

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ**



**ВАЖКЕ МАШИНОБУДУВАННЯ.  
ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ**

**МАТЕРІАЛИ  
XI Міжнародної  
науково-технічної конференції**

Краматорськ 2013

## УДК 621.9

Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали одинадцятої Міжнародної науково-технічної конференції 4 — 6 червня 2013 року / Під заг. ред. В. Д. Ковальова. — Краматорськ: ДДМА, 2013. — 132 с.

### ISBN 978-966-379-640-6

В збірнику наведені матеріали до вирішення актуальних проблем важкого машинобудування, конструювання, виготовлення та експлуатації машин, верстатів, інструментів, розробки та впровадження прогресивних енергозберігаючих технологій.

#### МІЖНАРОДНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Голова

**Федорінов В.А.,**

к.т.н., проф., ректор ДДМА

Члени комітету:

**Алієв І.С.,**

д.т.н., проф., проректор з НДР ДДМА

**Антонюк В.С.,**

д.т.н., проф., НТУУ "КПІ"

**Братан С.М.,**

д.т.н., проф., зав. каф. СевНТУ

**Бушуєв В.В.,**

д.т.н., проф., зав. каф. МДТУ "СТАНКИН", Росія

**Вітренко В.О.,**

д.т.н., проф., зав. каф. СУНУ ім. В. Даля

**Внуков Ю.М.,**

д.т.н., проф., проректор з НДР ЗДТУ

**Гавриш А.П.,**

д.т.н., проф., НТУУ "КПІ"

**Грабченко А.І.,**

д.т.н., проф., зав. каф. НТУ "ХПІ"

**Гусєв В.В.,**

д.т.н., проф., зав. каф. ДонНТУ

**Дашич П.,**

проф. ВТМІ, Трстенік, Сербія

**Дюбнер Л.,**

докт.-інж., проф., МТУ, Магдебург, Німеччина

**Ерентрайх Т.,**

директор «Гертнер», Німеччина

**Єфімов М.В.,**

ген. директор ПАТ "ЕМСС"

**Залого В.О.,**

д.т.н., проф., зав. каф. СумДУ

**Ілларіонов Р.,**

проф., проректор ТУГ, Болгарія

**Калафатова Л.П.,**

д.т.н., проф. ДонНТУ

**Клименко Г.П.,**

д.т.н., проф., зав. каф. ДДМА

**Клименко С.А.,**

д.т.н., проф., заст. директора ІНМ ім. В. Бакуля НАН України

**Ковальов В.Д.,**

д.т.н., проф., зав. каф. ДДМА

**Луців І.В.,**

д.т.н., проф., зав. каф. ТНТУ ім. І. Пулюя

**Матюха П.Г.,**

д.т.н., проф., ДонНТУ

**Мельничук П.П.,**

д.т.н., проф. ректор ЖДТУ

**Михайлов О.М.,**

д.т.н., проф., зав. каф. ДонНТУ

**Мироненко Є.В.,**

д.т.н., проф., декан ДДМА

**Музикант Я.А.,**

к.т.н., проф., заст. ген. директора ТОВ "ВНПінструмент"

**Нечепасєв В.Г.,**

д.т.н., проф., зав. каф. ДонНТУ

**Новіков М.В.,**

академік НАН України, директор ІНМ ім. В. Бакуля НАН України

**Павленко І.І.,**

д.т.н., проф., зав. каф. КДТУ

**Пасічник В.А.,**

д.т.н., проф., зав. каф. КДТУ

**Петраков Ю.В.,**

д.т.н., проф., зав. каф. НТУУ "КПІ"

**Равська Н.С.,**

д.т.н., проф., НТУУ "КПІ"

**Разживін М.О.,**

ген. директор ВАТ "КЗВВ"

**Рамазанов С.К.,**

д.т.н., проф., зав. каф. СЧУ ім. В. Даля

**Струтинський В.Б.,**

д.т.н., проф., зав. каф. НТУУ "КПІ"

**Суков Г.С.,**

к.е.н., ген. директор ЗАТ "НКМЗ"

**Тимофєєв Ю.В.,**

д.т.н., проф., зав. каф. НТУ "ХПІ"

ISBN 978-966-379-567-6

© ДДМА 2013

**MINISTRY OF EDUCATION, SCIENCE, YOUTH AND SPORTS OF UKRAINE  
DONBAS STATE ENGINEERING ACADEMY**



**HEAVY ENGINEERING.  
PROBLEMS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT**

**MATERIALS**  
of the XI International  
scientific and technical conference

Kramatorsk 2013

Heavy engineering. Problems and prospects of development. Materials of the tenth International scientific and technical conference — June 4-6, 2013 / Under the general edition V. Kovalov. — Kramatorsk: DSEA, 2013. — 132 p.

