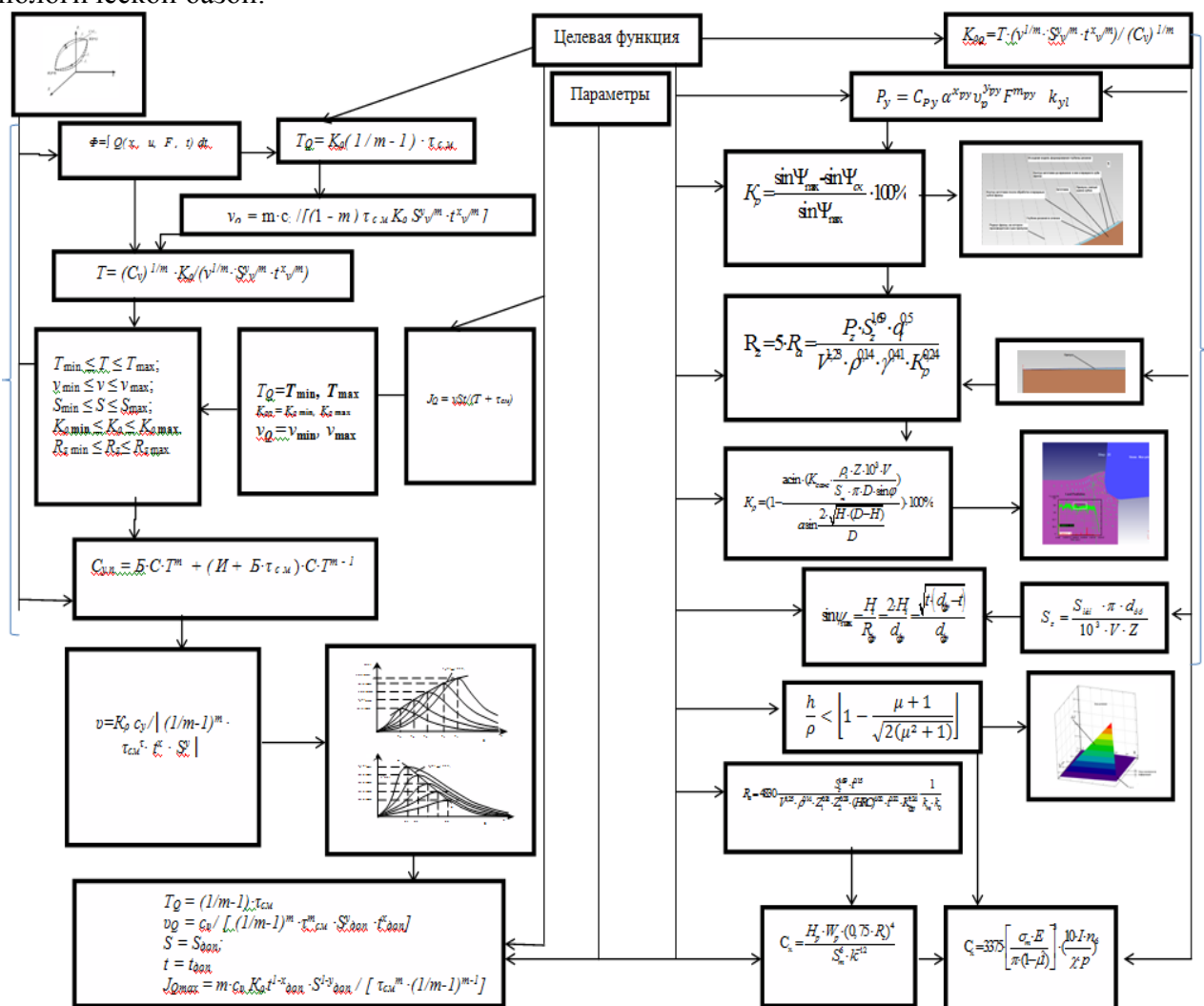


Рис. 4 – Классификация техническими показателями оптимальности при зубообработке закаленных крупномодульных зубчатых колес

Энергофункциональная характеристика Л5 (табл. 1) вместе с эксплуатационной характеристикой Л6 являются обобщенными характеристиками универсальности САПР ТО. Анализ целевых функций (Л3) оптимального управления процессами зубообработки позволил классифицировать их по реализуемому показателю оптимальности [251], числу переменных

параметров t , S , v режима резания, динамической технологической станочной системы (ДТСС), периода стойкости T инструмента, оптимального выбора технологического регламента обработки с учетом коэффициента формообразования поверхностного слоя K_p , критерия максимальной производительности – τ_c и критерия минимальной себестоимости – $(\tau_c + II/B)$.

Выводы

Задача оптимального управления зубообработкой формулируется как задача выбора формообразования, который обеспечивает максимальную производительность с обеспечением качественного поверхностного слоя закаленных зубчатых колес при заданной точности с учетом показателя себестоимости. Решение оптимального управления процессом зубообработки интегрируется в совместном рассмотрении целевых функций технологического обеспечения параметров состояния поверхностного слоя и техническими показателями оптимальности при зубообработке закаленных крупномодульных зубчатых колес. Оптимальные сочетания целевых функций технологического обеспечения параметров состояния поверхностного слоя закаленных крупномодульных зубчатых колес находятся в области оптимального управления. Построение области оптимального управления и формирует стратегию управления и моделирование оптимального управления зубообработкой закаленных крупномодульных зубчатых колес.

Перечень источников литературы: 1. Ямпольский, Л.С. Оптимизация технологических процессов в гибких производственных системах / Л. С. Ямпольский, М. Н. Полищук. – К.:Тэхника, 1988. – 175 с. 2. Технология производства и методы обеспечения качества зубчатых колес и передач / Под общ. ред. В. Е. Старжинского, М. М. Кане. – С-Пб.: Профессия, 2007. – 832 с. 3. Технологические особенности обработки крупномодульных закаленных зубчатых колес [Текст] / Н.В. Кравцов, Ю.В. Тимофеев, А.А.Клочко [и др.]; Науч. Ред.. А.А.Пермяков; ВолГТУ – Тольятти: ЗАО «ОНИКС», 2012 – 254 с., ил., табл.; - (Серия: Управление качеством технологических процессов в машиностроении / общ. ред. Ю.М. Соломенцев), ISBN 978-59903090-6-7. 4. Кане М.М. Управление качеством продукции машиностроения / М. М. Кане, А. Г. Суслов, О. А. Горленко и др. под общ. ред. д.т.н. М. М. Кане. – М.: Машиностроение, 2010. – 416 с.

Рецензент: **Клименко Г.П.**, д.т.н., проф., ДГМА

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЗУБООБРАБОТКИ ЗАКАЛЕННЫХ КРУПНОМОДУЛЬНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Мироненко Е.В., Клочко А.А., Кошелева А.Д., Годзула И.Г.

Построение информационной модели технологических процессов зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес является одним из этапов управления технологической структурой и параметрами автоматизации проектирования технологического процесса. С учетом принципов классификации информации автоматизируемый процесс зубообработки рассматривается как объект управления, состоящий из ряда технологических объектов: исходный материал (вход объекта управления); окружающая среда (условия протекания процесса); зубчатое колесо (выход объекта управления, количественная и качественная характеристика поверхностного слоя); модуль обработки с системой управления и технологической оснасткой (собственно объект управления). Задача оптимального управления зубообработкой формулируется как задача выбора формообразования, который обеспечивает максимальную производительность с обеспечением качественного поверхностного слоя закаленных зубчатых колес при заданной точности с учетом показателя себестоимости.

ІНФОРМАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗУБООБРАБОТКИ ЗАГАРТОВАНИХ КРУПНОМОДУЛЬНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

Міроненко Є.В., Клочко А.А., Кошелева А.Д., Годзула І.Г.

Побудова інформаційної моделі технологічних процесів зубообработки загартованих крупномодульних зубчастих коліс є одним з етапів управління технологічною структурою і параметрами автоматизації проектування технологічного процесу. З врахуванням принципів класифікації інформації процес зубообработки, що автоматизується, розглядається як об'єкт управління, що складається з ряду технологічних об'єктів: вихідний матеріал (вхід об'єкту управління); довкілля (умови протікання процесу); зубчасте колесо (вихід об'єкту управління, кількісна і якісна характеристика поверхневого шару); модуль обробки з системою управління і технологічним оснащенням (власне об'єкт управління). Завдання оптимального управління зубообработкой формулюється як завдання вибору формоутворення, який забезпечує максимальну продуктивність із забезпеченням якісного поверхневого шару загартованих зубчастих коліс при заданій точності з врахуванням показника собівартості.

INFORMATIVE DESIGN OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF ZUBOOBRABOTKI OF HARD-TEMPERED LARGE MODULE GEAR-WHEELS

Myronenko EV, Klochko A.A, Kosheleva A.D., Godzula I.G.

Construction of informative model of technological processes of zuboobrabotki hard-tempered krupnomodul'nykh gear-wheels is one of the stages of management a technological structure and parameters of computer-aided of technological process design. Taking into account principles of classification of information the automatized process of zuboobrabotki is examined as a management object, consisting of row of technological objects: feedstock (entrance of management object); environment (terms of flowing of process); gear-wheel (output of management object, quantitative and high-quality description of superficial layer); module of treatment with control system and technological rigging (actually management object). The task of optimum management of zuboobrabotkoy is formulated as a task of choice of formoobrazovaniya, which provides a burst performance with providing of high-quality superficial layer of hard-tempered gear-wheels at set exactnesses taking into account the index of prime price.

Ключевые слова: Информационная модель, технологический процесс, параметры, зубообработка, автоматизации проектирования, оптимальное управление, качество поверхностного слоя

Ключові слова: Інформаційна модель, технологічний процес, параметри, зубообработка, автоматизації проектування, оптимальне управління, якість поверхневого шару

Keywords: Informative model, technological process, parameters, zuboobrabotka, computer-aided designs, optimum management, quality of superficial layer

Дата надходження статті: 18 травня 2013 р.

УДК 621.941.01

Стреляная Ю.О., Братан С.М.
СевНТУ, г. Севастополь, Украина
joulia.bayrakova@mail.ru

ПОСТРОЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ЗВЕНА МОДЕЛИРУЮЩЕГО ДИНАМИКУ ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ ЗАГОТОВКИ ПРИ ЧИСТОВОМ ТОЧЕНИИ НА ТЯЖЕЛЫХ СТАНКАХ

Постоянно растущие требования к качеству поверхностей и их геометрическим размерам в условиях непостоянства параметров технологической системы требуют анализа и учета динамики процесса обработки. В существующих работах при описании динамики операции либо недостаточно учитывались процессы в зоне контакта инструмента с деталью [1], либо использовались упрощенные схемы процесса обработки, и для согласования результатов экспериментов и моделирования вводилась внешняя периодическая возмущающая сила [2], что не соответствует структуре динамической системы.

Целью работы является разработка математической модели процесса взаимодействия инструмента и заготовки, учитывающая влияние вариаций формы заготовки и ее спектральный состав, которая позволяет описывать отклонение состояния технологической системы от номинального режима в реальном масштабе времени.

Для построения математической модели учитывающей динамику процесса обработки и позволяющей автоматически корректировать цикл управления операцией чистового точения рассматривается схема процесса представленная на рис. 1.

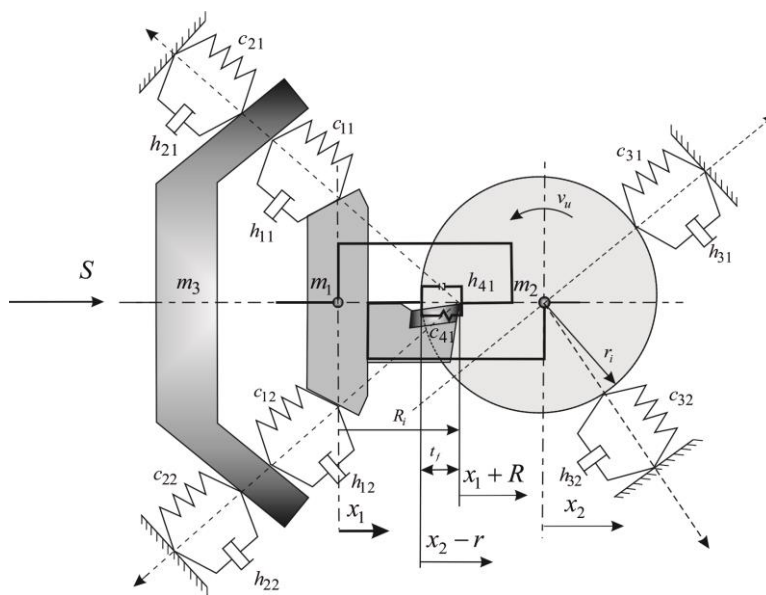


Рис. 1. Расчетная схема динамической системы процесса точения

Для упругих и диссипативных звеньев на схеме обозначены коэффициенты демпфирования h_{11} , h_{12} , h_{21} , h_{22} , h_{31} , h_{32} , h_{41} ; жесткости c_{11} , c_{12} , c_{21} , c_{22} , c_{31} , c_{32} , c_{41} , значения масс m_1 , m_2 , m_3 соответственно резца резцедержателя, заготовки и суппорта.

Для такой расчетной схемы с использованием принципа Даламбера – Лагранжа построено математическое описание, характеризующее динамику перемещений центров масс инструмента и заготовки с учетом изменения фактической глубины резания [3], в матричной форме пространства состояния представлена система:

$$\begin{aligned} \dot{Y}_0 &= A_0 \cdot Y_0 + B_0 \cdot W + C_0 \cdot U; \\ Z_0 &= E_0 \cdot Y_0 + F_0 \cdot V_0; \\ T_0 &= Q_0 \cdot Z_0, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{где } A_0 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{c_1 + c_3}{m_1} & -\frac{h_1 + h_3}{m_1} & \frac{c_3}{m_1} & \frac{h_3}{m_1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{c_3}{m_2} & \frac{h_3}{m_2} & -\frac{c_2 + c_3}{m_2} & -\frac{h_2 + h_3}{m_2} \end{bmatrix}, \dot{Y}_0 = \begin{bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \\ \dot{y}_4 \end{bmatrix}, Y_0 = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix}, B_{01} = \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{c_3}{m_1} \\ 0 \\ \frac{c_3}{m_2} \end{bmatrix},$$

$$B_{02} = \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{h_3}{m_1} \\ 0 \\ \frac{h_3}{m_2} \end{bmatrix}, C_0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{c_1}{m_1} & \frac{h_1}{m_1} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, W = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \end{bmatrix}, U = \begin{bmatrix} S \\ \dot{S} \end{bmatrix}, W_1 = [\Delta R + \Delta r], W_2 = [\Delta \dot{R} + \Delta \dot{r}],$$

$$B_0 = [B_{01} \quad B_{02}],$$

Y_0 – вектор (матрица-столбец), представляющая вектор состояния системы, \dot{Y}_0 – вектор производных состояний системы, A_0 – матрица, характеризующая динамические свойства системы, B_0 – матрица параметров влияния отклонений формы детали и инструмента, W – вектор состояний отклонений формы детали и инструмента от номинальных параметров, C_0 – матрица управления процессом, U – вектор управляющих воздействий, связанный с поперечной подачей.

$$E_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, F_0 = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} \\ f_{21} & f_{22} \end{bmatrix}, V_0 = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix}, T_0 = [t_f], Q_0 = [-1 \quad 1],$$

где E_0, F_0, V_0, T_0, Q_0 – матрица состояния измерений, матрица интенсивностей шумов измерителей; матрица независимых гауссовых белых шумов измерителей единичной интенсивности, матрица глубины резания и матрица преобразования совокупных измерений соответственно.

Оцененная таким образом глубина резания t_f несвободна как от погрешностей, определяемых качеством процесса измерений шумами измерителей, так и от влияния случайных составляющих отклонений форм детали и инструмента от номинальных.

Для оценки фактической глубины резания необходимо разработать расширенную модель объекта. Для этого необходимо построить формирующий фильтр – динамическое звено моделирующее динамику отклонений формы заготовки.

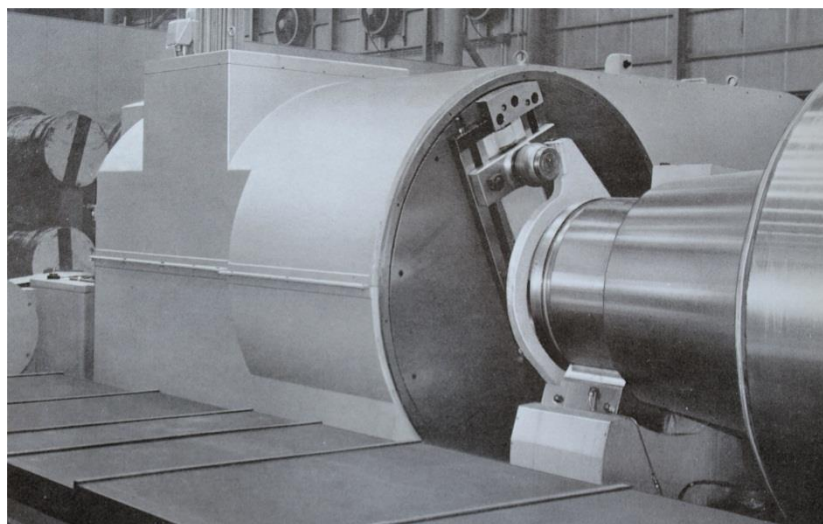
Для построения модели динамики взаимодействия инструмента и заготовки в ходе обработки, дадим математическое описание процесса, связывающее параметры формы детали и износа инструмента, их взаимоположение, упругие, демпфирующие и другие свойства технологической системы.

Для оценки фактической глубины резания необходимо разработать расширенную модель объекта. Для этого необходимо построить формирующий фильтр – динамическое звено моделирующее динамику отклонений формы заготовки

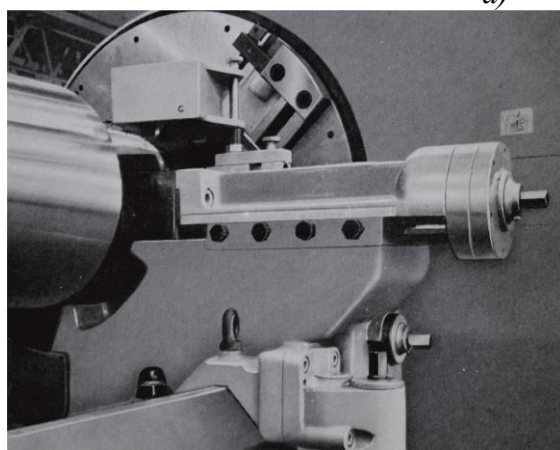
Отклонения формы заготовки могут быть учтены путем введения в состав системы (1) дополнительного звена – соответствующего формирующего фильтра, который синтезирует шум с заданными статистическими характеристиками из белого шума. Для

определения параметров последнего использованы материалы экспериментальных исследований [4] и собственных работ автора на станке модели STU3500M(H) TORNI TACCHI.

Для анализа состояния заготовки использован метод профилографирования поверхности. Круглограммы снимались в направлении, перпендикулярном вектору скорости резания непосредственно на станке, оборудованном сканирующим устройством; общий вид станка и отдельные элементы изображены на рис. 2, 3.



а)



б)



в)

Рис. 2. Тяжелый станок для чистового точения STU3500M(H) TORNI TACCHI, с системой ЧПУ Sinumeric 840D:

а) передняя бабка станка; б) элемент устройства для профило-графирования; в) процесс точения

Профиль поперечного сечения записывали после совершения 1, 2, 3 и 5 проходов и по мере износа инструмента через 5, 10, 15, 25, 40 минут работы.

Спектральный состав отклонений профилей исследовался с помощью гармонического анализа круглограмм. В результате расчетов получены для исследуемых частот соответствующие значения амплитуд и фаз, позволяющие описать профили в различные моменты времени тригонометрическим полиномом Фурье:

$$r(\varphi) = r_o + \sum (A_k \cos k\varphi + B_k \sin k\varphi)$$

или

$$r(\varphi) = r_0 + \sum C_k \cos(k\varphi + \psi_k) \quad ,$$

A_k, B_k – соответственно амплитуда косинусной и синусной составляющих; $C_k = A_k + B_k$, k – номер гармоники; ψ_k – эквивалентная фаза.

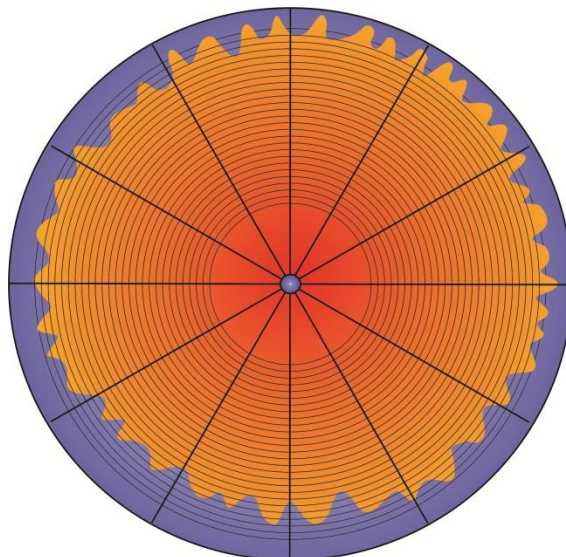


Рис. 3. Пример круглограммы поперечного сечения вала

Результаты гармонического анализа, показывают, что при чистовом точении валков значима 1-я и 2-я гармоники. С течением времени вследствие износа инструмента постепенно растут амплитуды преобладающих гармоник. Высшие частоты обусловлены износом лезвия инструмента. По мере износа инструмента наблюдается рост амплитуд C_k преобладающих частот. С течением времени увеличиваются также средняя W_{kcp} и максимальная W_{kmax} высоты волнистости и их отклонения от средних значений.

В силу того, что отклонение формы от заданной определяется большим количеством неконтролируемых независимых случайных факторов; они относительно стабильны в процессе обработки каждой детали, а отклонение формы может характеризоваться квазистационарным гауссовским случайным процессом. Такой процесс определяется математическим ожиданием (параметрами формы заготовки) и отклонениями формы, описываемыми корреляционной функцией (см. рис. 4.). Корреляционная функция построена непосредственно по круглограмме

$$R_{xx}(\theta) = E\{x(\varphi) \cdot x(\varphi + \theta)\}, \quad (2)$$

где E – операция взятия математического ожидания; $x(\varphi)$ – характеристики случайного процесса, φ, θ – абсцисса и ордината профилограммы.

Для конечных реализаций всегда существуют спектральные плотности, определяемые в виде преобразований Фурье по формулам Виннера – Хинчина [5]:

$$S_{xx}(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} R_{xx}(\theta) e^{-j2\pi\omega\theta} d\theta.$$

Численными методами получены графики зависимостей $R_{xx}(\theta)$ и $S_{xx}(\omega)$ (см. рис. 4. и 5.)

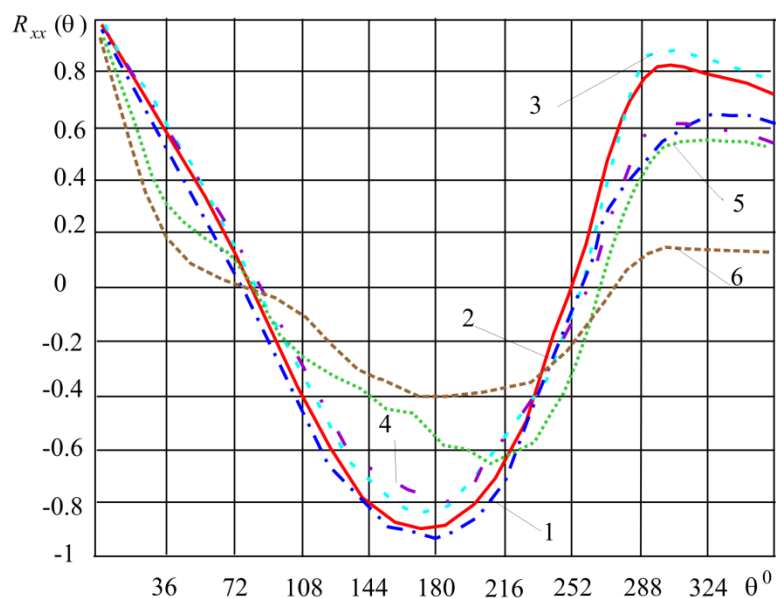


Рис. 4. Корреляционные кривые профиля заготовки $R_{xx}(\theta)$ за период стойкости инструмента: 1 – $\tau = 5$ мин; 2 – $\tau = 10$ мин; 5 – $\tau = 25$ мин; 3 – $\tau = 0$ мин; 4 – $\tau = 15$ мин; 6 – $\tau = 40$ мин

Корреляционная функция отклонения формы заготовки $R_{xx} = R(x)$ должна удовлетворять условиям применимости преобразования Фурье $\int_{-\infty}^{\infty} |R(x)| dx < 0$, где для заготовки, вращающейся со скоростью, $x = v\tau$.