**ISBN 978-966-379-640-6**

In the collection are materials for solving urgent problems of heavy engineering, design, manufacture and operation of machines, machine tools, tools, development and deployment of advanced energy saving technologies.

#### INTERNATIONAL PROGRAM COMMITTEE

Chairman

**Fedorinov V.A.,** Ph.D., Prof., rector DSEA

Members of program committee:

**Aliev I.S.,** Dr., Prof., vice-rector DSEA

**Antonjuk V.S.,** Dr., Prof., NTUU "KPI"

**Bratan S.M.,** Dr., Prof., head of dep. SebNTU

**Bushuev V.V.,** Dr., Prof., head of dep. MSTU "STANKIN", Russia

**Dašić P.,** Prof. of HTMS of Trstenik, Serbia

**Dubner L.,** Dr., Prof., MTU, Magdeburg, Germany

**Erentrayh T.,** Gertner Service GmbH. company manager, Germany

**Gavrish A.P.,** Dr., Prof., NTUU "KPI"

**Grabchenko A.I.,** Dr., Prof., head of dep. NTU "KhPI"

**Gusev V.V.,** Dr., Prof., head of dep. DonNTU

**Ilarionov R.,** Prof., vice-rector of TUG, Bulgaria

**Kalafatova L.P.,** Dr., Prof., DonNTU

**Klimenko G.P.,** Dr., Prof., head of dep. DSEA

**Klimenko S.A.,** Dr., Prof., vice-director ISM NAS of Ukraine

**Kovalov V.D.,** Dr., Prof., head of dep. DSEA

**Lootsiv I.V.,** Dr., Prof., head of dep. TNTU

**Matyukha P.G.,** Dr., Prof. DonNTU

**Melnichuk P.P.,** Dr., Prof., rector ZhSTU

**Mihailov A.M.,** Dr., Prof., head of dep. DonNTU

**Mironenko E.V.,** Dr., Prof., dean DSEA

**Muzykant Y.A.** Prof., vice-director VNIInstrument

**Nechepaev V.G.,** Dr., Prof., head of dep. DonNTU

**Novikov N.V.,** Academician NAS of Ukraine, director ISM NAS of Ukraine

**Pavlenko I.I.,** Dr., Prof., head of dep. KSTU

**Pasichnyk V.A.,** Dr., Prof., head of dep. KSTU

**Petrakov Y.V.,** Dr., Prof., head of dep. NTUU "KPI"

**Ramazanov S.K.,** Dr., Prof., head of dep. EUNU

**Ravskaya N.S.,** Dr., Prof., NTUU "KPI"

**Razgivin N.A.,** General Director KZTS

**Strutinskij V.B.,** Dr., Prof., head of dep. NTUU "KPI"

**Sukov G.S.,** Ph.D., General Director NKMZ

**Timofeev Y.V.,** Dr., Prof., head of dep. NTU "KhPI"

**Vitrenko V.A.,** Dr., Prof., head of dep. EUNU

**Vnukov Y.N.,** Dr., Prof., vice-rector ZSTU

**Yefimov M.V.,** General Director EMSS

**Zaloga V.A.,** Dr., Prof., head of dep. SSU

## ДЛЯ ПОДАТОК

## ДЛЯ ПОДАТОК

## ДЛЯ ПОДАТОК

## ДЛЯ НОТАТОК



## **СТВОРЕННЯ ВИСОКОТОЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ КРУПНОГАБАРИТНИХ ДЕТАЛЕЙ І УСТАТКУВАННЯ**

**Ковальов В.Д.** (ДДМА, Краматорськ), **Єфімов М.В.** (ПАТ ЕМСС, Краматорськ), **Разживін М.О.** (ПАТ КЗВВ, Краматорськ), **Палашек О.Г.** (ПАТ КЗВВ, Краматорськ), **Волошин О.І.** (ПАТ НКМЗ, Краматорськ), **Ковальов О.Г.** (ПАТ ЕМСС, Краматорськ), **Владимиров А.Ю.** (ПАТ КЗВВ, Краматорськ), **Волкогон В.М.** (ІПМ НАНУ, Київ), **Антонюк В.С.** (НТУУ КПІ, Київ), **Мельнійчук Ю.О.** (ІНМ НАНУ, Київ)

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.

**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.

Створено важкі токарні верстати підвищеної точності моделей, які за своїми технічними характеристиками не поступаються кращим світовим аналогам

Виготовлені верстати поставлені машинобудівні підприємства України та багатьох країн. 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.

При цьому точність деталей, оброблених на цих верстатах вищепо 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. 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.

На створених 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. 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.

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.

**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, так і шляхом розширення експорту продукції виготовленої на цьому устаткуванні.

Динамічний розвиток відбувається в галузі вітрової енергетики, чому сприяла розробка нового важкого високоточного обладнання для металообробки.

Впровадження результатів роботи забезпечило підвищення продуктивності праці на 30-45%, дозволило збільшити кількість робочих місць як на підприємствах машинобудівної, металургійної, гірничодобувної та суднобудівельної галузі.

## **DIE METHODIK FÜR DIE LEBENSDAUER DER SCHWEISSKONSTRUKTIONEN**

Schepotko V., Makarenko N., Gavrisch P.  
(Donbass Staatliche Maschinenbau-Akademie, Kramatorsk, Ukraine)  
Grote K.-H., Postnikov J.  
(Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Deutschland)

Als Ziel der Ingenieurarbeit in der Maschinenbaubranche versteht man die Verbesserung der Konkurrenzfähigkeiten der Anlagen. Als einer der wichtigsten Parameter ist dabei die Betriebszuverlässigkeit der Schweißelemente. Die Arbeitsfähigkeit der Maschinen hängt vom Zustand der Stahlkonstruktion ab und ist für Förder- und Tagebautechnik besonders wichtig. Die Schädigungen infolge Ermüdung der Schweißkonstruktion, bilden bis zu 100% des vorzeitigen Versagens und bestimmen die Lebensdauer der Maschinen.

Das Technische Labor für Diagnostik der Staatlichen Donbass-Maschinenbau-Akademie (DGMA) leitet die Forschungen im Bereich der Betriebszuverlässigkeit der Schweißkonstruktionen schon seit 1978. Die Untersuchungen wurden sowohl an betrieblichen Objekten als auch an drei Versuchsanlagen durchgeführt. Das Verfahren, mit denen diese Versuchseinrichtungen gebaut wurden und die meisten Bauteile sind bereits patentiert. Es wurden mehr als 3000 Untersuchungen zur Diagnostik unterschiedlicher Förderanlagen durchgeführt. Es wurde festgestellt, dass mehr als 60% der bereits geprüften Maschinen Ermüdungen an den Stellen aufzeigen, wo nach den Vorberechnungen keine gefährlichen Spannungen entstehen sollten.

Es besteht das Problem, wie diese Schädigungen zu erklären sind.

### **FOLIE 1**

Von den Schweißnähten unabhängige Faktoren können dynamische Beanspruchungen und Schädigungen hervorrufen, die an den „...stellen“ zu Schädigungen infolge Ermüdung führen.

Die Beseitigung oder Verringerung dieser Einwirkungen verlängert die Lebensdauer der Schweißnähte.

Demgegenüber haben die schweißtechnischen Faktoren nur einen verhältnismäßig kleinen Einfluss auf die Festigkeit der Stahlkonstruktion.

### **FOLIE 2**

Erste Gruppe: Methoden, die zur Zeit vor allem zur Erhöhung der Festigkeit der Schweißnähte angewendet werden.

Zweite Gruppe: Methoden, die die konstruktive Ausführung der Schweißnähte verbessert. Dadurch können die Beanspruchungen in den Schweißnähten der Bauteilen herabgesenkt werden.

Dritte Gruppe: Beseitigung der Faktoren, die dynamische Beanspruchungen und Schädigungen durch den Betrieb des Brückenkrans hervorgerufen, insbesondere dynamische Beanspruchungen in den Kontaktstellen von Rad und Schiene.

Wenn bei der Konstruktion und Fertigung der Maschinen die Methoden zur Erhöhung der Ermüdungsfestigkeiten unwirksam angewendet wurden, werden sich nach der Inbetriebsetzung die "Stahlbauschwachstellen" zeigen. Die Arbeitsfähigkeit des Förderers kann dann nur durch termingerechte und qualitative Reparaturarbeiten gewährleistet werden. Es müssen die Gründe der Schädigungen festgestellt, mit einem technischen Vorschlag für die Reparatur entwickeln zu können.