Для заготовок, обрабатываемых на тяжелых станках, она с достаточной степенью точности может аппроксимироваться зависимостью:

$$R_f(v\tau) = D_0 e^{(-\alpha \cdot v|\tau|)} \cos(\beta v\tau), \quad (3)$$

где D_0 – дисперсия высот неровностей рельефа заготовки, v – скорость ее движения, α, β – соответствующие коэффициенты корреляции.

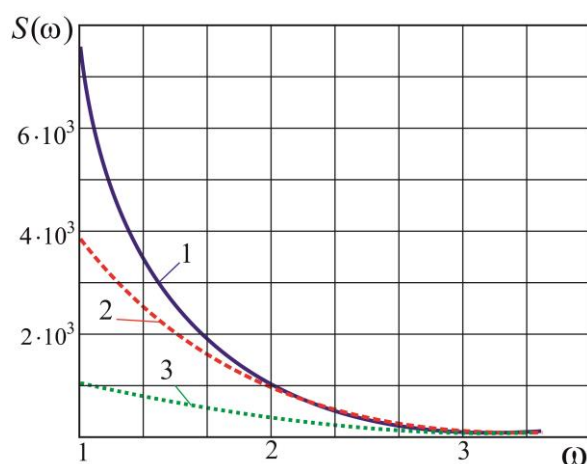


Рис. 5. Спектрограммы профиля заготовки по проходам $S_{xx}(f)$ после ее обработки неизношенным резцом: 1 – после снятия припуска за один проход; 2 – после снятия припуска за два прохода; 3 – после снятия припуска за три прохода.

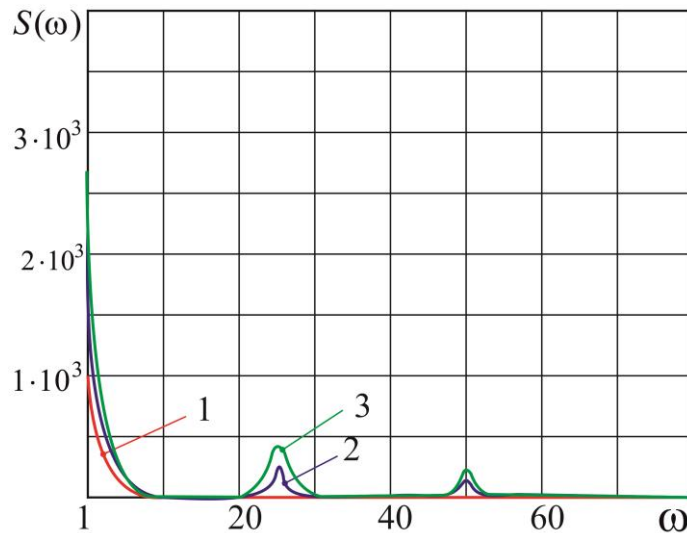


Рис. 6. Спектрограммы профиля заготовки $S_{xx}(f)$ за период стойкости инструмента после совершения трех проходов: 1 – $\tau = 1$ мин; 2 – $\tau = 25$ мин; 3 – $\tau = 40$ мин

Формально операция перехода от корреляционной функции к спектральному представлению может быть осуществлена применением преобразования Лапласа

$$S(p) = \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau)e^{(-p_1 \cdot i \cdot \tau)} d\tau + \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau)e^{(-p_2 \cdot i \cdot \tau)} d\tau, \quad (4)$$

где в рассматриваемом случае $p_1 = i\omega$, $p_2 = -i\omega$.

Подстановка (3) в (4) приводит к результату:

$$S(\omega) = \frac{D(i\omega + \alpha v)}{(i\omega + \alpha v)^2 + \beta^2 v^2} + \frac{D(-i\omega + \alpha v)}{(-i\omega + \alpha v)^2 + \beta^2 v^2}, \quad (5)$$

и после соответствующих упрощений выражение для спектральной плотности (5) приобретает вид:

$$S(y) = D \frac{a + by}{y^2 + cy + d} \quad (6)$$

где $a = 2\alpha^3 v^3 + 2\alpha v^3 \beta^2$; $b = 2\alpha v$; $c = 2\alpha v^2 (\alpha^2 - \beta^2)$; $y = \omega^2$; $d = v^4 (\alpha^2 + \beta^2)$.

Как известно, экстремумам функции $S(\omega)$ соответствуют нули ее производной. После дифференцирования $S(y)$ по y , восстановления $y = \omega^2$ и приведения к общему знаменателю, получим:

$$\dot{S}(\omega) = 2\omega D \left(\frac{b(\omega^4 + c\omega^2 + d) - (a + b\omega^2)(2\omega^2 + c)}{(\omega^4 + c\omega^2 + d)^2} \right) \quad (7)$$

Полюса функции (7) совпадают с нулями ее числителя. Кроме того, должен быть учтен ноль, соответствующий $\omega_{1,2} = \pm\infty$ и $\omega_3 = 0$.

Нулями числителя (7) являются:

$$\omega_{4,5} = \pm v \sqrt{-\alpha^2 - \beta^2 + 2\beta \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}$$

$$\omega_{6,7} = \pm Iv \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + 2\beta \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}$$

Условиям физической реализуемости экстремумов удовлетворяют

корни ω_1, ω_4 и ω_3 – при условии $\beta > \frac{1}{3}\sqrt{3\alpha}$.

Результаты анализа показывают, что максимуму функции (6)

$$S(\omega)_{\max} = \frac{1}{2} D \frac{\alpha \sqrt{\beta^2 + \alpha^2}}{v\beta \left(\beta^2 + \alpha^2 - \beta \sqrt{\beta^2 + \alpha^2} \right)} \quad (8)$$

соответствует частота

$$\omega = v \sqrt{-\alpha^2 - \beta^2 + 2\beta \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}. \quad (9)$$

Структура формирующего фильтра может быть определена методом факторизации дробно-рациональной функции (6) с выделением нулей и полюсов, лежащих в левой полуплоскости [5]. Передаточная функция для соответствующего динамического звена имеет вид:

$$W(p) = \frac{K(T_3 p + 1)}{T_1 p^2 + T_2 p + 1}, \quad (10)$$

в котором необходимо определить параметры K, T_1, T_2, T_3 .

Известно, что спектральная плотность входного и выходного сигналов динамического звена связаны между собой соотношением [5].

$$S_{\text{ВЫХ}}(\omega) = S_{\text{ВХ}}(\omega) |W(j\omega)|^2, \quad (11)$$

где $|W(j\omega)|^2$ – квадрат модуля передаточной функции динамических характеристик технологической системы, $S_{\text{вх}}(\omega)$ – спектральное представление отклонения профиля заготовки, определяемое как преобразование Фурье корреляционных функций.

В соответствии с (6)

$$|W(j\omega)|^2 = \frac{K^2(T_3^2 \omega^2 + 1)}{T_1^2 \omega^4 + (-2T_1 + T_2^2) \omega^2 + 1}. \quad (12)$$

Пример графика модуля частотных характеристик системы и спектральных характеристик случайной составляющей отклонений профиля заготовки приведены на рисунках 7. и 8.

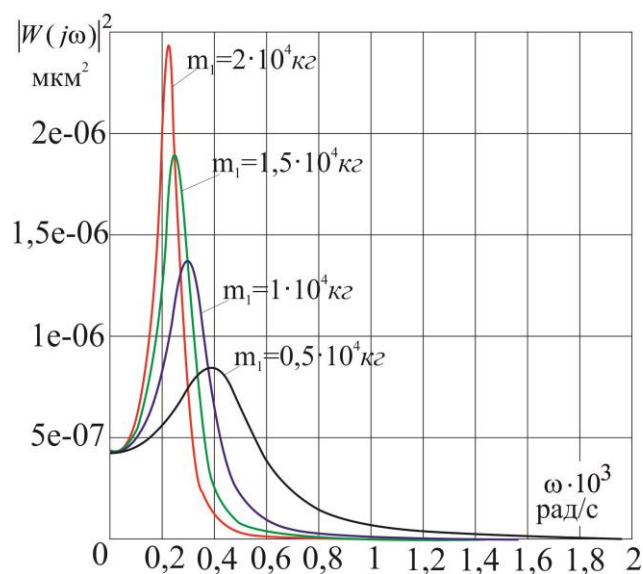


Рис. 7. Зависимости квадратов модулей передаточной функции от частоты для разных значений массы заготовки

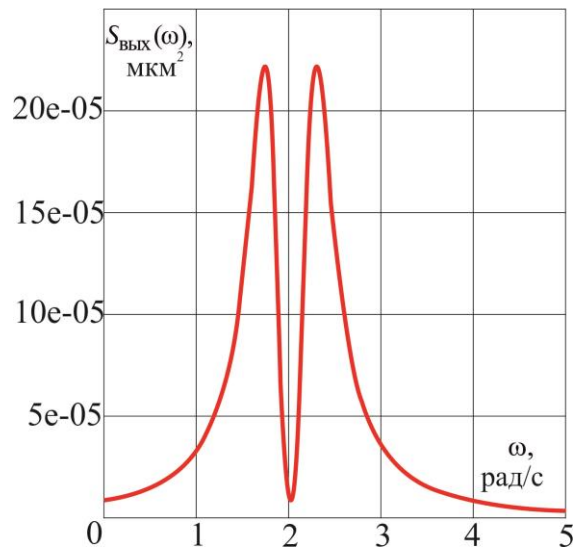


Рис. 8. Спектр на выходе системы

Для белого шума с единичной интенсивностью $S_{\text{вх}}(\omega) \equiv 1$ неизвестные коэффициенты в (10) могут быть определены по параметрам спектральной плотности (6), что позволяет получить соответствующую форму в пространстве состояний в виде уравнений состояния (12) и наблюдения (13)

$$\dot{G}_1 = A_1 G_1 + B_1 w_1, \quad (12)$$

$$y_1 = D_1 G_1 + E_2 v_2, \quad (13)$$

где $G_1 = \begin{bmatrix} \psi_1 \\ \psi_2 \end{bmatrix}$; $A_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{1}{T_1^2} & -\frac{1}{T_1^2} \end{bmatrix}$; $B_1 = \begin{bmatrix} KT_3 \\ -1 - KT_2 T_3 \end{bmatrix}$; $D_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}^T$; $E_2 = \rho$; w_1, v_2 –

некоррелированные единичные порождающие гауссовские белые шумы;

$$T_1 = \frac{1}{v^2(\alpha^2 + \beta^2)}; T_2 = \frac{2\alpha}{v(\alpha^2 + \beta^2)}; T_3 = \frac{1}{v(\alpha^2 + \beta^2)}; K = \sqrt{2} \sqrt{\frac{D\alpha}{v(\alpha^2 + \beta^2)}};$$

D – дисперсия высот неровностей рельефа заготовки, v – скорость ее движения; α, β – соответствующие коэффициенты корреляции.

С учетом $W = y_1$ при введении формирующего фильтра (12), (13) система (1) приобретает вид:

$$\begin{cases} \dot{Y}_0 = A_0 Y_0 + B_0 W + C_0 U \\ \dot{G}_1 = A_1 G_1 + B_1 w_1 \\ y_1 = D_1 G_1 + E_2 v_2 \\ z = D z + E v \end{cases}, \quad (14)$$

откуда непосредственно следует

$$\begin{cases} \dot{Y}_0 = A_0 Y_0 + B_0 D_1 G_1 + B_0 E_2 v_2 + C_0 U \\ \dot{G}_1 = A_1 G_1 + B_1 w_1 \end{cases},$$

что позволяет представить уравнения состояния процесса точения с учетом возмущений, определяемых статистическими характеристиками заготовки как состояния расширенного объекта в виде:

$$\begin{bmatrix} \dot{Y} \\ \dot{G}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_0 & B_0 D_1 \\ 0 & A_1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} Y_0 \\ G_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_0 E_2 & 0 \\ 0 & B_1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} v_2 \\ w_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_0 \\ 0 \end{bmatrix} \times U$$

или

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \\ \dot{y}_4 \\ \dot{\psi}_1 \\ \dot{\psi}_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{c_1+c_3}{m_1} & -\frac{h_1+h_3}{m_1} & \frac{c_3}{m_1} & \frac{h_3}{m_1} & -\frac{c_3}{m_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{c_3}{m_2} & \frac{h_3}{m_2} & -\frac{c_2+c_3}{m_2} & -\frac{h_2+h_3}{m_2} & \frac{c_3}{m_2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{T_1^2} & -\frac{T_2}{T_1^2} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ \psi_1 \\ \psi_2 \end{bmatrix} + \\
 &+ \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -\frac{c_3}{m_1} \rho & -\frac{h_3}{m_1} \rho \\ 0 & 0 \\ \frac{c_3}{m_2} \rho & -\frac{h_3}{m_1} \rho \\ 0 & k_1 T_3 \\ 0 & -1 - k T_2 T_3 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} v_2 \\ w_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{c_1}{m_1} & \frac{h_1}{m_1} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} S \\ \dot{S} \end{bmatrix} \quad (15)
 \end{aligned}$$

Векторно-матричные уравнения (15) представляют стандартную форму описания динамической системы в терминах теории пространства состояний, что позволяет ее использовать для исследования характеристик и поведения процесса, а также для синтеза систем управления этим процессом.

Выводы

1. Разработана математическая модель процесса взаимодействия инструмента и заготовки, учитывающая влияние вариаций формы заготовки и ее спектральный состав, которая позволяет описывать отклонение состояния технологической системы от номинального режима в реальном масштабе времени.

2. Основным источником возмущений в технологической системе являются вариации формы заготовки.

3. Отклонения формы заготовки в статистическом режиме имеют случайный характер и порождают шум возбуждения системы.

4. Вследствие воздействия на технологическую систему возмущающих факторов, фазовые координаты объекта могут быть измерены с существенными случайными ошибками. Для реализации оптимального управления процессом необходимо оценивать его состояние.

Перечень источников литературы: 1. Шевченко А.В. Повышение виброустойчивости токарной обработки на станке с потенциально неустойчивой упругой системой резец-суппорт / А.В. Шевченко // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого: научно-практический журнал. – Гомель, 2009. – Вып. 1. – С.10 – 15. 2. Кудинов В.А. Динамические расчеты станков (основные положения) /В.А. Кудинов// СТИН, 1995. – №8. – С. 3–13. 3. Стреляная Ю.О. Стохастическая диагностика взаимодействия инструмента и заготовки при точении / Ю.О. Стреляная, П.А. Новиков, С.М. Братан // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: зб. наук. праць. – Краматорськ: ДДМА, 2012. – Вип. 30. – С. 41 – 51. 4. Ковалев В.Д. Исследование точности тяжелых станков с гидростатическими направляющими с учетом жесткости несущих систем / В.Д. Ковалев, О.Ф. Бабин, А.И. Донченко, С.А. Кузьменко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк, 2000. – Вып. 12.– С.111–115. 5. Брамлер К., Фильтр Калмана-Бьюси. Детерминированное наблюдение и стохастическая фильтрация / К. Брамлер, Г.Зифлинг. – М.: Мир, 1982. – 200 с.

Рецензент: Клименко Г.П., д.т.н., проф., ДГМА

ПОСТРОЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ЗВЕНА МОДЕЛИРУЮЩЕГО ДИНАМИКУ
ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ ЗАГОТОВКИ ПРИ ЧИСТОВОМ ТОЧЕНИИ НА ТЯЖЕЛЫХ
СТАНКАХ

Стреляная Ю.О., Братан С.М.

Предложена методика построения математической модели процесса взаимодействия инструмента и заготовки, учитывающей влияние вариаций формы заготовки и ее спектральный состав, которая позволяет описывать отклонение состояния технологической системы от номинального режима в реальном масштабе времени. Математическая модель может быть использована для исследования характеристик и поведения процесса, а также для синтеза систем управления этим процессом.

ПОБУДОВА ДИНАМІЧНОЇ ЛАНКИ МОДЕЛЮЮЧОЇ ДИНАМІКУ ВІДХИЛЕНЬ
ФОРМИ ЗАГОТОВКИ ПРИ ЧИСТОВОМУ ТОЧІННІ НА ВАЖКИХ ВЕРСТАТАХ

Стреляна Ю.О., Братан С.М.

Запропоновано методику побудови математичної моделі процесу взаємодії інструменту і заготовки, що враховує вплив варіацій форми заготовки та її спектральний склад, яка дозволяє описувати відхилення стану технологічної системи від номінального режиму в реальному масштабі часу. Математична модель може бути використана для дослідження характеристик і поведінки процесу, а також для синтезу систем управління цим процесом.

CONSTRUCTION OF DYNAMIC MANAGEMENT MODELING THE DYNAMICS OF
THE DEVIATION OF THE WORKPIECE FOR FINISH TURNING ON HEAVY
MACHINE

Strelyanaya Y.O., Bratan S.M.

Proposed the method of construction of a mathematical model of the interaction of the tool and the workpiece, taking into account the effect of variations in workpiece shape and its spectral composition, which allows to describe the deviation of the state of the technological system of the rated speed in real time. The mathematical model can be used to study the characteristics and behavior of the process as well as for the synthesis of the process control system.

Ключевые слова: чистовое точение, заготовка, отклонения формы, белый шум, формирующий фильтр.

Ключові слова: чистове точіння, заготовка, відхилення форми, білий шум, формуючий фільтр.

Keywords: finish turning, blank, form deviations, white noise, shaping filter.

Дата надходження статті: 25 травня 2013 р.

УДК 621.9

Dragana Labović, Slobodan Živković and Dušica Karić
Alfa University, Faculty of Commerce and Banking, Belgrade, Serbia
e-mail: drlabovic@gmail.com

THE ROLE AND IMPORTANCE OF LARGE CORPORATIONS IN THE WORLD ECONOMY

Preface

Global enterprises are those enterprises operating simultaneously in many countries. Globalisation reflects the cheaper costs of transportation, better information technology, and free policy to reduce barriers among the countries, with the aim of achieving the high scale efficiency and specialization. The global companies, in order to achieve the highest possible profit work intensively on creation of the single world market. The world market, in addition to a series of positive, it carries with itself some very significant negative consequences, especially for the underdeveloped countries of the world.

Many of the most important global companies which by turnover volume, the realized profit or market participation belong to the giants of the world economy have a property value or volume of business that exceeds the value of the GDP of many countries.

Corporations are known according to their commitment and the way of planning and implementation of their corporate and marketing strategies in international business as a multinational (MNC) or transnational (TNC) or global companies.

It is estimated that there are about 65.000 TNCs, with about 850.000 foreign affiliations worldwide, with about 55 million employees, with sales volume on the market of 19.000 billion \$, that is double more than the world export (only ten years ago these amounts were equal).

World market is dominated by the 100 largest TNCs, and the first three are non-financial TNCs (Vodafone group with \$ 221 billion of foreign assets and \$ 222 billion of total assets; General Electric with \$159 billion and \$ 437 billion of total assets and Exxon Mobil corporation with \$ 102 billion and \$ 149 billion respectively).

Under the influence of globalization, are created the strategic alliances and coalitions on the basis of which (through synergy) increases the growth of all companies involved in business alliances. Particularly the strategic alliances suppose a very flexible forms of strategy (marketing arrangements, licensing, research and development, procurement, franchising, joint ventures, consortia, etc.

Globalization of world economy

New scientific and technological revolution (information technology) is increasingly developing an international division of labour, linking national economies into a unified whole through the world market. Thus, the movement of money and capital, inputs and outputs, become increasingly important factor of economic development.

Today's world is characterized by the dominance of global companies, strong state presence in the economy and the globalization of world economy. It is considered that the earlier process of integration in the world today is replaced by the globalization of world economy. This process begins by forming of: The North American Union (USA, Canada, Mexico), The European Union (25 countries in Europe); The East Asian Union (Japan and so-called the Small Asian tigers). There is a struggle among them for dominance on the world market in the world economy. This conditions the internalization of production and capital with the aim of making profit interest. This process is intensified after 70th of the 20th century. Thus, the financial capital of the most developed countries in the world manage to connect each point (the national economy, the company) on the globe, in a global village.¹

Today, usually is talked about the world economy, as the economy of global companies, which after 80th of the 20th century, control over 50% of world production, 2/3 of world trade, 3/4 of international technology transfer, with a tendency of further growth.

¹ Aleksić, M., *Međunarodna trgovinska politika*, Beograd, 2008., str. 112.

Globalization has crept into every pore of our lives, that is to say that, in general, of economic nature, and according to the IMF, it indicates a very rapid integration of economies around the globe, particularly through trade, financial flows, exchange of technology, information networks, intercultural and historical heritage.

Globalization is promoted by increasingly better and more efficient transport of communication and information technologies, all of which allows a larger volume of production, the reduction of production costs, speed and distance that transfer goods from one place to another, while reducing the cost of such exchange, on the one hand, and fully meet the tastes and consumption of consumers from the standpoint of wider choice of different types of products and services, on the other hand.

Global companies

Many of the most important global companies which by turnover volume, the realized profit or market participation belong to giants of the world economy have a property value or volume of business that exceeds the value of the GDP of many countries. At the same time, these corporations are known according to their commitment and the way of planning and implementation of its marketing and corporate strategies in international business as multinational (MNC) or transnational (TNC) or global companies. The difference in their name is not of semantic nature, but in terms of conceiving a strategic management approach in conducting international business and other specificities (mission, organization, research, planning, etc).²

In essence, global companies present the highest stage in the development of entrepreneurial companies as a business entity and can be asserted that in narrow sense, they constitute two specific modes of international companies. Theoretically, the development path to international companies could be understood in the context of Vežjak's model according to degrees of affirmation where, after the degree of national and export, company is entering in a phase of international business affirmation leading to the assertion of international company – international or transnational or a global type.

SINGER, as one of the pioneers in 1855 year, ceded a license to a French company for production of new sewing machines (and only then for the first time gave a patent to an independent concern), and in 1867 year established its first plant abroad in Glasgow.

In 1879, the famous WESTINGHOUSE opened a workshop for production of brakera.

WESTERN ELECTRIC and INTERNATIONAL BELL TELEPHONE COMPANY, in 1882 year, founded a joint production unit in Belgium, and in 1895, George Eastman has transformed his firm into a joint stock company in London which produced films for KODAK devices which were imported from the U.S.

These examples are followed by many American companies that had new products (cash registers, tools, elevators, steam pumps, locomotives, locks, pistols) that explored markets to export through the development to a certain level of production abroad. Involvement of large industrial companies at the national level of affirmation that have started to establish plants in many countries in order to produce for markets around the world occur both in Europe and Japan, and later in the newly industrialized countries such as Brasil, Mexico, Korea and so on. In this way is created the basis for a sudden affirmation of MNC. Starting from the beginning of the famous industrial companies, it's considered that the American companies respectively manufacturers have based their international expansion to new products, new production methods and new methods of sale, allowing them a strong competitive advantage in international market so that such a business investment rather can be understood as export or transfer of technology and management than as export of capital. Post-war improvement of communications, transport and trade liberalization has enabled a further affirmation and "boom" of the MNC in the late 50s, in order to significant breakthroughs in terms of other infrastructure, technological development and on that basis increasing interdependence in the world as a consequence had the process of globalization and growing of many MNC in transnational, or global companies.³

The term MNC in the broadest sense, in the beginning included all companies that have had

² Jović, M., *Međunarodni marketing*, Intermanet, Beograd, 2007., str. 52.

³ Jović, M., *Međunarodni marketing*, Intermanet, Beograd, 2007., str. 53

control over (factories, mines, sales branches, etc.) in two or more countries that would later by that term meant companies that own or control production or service capacities outside the country in which they are based, regardless of whether it is public or privately-owned property, cooperatives and entities that are state-owned property. With this same description in parallel are used the terms multinational and transnational companies, and an essence was concerned to a type of companies that own assets in two or more countries. Accordingly, as a special feature of this profile organizations in relation to other forms of enterprises, in these conventional definitions have been emphasized their polucentric organization of economic activity whether it's regarding to production, trade, tourism or any other fields.

Starting from the fact that the global companies are the higher phase than multinational in conceptual, marketing, strategic and operative terms (except for possibly establishing a new business) it is certain that MNC have the possibility and perspective to grow into a global corporation.

Business effects of global companies

Global companies operate simultaneously in many countries. Globalization reflects the cheaper costs of transportation, better information technology, and releasing policy to reduce barriers between the countries, with the aim of achieving efficiency of high scale and specialization.

Global companies operate simultaneously in many countries. They can also, if they want, and to produce in the world where the production is cheapest, and enjoy the benefits of the scope of economy, though it will still sell a small part in many different markets. This has three effects.

First, it reduces incoming barriers in certain countries. Foreign multinational potential seller must not attempt to win a large part of the market, and therefore does not need to reduce the price in order to reach the scope of economics, which stems from the success of global trade. Second, small local companies, formerly protected by incoming barriers, are now facing with increased international competition, and might not survive. Third, greater competition, of the producers with low production costs, leads to lower profits limit and lower prices.⁴

Global companies fit their interest in the national interest as much as possible, though there's present some conflict of interest. In addition, the global companies want to maintain their maximum autonomy in order to achieve profit interest, which is possible, that in some countries, the global companies represent the "engines of development" to those that lead to grave consequences of their business.