Es können aber auch die Ursachen einer vorzeitigen Ermüdung bereits in Projektphase festgestellt und beseitigt werden. Es ist anzuwenden, dass für den Kunden diese Variante vorteilhafter ist.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ОПУСКАНИИ ГРУЗОВ КРАНАМИ МОСТОВОГО ТИПА

Аветисян С.М.

(ВНУ им. В. Даля, г. Луганск, Украина)

В настоящее время одним из наиболее эффективных путей осуществления плавного и точного опускания грузов является применение динамического торможения. Поэтому в панелях управления контроллерами механизмов подъема устанавливают устройства, реализующие указанный вид торможения двигателем (например, контроллеры ККТ65А, ККТ69А, ТСД).

Вместе с тем, не смотря на преимущества динамического торможения при опускании грузов, необоснованный выбор механических характеристик в указанном режиме может привести к значительному увеличению времени опускания или не позволяет существенно снизить динамические нагрузки.

В данной работе исследовались переходные процессы при опускании груза краном мостового типа, представленного трехмассовой динамической моделью, и влияние различных факторов на динамические нагрузки при опускании груза мостовым краном в режиме динамического торможения.

Исследования проведены на примере мостового крана грузоподъемностью 20/5т, с помощью разработанной многофункциональной компьютерной программы [1].

Разработанные математическая модель мостового крана и программное обеспечение позволяют рассчитывать нагрузки в металлоконструкции и канатах, перемещения, скорости и ускорения элементов крана и груза при его опускании в различных режимах.

В результате проведения и обработки, переходных процессов при опускании грузов в режиме динамического торможения, определены зависимости времени опускания номинального груза и зависимости коэффициентов динамичности в канатах  $K_k$  и металлоконструкции крана  $K_m$  от высоты опускания и механических характеристик электропривода в режиме динамического торможения, на которых осуществляется спуск груза.

Результаты исследований показали, что коэффициенты динамичности нагрузок в канатах  $K_k$  и металлоконструкции крана  $K_m$  зависят от высоты опускания и уменьшаются при её увеличении. Наименьшие коэффициенты динамичности  $K_k$ ,  $K_m$  и наиболее быстрый спуск груза были получены при опускании на 1-й механической характеристике.

Литература:

1. Аветисян С.М., Неженцев А.Б. Программное обеспечение для исследова-ния переходных процессов грузоподъемных кранов (часть 2: при работе механизмов подъема грузов // Підйомно-транспортна техніка, № 1(9). - Дніпропетровськ, 2004. – с. 83-95.

## СТУПІНЧАСТА ОБРОБКА ОТВОРІВ У КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛАХ

Адаменко Ю.І., Бесарабець Ю.Й.  
(НТУУ "КПІ", Київ, Україна)

Операція обробки отворів у деталях з композитів є однією з найбільш розповсюджених та відповідальних. Композиційні матеріали 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.

Розшарування виникає внаслідок розділення суміжних шарів композиту під дією зовнішніх сил. Схильність багат шарових 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.

З метою підвищення якості обробки отворів було розроблено спеціальний пристрій для ступінчастого свердління композитів. Пристрій складається з комбінованого різального інструменту та різальної втулки. Робоча частина інструменту складається з першого ступеню - центральної різальної пластини. Ця пластина обробляє попередній отвір на прямій подачі. Другий ступінь обробляється поворотним ножом на зворотній подачі. Вихід різальної кромки з деталлю є найбільш небезпечним з точки зору утворення розшарувань, сколів та ворсистості. 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.

Експериментальні дослідження ступінчастого способу свердління отворів у полімерних композиційних матеріалах підтвердили ефективність його застосування.

## **ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПРАВКИ АЛМАЗНОГО КРУГА НА ПАРАМЕТРЫ ЕГО РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Азарова Н.В., Цокур В.П., Маленко А.Н.  
(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

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. Поскольку режущая способность круга и силы резания определяются параметрами рабочей поверхности круга (РПК), совершенствование способов определения характеристик РПК является актуальной задачей.

Цель работы: установление влияния способов правки алмазного шлифовального круга на характеристики его рабочей поверхности при автоматическом формировании выборок исследуемых параметров РПК на ПЭВМ.

Исследования проводили на измерительном комплексе, позволяющем регистрировать на ПЭВМ рельеф рабочей поверхности кругов на металлической связке с выделением рельефа зерен и связки.