Global companies and countries in transition are interconnected, especially that through transition revives the market and private ownership as a precondition for democratization of society. Therefore, the governments deliberately change the policy of reduction and elimination of barriers in order that the movement of goods, capital and services take place unimpededly, especially when the government through its own action find out how much such barriers cost. On the other hand, powerful companies change their business strategy and put the emphasis on the profit growth through cost reduction, and not through price increases of goods and services.

Global companies in order to achieve the highest possible profit work intensively on creating a unified world market. Each market besides a series of positive carries with itself some very significant negative consequences, especially for the undeveloped countries of the world. Thus, for example, most of the trade takes within the three integration units - regions (the North American Union, the European Union, the Asian Union) and not among the countries belonging to different integration units. Researches show that OECD member states will rather purchase goods from their own states for two and half times more than the goods from other countries. This means that most of the trade takes place within the three regions, which refers to the conclusion that still exist significant differences in the prices of identical products in different countries.

The global companies, on the other hand, create new order.

In the most developed countries of the world economic rate of growth is associated with the growth of transnational corporations (TNCs). It is estimated that there are about 65.000 TNCs, with about 850.000 foreign affiliations worldwide, with about 55 million employees, with sales volume on the market of 19.000 billion \$, that is double more than the world export (only ten years

⁴ Zečević, M., *Internacionalni menadžment*, FIM Beograd, 2005., str. 196

ago these amounts were equal).

World market is dominated by the 100 largest TNCs, and among the first three belong non-financial TNCs (Vodafone group with \$221 billion of foreign assets and \$222 billion of total assets; General Electric with \$159 billion and \$437 billion of total assets and Exxon Mobil corporation with \$102 billion and \$149 billion respectively – cover more than half of total sales and employment. In the illustration of data it is sufficient to say that the world's GDP is \$31.900 billion.

This constellation of international economic relations has deepened the economic interdependence of countries, companies and economies in transition. This implies that any significant movement of supply and demand in the internal and external markets derives from changes in the global market controlled by TNCs.



Graph. 1.

Source. www.politika.rs, Google, the greatest brand in the world, taken on 29.11.2010.

Business alliances – form of global company

In organization of economy, as well as in race to gain competitive advantages, the world trade affirms the growth of quality but not quantity. Strategic alliances are very attractive and necessary form of contemporary economic activity. In general, they involve a very complex process of research and management but not only changes.

Strategic alliances are formed in order to expand markets and to stabilize the economic undertakings. By means of these alliances are realized synergies based on the combination of asymmetric competence, thus, pacify competition (with the cross-ownership network and elimination of particularism).⁵

The globalization of markets causes business internalization of enterprises. Development behaviour of companies is subject to the state of the market, product of capital, development of innovation and organizational forms. Generally, in modern conditions (mainly as a race for achieving competitive advantages) the quality is proving increasingly, but not quantity growth of companies.

The rapid development of technology, on the one hand, and the liberalization of legislation, on the other hand, promote linking of companies in continuous strive to adapt to business environment, and in that direction by linking (by strengthening the mutual dependence) the companies increase competitive position in the market.

Therefore, under the influence of globalization, are created strategic alliances and coalitions on the basis of which (through synergy) increase the growth of all companies involved in the business.

⁵ Filipović, S., *Globalizacija poslovanja i strategije menadžmenta transnacionalnih kompanija*, Novac i razvoj, br. 30, 2006, str. 3

Just strategic alliances assume a very flexible forms of strategy (marketing arrangements, licensing, research and development, procurement, franchising, joint ventures, consortia and so on) in terms of:⁶

- increase of sales volume (expanding the boundaries of the market),
- access to modern technologies,
- synergistic effects (combination of asymmetric advantages and irmi).
- access to scarce resource.
- relativizim (relief) of entering conditions into new markets.
- Intensification of international business (capital and knowledge).

Thus, strategic alliances are very flexible and attractive form for realization of the development behaviour of enterprises. By combining the scale and the width of economies increasingly require different business and organizational arrangements where independence and self-sufficiency of companies consciously subordinate to propulsive economy.

So instead of competing collision based on soloing the ways are sought that will lead to pacification of competition or helping to remove barriers. Included companies have the possibilities of combining asymmetric advantages and thus provide mutual benefits in performance to new markets, on the one hand, and technological areas, on the other hand. Thus is increasingly promoted the modalities of combined growth, instead of pure internal or external growth.

Development behaviour of companies increasingly rely on a number of partners and special forms of cooperation, in order to maintain its vitality, or to increase resistance to schocks from the market. In this sense, development behaviour of companies and internal configuration are correlated with the relativized independence, self-sufficiency and within the limits of external growth.

Thus, strategic alliances are increasingly emerging as a rational form of development behaviour of modern companies in their efforts to adapt to the changed market, technological and social trends. The process of proliferation and unbinding of business eneterprises lead to the establishment of various forms of cooperation in the implementation of certain enterprises. Number of forms and potential partners enable that through the alliance provide a wide scale use for the involved partners.

Serbian companies on global market

According to the fact that Serbia in economical sense is a small country, the only way that it achieves economical growth is that its companies internationalize their business activities and to a greater extent start to do business in foreign markets. So far, the results that have been achieved by the business entities of Serbia with export activity in recent years, can not be considered satisfactory. The reached value of goods of export makes 15,9% of GDP (gross domestic product and structure of export is unfavourable).

There ia a reliance on mass production and absurdity in export, which in no way can be the long-term strategy for entering the foreign markets.

As an explanation of weak foreign trade results of the Republic of Serbia, especially exports, is cited insufficient competitiveness of domestic producers on foreign markets. This actually means that domestic companies are not capable on the foreign market to be more successful than other companies in the same field of business.⁷

Bearing in mind the long-term isolation from the world trade, and than the fact that with the arrival of the new economic power to create an adequate environment for the growth and development of domestic companies was rather slow (and not yet completed), and that's why the export results are not suprising Serbia.

Only one look at the export structure of Serbia is sufficient to conclude that in general the export competitiveness of the domestic economy is waek.

Increase in investments, support on the economy, especially the part that produces for export, as well as investments in infrastructure – are the three pillars of the new model of economic growth in next decade.

⁶ Petrović, P., *Marketing strategija i međunarodno poslovanje preduzeća*, Institut za spoljnu trgovinu, Beograd, 2007., str. 126.

⁷ Rakita, B., *Međunarodne marketing strategije*, Naučna knjiga, Beograd, 2008., str. 117

Most of the export is oriented to the industrial countries. In the last year that difference in the participation of a group of countries by their level of development in the total export of Serbia was insignificant, but already in 2011 year was observed greater orientation in export in the markets of the industrialized countries, and this tendency is being continued in the current year.

The structure of export in industrial countries, however, differ slightly in terms of the greater representation of means for work in export to countries in transition than in export to developed countries.

It can be concluded that the export potential of our economy is characterized by low competitiveness with a high degree of diversification and the small effect scale of economies.

Based on the displayed results of export, it is clear that the readaptation of export structure is indispensable and that it should move toward more intensive growth of the participation of industrial products with higher processing levels.

In this context, priority is given to export-oriented profitable programmes in the metal and chemical complex, engineering and manufacture of telecommunications equipment, as well as in traditional export sectors such as wood, textiles and leather and footwear industry, ferrous metal production and processing of metals.

However, in Serbia there are successful exporters despite the unfavourable overall export performances. According to research by the Republic Development Bureau, based on the individual company's data on income from export in 2010 year, the 15 largest exporters among the 100 most successful, 5 companies achieve far more than 50% of total revenue with export of goods and services: Tarkett DOO Bačka Palanka (91,2%); Impol Seval AD – Sevojno (72,8%); Tigar AD – Pirot (63,6%); Hemofarm AD – Vršac (51,1%) and Radiator AD – Zrenjanin (51,0%). Key markets for some of these companies are: - EU (Sugar plant Crvenka – 99,8%, Impol Seval AD – 95,0%, Tiger AD – 90,2%, Trayal corporation – 72,2%, Radiator AD – 70,4%, Foundry Kikinda AD – 67,4%); - Russia (Spectrum DOO – 42,8%, Metalac AD -25,5%); - Former Republic of SFRJ (Jaffa AD –100,0%, Potisje AD – 85,1%, Polimark DOO – 70,2%, Bambi AD – 62,7%).

The Serbian economy is still dominated by the traditional foreign trade approach of international activities of companies, which at a great extent effectively burden inclusion of our economy into modern international economic flows. The way of realizing international activities of our companies represent recurrence of the past.

During this period, the foreign trade approach experienced a full recognition, because an aid and the role of government in carrying out the international activities of companies represent an unavoidable pillar of business. The result of this approach to international business was to strengthen the role and importance of the so-called national companies, that were holders of involvement of Yugoslavian companies in the flows of the international exchange, which again resulted to more than limited possibilities for comprehensive development of the international orientation of domestic companies.

The Serbian economy participates in international exchange with a very wide assortment of products, resulting in a relative lack of specialization in exports. This situation favours a delay in the active policy approach to direct international exchange. In addition, in the export structure of our companies almost is no significant leading products, which would represent leaders in international offer. Comparative observation of international exchange in individual products show that the structure of the world trade and Serbian exports are more and more different, especially toward the factors of technological intensity, elements of marketing (branding), respectively toward investment approach of international business. The Republic of Serbia, as a relatively small country, can achieve economic stability with the participation of exports in GDP of at least 45 - 55%, which so far has never been achieved.⁸

The position of our companies in the modern international market, thus, the definition and the general circumstances prevailing in national economy, which is to say that, at this moment, in international economic flows are without significant ponder. From the macroeconomic point of

⁸ Petrović, P., *Marketing strategija i međunarodno poslovanje preduzeća*, Institut za spoljnu trgovinu, Beograd, 2007., str. 219

view, a way out of this situation should be sought in the opening of the Serbian economy, but in encouraging the companies to take on actively the holder's role of international business activities.

In the list of 100 largest companies in the Adria region (Serbia, Croatia, Slovenia, Macedonia, Monte Negro and Bosnia and Hezegovina), prepared by the auditor-consulting firm of Deloitte, 23 Serbian companies have been qualified

Delta group, the largest Serbian company by revenues, is the fifth in the list, with € 1.676 million in net profit. The Telecommunications of Serbia, the most profitable Serbian company, is also the second most profitable company in the region, with € 211,1 million in net profit.

The dominance of companies from the sector of goods of wide range consumption and energy was recorded both at the regional level and among Serbian companies on the list.

There are eight Serbian companies from the sector of goods of wide range consumption. Beside Delta group, on the list are Victoria Group (39th place), concern of Swisslion-Takovo (66th place), Sintelon holding (74th place), Metro Cash & Carry Srbija (94th place), Nelt (97th place), Invej group (98th place) and DIN Tobacco Factory Niš (100th place).

Table 1. The ten largest companies in the Adria region.

Adria Top 10 prema neto profitu			Svi iznosi izraženi su u milionima evra			
Rang	Ime kompanije	Država	Neto profit		Prihodi od prodaje	
			2008	2009	2008	2009
1	HT GRUPA	Hrvatska	319,8	275,8	1.217,1	1.160,4
2	TELEKOM SRBIJA	Srbija	212,7	211,1	1.264,8	1.175,5
3	KRKA GRUPA	Slovenija	155,9	173,7	949,9	953,0
4	HSE GRUPA	Slovenija	74,5	113,8	872,8	804,3
5	MAKEDONSKI TELEKOM	Republika Makedonija	101,7	111,4	302,4	290,4
6	VIPNET HRVATSKA	Hrvatska	n/d	83,4	n/d	492,1
7	ENI CROATIA	Hrvatska	123,7	80,0	324,6	236,9
8	BH TELECOM	Bosna i Hercegovina	73,2	73,8	298,3	292,7
9	EFT HOLDINGS	Srbija	22,4	73,2	974,4	990,4
10	ADRIAS GRUPA	Hrvatska	69,7	68,4	412,3	385,5

Source: www.emportal.rs, Among the giants of 23 Serbian companies, taken on 28.11.2010.

Among the 10 most profitable and most successful companies in the region is dominated by five companies in the telecommunications sector.

From the seven Serbian companies in the energy sector the best qualified, in sixth place, is Power Industry of Serbia, followed by Serbian Oil Industry (9th place), EFT holdings (13th place), Serbiagas (22th place), Yugorosgas (37th place), Lukoil Beopetrol (40th place) and OMV Srbija (60th place).

Two companies in the Serbian pharmaceutical sector, Velefarm (89th place) and Hemo-farm (91th place), have made enough income to be found among the 100 largest companies in the Adria region. Two Serbian telecom operators are well positioned in the list. Telecom of Serbia is at a high 11th place, and Telenor atna 43th place. On the list were able to enter even one Serbian company in the industrial, construction and technology sector. US Steel was ranked on the 23th place, Energoproject holding on the 90th place, while Comtrade ranks the 99th place.

Conclusion

Involvement in international economic trends and international division of labour is an essential part of a strategy of economic development of Serbia, where neighbouring countries have a special significance. The countries of Southeast Europe, among them and Serbia, are in the phase of radical social and economic reforms, and to the extent of implementation of these reforms also these goals will be realized, primarily through the Stability Pact for South Eastern Europe, to full membership in the EU.

It can be concluded that the export potential of our economy is characterized by low competitiveness with the high level of diversification and low scale of economy effect.

Based on the presented results of exports, it is clear that the readaptation structure of exports is indispensable and it must move toward more intensive growth in the participation of industrial

products of higher level processing.

In this context, priority is given to export-oriented profitable programmes in the metal and chemical complex, engineering and manufacture of telecommunications equipment, as well as in traditional export sectors such as wood, textiles and leather and footwear industries, ferrous metal production and processing of metals.

The Serbian economy is still dominated by traditional foreign trade approach of international activities of enterprises, which at a great extent burden efficient involvement of our economy in modern international economic trends. This way of realizing international operations of our company is a recurrence of past.

In the list of 100 largest companies in the Adria region (Serbia, Croatia, Slovenia, Macedonia, Monte Negro and Bosnia and Herzegovina), prepared by the auditor-consulting firm of Deloitte, 23 Serbian companies have been qualified

There are eight Serbian companies from the sector of goods of wide range consumption. Beside Delta group, on the list are Victoria Group (39th place), concern of Swissslion-Takovo (66th place), Sintelon holding (74th place), Metro Cash & Carry Srbija (94th place), Nelt (97th place), Invej group (98th place) and DIN Tobacco Factory Niš (100th place).

List of literature sources: 1. Aleksić, M., *Međunarodna trgovinska politika*, Beograd, 2008. 2. Filipović, S., *Globalizacija poslovanja i strategije menadžmenta transnacionalnih kompanija*, *Novac i razvoj*, br. 30, 2006. 3. Jović, M., *Međunarodni marketing*, Intermanet, Beograd, 2007. 4. Obradović, S., *Uvod u analizu spoljne trgovine*, 2002. 5. Petrović, P., *Marketing strategija i međunarodno poslovanje preduzeća*, Institut za spoljnu trgovinu, Beograd, 2007. 6. Rakita, B., *Međunarodne marketing strategije*, Naučna knjiga, Beograd, 2008. 7. Zečević, M., *Internacionalni menadžment*, FIM, Beograd, 2005. **Websites:** 1. www.emportal.rs, *Među gigantima 23 srpske firme*, Preuzeto 28.11.2010. 2. www.politika.rs, *Gugl najveći brend na svetu*, Preuzeto 29.11.2010.

Рецензент: Ковалев В.Д., д.т.н., проф., ДГМА

THE ROLE AND IMPORTANCE OF LARGE CORPORATIONS IN THE WORLD ECONOMY

Dragana Labović, Slobodan Živković and Dušica Karić

Global companies represent the highest stage in the development of the entrepreneurial companies as a business entity and can be affirmed that in narrow sense they constitute two specific modes of international enterprises. Theoretically, the development path to international enterprises according to degrees of affirmation could be moved from the level of national and export affirmation of companies till the entrance in the stage of international business affirmation leading to international companies – multinational or transnational respectively to a global type.

The global companies, in order to achieve the highest possible profit work intensively on creation of the single world market.

Serbia is economically a small country, the only way that it achieves its economic growth is that its companies to internationalize their business activities and to a greater extent start to do business in foreign markets.

РОЛЬ И ЗНАЧЕНИЕ КРУПНЫХ КОРПОРАЦИЙ В МИРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ

Драгана Лабович, Слободан Живкович и Душица Карич

Глобальные компании представляют собой высшую ступень в развитии предпринимательских компаний как субъекта предпринимательской деятельности и можно утверждать, что в узком смысле они составляют два конкретных вида международных предприятий. Теоретически, путь к развитию международных предприятий по степени утверждения можно было бы перенести с уровня национального и экспортного утверждений компаний до входа в стадии утверждения международного бизнеса, ведущих к международным компаниям - многонациональные или транснациональные соответственно глобальному типу.

Глобальные компании, для того, чтобы достичь максимально возможной прибыли ведут интенсивные работы по созданию единого мирового рынка.

Сербия экономически маленькая страна, единственный способ, которым она достигает своего экономического роста, является то, что ее компании интернационализируют предпринимательскую деятельность и в большей степени начинают делать бизнес на зарубежных рынках.

РОЛЬ І ЗНАЧЕННЯ ВЕЛИКИХ КОРПОРАЦІЙ У СВІТОВІЙ ЕКОНОМІЦІ

Драгана Лабович, Слободан Живкович і Материнка Карич

Глобальні компанії представляють собою вищий щабель у розвитку підприємницьких компаній як суб'єкта підприємницької діяльності і можна стверджувати, що у вузькому сенсі вони складають два конкретних видах міжнародних підприємств. Теоретично, шлях до розвитку міжнародних підприємств за ступенем твердження можна було б перенести з рівня національного та экспортного тверджень компаній до входу в стадії затвердження міжнародного бізнесу, що ведуть до міжнародним компаніям - багатонаціональні або транснаціональні відповідно глобального типу.

Глобальні компанії, для того, щоб досягти максимально можливого прибутку ведуть інтенсивні роботи зі створення єдиного світового ринку.

Сербія економічно маленька країна, єдиний спосіб, яким вона досягає свого економічного зростання, є те, що її компанії інтернаціоналізується підприємницьку діяльності і більшою мірою починають робити бізнес на зарубіжних ринках.

Keywords: global companies, multinational companies, transnational companies, alliances, coalitions, Serbian companies.

Ключові слова: міжнародні компанії, мультинаціональні компанії, транснаціональні компанії, союз, коаліція, сербські компанії.

Ключевые слова: международные компании, мультинациональные компании, транснациональные компании, союз, коалиция, сербские компании.

Дата надходження статті: 14 травня 2013 р.

УДК 621.9

Milutin M. Milosavljević^{1*}, Smiljka Milisavljević¹, Desimir Petković¹¹University of Pristina, Faculty of Technical Sciences, 38220 Kosovska Mitrovica, Serbiavidahem@yahoo.com**DETERMINATION OF THIONOCARBAMATES AND DIXANTHOGENATES RESIDUES IN WASTE WATER FROM CHEMICAL INDUSTRIAL*****Introduction***

Production of the thionocarbamates, widely used as flotation collectors, have been developed and produced in large quantities in the past and presently at the production plant of chemical industry. Production of either new or known collectors by new methods from the different starting materials was and remain the development strategy of the company. In the past, large quantities of waste material from the xanthate production plant have been collected. It mainly consists from the dixanthogenate, an oxidized xanthate by-product. New technologies for chemical transformation of those waste materials to commercial product have been developed and protected according to intellectual property right [1]. Optimal synthetic method have been developed at laboratory and pilot-plant scale and applied at industrial production level. This new environmentally friendly technologies based on the waste material represent significant contribution to protection of the human environment. Unavoidable waste water was obtained from the processes of raw material and product purification. Possible water contaminants are dixanthogenate, thioncarbamate product and oxidizer. Their concentration in the waste water should be under maximum contaminant concentrations, otherwise a necessary water purification process should be applied. Highly sensitive and reproductive analytical methods for their determination are used for running control tests of the water contaminants.

By this way enormous economic and environment protection benefit of the innovative process could be achieved through the determination of residual material concentration in waste water from the production plant.

It is known from literature that nowadays many software tools have been developed for life cycle engineering (LCE) [2,3,4] and software systems for environmental decision support systems (EDSS) [5,6], which were found to be useful during the running of production processes.

Theoretical part

Thionocarbamates are derivatives of thiocarbamic acid (1):



and they represent the *O*-esters of thiocarbamic acid and dialkyl thionocarbamates represent *O*-alkyl esters of *N*-alkyl thiocarbamic acid (2)



These are applied in flotation of copper and zinc ores as selective collectors [7]. They are also applied as fungicides [8], bactericides [9], herbicides [10], pesticides [11,12,13] and as pharmaceutically active compounds [14]. Besides other procedures known in literature

First analytical method is based on determination of carbon-disulfide released from the sample containing residual dixanthogenate in waste water and its absorption at Wiles' reagent. The concentration of the residual dixanthogenate is determined by colorimetric method using UV spectrophotometer.

Second analytical method is based on extraction of residual dixanthogenates and thion carbamates in waste water using GC method for their quantification.

Preparation of the standard curve

To the reaction flask (500 cm^3) connected with apparatus for absorption of released carbon-disulfide, presented at figure 1.

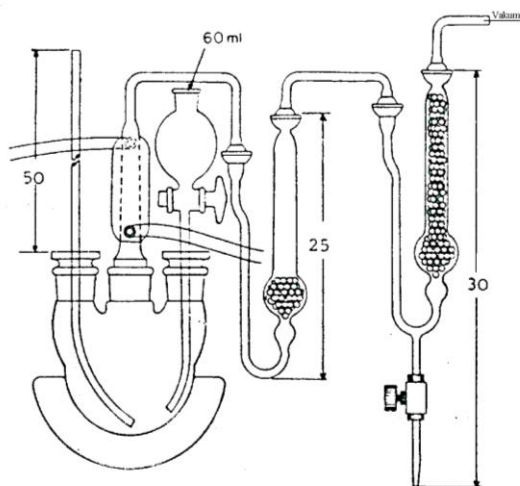


Fig.1. Apparatus for decomposition and absorption

1, 2, 3, 5 and 8 cm^3 of standard solutions of isopropyl dixanthogenates are successively transferred. The standard solutions were prepared in the following manner: $0,04\text{ g}$ of the substance was dissolved in 100 cm^3 of chloroform and diluted with 5 cm^3 of the obtained solution to 100 cm^3 using chloroform. Then 200 cm^3 of distilled water is added in the first adsorption column and 10 cm^3 of solution of lead-acetate, while in the second column $12,5\text{ cm}^3$ of Wiles' reagents is added ($0,05\text{ g}$ copper-acetate dissolved in 25 cm^3 distilled water, 975 cm^3 of ethanol, 1 cm^3 of diethylamine and 20 cm^3 of triethanolamine). The apparatus is assembled and the reaction bottle is slowly heated at atmospheric pressure. When temperature reach 90°C vacuum is carefully turned on and from the dropping funnel 40 cm^3 of sulphuric acid was added (5 mol/dm^3). The reaction mixture was left for 30-45 minutes to complete reaction, the apparatus is disassembled and Wile's reagents is drained into a common container of 25 cm^3 . The column is washed three times, each time with $3-4\text{ cm}^3$ of ethanol (95%), the volume of ethanol is adjusted till the mark and agitated. The absorption of the solution is measured at 380 nm in spectrophotometer cell of 1 cm . The reference solution is prepared by diluting with $12,5\text{ cm}^3$ of Wile's reagents with ethanol till 25 cm^2 . The standard curve is obtained by ratio of absorption values for the given concentrations of isobutyl dixanthogenates.

UV-analyses are performed at UV/VIS spectrophotometer *Perkin-Elmer Lambda 15*.

Determination of isobutyl dixanthogenates in waste water by the UV method

A sample of waste water after synthesis should contain from 20 to $160\text{ }\mu\text{g/dm}^3$ of the residual isobutyl dixanthogenate. The water sample was introduced into a reaction flask (500 cm^3) of the above described apparatus (figure 2). An excess of 200 cm^3 of distilled water is added and the procedure for determination was followed according to procedure described in point 2.2.1. After colorimetric determination, concentration of all residual isobutyl dixanthogenates is calculated using standard curve given at Figure 2.