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 АС6 100/80-4-М2-01 в состоянии поставки (правка шлифованием абразивным кругом в заводских условиях) и после электроэрозионной правки оценивали следующие параметры РПК: разновысотность зерен относительно наиболее выступающего зерна, расстояние между зернами и выступание зерен из связки.

Установлено, что средняя разновысотность зерен, сформированная электроэрозионной правкой, превышает среднюю разновысотность, сформированную правкой шлифованием абразивным кругом, в 1,6 раза; среднее расстояние между зернами на РПК, сформированной электроэрозионной правкой, превышает аналогичную характеристику РПК, сформированной правкой шлифованием абразивным кругом, в 2,2 раза; средняя высота выступания зерен из связки после правки электроэрозионным способом в 1,5 раза превышает аналогичный параметр после правки шлифованием абразивным кругом (максимальная – в 2,3 раза.). Процент вскрытых зерен после электроэрозионной правки составляет 37,5 – 40 %, что в 2,5 раза превышает аналогичный параметр после правки шлифованием абразивным кругом.

Рельеф круга после электроэрозионной правки более выражен. Электроэрозионная правка обеспечивает более высокую режущую способность круга и уменьшает вероятность контактирования связки с обработанной поверхностью в процессе шлифования, что в свою очередь будет способствовать снижению сил резания. Таким образом, при подготовке алмазного круга на металлической связке предпочтение необходимо отдать электроэрозионной правке.

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ПРИВОДОВ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ ЗЕМЛЕРОЙНЫХ МАШИН**

Алешичев П.В., Москаленко И.Г.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Мировой финансовый кризис оказывает негативное влияние на экономическое положение стран СНГ и Евросоюза. Но несмотря на это рост объемов земляных работ продолжается и требует создания высокопроизводительной мобильной скоростной землеройной техники: машин, оборудования, инструментов, рабочих органов. Поэтому поиск новых физических эффектов процесса разрушения, эффективных способов воздействия на рабочие среды; разработка способов интенсификации рабочих процессов землеройных машин – актуальная задача для ученых и инженеров.

В литературных источниках, посвященных разрушению грунтов, приведены исследования процессов вибрационного, ударного, высокоскоростного разрушения грунтов. Конструкции и основы расчетов приводов землеройных машин на основе волновой цепной передачи ранее рассматривались лишь профессором Крупко В.Г. и автором.

Целью данной работы является обоснование эффективности применения комбинированного привода на основе волновой цепной передачи в исполнительных механизмах землеройных машин, что обеспечивает снижение энергоемкости процесса копания.

В ходе теоретических исследований получены схемы и математические модели движения рабочих органов землеройных машин с комбинированными приводами на основе волновой цепной передачи. При копании рабочий орган перемещается по забою дискретно, обеспечивая дополнительное разрушение связей частиц грунта, нарушая образование «ядра уплотнения». Частота импульса зависит от параметров волновой цепной передачи (диаметров звездочек, количества катков) для различных типов грунтов. С помощью теории механизмов и машин, теоретической механики, прикладной математики построена методика для определения геометрических и кинематических параметров комбинированного привода. Экспериментальные исследования на стенде, созданном с помощью физического и математического моделирования и установленного в лаборатории кафедры ПТМ ДГМА, подтверждают справедливость теоретических исследований и доказывают эффективность комбинированных приводов на основе волновой цепной передачи. Энергоемкость процесса копания благодаря использованию комбинированного привода снижается на 15% по сравнению с традиционными приводами землеройных машин.

Данные, полученные в ходе исследований, позволяют судить об эффективности волновой цепной передачи для комбинированных приводов землеройных машин, что открывает широкие перспективы в направлении интенсификации земляных работ, усовершенствованию конструкций приводов, снижению энергоемкости рабочих процессов землеройных машин.

## БОКОВОЕ ВЫДАВЛИВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ С ОТРОСТКАМИ

Алиев И.С., Жукова О.А., Абхари П.Б.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Поперечное боковое выдавливание является эффективным и конкурентоспособным методом изготовления сплошных и полых асимметричных деталей с боковыми отростками разной конфигурации и сечения.

В ходе математических и физических экспериментов исследовали последовательность формообразования деталей при боковом выдавливании, отклонение формы отростков, характер и причины их возникновения (рис. 1).

При выдавливании круглых отростков одним из наиболее существенных дефектов является дефект формы торца отростков в виде незаполнения полости матрицы. Особенно существенно этот дефект проявляется при односторонней подаче и может быть значительно снижен при деформировании с двухсторонней подачей металла в полость разъемной матрицы. При выдавливании отростков прямоугольного сечения характерным искажением формы отростка является образование закругленной кромки («языка») отростка. Выдавливание отростков на двух по высоте уровнях происходит неравномерно: ближний к деформирующему пуансону отросток формируется более интенсивно.

Методом конечных элементов в программном пакете DEFORM 3D было исследовано распределение степени деформации и выполнена оценка физико-механического состояния деформируемого металла в очаге интенсивной пластической деформации.



Рис. 1. Детали, полученные способом бокового выдавливания.

Рассмотрены параметры искажения делительной сетки при боковом выдавливании отростка при различных кинематических вариантах исполнения детали с отростками. Для бокового выдавливания с односторонней подачей характерна наибольшая неравномерность и несимметричность распределения деформаций, которая может привести к разрушению на границе очага деформации.



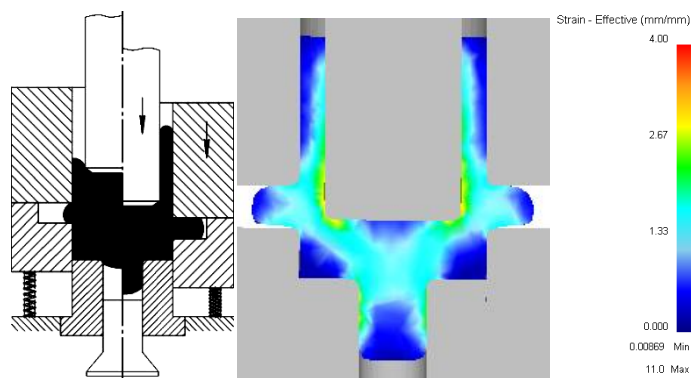
## КОМБИНИРОВАННОЕ ТРЕХСТОРОННЕЕ ВЫДАВЛИВАНИЕ СЛОЖНОПРОФИЛИРОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Алиева Л.И., Деревенько И.А., Шкира А.В.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Разработка и исследование новых технологических способов деформирования — одно из наиболее важных направлений интенсификации процессов точной объемной штамповки. Значительно расширить номенклатуру штампуемых деталей и область применения выдавливания можно, осваивая способы, основанные на сочетании прямого, обратного и поперечного (бокового или радиального) выдавливания. Помимо преимуществ, характерных для комбинированных схем (оптимальный и саморегулируемый силовой режим, большие степени формоизменение, повышение стойкости инструмента), способы выдавливания в поперечном направлении отличаются заметным увеличением сложности формы деталей, получаемых штамповкой.

Простые схемы прямого, обратного и поперечного выдавливания комбинируют в различных вариантах. Сочетание простых схем может быть совмещенным или последовательным как по времени, так и по пути деформирования. Очаги деформации (истечения) могут быть совмещенными или локализованными как подвижными, так и неподвижными.

Для большинства способов комбинированного выдавливания базовой схемой служит схема выдавливания с тремя степенями свободы течения металла в штампе, содержащем независимо подвижные составные (из двух частей) рабочие инструменты: матрицу, пуансон и противополопуансон.



На рисунке показана общая схема комбинированного трехстороннего выдавливания и поле деформаций, полученное конечно-элементным моделированием. Наибольшие степени деформации сосредоточены у переходных кромок пуансона и полуматриц. В полости стакана на уровне фланца возможно образование утяжины. Слабodeформированные зоны наблюдаются на периферии фланца и у кромок стакана и отростка

## СИЛОВОЙ РЕЖИМ ПРОЦЕССА ВЫСАДКИ

Алиева Л.И., Мартынов С.В., Амелин С.О.  
(ДГМА, г.Краматорск, Украина)

В машиностроении распространены детали типа втулок с внутренним фланцем, такие как корпуса, накидные гайки, крышки, стаканы с отверстием и т.д. Традиционные способы получения подобных деталей это литье и механическая обработка, которые характеризуются соответственно низким качеством и большими потерями металла в стружку. Способы точной объемной штамповки позволяет получать подобные детали на холодно, с высоким качеством поверхности и повышенными, по сравнению с исходным состоянием, прочностными характеристиками металла. Однако отсутствие рекомендаций по выбору прессового оборудования и расчета инструмента сужают область применения этих процессов.

Поэтому, цель данной работы – исследование силового режима процесса высадки внутреннего фланца, на холодно, методом верхней оценки из трубчатой заготовки.