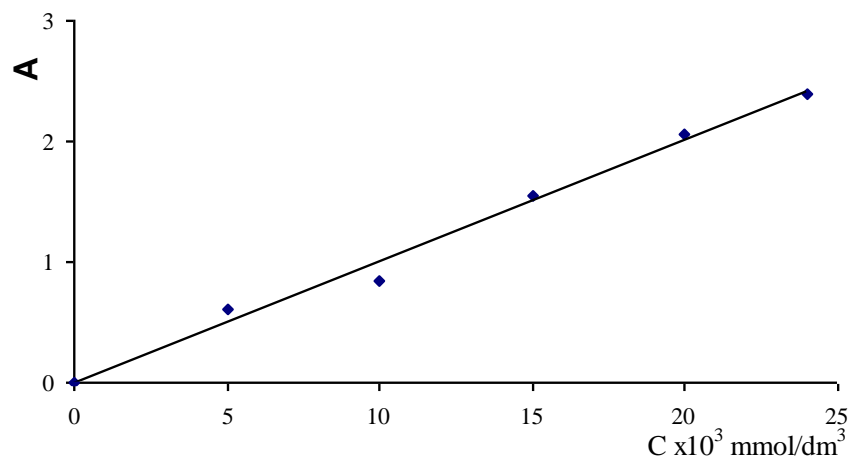


Fig.2. Standard curve of absorption of different standard solution of isobutyl dixanthogenates

Gas chromatographic (GC) method for determination of residual *N*-alkyl-*O*-isobutylthionocarbamates

A sample of waste water (500 cm³) after synthesis was transferred into separation funnel, and extracted with 300 cm³ of isobutyl-alcohol. After the phase separation and preparation, the organic part have been analyzed by injection of 0,1 μl of sample into GC chromatograph. GC analysis was performed at Perkin-Elmer gas chromatograph series 8700, equipped with flame ionization detector and columns filled with: 10 % of SP-2410 at Supelcort (100/120) and 5% of OV-210 at Chromosorb WH/P (80/100). An internal standard method was used for quantification of residual *N*-alkyl-*O*-isobutylthionocarbamates in waste water.

Chromatographic conditions:

- injector temperature 250°C
- detector temperature 270°C
- column temperature-program mode: first column 50 °C→5 °C/min→150 °C; second column 50 °C→5 °C/min→130 °C
- carrier gas: nitrogen (99,99 %)
- nitrogen flow: 25 cm³/min.
- air flow: 250 cm³/ min (99,99 %)
- hydrogen flow: 25 cm³/ min (99,99 %)
- column: inner diameter 2 mm, length 30 m

Results and discussion

Synthesis of *N*-alkyl-*O*-isobutylthionocarbamates starting from isopropyl dixanthogenate and alkylamines, have been performed according to the above described experimental procedure, and experimental parameters for synthesis are given in table.1.

Table 1

Compound	Reaction time (h)	Temperature (°C)	Yield		GC (%)
			g	%	
iButOC(S)NHEt	2,1	30- 36	24,50	94,6	97,1
iButOC(S)NHPr	2,6	30- 39	28,40	93,8	96,4
iButOC(S)NHiPr	3,2	30- 45	26,40	84,2	94,6
iButOC(S)NHBu	3,1	30- 48	28,36	95,1	97,3

Based on the results given in table 1, it could be observed that high yields and satisfactory purity of synthesized *N*-alkyl-*O*-isobutylthioncarbamates have been achieved. The structure of synthesized thioncarbamates is confirmed by IR, NMR and MS spectrometric data.

Analysis of the waste water after production of a *N*-alkyl-*O*-isobutylthioncarbamates, according to the described procedure for determination of residual isobutyl dixanthogenate and using obtained calibration curve, gave their residual concentrations in waste water presented in table 2.

Table 2

Compound	Absorption	Sample quantity (cm ³)	concentration of isopropyl dixanthogenate	
			Cx10 ³ mmol/dm ³	Cx10 ² mg/dm ³
iButOC(S)NHEt	2,14	70,0	21,51	58,01
iButOC(S)NHn-Pr	2,01	85,0	20,03	54,08
iButOC(S)NHi-Pr	2,02	85,0	20,16	54,19
iButOC(S)NHn-Bu	1,89	80,0	18,52	50,32

Based on the results shown in table 2, the minimum concentration of residual isobutyl dixanthogenate is detected in waste water from synthesis of *N*-butyl-*O*-isobutyl thioncarbamate and maximum concentration from synthesis of *N*-ethyl-*O*-isobutyl thioncarbamate. Both concentrations are below of allowed limit of their concentrations in waste water.

Analysis of the waste water using GC method showed that there was no *N*-alkyl-*O*-isobutylthioncarbamates in waste water. At figure 3, an example of GC chromatogram of treated sample of waste water from synthesis of *N*-ethyl-*O*-isobutyl thioncarbamate is presented. Only the presence of the extraction medium (isobutyl-alcohol) was recorded, while thioncarbamate is not detected. Also, GC chromatogram of synthesized *N*-ethyl-*O*-isobutyl thioncarbamate is presented on figure 4.

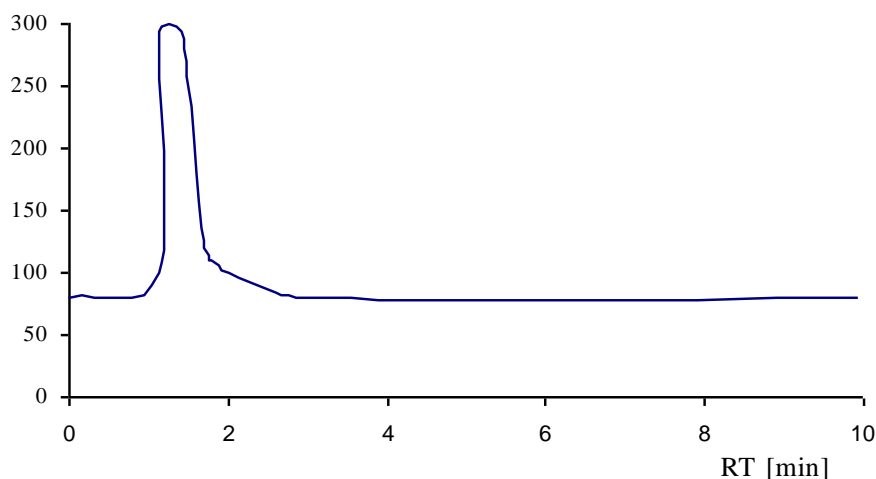


Fig.2. GC chromatogram of the alcohol extract from production of N-ethyl-O-isobutyl thioncarbamate

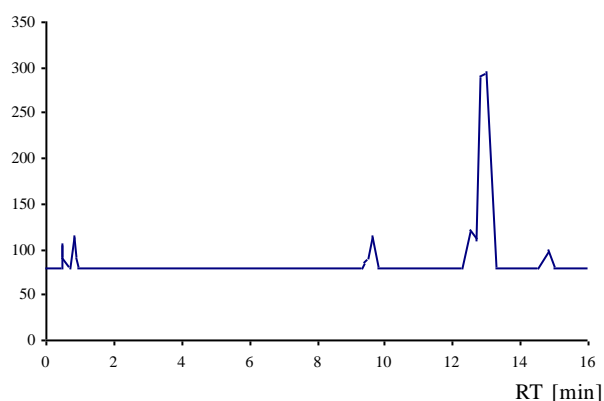


Fig.3. GC chromatogram of synthesized N-ethyl-O-isobutyl thioncarbamate

Conclusion

Based on the results shown in this work, it can be concluded that a high level of conversion of raw material into the product is achieved following previously developed synthesis [1], from 84,0% to 95,0%. Analytical method applied for analysis of waste water and obtained results show that traces of dixanthogenates can successfully be determined. Isobutyl dixanthogenates were present in waste water in quantities around $18,52 \times 10^{-3}$ mmol/dm³, while *N*-alkyl-*O*-isobutylthioncarbamates were not detected.

Acknowledgement

This paper is a part of the research project: The study of climate change and its impact on the environment. Overestimating the impact on the environment. Monitoring the impact, adaptation and mitigation, number 43007, financed by the Ministry of Education and Science and Technological Development of the Republic of Serbia.

List of literature sources: **1.** Milica Ž. Sovrlić, Milutin M. Milosavljević, Aleksandar D. Marinković, Jasmina S. Đukanović, Danijela V. Brković, Sandra S. Konstantinović, Upporedna analiza oksidativnih postupaka sinteze *N*-alkil, *N,N*-dialkil i *N*-cikloalkil-*O*-izobutil tionkarbamata, Hem. Ind. 65 (5) (2011) 541-550 doi: 10.2298/HEMIND110504038S **2.** Dašić, P., Nedeff, V. and Petropoulos, G.: Internet resources and software tools for life cycle assessment. Plenary and Invitation paper. In: Proceedings on CD-ROM of 6th International Conference "Research and Development in Mechanical Industry - RaDMI 2006", Budva, Montenegro, 13-17. September 2006. p. 68-87. **3.** Frühbrodt E.: LCA software review

– An up-to-date overview of the European market. Workshop on life cycle data for assessment of environmental performance of EEE and EU funded RTD activities on EEE ecodesign. Brussels, 9 October 2002. **4.** Ciroth A., International JOURNAL Life Cycle Ass, 12, Issue 4, 2007, p. 209. **5.** Gibert, K. Sanchez-Marre M. & Rodriguez-Roda I., Environmental Modelling Software, 21, no. 1, 2006, p. 115. **6.** Dašić, P.; Nedeff, V. & Petropoulos, G.: Software systems and management technology in environment. Plenarno predavanje i rad po pozivu. U: *zborniku radova 1. naučne konferencije Ekološka bezbjednost u postmodernom ambijentu, Knjiga 1: Rapovi po pozivu i plenarna predavanja*, Banja Luka (Republika Srpska), 26-27. jun 2009. Banja Luka (Republika Srpska): Panevropski APEIRON univerzitet, 2009, str. 53-66. ISBN 978-99955-49-06-0. **7.** David R., US patent, 5240914, 1993. **8.** Grahv J. & Michael R., US patent, 498036, 1990. **9.** Chisdm M. & Extine M.W., Journal HM. Chem. Soc., 99, 1977, p. 782. **10.** Barahman Movassagh, Mohammad Soleiman-Beigi, Triethylamine-catalyzed one-pot synthesis of trithiocarbonates from carbon disulfide, thiols, and alkyl halides in water, *Monatsh Chem* 139, 927–930 (2008) **11.** Barahman Movassagh, Mohammad Soleiman-Beigi, Synthesis of Thiocarbamates from Thiols and Isocyanates Under Catalyst- and Solvent-Free Conditions, *Monatshefte fur Chemie* 139, 137–140 (2008) **12.** Joseph D., Grande K.G., Karthikeyan, Miller P.S. & Mark J., *Journal of Environmental Quality*, 34, 2005, p. 1337. **13.** Wan M.T., Kuo J. & Pasternak J., *Journal of Environmental Quality*, 34, 2005, p. 1186. **14.** Милосавлевич, М.М., Маринкович, А.Д. & Джорджевич, С., Синтез N– и N,N-диалкил-S-алкилтиолкарбамата перестанавливанием N– и N,N- диалкил-O-алкилтионкарбамата, *Химическая промышленность*, 60, no. 1, 2006, с. 27. **15.** Friedrich K., US patent, 4060629, 1977. **16.** Anderson B.F. & David C.R., US 3907854, 1975.

Рецензент: Ковалев В.Д., д.т.н., проф., ДГМА

DETERMINATION OF THIONOCARBAMATES AND DIXANTHOGENATES
RESIDUES IN WASTE WATER FROM CHEMICAL INDUSTRIAL

Milutinm Milosavljević, Smiljka Milisavljević, Desimir Petković

Synthesis of N-alkyl-O- isobutylthionocarbamates from isobutyl dixanthogenates and monoalkylamines have been performed in this work. Structure determination of the synthesized compounds and also of corresponding intermediates have been performed by IR, ¹H NMR and MS spectrofotometric methods. Residues of dixanthogenates and thionocarbamates in waste water have been determined ba gas chromatographic method by the corresponding standard curves. It was confirmed that reaction product was not present in water, while concentration of dixanthogenates have been shown to be under maximum contamination limit.

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКІВ ТІОНОКАРБАМАТОВ І ДІКСАНТОГЕНАТОВ У
СТІЧНИХ ВОДАХ ВІД ХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Мілутинм Мілосавлевич, Смілька Милисавлевич, Десімір Петкович

У цій роботі був проведений синтез N-алкіл-О-ізобутилтіонокарбаматов від ізобутил діксантогенатов і моноалкіламінів. Визначено структури синтезованих сполук, а також відповідних проміжних сполук за допомогою IR, ¹H NMR і MS спектрофотометричних методів. Залишки діксантагенатов і тіонокарбаматов у стічних водах були визначені методом газової хроматографії на відповідних стандартних кривих. Було підтверджено, що продукт реакції не був представлений у воді, в той час як концентрація діксантогенатов була нижчою максимальної межі забруднення.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТКОВ ТИОНОКАРБАМАТОВ И
ДИКСАНТОГЕНАТОВ В СТОЧНЫХ ВОДАХ ОТ ХИМИЧЕСКОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Милутинм Милосавлевич, Смилька Милисавлевич, Десимир Петкович

В этой работе был проведен синтез N-алкил-О-изобутилтионокарбаматов от изобутила диксантогенатов и моноалкиламинов. Определены структуры синтезированных соединений, а также соответствующих промежуточных соединений с помощью IR, ¹H NMR и MS спектрофотометрических методов. Остатки диксантагенатов и тионокарбаматов в сточных водах были определены методом газовой хроматографии на соответствующих стандартных кривых. Было подтверждено, что продукт реакции не был представлен в воде, в то время как концентрация диксантогенатов была ниже максимального предела загрязнения.

Keywords: Thionocarbamate, xantogenate, GC spectroscopy, dixanthogenates

Ключові слова: тіонокарбамати, ксантогенати, GC спектроскопія, діксантогенати

Ключевые слова: тионокарбаматы, ксантогенаты, GC спектроскопия, диксантогенаты

Дата надходження статті: 14 травня 2013 р.

УДК 681

Субботин О.В., Ставицкий В.О.
 ДГМА, г. Краматорск, Украина
o_subbotin@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

В станочных электроприводах одинаково применяются двигатели постоянного и переменного тока. При этом существующий парк станков оснащен в основном двигателями постоянного тока.

Задача модернизации работающего, но морально и физически износившегося оборудования на современном этапе достаточно актуальна. Это связано с тем, что не все предприятия могут себе позволить полную замену станочного парка или отдельного станка на новую модель. А модернизация отдельных электроприводов станочной системы для повышения точности отработки задания по координатам позволяет повысить качественные показатели при формообразовании поверхности в целом.

Применение цифровых систем управления электроприводами постоянного тока требует особого подхода к их математическому описанию и моделированию. Это обусловлено наличием квантования непрерывных функций (тока, скорости) по уровню и времени, а также запаздыванием результатов расчетов. Дискретные системы по своему математическому описанию на порядок сложнее эквивалентных им аналоговым.

Целью работы является математическое описание цифровой системы управления электроприводом постоянного тока.

Для анализа и синтеза цифровых систем управления применяют метод дискретных передаточных функций и метод синтеза регуляторов по техническому оптимуму.

Известно, что неизменяемая часть электропривода состоит из двигателя постоянного тока, датчиков тока и скорости, преобразователя энергии сети, как правило, широтно-импульсного преобразователя (ШИП).

Передаточные функции двигателя постоянного тока с выделением момента на его валу рассмотрены в работе [1,2].

Передаточная функция ШИП в линейном приближении будет:

$$W_{\text{Ш}}(p) = \frac{\Delta e_{\text{Ш}}}{\Delta N} = K_{\text{Ш}} \cdot e^{-\tau \cdot p}, \quad (1)$$

где $K_{\text{Ш}}$ - коэффициент передачи ШИП; τ - чистое запаздывание ШИП (сумма запаздываний элементов схемы и силовых транзисторов).

Коэффициенты усиления обратной связи по скорости и току определяются исходя из соотношений соответствия реальных значений скорости и тока коду управления, который находится в пределах от 0 до 100. Угловая скорость находится в пределах от 0 до 314.

Коэффициент обратной связи по скорости:

$$K_c = \frac{\Delta N}{\Delta \Omega_M} = \frac{N_M - 0}{\Omega_M - 0}. \quad (2)$$

Значение коэффициента обратной связи по току K_m выбирается из соотношения:

$$K_T = \frac{\Delta N}{I_{CT} - I_{OT}}, \quad (3)$$

где $I_{CT} = 2I_H$ - ток стопорения; $I_{OT} = 0.7I_{CT}$ - ток отсечки.

Рассмотрим переход в цифровую форму представления информации.

В современных электроприводах частота коммутации ШИП выбирается достаточно высокой (до нескольких кГц). Действующий ток транзистора определяется в основном моментом на валу двигателя, а ухудшение энергетических характеристик системы ШИП-

двигатель постоянного тока из-за импульсного характера питания обусловлено дополнительными потерями в меди якоря двигателя и потерями на переключение в силовых транзисторах.

Эти обстоятельства позволяют определить оптимальную частоту коммутации в ШИП:

$$f_{onm} = k_f \sqrt[3]{\frac{\alpha_K R_{Я}^2}{L_{Я}^2 (t_+ + t_-)}}, \text{Гц}, \quad (4)$$

где $\alpha_K = \frac{U_H}{R_{Я} I_H}$ - номинальная просадка по скорости характеристики двигателя.

Согласно рекомендации источника [3] частота квантования дискретной системы должна быть меньше частоты коммутации транзисторов ШИП не менее чем в 2 раза.

Период квантования дискретной системы определится:

$$T_0 = \frac{1}{f_{onm}}, \text{с}. \quad (5)$$

Определим дискретную передаточную функцию приведённой неизменяемой части системы управления электроприводом.

Интегральный ШИП работает эквивалентно экстраполятору с фиксацией на период. Изображение напряжения на выходе экстраполятора в этом случае будет [3].

$$F_H(p) = \int_0^T 1 \cdot e^{-pT} dt = \frac{1 - e^{-pT}}{p} = \frac{z-1}{zp}; \quad (6)$$

Передаточная функция разомкнутой системы, на входе которой находится экстраполятор с фиксацией за период, в общем случае наличия временного запаздывания (аппаратного или транспортного) e^{-pm} имеет вид:

$$W(z) = \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{W_H(p)}{p} e^{-pm} \right\} = \frac{z-1}{z^{2+n}} Z \left\{ \frac{W_H(p)}{p} e^{-p\tau} \right\} = \frac{z-1}{z^{2+n}} Z_E \left\{ \frac{W_H(p)}{p} \right\}, \quad (7)$$

где n - целая часть от частного $\frac{m}{T}$; τ - остаток.

Для нашей системы суммарное запаздывание определится:

$$\frac{m}{T} = \frac{\tau_{МП} + \tau_{Ш}}{T} = \frac{T + \tau_{Ш}}{T} = 1 + \frac{\tau_{Ш}}{T}. \quad (8)$$

Из формулы (8) следует, что $n = 1$, $\tau = \tau_{Ш}$. Передаточная функция примет вид:

$$W(z) = \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{W_H(p)}{p} e^{-pm} \right\} = \frac{z-1}{z^{2+n}} Z \left\{ \frac{W_H(p)}{p} e^{-p\tau} \right\} = \frac{z-1}{z^3} Z_E \left\{ \frac{W_H(p)}{p} \right\}, \quad (9)$$

где $E = 1 - \xi$, $\xi = \frac{\tau}{T}$.

Формулы смещённого Z -преобразования приведены в источнике [3]. Определим передаточную функцию разомкнутого контура скорости в z -форме при разомкнутом контуре тока (обратная связь по току отключена).

Неизменяемая часть контура скорости с передаточной функцией двигателя по управляющему воздействию определена [] примет вид:

$$W_C(z) = \frac{z-1}{z^2} Z \left\{ \frac{W_{H.C}(p)}{p} e^{-pm} \right\} = \frac{z-1}{z^3} Z_E \left\{ \frac{1}{p(T_M T_{Я} p^2 + T_M p + 1)} \right\}; \quad (10)$$

Для удобства перехода к Z - форме, представим двигатель как два последовательно соединённых аperiодических звена:

$$\frac{1}{(T_M T_{Я} p^2 + T_M p + 1)} = \frac{1}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}; \quad (11)$$

Следовательно, передаточная функция контура скорости примет вид:

$$W_C(z) = \frac{z-1}{z^3} Z_E \left\{ \frac{1}{p(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} \right\}; \quad (12)$$

Разложим на простые составляющие выражение:

$$\frac{1}{p(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} = \frac{X_1}{p} + \frac{X_2}{T_1 p + 1} + \frac{X_3}{T_2 p + 1}; \quad (13)$$

Получим систему уравнений:

$$\begin{cases} T_1 T_2 X_1 + T_2 X_2 + T_1 X_3 = 0 \\ (T_1 + T_2) X_1 + X_2 + X_3 = 0 \\ X_1 = 1 \end{cases} \quad (14)$$

Решая данную систему, получаем следующие результаты:

$$\begin{aligned} X_1 &= 1; \\ X_2 &= \frac{-T_1^2}{T_1 - T_2}; \\ X_3 &= \frac{T_2^2}{T_1 - T_2}. \end{aligned} \quad (15)$$

Тогда

$$\frac{1}{p(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} = \frac{X_1}{p} + \frac{X_2}{T_1 p + 1} + \frac{X_3}{T_2 p + 1} = \frac{1}{p} + \frac{-T_1^2 / (T_1 - T_2)}{T_1 p + 1} + \frac{T_2^2 / (T_1 - T_2)}{T_2 p + 1}. \quad (16)$$

$$\begin{aligned} W_C(z) &= \frac{z-1}{z^3} Z_E \left\{ \frac{1}{p} + \frac{-T_1^2 / (T_1 - T_2)}{T_1 p + 1} + \frac{T_2^2 / (T_1 - T_2)}{T_2 p + 1} \right\} = \\ &= \frac{z-1}{z^3} \left[\frac{z}{z-1} + \frac{\left(\frac{-T_1}{(T_1 - T_2)} \right) \cdot d_1^E z}{z-d_1} + \frac{\left(\frac{T_2}{(T_1 - T_2)} \right) \cdot d_2^E z}{z-d_2} \right]. \end{aligned} \quad (17)$$

Вычисляются постоянные z -преобразования: $d_1 = e^{-\frac{T}{T_1}}$, $d_2 = e^{-\frac{T}{T_2}}$.

Вычисляются постоянные смещённого z -преобразования: d_1^E , d_2^E .

Обозначим:

$$K_2 = \left(\frac{-T_1}{(T_1 - T_2)} \right) \cdot d_1^E, \quad K_3 = \left(\frac{T_2}{(T_1 - T_2)} \right) \cdot d_2^E, \quad (18)$$

Тогда

$$\begin{aligned} W_C(z) &= \frac{z-1}{z^3} \left[\frac{z(z-d_1)(z-d_2) + z \cdot K_2(z-1)(z-d_2) + z \cdot K_3(z-1)(z-d_1)}{(z-1)(z-d_1)(z-d_2)} \right] = \\ &= \frac{(z^2 - z(d_1 + d_2) + d_1 d_2 + K_2 z^2 - z(K_2 + K_2 d_2) + K_2 d_2 + K_3 z^2 - z(K_3 + K_3 d_1) + K_3 d_1)}{z^2(z-d_1)(z-d_2)} = \\ &= \frac{z^2(1 + K_2 + K_3) - z(d_1 + d_2 + K_2 + K_2 d_2 + K_3 + K_3 d_1) + (d_1 d_2 + K_2 d_2 + K_3 d_1)}{z^2(z-d_1)(z-d_2)}; \end{aligned} \quad (19)$$

Для реализации двухконтурной схемы регулирования электропривода с задержанной обратной связью по току, необходимо получить ток якоря в дискретной форме:

$$I_{я}(z) = \frac{T_M C}{R_{я} T K_C} \cdot \frac{z-1}{z} \omega(z) + I_C(z) = 6.121 \frac{z-1}{z} \omega(z) + I_C(z). \quad (20)$$

Следовательно, структурная схема двухконтурной системы управления электроприводом (СУЭП) в дискретной форме принимает вид, как показано на рис. 1.

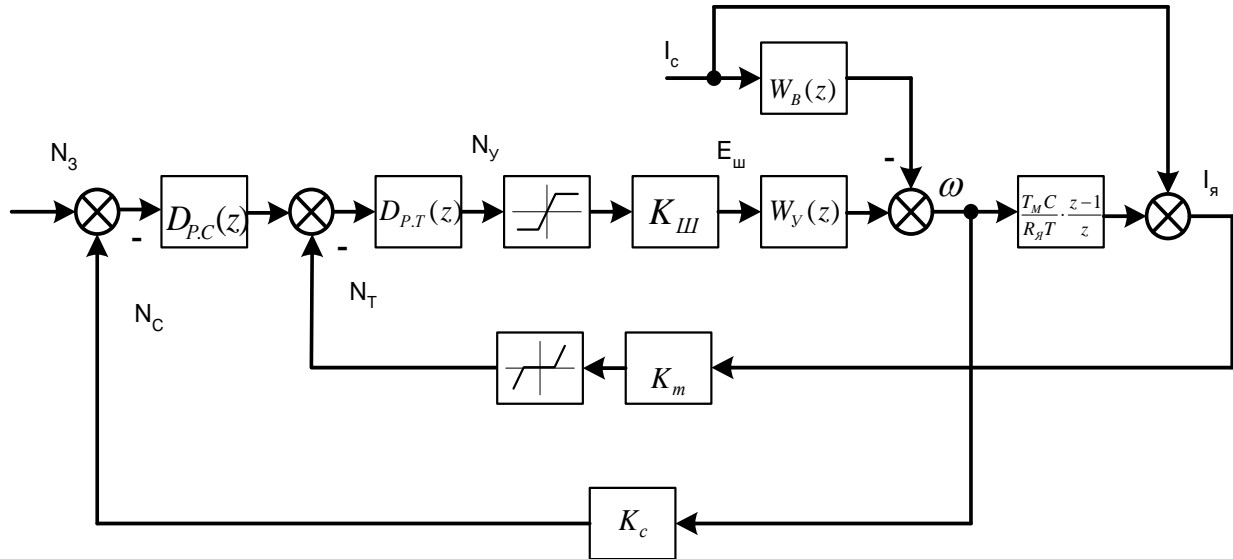


Рис. 1. Структурная схема двухконтурной цифровой СУЭП

Моделирование динамики работы цифрового электропривода главного движения вертикального сверлильного станка с двигателем постоянного тока ДПУ160-180-3-Д39 произведено на ЭВМ в пакете MathLab на модели, схема которой приведена на рис. 2.

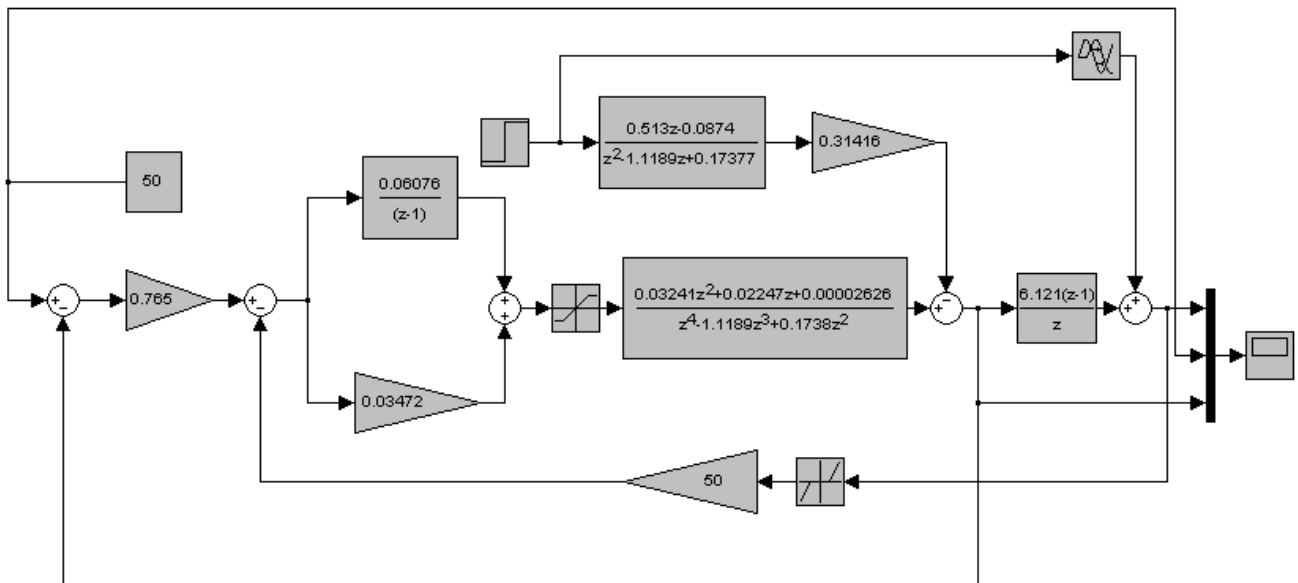


Рис. 2. Схема модели двухконтурного цифрового электропривода

Графики переходных процессов скорости и тока полученной двухконтурной системы при набросе номинальной нагрузки приведены на рис. 3.

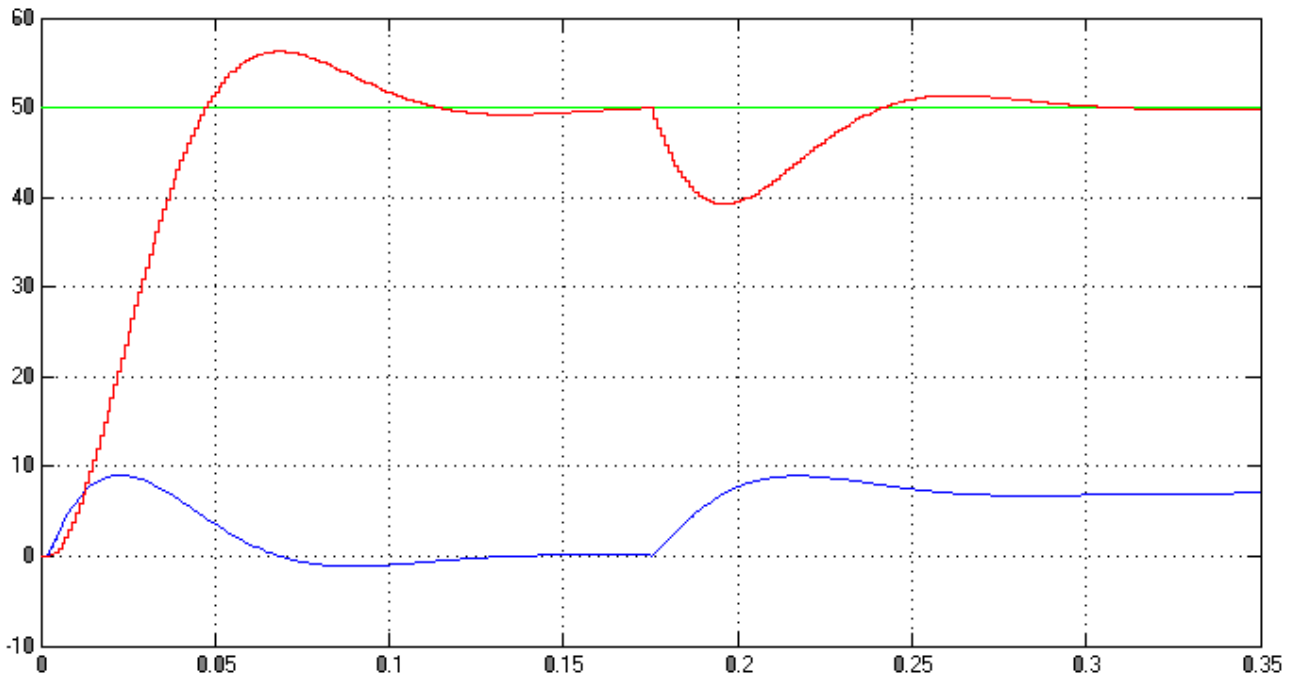


Рис. 3. Графики переходных процессов тока и скорости при набросе нагрузки

Причиной появления динамических процессов в цифровом приводе являются управляющие и возмущающие воздействия: код задания скорости и нагрузка на валу двигателя (момент сопротивления). Поэтому исследование работы электропривода проводится в несколько этапов: пуск двигателя для оценки его быстродействия; наброс и снятие номинальной нагрузки для реализации компенсации изменения скорости; торможение покажет реакцию системы на изменение задания.

Выводы

Приведённый переходной процесс позволяет сделать следующие выводы: разработанная система абсолютно устойчива; разгон и торможение двигателя осуществляются меньше чем за 0.075с; время переходного процесса стремиться к минимуму, быстродействие максимально - $t_{III} = 0.075$ с; перерегулирование не значительно, динамическая ошибка $\sigma_{дин} < 5\%$.

Возмущающее воздействие $I_c = I_{ном} = 7A$ компенсируется меньше чем за 0.075с.

В целом переходные процессы можно считать удовлетворительными, а разработанную модель и расчетные коэффициенты – корректными.

Перечень источников литературы: 1. Попович М.Г. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч.посібник / Попович М.Г., Лозинський О.Ю., Клепиков В.Б. та ін. – К.: Либідь, 2005.- 680с. 2. Субботин О.В. Преобразование структурных схем систем управления электроприводом для выделения момента/ Субботин О.В., Ставицкий В.О., Еникеев А.Ф.// Проблемы инженерно-педагогической освіти. Теория і практика: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції (18-20жовтня 2012р.). – Артемівськ: ННППІ УПА, 2012.- С.144-146. 3. Гостев В.И. «Системы управления с цифровыми регуляторами» Справочник. – К.: Техника 1990. – 280 с.

Рецензент: **Ковалёв В.Д.**, д.т.н., проф., ДГМА

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА
Субботин О.В., Ставицкий В.О.

В статье разработана структурная схема системы управления электроприводом постоянного тока с цифровым контуром регулирования главного параметра. Для этого рассчитаны коэффициенты и постоянные времени неизменяемой части системы управления электроприводом, необходимые для перехода в дискретную цифровую форму представления информации. Определены дискретная передаточная функция приведённой неизменяемой части системы и передаточная функция разомкнутого контура скорости в z-форме при разомкнутом контуре тока. Построена модель системы управления электроприводом и исследована в пакете MathLAB.

МАТЕМАТИЧНЕ ОПИС ЦИФРОВИЙ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ
ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ
Суботін О.В., Ставицький В.О.

У статті розроблена структурна схема системи керування електроприводом постійного струму із цифровим контуром регулювання головного параметра. Для цього розраховані коефіцієнти й постійні часу незмінної частини системи керування електроприводом, необхідні для переходу в дискретну цифрову форму подання інформації. Визначено дискретну передатну функцію наведеної незмінної частини системи й передатну функцію розімкнутого контуру швидкості в z-формі при розімкнутому контурі струму. Побудовано модель системи керування електроприводом і досліджена в пакеті MathLAB.

MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE DIGITAL CONTROL
ELECTRIC SYSTEM OF DIRECT-CURRENT
Subbotin O.V., Stavitskiy V.O.

In this article a block diagram of a system designed control electromotive DC digital control loop of the main parameter. To do this, we calculated the coefficients and time constants of the system unchanged motor control necessary for the transition to discrete digital form of information. Determined discrete transfer function of the system shown unchanged and the open-loop transfer function of the speed in the z-shaped open loop current. A model of the electric drive and control system was investigated in a batch MathLAB.

Ключевые слова: модернизация, электропривод, постоянный ток, цифровая система, математическая модель, качество, устойчивость.

Ключові слова: модернізація, електропривод, постійний струм, цифрова система, математична модель, якість, стійкість.

Keywords: modernization, power, direct-current, the digital system, the mathematical model, the transition process, quality.

Дата надходження статті: 14 травня 2013 р.

УДК 621.9

Slobodan Živković, Dušica Karić and Dragana Labović
Alfa University, Faculty of Commerce and Banking, Belgrade, SERBIA,
e-mail: slobodan.zivkovic@ftb.rs

INTERNATIONAL TRADE AND ECONOMIC DEVELOPMENT

Introduction

International or foreign trade means that the trade is conducted between subjects of two or more states, on the one hand, and as a means of mutual payment using the international convertible currencies. Also, international trade is burdened by trade policy measures such as customs, quotas, licencies, exchange controls, etc.

Economy shows that the international division of labour, specialization, cooperation, standardization, etc., increases the size of the GNP and living standard of population. Countries (national economy) export and import goods, services, financial capital, etc. The concept of international trade differs from the development concept of autarchic economy – self-sufficiency in two ways: First, international trade involves the exchange between different countries, introducing customs, quotas, sanctions, etc., and then, we talk about protectionism. Second, international trade (exchange) involves the certain exchange rate, and that all countries, more or less, have their own currency, then the flow of goods, services, etc. must be provided with appropriate exchange rate, otherwise, there is no international trade.

Globalization of the economy

The process of globalization of financial markets takes place in specific institutional frameworks which make up the international (global) financial system with the following structure:

- Supranational institutions: IMF, World Bank, OECD, BIS and other international and regional financial institutions,
- International financial markets: the euro and foreign bank loans, bonds, shares and other securities, euro-currency market - money, foreign exchange markets - spot, forward and derivatives (futures, options and swaps),
- Multinational corporations
- Central Bank,
- National financial markets: the money market, capital market (bonds, stocks) and commercial banks.

The International Monetary Fond, World Bank and World Trade Organization-WTO, constitute the three pillars of modern international economic.¹

Financial globalization has led not only to the free transfer of huge funds through the permeable national boundaries, but also to change the function of money in the global economy. There began to be traded with money as a classic commodity, so the currency speculations have become the most lucrative market operations.

And in other areas of globalization, the United States have the primary role and importance. The main pillars of globalization in the economic sphere are multinational and trans-national companies whose majority capital is from the United States of America, The Great Britain, France, Germany, Italy, Japan and Canada. All of these countries and economic giants, belong to the three most developed regions of the world: to Japan and industrialized countries of South and South-Eastern Asia, Western Europe, respectively to the European Union and to North America, or to the countries of Triad.

Most of the technological, economical and socio-cultural integration process takes place between states, or regions of the Triad. These countries have a cultural and scientific supremacy, technical superiority, military hegemony and the general economic base, which gives them priority in organizing and managing the global economy and society. Integration processes in economic,

¹ Stakić, B. i sar., *International Finance*, Singdinum University – FFMO, Belgrade, 2009., pg. 29

and even in political plan, are much more intense and more important between countries and the regions of Triad, then between these regions and the rest of the world, or between other countries in the world.

Multinational companies create a dominant and monopolistic position in the new technologies and are capital technological complexes to produce equipment of the latest generation.

The development of a global system of social relations has been contributed by internalization of trade. Growth rates of world trade are far greater than the growth rate of world GDP. In the field of internalization of world trade and in terms of mobility of financial capital the countries of Triad have a key role.²

Globalization means the neo-liberal concept based on market economy, which includes the free movement of people, capital, goods and services, mechanisms to protect the national economy through a unique international legal regulation with the rules of the World Trade Organization.

Membership in the World Trade Organization and in other international organizations includes and national legal regulation which guarantees the security of foreign investments and repatriation of profits, but with a built state where prevailing the rule of law, with a multi-part system and including the full respect of human rights.

Transnationalization of economic activity, in addition to financial globalization, is the most important building component of the development of global economy in the last decades of the twentieth century.

Global competition has inevitably taken on characteristics that dictate the multidimensional processes: from the dynamic changes in the environment affecting the business, through the interdependence of business, until strengthening the role of public opinion, ecological standards and the like. It assumes direct competition of the company in all markets without changing the product or service or without (or slightly) adaptation to local requirements, and as an example are stated: electronics, aircraft, automobiles, tires, watches, etc.

Clustering of the economy is as a vector of global economy development and the foundation of globalization (along with communication systems that enabled the network logistics and standardization of quality in global relations and the limits of real time). Clusters are the most propulsive economic blocks at the macro level of individual states. They include the networks of independent production and service companies from suppliers, technology innovators and know-how institutions (universities, scientific-research institutes, engineering centers, etc.), through the linking market institute (brokers, consultants, etc.) to the consumer. All of them participate in their own way in the chain of creating new values through reducing transaction costs. They're based on forcing of unique advantages and the most efficient production, and include companies and organizations that are linked with the geographic location and specific production.

The importance of international trade

International trade presents exchange of goods and services across national borders. In most countries it makes up a significant part of GDP. Although international trade was present throughout the history, its economic, social and political importance has increased over the last few centuries, mainly due to industrialization, development of transportation, globalization and the multinational corporations. In fact, increased international trade is what is usually meant by the term of globalization.

Thus, international trade means that one trade entity is in one state (export), and another entity is in another state (import). The trade issue is crossing the state border and that element represents a foreign element, respectively that element provides the trade a characteristics of international trade. Arrangement of cases in international trade is performed on the basis of relevant regulations approved by individual states, and payment is done by internationally acceptable convertible currency.

Traditionally, the exchange was regulated by bilateral agreements between the countries. Under the influence of merchantilism, during the previous centuries, many countries have

² Avramović, N., *Diplomatic and Consular Law*, Novi Sad, 2009., pg. 111

maintained high tariffs and many other barriers to international trade. In the 19th century, especially in Great Britain, free trade was of significance. In the years after the World War II, multilateral agreements such as GATT and WTO were making efforts to regulate the world trade. Besides them, there are regional and multilateral agreements, such as the European Union, MERCOSUR in South America, and NAFTA between the United States, Canada and Mexico.

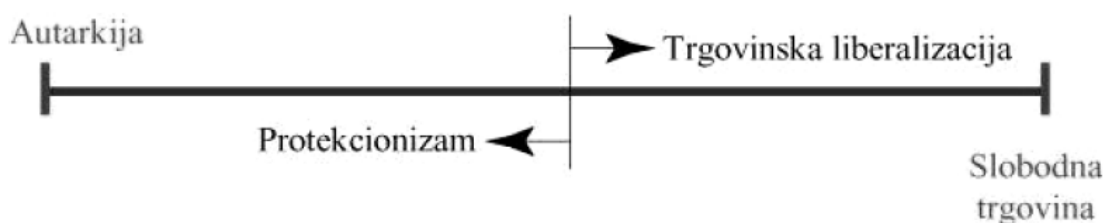
The concept of international trade

The concept of international trade is distinguished from the concept of autarchic economy development – in two ways self-sufficiency:

- first, international trade involves the exchange between different countries, thus introducing tariffs, quotas, sanctions and the like and then we talk about protectionism.

- second, international trade (exchange) involves the exchange rate, and since all countries more or less have their own currency, then the flow of goods, services, etc. must be provided with appropriate exchange rate, otherwise there is no international trade.³

Spoljnotrgovinske orijentacije



Grp. 1.

Source: Some Trade Terminology, <http://internationalecon.com>

The necessity of international trade

The necessity of international trade on the achieved development level of world trade, the degree of integration, technological-information technology is determined by three reasons.

First, economies that are included in the international flows (open economy) on the basis of exports and imports and the size of GNP which is increased through international exchanges, achieved significant economic rate of growth, while economies that are less open record stagnation or decline in GNP, and thus of living standard. In addition, international trade makes up the diversity of production conditions, the decrease in production costs, the ability to meet the needs at the higher level, especially when it comes on a variety of tastes.

Regarding the conditions of production, international trade allows a country, for example in tropical areas, to specialize in the production of banana, cacti, pineapple, kiwi, etc., which in international trade for these goods receive others that they can not produce under favorable conditions. On the other hand, countries with colder climatic conditions produce goods and services such as meat, wheat, rice, etc., and exchange them with other goods, whereby every country is included in the international division of labour, achieves a higher GNP and higher level of living standards.⁴

Another reason for international trade is the declining costs, rather said, declining costs of large-series production. It is generally known that the individual costs of production alternate with the increase in volume production that can be implemented on the foreign market. When a country acquires advantages in the production of a product, it produces in large series, exports and so achieves cost and technological advantage compared to other countries.

³ Jednak, J., *The Economy*, Belgrade, BPS-VSSS, 2010., pg. 117

⁴ Vasiljev, S., *Marketing*, Singidunum University, Belgrade 2009., pg. 183.

The third reason for international trade is the diversity in tastes. This implies a certain tendency in the consumption of certain goods. For example, suppose that Norway and Denmark produce fish and meat, but the Norwegians consume more fish, and the Danes meat. Then there would be a mutually beneficial export of fish from Norway and meat from Denmark. Both countries would benefit from such trade and the possibility of satisfying various tastes in food.

The economic benefits of international trade

The economic benefits of international trade can be viewed through the international division of labour, specialization, etc., whose effect is most noticeable in the real incomes of the population. For example, the U.S. imports clothing from Europe, and Europe imports cheap food from the United States necessarily, because the imported clothing costs the United States much cheaper than if the U.S. produced by itself, and yet the imported food costs cheaper to the Europeans than if they produced by themselves.

Authoritative indicator of this constation are the real wages that allow the purchase of goods and services in case of international trade development. Both for the Americans and the Europeans real wages are higher (greater purchasing power) in the developed international trade since the workers in the U.S. consume less labour for the production of food, and the Europeans for the production of clothing, so both of them, producing goods where the consumptions of work are lower through international exchange, achieve higher real incomes and thus a higher standard of living.

Thus, foreign trade allows each country to focus on those areas of their comparative advantages in production of goods and services. Workers in each country can achieve a greater amount of consumption and production of goods for the same amount of consumed labour. The country specializes for production in the areas of comparative advantages and exchange its own production through foreign trade for goods and services where there are no comparative advantages. Thus, in an open international trade increases national income of each country participating in the trade, thanks to the most efficient allocation of scarce resources.

International trade in 2009 and 2010 year

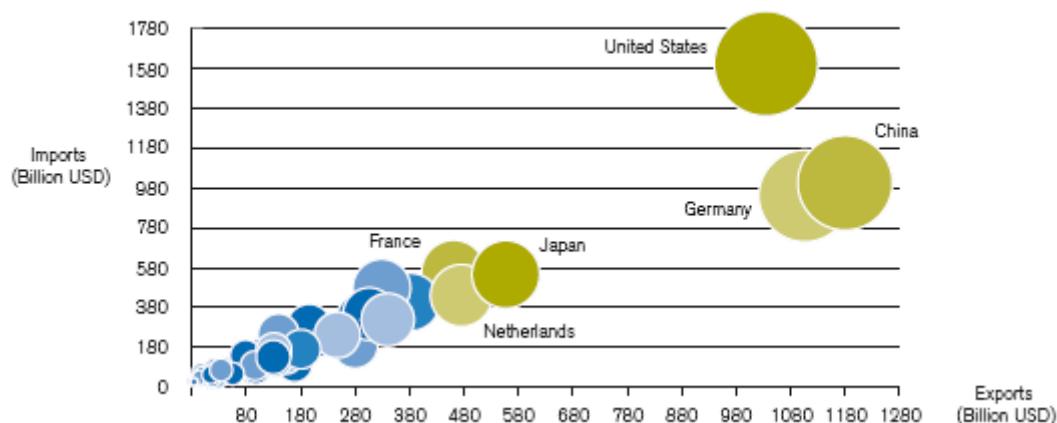
The volume of world trade has declined drastically in the second half of 2008 years, and finally, by the end of the year declined to an annual rate of growth of only two percent, after growth of six percent in 2007.⁵

In early december 2009, the World Trade Organization has still calculated with a decrease of 10 percent. This sudden decline was primarily a consequence of economic crisis in industrial countries.

The world trade has also been a victim of the economic crisis, with a decline of 12 percent in 2009 which represents the largest decrease since the Second World War.

⁵ www.pks.com, World Trade, taken on 05.12.2010.

Leading economies of merchandise trade, 2009

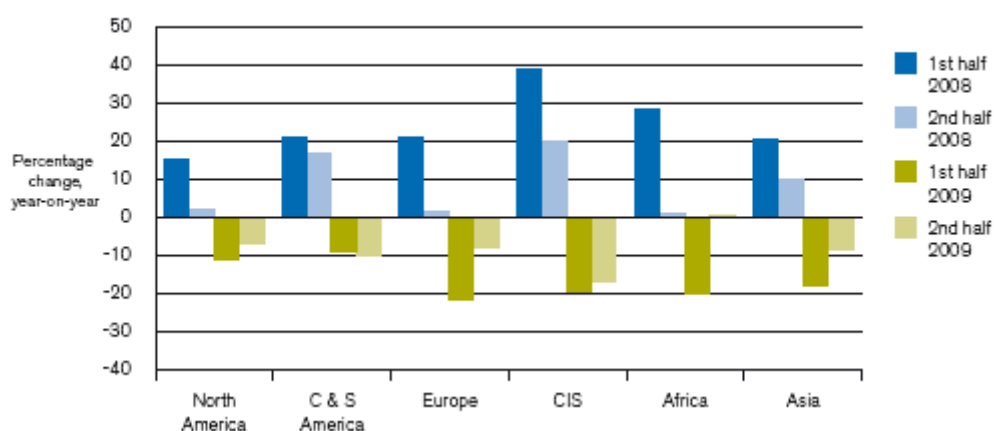


Graph. 2. Leading economies in trade in 2009 year.

Source: www.wto.org/english/ International Trade Statistics 2010 , taken on 07.12.2010.

In 2009, China ahead of Germany took the leading position in export of goods, while the U.S. took the third position. The USA is the leading world importer whereby the import is reduced from 13,1% in 2008 year to 12,7 % in 2009 year. China has increased its share in import of goods with veto from 6,9% in 2008 to 7,9% in 2009. therefore China took the second position in the world import. These three countries are ahead the others in trade balance.

Exports of commercial services by selected region, 2008-2009



Graph. 3. Export of commercial services by regions 2008-2009.

Source: www.wto.org/english/ International Trade Statistics 2010 , taken from 07.12.2010.

In 2009, export of commercial services in Europe which makes up almost half of world export declined by 14% .

CIS is a region with a record growth rate of export in 2008 year after which it dropped by 17%.