При решении задачи энергетическим методом верхней оценки. Объемная осесимметричная задача сводится к плоскому деформированному состоянию. Очаг деформации разбивается на ряд жестких зон. Деформация сводится к перемещению этих зон относительно друг друга. Соблюдение кинематических граничных условий проверяется построением годографа скоростей. Зоны 1 и 0 являются жесткими недеформируемыми.

Приведенное давление  $\bar{p}$  после проведения оптимизации по параметру  $i$ , характеризующему положение очага деформации, рассчитывается по формуле (1):

$$\bar{p} = \frac{1}{2 \cdot (1 - \bar{R}_k) \cdot \bar{h}} \cdot \left[ \begin{aligned} & \left( \sqrt{(1 - \bar{R})^2 + (0.7 \cdot \bar{h})^2} \right)^2 + \left( \sqrt{(1 - \bar{R})^2 + (\bar{h} - 0.7 \cdot \bar{h})^2} \right)^2 + \\ & + (\bar{h}^2 - 0.7 \cdot \bar{h}^2) + \left( \sqrt{(1 - \bar{R}_k)^2 + \bar{h}^2} \right)^2 + \\ & + 2 \cdot \mu_s \cdot \left[ \begin{aligned} & 0.7 \cdot \bar{h}^2 + (\bar{R} - \bar{R}_k) \cdot (1 - \bar{R}) + \\ & + (\bar{R} - \bar{R}_k) \cdot (1 - \bar{R}_k) \end{aligned} \right] \end{aligned} \right]. \quad (1)$$

Увеличение высоты фланца до величины  $\bar{h}_1 = 0.35$ , приводит к снижению приведенного давления, что объясняется уменьшением степени деформации, а при дальнейшем увеличении высоты фланца наблюдается незначительное монотонное повышение приведенного давления.

При увеличении величины радиуса величина приведенного давления деформирования уменьшается. Для трения  $\mu_s = 0..0,2$  наблюдается точка минимума давления.

Проведено исследование силового режима процесса высадки внутреннего фланца методом верхней оценки из трубчатой заготовки. Оптимальным значением параметра  $i$ , характеризующего положение очага деформации, является 0,7. Установлено влияние трения, высоты фланца и радиуса оправки на приведенное давление деформирования.

## ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТУПЕНЧАТОЙ СХЕМОЙ РЕЗАНИЯ

Аносов В.Л., Гузенко В.С., Миранцов С.Л.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Повышение производительности при торцевом фрезеровании может быть достигнуто за счет увеличения сечения срезаемого слоя, которое, в свою очередь, определяется глубиной резания, подачей и углом в плане. Увеличение сечения срезаемого слоя ограничивается износостойкостью и прочностью режущих элементов, а также виброустойчивостью технологической системы. Решением этой проблемы является использование ступенчатой схемы фрезерования. Эта схема реализована в предложенной конструкции кассетной торцевой фрезы в которой рядом расположенные ножи имеют различный вылет и углы в плане [1], в частности  $\varphi_1=60^\circ$  и  $\varphi_2=75^\circ$ .

Применение конструкций фрез с делением среза по ширине позволяет снизить уровень колебаний при черновом торцевом фрезеровании при сохранении и увеличении сечения срезаемого слоя. Прерывистая режущая кромка позволяет уменьшить интенсивность напряжений и деформаций, что в свою очередь, значительно снижает энергозатраты на резание и сказывается на уменьшении составляющих силы резания, таким образом, позволяя управлять автоколебательным процессом. При этом значительно изменяется влияние геометрических параметров режущих кромок инструмента, жесткости технологической системы, а также сил сопротивления (демпфирования) при работе каждого зуба фрезы на амплитуду автоколебаний.

Варьируя пропорциями деления среза по ширине можно управлять интенсивностью колебательного процесса. Это связано с тем, что динамическая характеристика резания прямо пропорциональна силе резания, а также имеет место запаздывание силы резания с увеличением толщины среза по экспоненциальному закону с постоянной времени стружкообразования  $T_p$ .

На динамическую устойчивость процесса торцевого фрезерования также оказывает влияние способ крепления зубьев фрезы, т.е. компактная жесткость стыков. С увеличением контактной деформации жесткость возрастает у всех нелинейных упругих элементов.

Был предложен метод расчета динамической жесткости процесса резания при торцевом фрезеровании сборными фрезами больших диаметров с учетом нелинейных упругих элементов.

Разработана модель возникновения автоколебаний и на ее базе предложен метод управления интенсивностью автоколебательного процесса, заключающийся в делении среза по ширине между зубьями, что обеспечивает как изменение толщины среза, так и изменение глубины резания.