Export to Asia dropped by 12% in 2009 year. In north America and Africa the decline was 9%. The Central and South America and Caribbean are the least affected region with a drop less than 8%.

Though all these mentioned regions show the signs of recovery in the second half of 2009 year, the African countries are the most dynamic with a record growth of export from 1%.

Conclusion

International or foreign trade implies that trade is conducted between two entities of two or more countries, on the one hand, and as a means of mutual payments are using the international convertible currencies. Also, international trade is burdened by trade policy measures such as customs, quotas, licencies, exchange controls and the like.

The world trade has also been a victim of economic crisis, including a decline of 12 percent in 2009, which represents the largest decline since the second World War.

This situation clearly demonstrates the necessity to implement the conclusions from Doha on world trade liberalization, in particular those relating to the removal of trade barriers such as customs and import quotas. It's contestable, for example, in which way much poorer countries to open their markets for products from industrialized countries and thus struggle with competition.

The World Trade Organization (WTO) calls on the collective discipline in order to combat the spread of protectionism in the world .

WTO has warned that the world trade will continue to decline probably and in 2010, may be more than production, which will particularly do great harm to an export-oriented economies.

Maintaining an open, fair and transparent global climate in world trade is of vital significance for economic recovery.

In 2009, China ahead of Germany took the leading position in export of goods, while the U.S. took the third position. The USA is the leading world importer whereby the import is reduced from 13,1% in 2008 year to 12,7 % in 2009 year. In 2009, export of commercial services in Europe which makes up almost half of world export dropped by 14% .

Рецензент: **Ковалев В.Д.**, д.т.н., проф., ДГМА

INTERNATIONAL TRADE AND ECONOMIC DEVELOPMENT

Slobodan Živković, Dušica Karić and Dragana Labović

Economic benefits of international trade should be viewed through the international division of labour, specialization, etc., whose effect is most noticeable in the real incomes of population.

Foreign trade allows each country to focus on the area of their comparative advantages in the production of goods and services. The leading economic powers in the field of trade are the United States, China and Germany. World trade has also been a victim of the economic crisis, with a decline of 12 percents in 2009, which represents the largest decrease since the second world war. Latest data show sign of slight recovery of world trade.

МІЖНАРОДНА ТОРГІВЛЯ ТА ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗВИТОК

Слободан Живкович, Душиця Карич і Драгана Лабович

Економічні вигоди від міжнародної торгівлі слід розглядати через міжнародний поділ праці, спеціалізацію та ін, дія яких найбільш помітно в реальних доходах населення.

Зовнішня торгівля дозволяє кожній країні зосередитися на площі своїх порівняльних переваг у виробництві товарів і послуг. Ведучими економічними державами в галузі торгівлі є США, Китай і Німеччина. Обсяг світової торгівлі також була жертвою економічної кризи, зі зниженням на 12 відсотків у 2009 році, яка являє собою найбільше зниження, починаючи з другої світової війни. Останні дані показують, ознака деякого відновлення світової торгівлі.

МЕЖДУНАРОДНАЯ ТОРГОВЛЯ И ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ

Слободан Живкович, Душица Карич и Драгана Лабович

Экономические выгоды от международной торговли следует рассматривать через международное разделение труда, специализацию и др., действие которых наиболее заметно в реальных доходах населения.

Внешняя торговля позволяет каждой стране сосредоточиться на площади своих сравнительных преимуществ в производстве товаров и услуг. Ведущими экономическими державами в области торговли являются США, Китай и Германия. Объем мировой торговли также была жертвой экономического кризиса, со снижением на 12 процентов в 2009 году, которая представляет собой наибольшее снижение, начиная со второй мировой войны. Последние данные показывают, признак некоторого восстановления мировой торговли.

Keywords: world trade, protectionism, liberalization, economic crisis.

Ключові слова: світова торгівля, протекціонізм, лібералізація, економічна криза.

Ключевые слова: мировая торговля, протекционизм, либерализация, экономический кризис.

Дата надходження статті: 14 травня 2013 р.

УДК 658.52.011.56

Лашина Ю.В.
 НТУУ «КПІ», г. Киев, Украина
y.lashyna@gmail.com

ИНТЕГРАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ *DFA EXPERT C* СИСТЕМАМИ ТРЕХМЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Введение

Современные подходы к управлению производством, такие как «Бережливое производство» (Lean Manufacturing), направлены на минимизацию или полное исключение всех видов потерь из процесса создания продукции. Согласно [1] в общем случае на предприятии существует 7 видов потерь: перепроизводство, ожидание, излишняя транспортировка, излишняя обработка, избыток запасов, излишние движения, дефекты. Как правило, эксперты в области Lean анализируют процессы изготовления изделий и сокращают потери с помощью инструментов менеджмента. Тем не менее, известно, что около 70% будущей цены изделия закладывается на стадии проектирования его конструкции [2]. Также значительное влияние на будущую стоимость продукции оказывают технологические процессы изготовления и сборки деталей, вариантов которых для конкретных изделий, как правило, больше одного. Таким образом, можно утверждать, что достичь сокращения потерь возможно не только используя инструменты менеджмента, но также инструменты процессно-ориентированного проектирования: сборочно-ориентированное конструирование (*DFA – Design for Assembly*), конструирование, ориентированное на процессы обработки (*DFM – Design for Manufacturing*) и т.п. (рис.1).



Рис. 1. Влияние различных инструментов на потери процесса производства

Так в [3] приведены аргументы в доказательство того, что процессно-ориентированное проектирование конструкций изделий неизменно приведет к сокращению всех видов потерь. Не вызывает сомнений утверждение, что «правильный процесс» дает правильные результаты, в развитие этой мысли можно предположить, что «правильная конструкция» способствует проектированию «правильного процесса».

Анализ последних исследований и публикаций

Наиболее известными методами анализа конструкций с точки зрения сборки являются: Hitachi Assemblability Evaluation Method, Boothroyd Dewhurst System, Lucas DFA Technique. На сегодняшний день существует ряд программных продуктов, основанных на этих методах, которые позволяют выполнять предварительную оценку будущей стоимости конструкторских решений и направляющих конструктора к проектированию сборочно-ориентированных конструкций. Наиболее известным продуктом является *Design for Manufacture and Assembly* [4], представляющий собой сочетание двух инструментов *DFA Software* и *DFM Software*. Инструмент анализа собираемости изделия *DFA Tool* [5]

разработчики предлагают использовать как часть системы дополненной реальности (augmented reality) для выполнения сборочных операций. В [6] представлен *MTM analysis tool*, который может быть использован для поддержки принятия решений о том, какие детали могут быть исключены из конструкции, а также каким образом детали и сборочные единицы могут быть перепроектированы с целью сокращения времени сборки. Данные системы обладают одним общим недостатком – незначительным уровнем автоматизации анализа. Интеграция с CAD-системами в основном ограничивается импортом информации из *Bill of Materials*. В связи с этим, на сегодняшний день развитие систем поддержки принятия решений при сборочно-ориентированном проектировании (*DFA*-систем) выполняется в следующих направлениях:

- автоматизация получения исходных данных;
- интеграция *DFA* модулей в *CAD* системы и перенесение *DFA* анализа в стадию концептуального проектирования;
- разработка алгоритмов целенаправленного поиска лучших конструкторско-технологических решений.

Целью работы является дальнейшее развитие системы автоматизированного *DFA* анализа *DFA Expert* [7] в части автоматизации получения исходных данных на основе 3D модели. Для этого необходимо разработать эффективную модель представления информации об изделии, формат обмена информацией между *CAD* системой и программным обеспечением *DFA Expert*, а также процедуры реализации импорта исходных данных.

Основная часть

Для того чтобы понять, какого рода данные должна импортировать система, а также определить источник этих данных, предлагается представить модель конструкторско-технологического решения в виде диаграммы классов (рис. 2). Согласно предложенной модели, класс «*Design and Manufacturing Concept*» (конструкторско-технологическое решение) состоит из трех подклассов, связанных между собой: «*Component*» (компонент), «*Process*» (процесс), «*Resources*» (ресурсы). Необходимо отметить, что такая идеология хранения информации о продукте, процессе его изготовления и необходимых ресурсах используется и другими системами, например спецификация PPR (*Product, Process, Resources*) в *CATIA*, *DELMIA* и *ENOVIA* [9].

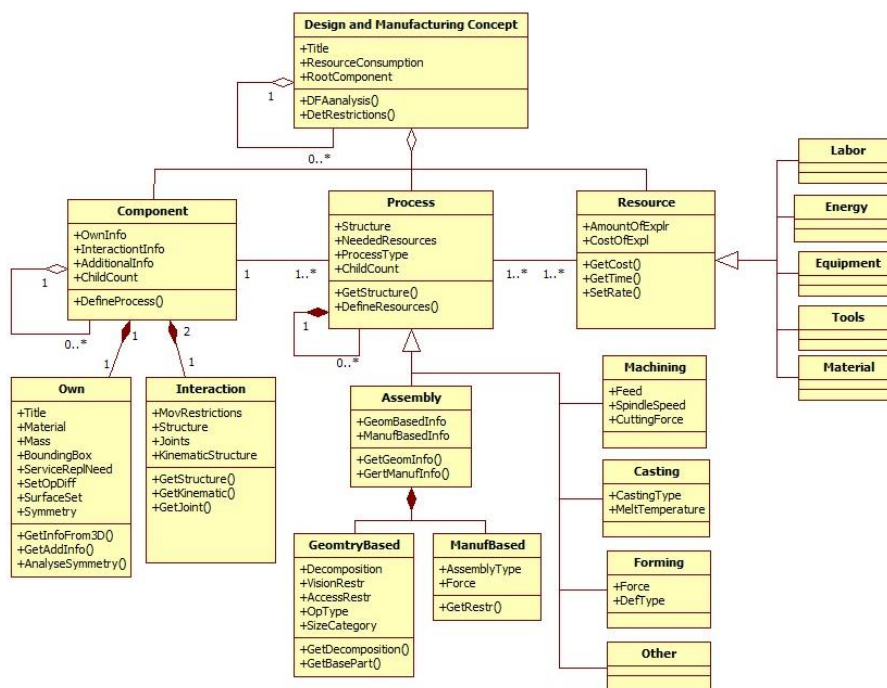


Рис. 2. Диаграмма классов конструкторско-технологического решения

Первый класс «*Component*» представляет собой информацию о собираемом изделии. Данным классом может быть представлено как изделие в целом, так и его сборочные единицы (СЕ) и отдельные детали. Так как с точки зрения сборочного процесса СЕ и детали, находящиеся на одном уровне декомпозиции, являются одинаковыми объектами, различие между ними состоит только в свойстве «*ChildCount*» (количество составных частей), для деталей оно равно нулю, для сборочных единиц оно больше нуля.

Класс «*Component*» состоит из двух подклассов: «*Own*» (собственные) и «*Interaction*» (взаимодействие). Подкласс «*Own*» содержит информацию о собственных свойствах компонента: заголовки, файл (файлы) 3D моделей, размерно-массовые характеристики, свойства симметрии, количество и характер поверхностей и т.п. Подкласс «*Interaction*» содержит информацию о взаимодействии составных частей компонента: бинарных отношениях ограничения подвижности (БООП) между деталями [8], структуре изделия, соединениях между деталями, кинематике изделия. Среди операций, реализуемых подклассами, можно выделить следующие: импорт информации из 3D модели изделия, синтез модели БООП, анализ симметрии элементов, анализ соединений, анализ кинематической структуры изделия и т.д.

Вторым составляющим конструкторско-технологического решения является класс «*Process*», который объединяет в себе свойства и методы, общие для всех технологических операций. Среди свойств предложено выделять следующие: структуру технологического процесса, тип процесса, структуру ресурсов, необходимых для реализации операции. Среди методов класса можно назвать следующие: определение структуры процесса получения элемента, определение необходимых ресурсов и т.д.

Класс «*Process*» является суперклассом по отношению к классам, характеризующим определенные группы процессов: «*Assembly*» (сборка), «*Machining*» (механическая обработка), «*Casting*» (литье), «*Forming*» (обработка давлением) и т.д. При необходимости данные классы могут быть разделены на подклассы, которые описывают конкретные виды технологических процессов, например: точение, литье по выплавляемым моделям, штамповка и т.п.

Отметим, что для принятия комплексного решения при выборе конструкторско-технологического решения изделия необходимо учитывать не только процесс сборки, но и процессы изготовления деталей.

Для класса «*Assembly*» предлагается выделить два подкласса: подкласс «*GeometryBased*», который объединяет свойства и методы, основанные на геометрии изделия, и подкласс «*ManufBased*», который объединяет свойства и методы, основанные на производственных условиях. В качестве свойств, основанных на геометрии изделия, предложены следующие: принятый вариант технологической декомпозиции изделия, наличие ограничений видимости зоны сборки или доступа инструмента в зону сборки, категория размеров собираемых элементов и т.д. Соответственно методы, основанные на геометрии, позволяют получить технологическую декомпозицию изделия, идентифицировать базовую деталь, оценить ограничения видимости и доступа и т.д. В качестве свойств, основанных на производственных условиях, можно выделить следующие: тип организации сборочного процесса (ручная, роботизированная, автоматическая сборка), необходимое усилие при выполнении сборочной операции и т.д.

Связь между классами «*Component*» и «*Process*» представлена отношением один ко многим, так как одному изделию можно поставить в соответствие от одного до N технологических процессов его получения.

Третьим составляющим элементом КТР является класс «*Resource*». Основные свойства класса: объем использования ресурса, общая стоимость использования ресурса. Основными операциями класса предложено считать следующие: расчет объемов использования, расчет стоимости использования, расчет стоимости технологического процесса, расчет ресурсоемкости технологического процесса, расчет времени выполнения технологического процесса. Класс «*Resource*» является суперклассом по отношению к классам: «*Labor*» (рабочая сила), «*Energy*» (энергия), «*Equipment*» (оборудование), «*Tools*» (инструменты и оснастка), «*Materials*» (материалы) и т.п., которые представляют собой конкретные ресурсы со своими специфическими свойствами и операциями.

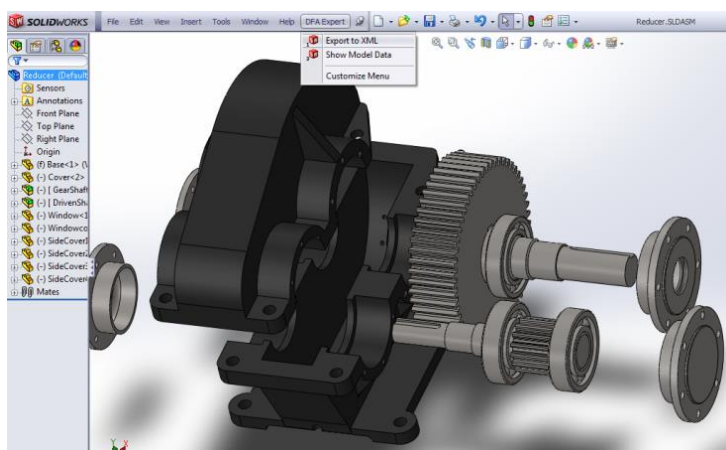
Связь между классами «*Process*» и «*Resource*» представлена отношением многие ко многим, так как одному процессу можно поставить в соответствие от одного до нескольких ресурсов (рабочая сила, оборудование, приспособления, инструмент и т.д.). С другой стороны один ресурс может быть связан более чем с одним процессом.

Предложенная структура классов является основой разрабатываемого программного обеспечения *DFA Expert* [7]. Автоматизированное получение свойств класса «*Component*» реализовано в методе «*GetInfoFrom3D*» (рис. 2) и основано на взаимодействии программного обеспечения *DFA Expert* с системами трехмерного проектирования.

Такое взаимодействие может быть осуществлено двумя способами:

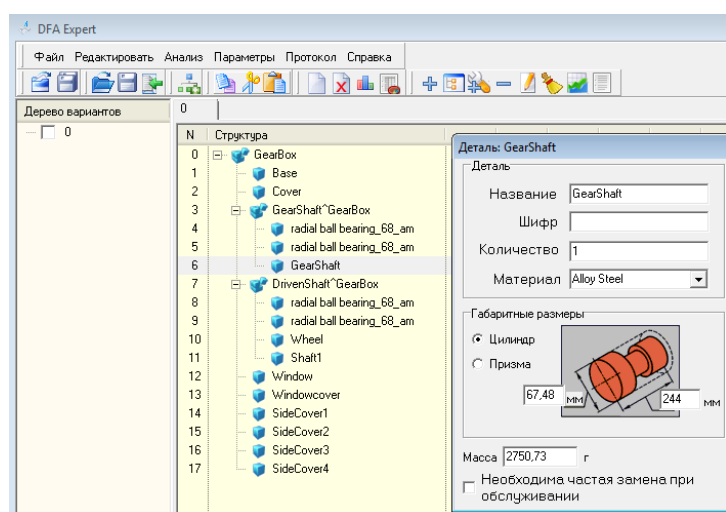
- непосредственное встраивание *DFA Expert* в качестве дополнительного модуля в *CAD* систему;
- импорт данных определенного формата, генерируемых *CAD* системой.

У обоих методов есть как недостатки, так и достоинства. Основным недостатком первого метода является привязка к определенной *CAD* системе, т.е. пользователь программного обеспечения *DFA Expert* ограничен набором систем, для которых реализован модуль. С другой стороны, достоинством второго метода является относительная автономия программного обеспечения, которое может работать независимо от типа и версии *CAD* системы пользователя, а также в ручном режиме, если это необходимо. Рассмотрим возможности реализации второго метода взаимодействия для получения первичной информации об изделии на примере интеграции *DFA Expert* и *SolidWorks* (рис.3).



а) создание xml-файла в CAD

```
<Assembly>
<title>Reducer</title>
<material></material>
<mass>61365,51</mass>
<MinL>439,77</MinL>
<MaxL>794,81</MaxL>
...
<Part>
<title>Base</title>
<material>Gray Cast Iron</material>
<mass>19739,17</mass>
<MinL>150,00</MinL>
<MaxL>410,00</MaxL>
</Part>
```



в) импорт информации в *DFA Expert*

```
...
<SubAssembly>
<title>GearShaft^Reducer</title>
<material></material>
<mass>2963,76</mass>
<MinL>136,62</MinL>
<MaxL>244,29</MaxL>
<Part>
...
</Part>
<Part>
...
</Part>
...
</SubAssembly>
...
</Assembly>
```

б) структура xml-файла

Рис. 3. Передача данных из CAD системы в *DFA Expert* с использованием XML

Для обмена данными между *CAD* и *DFA Expert* предлагается использовать формат *XML*, в котором в соответствующих тегах представляется информация о свойствах элементов сборочного изделия (рис. 3, б). Сформировать такой файл в *CAD* системе можно несколькими путями, например: использование расширенного *Bill of Materials*, написание специального макроса. В данном случае был написан макрос. Для создания *xml*-файла (рис. 3, б) пользователь в меню выбирает пункт *DFA Expert / Export to XML* (рис. 3, а). Затем сохраненный файл может быть открыт в *DFA Expert* (рис. 3, в).

Выводы

Итак, на сегодняшний день существует ряд программных продуктов, осуществляющих поддержку сборочно-ориентированного проектирования. Одним из основных направлений развития таких систем является автоматизация получения исходных данных об изделии на основании его 3D модели, созданной в *CAD* системе. Предложена модель класса «*Design and Manufacturing Concept*», позволяющая представить состав и структуру информации об изделии, технологических процессах его изготовления, а также ресурсоемкости таких процессов. Такая модель является основой разрабатываемого программного обеспечения *DFA Expert*, которое позволяет выполнять сравнительный анализ вариантов конструкторско-технологических решений и в перспективе своего развития подразумевает автоматизацию *DFA* анализа. В статье представлен способ импорта данных о структуре, габаритных размерах, материалах, массе и т.п. характеристиках собираемых изделий из *CAD* системы с использованием формата *XML*.

Перечень источников литературы: 1. Оно Т. Производственная система Тойоты: уходя от массового производства [Текст] / Т. Оно, Пер. с англ., 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Институт комплексных стратегических исследований, 2008. – 208 с. 2. Варнеке Х. Расчёт затрат для инженеров [Текст] / Х. Варнеке, Х.-Й. Буллингер, Р. Хихерт, А. Фёгеле; Пер. с нем. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. – 307 с. 3. Shipulski M. Successful Design For Assembly [Электронный ресурс] / M. Shipulski // Assembly Magazine. Режим доступа: <http://www.assemblymag.com/articles/84713-successful-design-for-assembly>. 4. Boothroyd G. Product design for manufacture and assembly [Text] / G. Boothroyd, P. Dewhurst, W. Knight. 3d ed. ISBN 13: 978-1-4200-8928-8, CRC Press Taylor & Francis Group, 2011. – 670 p. 5. Saaski J. Integration of design and assembly using augmented reality [Text] / J. Saaski, T. Salonen, M. Hakkarainen and others // IFIP International Federation for Information Processing, Volume 260, Micro-Assembly Technologies and Applications, eds. Ratchev S., Koelemeijer S., (Boston: Springer), 2008. – P. 395-404. 6. Karim M. A. A method for evaluating lean assembly process at design stage [Text] / M. A. Karim, M. Ernst, M. A. Amin // Sustainable manufacturing: Shaping global value creation: Proceedings of the The 9th Global Conference on Sustainable Manufacturing, Springer, LENEXPO Exhibition Center, St. Petersburg, 2012. – P. 169-174. 7. Pasichnyk V. Assembly-oriented design using DFA Expert software [Text] / V. Pasichnyk, Y. Lashyna // Mechanika. Technika i technologia montazu maszyn. Zeszyty naukowe Politechniki Rzeszowskiej. – Nr 279 (nr 1/2011). P.9-14. 8. Пасічник В. А. Принципи формування математичної моделі складальної одиниці в виді бінарних відношень обмежень рухливості [Текст] / В. А. Пасічник, В. М. Кореньков // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. тр XV межд. науч. техн. конф., В 4-х томах. – Донецк : ДонНТУ, 2008. Т. 3. – С. 64–70. 9. PLM Glossary [Электронный ресурс] / Dassault Systèmes. – Словарь терминов –2012. Режим доступа: <http://www.3ds.com/plm-glossary/ppr/>

Рецензент: Ковалев В.Д., д.т.н., проф., ДГМА

ИНТЕГРАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ DFA EXPERT С СИСТЕМАМИ ТРЕХМЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Лашина Ю.В.

В статье представлены возможности интеграции программного обеспечения DFA Expert с системами трехмерного проектирования изделий машиностроения. С целью формализации процесса интеграции разработана структура классов, с помощью которой описываются конструкторско-технологические решения сборочных изделий на трех уровнях: компонентном, процессном и ресурсном. Разработанная структура в виде XML файла позволяет формировать исходные данные для анализа на основании 3D модели, созданной в одной из CAD систем.

ІНТЕГРАЦІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ DFA EXPERT З СИСТЕМАМИ ТРИВИМІРНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

Лашина Ю.В.

В статті представлені можливості інтеграції програмного забезпечення DFA Expert з системами тривимірною проектування виробів машинобудування. З метою формалізації процесу інтеграції розроблена структура класів, за допомогою якої описуються конструкторсько-технологічні рішення складальних виробів на трьох рівнях: компонентному, процесному та ресурсному. Розроблена структура у вигляді XML файлу дозволяє формувати вихідні дані для аналізу на основі тривимірної моделі, створеної в одній з CAD систем.

INTEGRATION OF SOFTWARE DFA EXPERT WITH 3D CAD SYSTEMS

Lashyna Y.V.

This article presents a possibility to integrate the software DFA Expert with 3D CAD systems for mechanical engineering products. Aiming to formalize the integration process the structure of classes is developed. This structure represents the Design and Manufacturing Concept at three levels: component, process, and resource. The developed structure in the form of an XML file allows creating an initial data for the analysis based on the 3D model created in a CAD system.

Ключевые слова: сборочное изделие, технологичность, технологический процесс сборки, математическая модель, проектирование, DFA анализ.

Ключові слова: складальний виріб, технологічність, технологічний процес складання, математична модель, проектування, DFA аналіз.

Key words: assembly, assembly unit, assemblability, assembly process, production, mathematical model, design, DFA analysis

Дата надходження статті: 13 травня 2013 р.

УДК 621.9

Slobodan Živković, Dušica Karić and Dragana Labović

Alfa University, Faculty of Commerce and Banking, Belgrade, SERBIA,

slobodan.zivkovic@ftb.rs

FLOWS OF INTERNATIONAL TRADE, GROWTH, DECLINE AND STRUCTURING OF TRANSACTIONS IN INTERNATIONAL TRADE

Introduction

The world, between the period of time 1840 and 1914 has become smaller, in order after that, much of the twentieth century the distance again has become enlarged. Economic historians tell us that the world economy, characterized by strong economic ties between alike distant countries, is nothing new. Moreover, there were two large waves of globalization, the first of which has not started on jet airplanes and the internet but on the railways, steam ships and the telegraph. In 1919, the great economist John Maynard Keynes described the results of that wave of globalization: What a remarkable period in economic progress of mankind was that era which in August 1914 came to an end!...However, if we pay attention to Keynes's statement that in 1914. that era „came to an end". In fact, two world war that followed, the Great Depression of 30s of the twentieth century and widespread protectionism have greatly contributed to reduce the volume of trade.

Foreign trade differs from domestic trade due to used instruments and documents. Most of the domestic trade is being performed through an open account. The customer receives an invoice upon which payment is made on a particular day as indicated in the invoice. In international trade, traders rarely can get such accurate information on credit solvency of a potential buyer as in the domestic trade. Communication is difficult. Therefore, the procedures in international trade are different from those in domestic. In international trade there are three key documents: the payment order or promissory note, bill of lading relating to the physical transfer of goods or letter of credit guaranteeing the creditworthiness of the customer.

The changing flows of world trade

Viewing the world as a whole, we can say that certain countries supply the others mainly with industrial products, such as automobiles, computers and clothing. However, trade in raw materials - a category that includes all types of ores from copper to coal, but that is mostly in the modern world confined on the trade of oil – still is an important part of world trade. Agricultural products such as wheat, soybean and cotton are another important part of the image, while various types of services also play an important role, and it's expected that in the future become even more important.

The lion's share of world trade is consisted of manufactured goods of all kinds. The value of mining products which are exported in 2005 mainly consisted of oil and other fuels. Trade in agricultural products, although crucial to the food of many countries, makes a negligible part of the value of modern world trade.

Graphic no.1 - displays the world export subdivided in percentage in 2005, consisting 6.91% of Agricultural products, 59,32% of Industrial goods, 14,18% of Ores, 19,59% of Services.

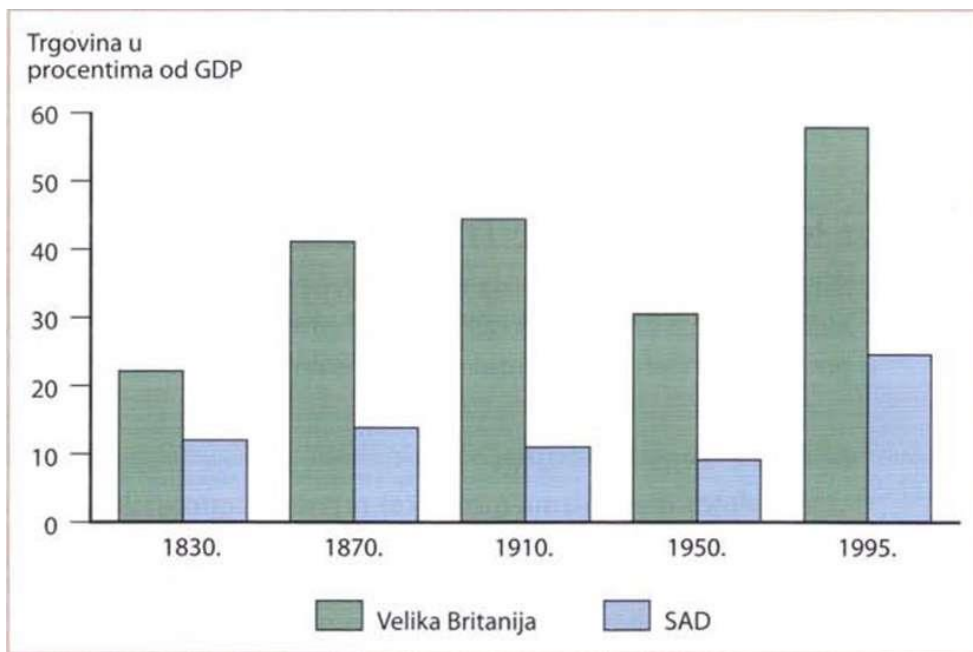
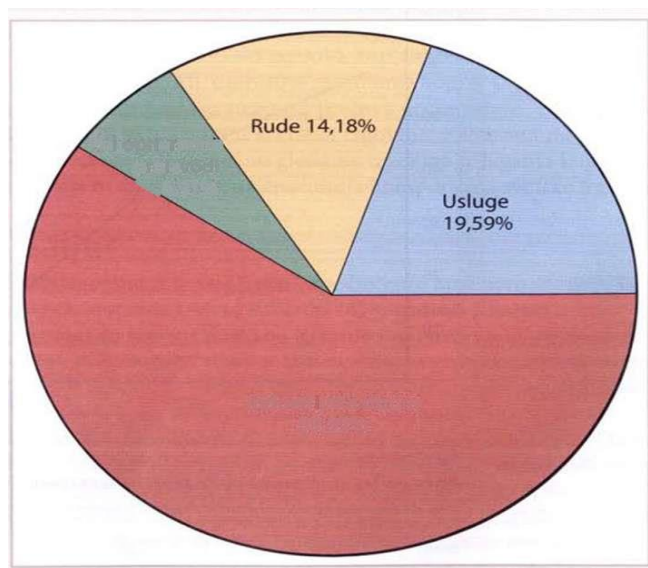


Fig. 1. Growth, decline and re-growth of international trade from 1830.

Source: Richard E. Baldwin and Phillippe Martin, „Two Waves of Globalization: Superficial Similarities, Fundamental Differences”, published by Horst Siebert, *Globalization and Labor* (Tubingen: Mohr, 1999).



Graph. 1. The structure of world trade in 2005.

Source: World Trade Organization.

Export of services includes traditional transportation costs charged by airlines companies and shipping enterprises, insurance costs paid by the foreigners and spending of foreign tourists. In recent years, the new types of trade services which were incurred, thanks to development of modern telecommunication, have attracted much media attention. The most well-known example is the creation of overseas Call-Centers and emergency centers: if you turn number for information or

technical assistance, the person on the other side, in fact, could be in some far away country. For now, new exotic forms of trade are still relatively small part of the overall picture of trade, but, the situation in the next-coming years could be changed.

The current image, in which industrial products dominate the word, is relatively new. In the past, the primary products – agricultural and mining products had a much greater role in world trade.

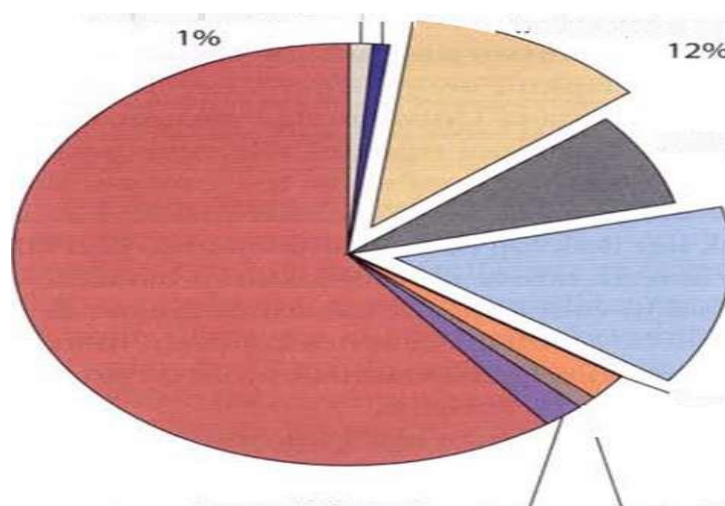
Recent transformation presents a growing export of industrial products of the third countries. The terms, **countries of third world and developing countries** are related to poorer countries around the world, many of which were European colonies before the World War II. These countries, during the 70s, have imported the primary products. Soon thereafter, however, have begun to export industrial goods.

The participation of agricultural and industrial products in the exports of developing countries since 1960 onwards, there was an almost complete reversal of their relative importance. More than 90% of exports of China, the largest developing economies and powers, with the fastest rate of growth in world the trade, is consisted of industrial goods.

One of the hottest current debates in the international economy is lead on the occasion of whether the modern information technology, by means of which is possible to make certain economic operations from the large distance, will lead to a dramatic growth in new forms of international trade. We have already mentioned the example of Call-Center, in which a person respond to your request for certain information may be 8.000 miles away. Many other services can be provided in a similar way from a remote location. When the service which was previously carried out within the country is transferred to a location abroad, this change is known as **outsourcing service** (also sometimes is called and as the **offshoring service**).

In the famous article of *Foreign Affairs* that was published in 2006 years, Alan Blinder, an economist at Princeton University, affirms that „in future , but to a large extent even today, in international trade will no longer be the key difference between things that can be placed into a box and those that can not. Instead, the difference will be made between services that can be provided electronically, despite the great distance, without any major or even without any decline in the quality and those where it is not possible. "For example, an employee that stores the goods on shelves at your local grocery has to be physically present, while the accountant who keeps the books of that grocery could be in another country and send reports via the internet.

Currently, much more attention is paid to the service of outsourcing, particularly due to the fact it still occurs rarely. The question is how long it could become widespread and how many employees who currently are not faced with any inernational competition could experience changes in the future. Economists have attempted to respond this question, among other things, in a way that they've observed services from the the remote distance that are traded within a country.



Граф. 2. The share of employment in industry branches of tradable goods.

Estimates based on the volume of trade within the United States indicate that trade in services on time may become larger than the trade in industrial products.

Source: I. Bradford Jensen) and Lori. G. Klelzer), „Tradable Services: Understanding the Scope and Impact of Outsourcing Services," Peterson Institute of Economics Working Paper 5-09, maj, 2005.

Mining - 1%, agriculture - 1%, industrial production -12%, retail/wholesale - 7%, professional services - 14%, education/health - 0%, personal services - 2%, other services - 1%, the state public administration - 2%, nontradables - 60%.

Graphic no. 2 shows the results of a study in which the data are being used systematically on the location of certain industries in the United States in order to determine with which services can be traded over the long distances, and with which can not. As shown on the graph, the study showed that about 60% of all jobs in the United States are consisted of professions that require close contact with customers, making them nontradables. But, the 40% of those professions that belong to tradable activities are being consisted of more service jobs than manufacturing jobs. This means that the current dominance of industrial products in world trade, shown in Figure no.1, could be only temporary. In th elong run, trade in services provided by electronic means could become the most important component of world trade.

Consideration of the causes of world trade begins with an analysis model that was used for the first time by British economist David Ricardo in 1819 year. Bearing in mind the large number of changes in world trade that have occurred since Ricardo's time to the present, the question is made whether the old ideas are still valid? The answer is undoubtedly affirmative. Though many things have been changed in international trade, the basic principles to which the economists have reached at the very beginning, during the creation of the world trade, are still valid.

It's true that it is difficult to describe the current world trade in a simple manner. A century ago, exports of each country were obviously dependent of climatic conditions and natural resources of that country. Tropical countries expoerted tropical products like coffee and cotton; the countries with large arable areas such as the United States and Australia exported foods to densely populated European countries. Disputes related to trade could easily be explained because they were a logical set of circumstances.

Sources of modern trade are somewhat more sophisticated. Human resources and resources that are product of man (such as mechanical plant and other types of capital) are more important than natural resources. Economic models that were developed long before the invention of jet airplanes or internet still remains a key for understanding the basis of international trade of the twenty-first century.

The structuring of transaction in international trade

Drawn bill of exchange in international trade, which sometimes is called the bill only, is a written document that the importer orders the importer to pay a certain sum of money at a certain time. Though the word „to order“ may sound harsh, it is a common term used in international business. Drawn bill can be either at maturity or at a specific time. The drawn bill, the party to whom a bill is entitled, may be paid at maturity, when the bill is submitted. This party is called the drawee. If the drawee or the importer does not pay the specified amount upon the submission of the bill of exchange, the bill of exchange is withdrawn based on agreement by letter of credit. Drawn bill of exchange on a certain time is submitted to payment due date in the future. Drawn bill has several features, most notably ones are: it is an unconditional written order signed by the drawer, the importer. It indicates exactly the specified amount of money that the drawee, the importer must pay; on it is indicated the exact date when the amount must be paid. After the submission of the bill of exchange to the drawee, it's considered accepted. Acceptance can make the drawee or the bank. If the drawee accepts the bill, he or she, on the back of the bill, commits in writing to pay the specified amount after 90 days. Then the bill is called the merchant acceptance. The Bank accepts responsibility to pay a certain amount and thus substitutes its own credibility to the credibility of the drawee.

When we talk about the Bill of Lading we think about the document which is used to transport goods from the importer to the importer. It has several functions. It serves as a consignment note that the transport company confirms receipt of certain goods from importers. Secondly, it serves as a contract between transport companies and importers to transport and deliver goods to a certain person in a particular destination. Finally, it can serve as a document of ownership, because it provides the owner the right to the goods. Importer is not the owner until it receives bill of lading from the transportation company or its agent. Importer will not receive a bill of lading until meet the conditions of the bill of exchange.¹

Bill of lading follows the bill of exchange, and thus, a very well business is established with these documents. Banks and other institutes that can effectively manage these documents exist almost in each country. Moreover, the very processes of international transfers of goods are well settled in international law. These procedures allow an exporter in one country to sell goods to an unknown importer in another country so as not to cede ownership of the goods until they are paid by drawn bill of exchange at maturity or as liabilities are not recognized on drawn bills at a certain time.

The commercial letter of credit is issued by a bank on behalf of importers. In this document, the bank agrees to pay the bill at maturity, drawn on the importer, provided that the bill of lading and other documents are in order. Basically, the bank substitutes its credit for the loan of the importer. It is clear that the local banks will not issue the letter of credit if it consider that the importer has no creditworthiness and will not pay the bill. Credential agreement almost completely eliminates the risk of importers in selling goods to an unknown importer in another country. Letter of credit greatly facilitates international trade. Instead of transferring credit directly to importer, the importer relies to one or more banks and their credit rating is substituted for the importer's credit rating. Itself the letter of credit may be irrevocable or revocable, but on the irrevocable letter of credit the bank has to pay the drawn bill of exchange. This obligation neither can be improved nor changed without the consent of all parties. On the other hand, the issuing bank may cancel or change a revocable letter of credit. By means of revocable letter of credit the terms of payment are determined, but it is not a guarantee that a bill of exchange will be paid.

These three documents – bill of exchange, bill of lading and letters of credit – are mostly used in international transactions. The procedures for doing business on the basis of these documents are well organized. Together, they provide protection to the exporter in the sale of goods to unknown exporters in other countries. They provide a safety to the importer that the goods will be shipped and delivered properly.

¹ Bill of lading may be marketable if so indicated. It can be used as coverage for the loan.

In addition to documents that are used for acceleration of standard transactions, for financing of international trade there are more appropriate means. One of the methods is known as the related trade. In standard contract on related trade, the seller accepts payment in kind instead of cash. When foreign exchange restrictions or other difficulties prevent payment in hard currency², payment may be in kind. These goods can be produced in countries that are included into contracts, but it's not necessary. Standard form of the related trade is the barter arrangement. It should be borne in mind that there are certain risks in accepting the goods instead of hard currency. The quality and standard of goods delivered and accepted may be different from what was promised. In addition, there is the additional problem of received goods to sell for money. Although the related trade is risky, there is an infrastructure that monitors trade related agreements, as well as specialized consultants which advance the means of international trade.

Receivables from customers in export are similar with the domestic receivables. This means that an export company in whole sells its receivables from customers to billing institution, factor. The factor assumes the credit risk and pays receivables to the exporter. Standardly, the factor pays the exporter when receivables come due. Before the receivables payment, it is often possible to obtain an advance payment amounting to 90% of the value of shipments. Due to the nature of the contract, most factors are primarily interested to the exportes who have large, permanent export receivables. Factor can also decline certain receivables if considered too risky. For receivables that the factor accepts, is the greatest advantage for exportes to verify the receivable payment factor which has international contacts and experience.

Forfeiting is a means of financing that is similar to debt collection in exports. Exporter sells his export receivables „without regress“, which is usually documented by letter of exchange or promissory note of the exporter, at a discount forfeit. Forfeiter may be a dependent company of international bank or specialized enterprise for trade finance. Forfeiter assesses credit risk and receivables are paid by the importer. In addition, forfeiting implies guarranty of payment from the bank. Letter of exchange or promissory note is used for a priod of six months or longer for larger amounts. Forfeiting is particularly useful for exporters who have commercial transactions with the importer of the less developed country. The exporter is interested in doing business with such countries because of the existance of a third, strong party that provides forfeiting payment.

Conclusion

The volume of international trade, thanks to declining costs of transport and communication, so far is at the highest level, in relation to the size of global economy. However, trade was not developed without certain downs: the world in 1914 was largely integrated, but the volume of trade due to depression, protectionism and war was significantly reduced and the decades have passed while there has been no recovery.

Today, industrial goods are dominated by modern trade. However, in the past, the primary products were more important than they are today; trade in services has recently started gaining the growing importance. It is also important that the *developing countries* have started to export mainly the industrial goods from the exporters.

There are three main documents that are used for acceleration of international trade. Drawn bill of exchange in international trade is an order by which the exporter requires from the importer to pay a certain sum of money upon submission of bills or a certain number of days after the filing. Bill of lading is a shipping document that can serve as an invoice, contract on shipping and as a document of ownership to the goods. Letter of credit is a contract which the bank agrees to pay the drawn bill on the importer. It sufficiently reduces the risk of the exporter and can be confirmed by the other bank.

Other means of financing international trade are the related trade, debt collection in export and forfeiting. Related trade includes international trade in goods between the two parties directly or through intermediaries. Collection of receivables presents a sale of receivables to a factor which assesses the credit. Forfeiting is similar to debt collection in export, but refers to a high, medium

² It implies currencies in which there's the world trust, such as dollars, British pound and yen.

and long-term receivables (six months or longer) that are sold to forfeiter at a discount. In addition, there is a guarantee of third party.

List of literature sources: **1.** Paul Bairoch. Economics and World History. London: Harvester, 1993. **2.** Alan S. Blinder. "Offshoring: The Next Industrial Revolution?" Foreign Affairs, mart/april 2006. **3.** Frances Cairncross. The Death of Distance. London: Orion, 1997. **4.** Keith Head. "Gravity for Beginners". Koristan vodič za gravitacioni model, dostupan na <http://pacific.commerce.ubc.ca/keith/gravity.pdf>. **5.** Harold James. The End of Globalization: Lessons from the Great Depression. Cambridge: Harvard University Press, 2001. **6.** J. Bradford Jensen i Lori G. Kletzer. "Tradable Services: Understanding the Scope and Impact of Services Outsourcing". Peterson Institute Working Paper 5-09, maj 2005. **7.** World Bank. World Development Report 1995. Svetska banka ukaže na neko važno globalno pitanje; izveštaj iz 1995. godine usmeren je na efekte rastuće svetske trgovine. **8.** World Trade Organization. World Trade Report. Godišnji izveštaj o stanju svetske trgovine. Svake godine izveštaj obuhvata odredenu temu; na primer, izveštaj iz 2004. godine bio je orijentisan na efekte svetske trgovine na domaće politike, poput potrošnje na infrastrukturu.

Рецензент: **Ковалев В.Д.**, д.т.н., проф., ДГМА

FLOWS OF INTERNATIONAL TRADE, GROWTH, DECLINE AND STRUCTURING OF TRANSACTIONS IN INTERNATIONAL TRADE

Slobodan Živković, Dušica Karić and Dragana Labović

World trade is a moving target. Nowadays, the direction and structure of world trade is quite different from that as it was during the previous generation, and even more than what was a century ago. In current discussions about the global economy, we often encounter the statements that, thanks to modern transportation system and communications, distance simply disappeared and the world has become small. There's an obvious truth in these statements: thanks to the internet the free and almost instantaneous communication is provided between people who are thousands of miles away, while air transport allows us to get quickly to any place on the planet.

ПОТОКИ МІЖНАРОДНОЇ ТОРГІВЛІ, ЕКОНОМІЧНЕ ЗРОСТАННЯ, ЗАНЕПАД І СТРУКТУРУВАННЯ УГОД У МІЖНАРОДНІЙ ТОРГІВЛІ

Слободан Живкович, Душиця Карич і Драгана Лабович

Світова торгівля - рухома ціль. В даний час, напрямок і структура світової торгівлі істотно відрізняється від тих, що були під час попереднього покоління, і ще більше від тих, що були сто років тому. У сучасних дискусіях про світову економіку ми часто стикаємося із заявами, що завдяки сучасній системі транспорту та зв'язку, відстані просто зникли, і світ став маленьким. Є очевидна істина в цих твердженнях: завдяки інтернету забезпечується безкоштовна і майже миттєвий зв'язок між людьми, що знаходяться за тисячі кілометрів, в той час як повітряний транспорт дозволяє швидко добратися в будь-яке місце на планеті.

ПОТОКИ МЕЖДУНАРОДНОЙ ТОРГОВЛИ, ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РОСТ, УПАДОК И СТРУКТУРИРОВАНИЕ СДЕЛОК В МЕЖДУНАРОДНОЙ ТОРГОВЛЕ

Слободан Живкович, Душица Карич и Драгана Лабович

Мировая торговля - движущаяся цель. В настоящее время, направление и структура мировой торговли существенно отличается от тех, что были во время предыдущего поколения, и еще больше от тех, что были сто лет назад. В современных дискуссиях о мировой экономике мы часто сталкиваемся с заявлениями, что благодаря современной системе транспорта и связи, расстояния просто исчезли, и мир стал маленьким. Есть очевидная истина в этих утверждениях: благодаря интернету обеспечивается бесплатная и почти мгновенная связь между людьми, находящимися за тысячи километров, в то время как воздушный транспорт позволяет быстро добраться в любое место на планете.

Keywords: global trade, outsourcing, developing countries.

Ключові слова: світова торгівля, аутсорсинг; країни, що розвиваються.

Ключевые слова: мировая торговля, аутсорсинг, развивающиеся страны.

Дата надходження статті: 14 травня 2013 р.

УДК 621.73.06

Гузенко В.С., Хорошайло В.В., Соловьев В.В.
 ДГМА, г. Краматорск, Украина, РУДН, г. Москва, Россия
draw@dgma.donetsk.ua

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РАСТОЧНЫХ РЕЗЦОВ

Введение

Статические и динамические характеристики режущего инструмента оказывают большое влияние на эффективность обработки. Статический расчет, в результате которого определяются напряжения, упругие деформации, перемещения и другие прочностные параметры, является одним из основных этапов при проектировании режущего инструмента. Статические характеристики оказывают непосредственное влияние на возникающие в процессе резания колебания, которые в значительной степени влияют на стойкость инструмента. Для процесса растачивания влияние колебательного процесса имеет большую значимость, чем для процесса точения, так как при работе с большим вылетом расточного резца возникает его прогиб относительно заделки в резцедержателе, что приводит к возникновению значительных деформаций и динамических нагрузок резца при потенциально неустойчивых формах колебаний. Для анализа колебательного процесса необходимо, прежде всего, учитывать первую гармонику собственных колебаний державки резца, то есть форму колебаний, соответствующую упругой линии при статическом нагружении, так как именно на этой гармонике наблюдаются наибольшие амплитуды относительных колебаний, влияющих на стойкость инструмента.

В ряде экспериментальных работ показано, что при резании вибрации возбуждаются именно на частотах собственных колебаний режущего инструмента или близких к ним. Высоцким Ю.И. были проведены работы по экспериментальному исследованию стойкости резцов с учетом частоты и амплитуды колебаний (рис. 1)[1].

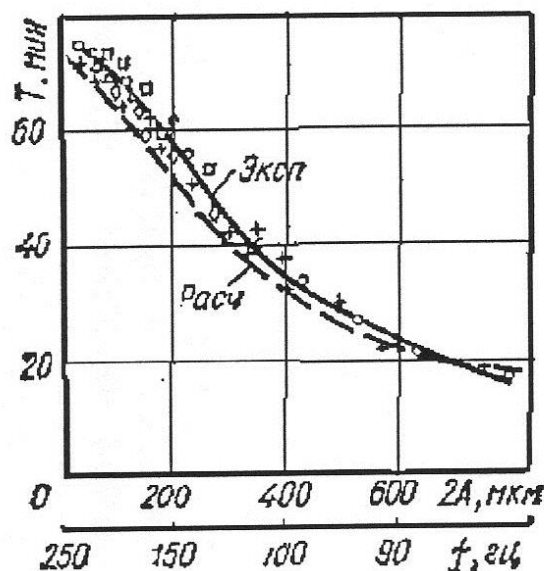


Рис. 1. График значений стойкости в зависимости от амплитуды и частоты колебаний

Уменьшение амплитуды колебаний позволяет повысить стойкость инструмента, что дает увеличение производительности обработки резанием. Следовательно, статический расчет упругой линии державки резца, а также расчет собственной частоты, является важной за-

дачей не только для прочностного расчета, но и для исследования динамических нагрузок при изменяющейся во времени силе резания [2,3].

Целью работы является исследование статических и динамических параметров расточных резцов для токарной обработки на компьютерных моделях.

Основная часть

В процессе резания расточной резец испытывает пространственную деформацию в результате действия сил резания. Для статического расчёта при растачивании необходимо учитывать две основные составляющие силы резания: тангенциальную P_z и радиальную P_y , по которым и определяется изгибающая (равнодействующая) сила резания P_R .

Если рассматривать контакт резца с резцедержателем как жесткую заделку, считая, что в этом месте отсутствует вертикальное перемещение и угол поворота сечения державки, то можно применить известные формулы теории упругости и теории колебаний для консольно-закрепленных стержней, причем сечения считаются плоскими.

Для расчета упругой линии державки резца применяются формулы теории упругости для стержня с прямоугольным сечением [4].

Для расчета упругой линии в плоскости XZ применяется формула (1), в плоскости XY применяется формула (2):

$$z_i = P_z \times L \times x_i^2 \times \left(3 - \frac{x_i}{L}\right) \times \frac{1}{6 \times E \times J_y}, \quad (1)$$

$$y_i = P_y \times L \times x_i^2 \times \left(3 - \frac{x_i}{L}\right) \times \frac{1}{6 \times E \times J_z}, \quad (2)$$

где: L – вылет державки резца [мм];

x_i – расстояние i -го сечения от заделки [мм];

z_i – перемещение i -го сечения в направлении оси Z [мм];

P_z – тангенциальная составляющая силы резания [Н];

E – модуль упругости материала державки [Н/мм²];

J_y – момент инерции сечения державки относительно оси Z [мм⁴];

J_z – момент инерции сечения державки относительно оси Y [мм⁴].

Полное перемещение i -го центра сечения державки, как следует из принципа независимости действия сил и представления косоугольного изгиба в виде комбинации двух плоских изгибов, равно геометрической сумме перемещений, вызванных каждым из указанных плоских изгибов в отдельности, т.е. суммарное перемещение Δ определим по формуле (5):

$$\Delta = \sqrt{z_i^2 + y_i^2}. \quad (5)$$

В качестве объекта исследования был принят сборный расточной резец для обработки на токарном станке с державкой прямоугольного сечения $b \times h = 40 \times 40$ мм с вылетом $L = 350$ мм, нагруженный тангенциальной и радиальной составляющими силы резания $P_z = 1600$ Н и $P_y = 650$ Н соответственно.

В результате расчетов был получен график упругой линии, построенной по значениям перемещений центров i_x сечений державки (рис. 1). По этому графику можно определять значение прогиба вершины резца в зависимости от вылета.

Для проверки расчетов применен метод конечных элементов, при помощи которого можно исследовать 3D модель резца. Трехмерная модель расточного резца была выполнена в программном комплексе Компас 3D V14 по принятым размерам и нагружена силами, соответствующими P_z и P_y в приложении прочностных расчетов АРМ FEM, в котором проводился статический расчет. При проведении статического анализа модели задается материал державки; ограничения, внешние нагрузки, контактные поверхности, создается сетка из ко-

нечных элементов модели и выполняется расчет. В результате статического анализа получены: напряжения, перемещения и деформации сборного расточного резца.

Результаты аналитического расчета суммарных перемещений по приведенным выше формулам и результаты компьютерного моделирования представлены в виде графика значений на рис. 2. Трехмерная модель, созданная в программе Компас 3D V14 и приложении прочностных расчетов АРМ FEM с диаграммой значений перемещений представлена на рис. 3.

Таким образом, определив суммарное перемещение крайней точки державки, можно определить значение жесткости C державки резца, как величины обратной перемещению при действии единичной силы и перейти к расчету собственной частоты державки по формуле (6) [5]:

$$f_0 = \frac{1}{2 \times \pi} \times \sqrt{\frac{C}{M_{np}}} = \frac{1,03 \times h}{\pi \times L^2} \times \sqrt{\frac{E}{\gamma}}, \quad (6)$$

где: M_{np} – приведенная масса державки [кг];

C – жесткость державки [мм^{-1}];

γ – плотность материала державки [$\text{кг}/\text{мм}^3$];

Подставляя в формулу (6) соответствующие модуль упругости и плотность, для стальных державок с прямоугольным сечением получаем формулу (7):

$$f_0 = 8,505 \times 10^5 \times \frac{h}{L^2}, \quad [\text{Гц}] \quad (7)$$

где h – высота сечения державки [мм].

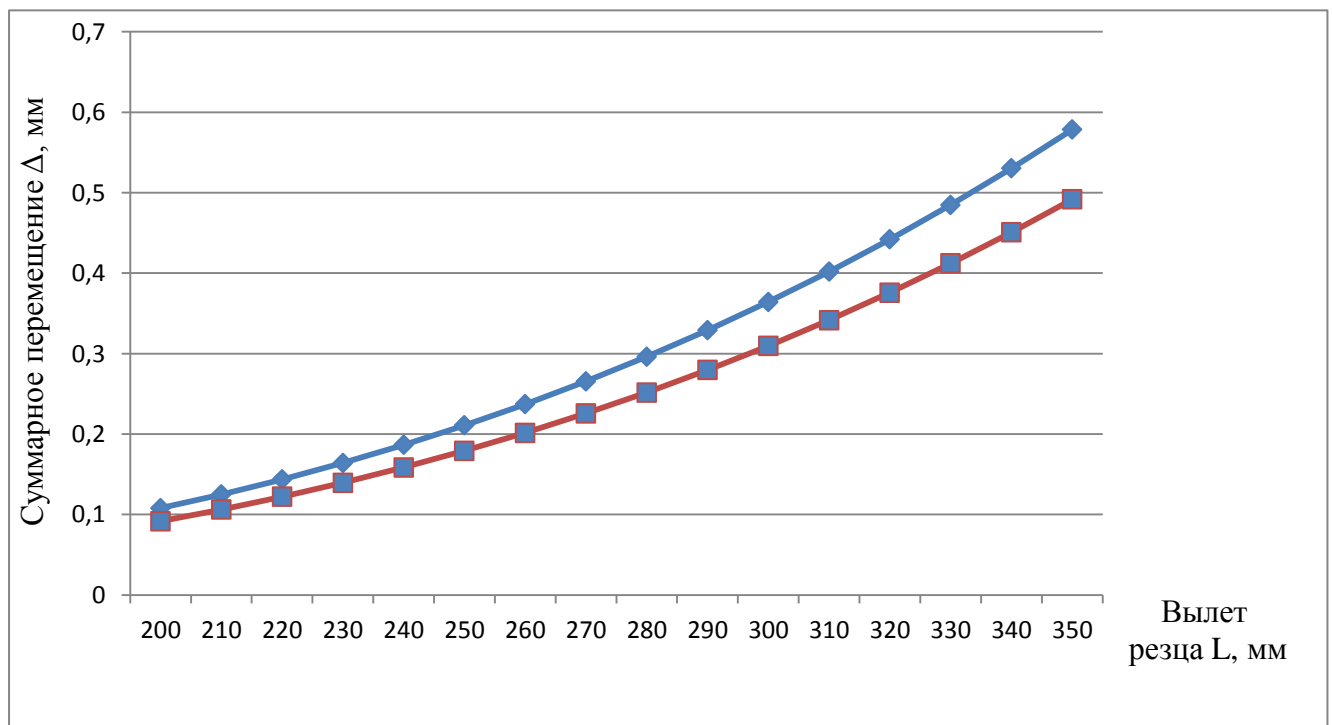


Рис. 2. График значений суммарных перемещений в зависимости от вылета

◇ – расчетные значения; □ – значения по результатам компьютерного моделирования

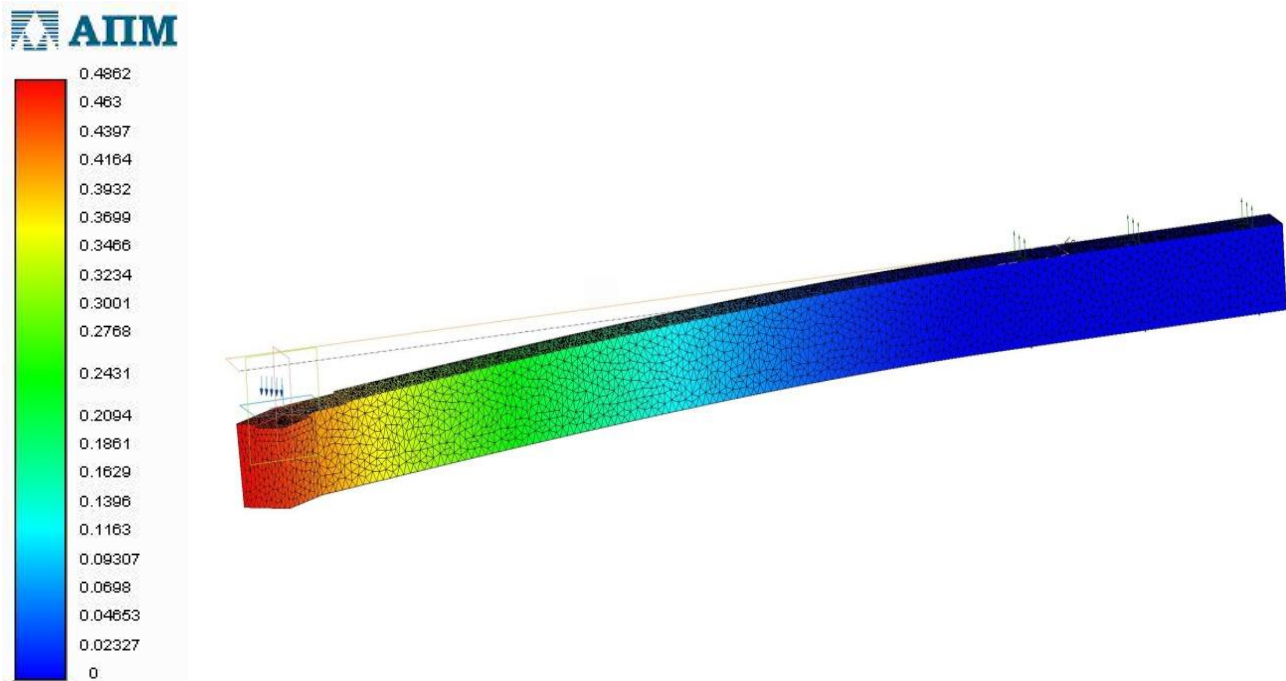


Рис. 3. Деформированная модель расточного резца с диаграммой суммарных перемещений режущей кромки

Сходность расчетных значений и результатов компьютерного моделирования позволяют говорить об адекватности компьютерной модели.

Выводы

На основании теоретических расчетов и результатов компьютерного моделирования можно сделать вывод о том, что вылет державки расточного резца оказывает доминирующее влияние на значение прогиба в результате действия сил резания, поэтому при обработке следует использовать резец с минимально возможным вылетом и повышать жесткостные параметры державки резца всеми возможными для заданных условий обработки методами, так как пониженная жесткость ведет не только к большим статическим деформациям, но и к ухудшению динамических характеристик, в частности к увеличению амплитуды колебаний, что приводит к снижению стойкости и надежности инструмента. При анализе колебательного процесса следует также проводить расчет собственных частот державки резца, чтобы сравнивать их с частотой вынужденных колебаний, возникающих в процессе резания во избежание явления резонансного увеличения амплитуды, которое возникает при совпадении указанных частот.

Перечень источников литературы: 1. Особенности вибраций при прорезке в условиях пониженной жесткости системы спид. / Высоцкий Ю.И. / Надежность режущего инструмента. Сборник статей. Вып. 2. Киев-Донецк, «Вища школа», 1975 – С.138. 2. Влияние вибраций на износ инструмента. / Шустиков А.Д. СТИН.-2000.-№1. – с.12-16. 3. Моделирование колебаний сборного инструмента для тяжелых станков в процессе резания / Миранцов С.Л., Гузенко В.С., Мезенцев В.Е./ Надежность инструмента и оптимизация технологических систем. Сб. научных трудов. Вып. 10. / – Краматорск: ДГМА, 2000. – с. 80-83 4. Орлов П.И. Основы конструирования : Справочно-методическое пособие. В 2-х кн. Кн. 1 / Под ред. П.Н. Учаева. – Изд. 3-е, испр.- М.: Машиностроение, 1988. - 560 с. 5. Теоретический анализ частоты колебаний державок резцов / Гузенко В.С., Позняк Г.Г./ Надежность инструмента и оптимизация технологических систем. Сб. научных трудов. Вып. 16. / – Краматорск: ДГМА, 2004. – с. 3-8

Рецензент: **Мироненко Е.В.**, д.т.н., проф., ДГМА

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО
ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РАСТОЧНЫХ РЕЗЦОВ

Гузенко В.С., Хорошайло В.В., Соловьев В.В.

В данной работе представлен теоретический расчет упругой линии державки расточного резца, приведены расчеты перемещений в зависимости от вылета резца, с учетом действия результирующей силы резания, которая вызывает пространственную деформацию резца. Теоретически рассчитана собственная частота державки расточного резца, которая учитывается при исследовании колебательного процесса. Разработана трехмерная компьютерная модель расточного резца, которая рассчитывается в приложении прочностного анализа АРМ FEM для исследования статических и динамических показателей.

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕНО
ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ РОЗТОЧУВАЛЬНИХ РІЗЦІВ

Гузенко В.С., Хорошайло В.В., Соловьев В.В.

У даній роботі представлено теоретичний розрахунок пружної лінії державки розточувального різця, приведені розрахунки переміщень залежно від вильоту різця, з урахуванням дії результируючої сили різання, яка викликає просторову деформацію різця. Теоретично розрахована власна частота державки розточувального різця, яка враховується при дослідженні коливального процесу. Розроблена тривимірна комп'ютерна модель розточувального різця, яка розраховується в додатку прочностного аналізу АРМ FEM для дослідження статичних і динамічних показників.

COMPUTER MODELLING AND CALCULATION OF TENSELY
DEFORMED CONDITION OF BORING CUTTERS

Guzenko V.S., Khoroshailo V.V., Solovjov V.V.

This article presents theoretical calculation of the elastic line of a holder of a boring cutter. Calculations of movements depending on a tool overhang, taking into account action of resultant force of cutting which causes spatial deformation of a cutter are given. Own frequency of a holder of a boring cutter which is considered at research of oscillatory process is theoretically calculated. The three-dimensional computer model of a boring cutter which pays off in the appendix of the strength analysis of АРМ FEM for research of static and dynamic indicators is developed.

Ключові слова: Розточувальний різець, державка, просторова деформація, виліт, сумарне переміщення, власна частота.

Ключевые слова: Расточной резец, державка, пространственная деформация, вылет, суммарное перемещение, собственная частота.

Key words: boring cutter, holder, spatial deformation, overhang, account action, own frequency.

Дата надходження статті: 6 травня 2013 р.

ЗМІСТ

Ковальов В. Д., Єфімов М. В., Разживін М. О., Палашек О. Г., Волошин О. І., Ковальов О. Г., Владимиров А. Ю., Волкогон В. М., Антонюк В. С., Мельнійчук Ю. О. Створення високоточного обладнання та виготовлення крупногабаритних деталей і устаткування 3

РОЗДІЛ 1

Процеси та інструменти механообробки

- Клименко С. А.** Шероховатість поверхності деталей из закаленных сталей после обработки однокромочным инструментом и инструментом с передней поверхностью в виде тела вращения 11
- Равська Н. С., Охріменко О. А., Майданюк С. В.** Визначення параметрів зрізуваного шару багатозубих дискових інструментів та торцевих фрез за допомогою комп'ютерних систем 3D проектування 20
- Матюха П. Г., Полтавець В. В., Габитов В. В., Лискун А. Л.** Определение силы поджима заготовки к рабочей поверхности круга, ограниченной точностью обработки, при плоском шлифовании на станке модели 3Г71 30
- Луців І. В., Шарик В. М.** Тонке точіння трирізцевою головкою з пружними напрямними та електромагнітним приводом 38
- Неченаев В. Г., Мышов М. С.** Моделирование повторного деформирования элемента стружки при фрезеровании профильных пазов для случая распределённого его нагружения 43
- Юхимчук В. М., Пасічник В. А., Татарин Я. В.** Підвищення ефективності застосування комбінованого осьового інструменту на верстатах з ЧПК 49
- Глоба О. В., Булах І. О., Милокост С. М.** Дослідження якості процесу свердління пкм з застосуванням осцилюючого руху інструменту 56
- Гейчук В. М., Гаврушкевич А. Ю., Галатович Д. І.** Магнітно-абразивна обробка зубчастих коліс в кільцевій ванні: аналіз кінематики 63
- Герасимчук О. М.** Визначення профілю різальної частини торцевої фасонної фрези, затилованої по колу 71
- Калиниченко В. В.** Принципы диагностики состояния инструмента с износостойким покрытием на основе контроля интенсивности разрушения покрытия при резании 78
- Кравченко Ю. Г.** Взаємовплив температурних полів передньої та задньої поверхонь леза 84

- Левченко Е. А.* Исследование режущей способности боковых поверхностей отрезного круга при абразивной разрезке труб 91
- Поперечный А. В., Солодкий В. И.* Изменение углов резания при обработке деталей червячной фрезой 97
- Студенец С. Ф.* Основные направления повышения работоспособности режущих протяжек, применяемых для обработки отверстий в деталях из чугунов 103
- Гах В. М., Носков В. В., Гах И. О., Носков К. В.* Исследование условий эксплуатации режущего инструмента на крупных токарных станках 111
- Ковалёв Д. Г., Мироненко Е. В.* Исследование связи среднего периода стойкости со скоростью резания на тяжелых карусельных станках. 117

РОЗДІЛ 2

Якість та надійність металорізального обладнання

- Гусев В. В., Калафатова Л. П., Олейник С. Ю.* Исследование влияния конструкции оправки на вибрации в зоне контакта алмазного круга и изделия при шлифовании крупногабаритных тонкостенных оболочек вращения из хрупких неметаллических материалов 122
- Ковалев В. Д., Мельник М. С.* Повышение жесткости гидростатических опор за счет применения системы автоматического регулирования с двумя дифференцирующими звеньями. 131
- Клименко Г. П., Синельников Н. Ю.* Управление приводом подачи глубокорасточного станка с целью гашения автоколебаний 138
- Антоненко Я. С., Ковалев В. Д., Линкевич С. А.* Исследование влияния многокоординатной упругой системы станка на жесткость технологической системы 145
- Адаменко Ю. І., Бесарабець Ю. Й.* Пристрій для обробки отворів у композиційних матеріалах 150
- Сукова Т. А., Шевченко Э. С.* Создание нового рационального металлорежущего оборудования для условий тяжелого машиностроения 155

РОЗДІЛ 3

Технологія машинобудування

- Михайлов А. Н., Петряева И. А., Михайлов Д. А., Михайлова Е. А.* Классификационные особенности и основные характеристики композиционных технологий в машиностроении 161
- Струтинський В. Б., Покінтелиця М. І.* Властивості поверхонь деталей, виготовлених комплексним методом термофрикційної і механічної обробки, та перспективи їх застосування в прогресивних конструкціях машин 169

- Родічев Ю. М.** Вплив технічного рівня виробництва скла на характеристики міцності 177
- Клочко А. А., Мироненко Е. В., Гаков С. А., Мельник М. С.** Методика выбора, назначения, технологического и метрологического обеспечения системы параметров поверхностного слоя цилиндрических крупномодульных зубчатых колес 183
- Пермяков А. А., Жижев А. А.** Технологическое обеспечение оптимального напряженно деформированного состояния рабочего слоя прокатных валков из высокохромистых сталей 191
- Турчанин М. А., Бережная Е. В., Малыгина С. В.** Техно-экономические преимущества электроконтактной наплавки режущего инструмента 198
- Витренко О. С., Витренко В. А., Воронцов Б. С., Кириченко И. А.** Накатка зубьев зубчатых колес при помощи гиперболоидных накатников 203
- Азарова Н. В., Цокур В. П., Маленко А. Н.** Влияние способов правки алмазного шлифовального круга на параметры его рабочей поверхности 208
- Ковалевский С. В., Стародубцев И. Н., Марченко Ю. В.** Упрочнение поверхностей мало жестких деталей 215
- Ковалевский С. В., Стародубцев И. Н., Носков К. В.** Исследование возможностей диагностики качества технологической системы на основе комплексной оценки параметров шероховатости обработки 220
- Грицай І. Є., Громнюк С. І.** Підвищення ефективності процесу нарізання зубчастих коліс на основі радіально-обертвого методу в умовах обкочування 226
- Захаров Т. Г., Мицык В. Я.** Эффективность технологии отделочно-зачистной обработки сложнопрофильных деталей мелкодисперсной псевдосжиженной рабочей средой 231
- Канашиевич Г. В.** Дослідження поверхневого шару оптичного скла після електронно-променевої обробки 237
- Мицык В. Я.** Эффективность отделочно-зачистной обработки в колеблющемся резервуаре с дефлектором рабочей среды 246
- Саункин В. Т., Онищук С. Г.** Исследование влияния технологических факторов на погрешность обработки деталей при врезном шлифовании 252
- Сирота А. А., Мицык В. Я., Зуев А. С.** Особенности отделочно-зачистной обработки деталей при факельном воздействии абразивной суспензии на дефектные поверхности 257
- Ткачук І. В., Майборода В. С., Джулій Д. Ю.** Вплив магнітно-абразивного оброблення на твердість поверхневого шару свердел із швидкорізальної сталі 263

<i>Шевченко О. А., Глоба А. В., Полищук Д. Н.</i> Влияние вида технологических поверхностей на прочность ремонтных соединений пкм и проектирование специального режущего инструмента для обработки ремонтных поверхностей	268
<i>Шелковой А. Н., Тимофеев Ю. В., Клочко А. А.</i> Технологическое обеспечение заданной системы параметров поверхностного слоя цилиндрических закаленных крупномодульных зубчатых колес	274
<i>Искович-Лотоцький Р. Д., Веселовська Н. Р.</i> Сучасні тенденції в технології розкочування кілець шарикопідшипників	281
<i>Власов А. Ф.</i> Разработка состава экзотермического флюса и способа электрошлакового переплава применительно к стали 35	293
<i>Колот Л. П., Онищук С. Г.</i> Зменшення залишкових деформацій нежорстких деталей	300
<i>Донченко Е. И., Шишкин А. В., Пантелеев А. Е.</i> Исследование системы контроля количества малоразмерных неметаллических объектов	305

РОЗДІЛ 4

Моделювання та оптимізація елементів технологічних систем

<i>Петраков Ю. В., Кореньков В. М., Мацківський О. С.</i> Ідентифікація процесу різання на верстаті з ЧПК	312
<i>Сорока О. Б., Родічев Ю. М., Ковальов В. Д., Васильченко Я. В.</i> Прогнозування втомної міцності твердих сплавів, оброблених імпульсним магнітним полем	317
<i>Залога В. А., Зинченко Р. Н.</i> Прогнозирование состояния режущего инструмента в процессе резания	324
<i>Клочко А. А., Тимофеев Ю. В., Шелковой А. Н.</i> Области оптимального управления параметрами точности, качества и производительности зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес	332
<i>Ковалевский С. В., Тулунов В. И., Стародубцев И. Н.</i> Формирование упорядоченных структур рабочих поверхностей деталей машин.	344
<i>Мироненко Е. В., Клочко А. А., Кошелева А. Д., Годзула И. Г.</i> Информационное моделирование технологических процессов зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес	351
<i>Стреляная Ю. О., Братан С. М.</i> Построение динамического звена моделирующего динамику отклонений формы заготовки при чистовом точении на тяжелых станках	359
<i>Dragana Labović, Slobodan Živković, Dušica Karić</i> The role and importance of large corporations in the world economy	369

<i>Milutinm. Milosavljević, Smiljka Milisavljević , Desimir Petković</i> Determination of thionocarbamates and dixanthogenates residues in waste water from chemical industrial	378
<i>Субботин О. В., Ставицкий В. О.</i> Математическое описание цифровой системы управления электроприводом постоянного тока	386
<i>Slobodan Živković, Dušica Karić, Dragana Labović</i> International trade and economic development	392
<i>Лашина Ю. В.</i> Интеграция программного обеспечения DFA EXPERT с системами трехмерного проектирования	399
<i>Slobodan Živković, Dušica Karić, Dragana Labović</i> Flows of international trade, growth, decline and structuring of transactions in international trade	405
<i>Гузенко В. С., Хорошайло В. В., Соловьев В. В.</i> Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния расточных резцов	413

ДЛЯ НОТАТОК

Наукове видання

НАДІЙНІСТЬ ІНСТРУМЕНТУ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

Збірник наукових праць
Випуск №32

Постанова президії ВАК України
від 9 червня 1999 р., №1-05/7
Рішення вченою ради ДДМА,
протокол №10 от 30.05.2013

Підп. до друку 3.06.2013
Ум. друк. арк. 19.27.
Тираж 100 прим.

Формат 60×84^{1/16}.
Обл.-вид. арк. 26,5.
Зам. № 46

Видавець і виготівник
"Донбаська державна машинобудівна академія"
84313, м. Краматорськ, вул. Шкадінова, 72
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру
серія ДК №1633 від 24.12.2003