Торцевые фрезы с делением среза по ширине между зубьями обеспечивают повышение производительности обработки за счет подавления автоколебаний, так как частота и амплитуда возбуждающих факторов меняются на каждом зубе.

**Литература:** 1. Патент України №32149. Гузенко В.С., Бабін О.Ф., Аносов В.Л. Фреза торцева зі ступінчастою схемою різання.

## **ЖЕСТКОСТЬ НЕСУЩЕЙ СИСТЕМЫ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ**

Антоненко Я.С., Ковалев В.Д., Линкевич С.А.  
(ДГМА, г.Краматорск, Украина)

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. 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. 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.

Анализ расчетных схем, построенных на основании изложенной концепции показывает, что жесткость многокоординатной упругой системы станка является величиной переменной и зависит от соотношения составляющих  $R_z$  и  $R_y$  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. 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.

На основании расчета граничных значений распределенных нагрузок, которые действуют на станину, произведено моделирование силовых деформаций. Разработан метод компоновки станин тяжелых токарных станков с системой сил распределенных по координатным осям нагрузок, которые действуют на станок в процессе его работы.

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.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

Богданова Л. М., Васильева Л. В., Балычев И. И., Гузенко Д. Е.  
ДГМА, г. Краматорск, Украина.

Одним из узких мест технологической подготовки производства является поиск оптимальных параметров технологических процессов (ТП) при механической обработке деталей. Для этого необходимо решать задачи многокритериальной оптимизации, которые имеют большое количество нелинейных функций-ограничений, большую размерность целевой функции и взаимозависимость ее составляющих.

Анализ показал, что разные концепции представления и обработки знаний не могут в отдельности решить проблемы выбора оптимальных параметров ТП. Для решения задачи было использовано объединение разных методов представления и обработки знаний в одной системе, называемой гибридной интеллектуальной системой.

Созданная программа, использует для решения задачи стохастической оптимизации параметров механической обработки нейронную сеть и генетический алгоритм. Такое объединение может быть вспомогательным и равноправным. В случае вспомогательного объединения один из методов служит для подготовки данных, методы выполняются последовательно. Во втором случае оба метода применяются одновременно. Рассмотрим вспомогательное объединение, т.к. именно эта схема используется в данной работе.

Нейронная сеть и генетический алгоритм применяются последовательно один за другим. Нейронная сеть используется для формирования исходной популяции и отбора родительских хромосом в последующие популяции для генетического алгоритма. Обучающая выборка для нейронной сети формируется на основе значений глубины резания, подачи, скорости резания для исследуемой операции технологического процесса.

При формализации задачи для генетического алгоритма глубина резания, подача, скорость резания интерпретировались как гены, из сочетания которых случайным образом формировались хромосомы. Допустимое сочетание глубины резания, подачи, скорости резания в хромосоме отбиралось с помощью обученной нейронной сети. Многокритериальная оптимизация основывалась на отыскании решения одновременно оптимизирующего функции производительности, расхода инструмента, стоимости инструмента.

### **Литература**

1. Лю Б. Теория и практика неопределенного программирования / Б. Лю; Пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. – 416 с.: ISBN 5-94774-241-1.
2. Хагет Г.Л., Еськов А.Л., Черномаз В.Н., Краснокутская Л.В. Многокритериальная и многопараметрическая оптимизация – Краматорск ДГМА, 1994 – 97 с.

## СПОСОБ ОЦЕНКИ УРОВНЯ НАГРУЖЕННОСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ МОСТОВОГО КРАНА

Бойко Г.А.

(ВНУ им. В. Даля, г. Луганск, Украина)

Одним из основных критериев (параметров) технического состояния металлоконструкций кранов является уровень нагруженности металлоконструкции под которой понимают состояние объекта, вызванное внешними воздействиями и условиями функционирования.

Для оценки уровня нагруженности металлоконструкции мостовых кранов предлагается способ его определения по величине потребляемой активной мощности электродвигателя механизма подъёма груза и электродвигателя механизма передвижения крана. Потребляемая активная мощность зависит от массы поднимаемого груза (для механизма подъёма) и нагрузок, воспринимаемых металлоконструкцией крана при его передвижении по подкрановому пути (для механизма передвижения крана). Во время работы крана непрерывно определяются значения активной мощности потребляемой электродвигателем механизма подъёма груза и механизма передвижения крана. Суммарные текущие значения активных мощностей электродвигателей сравниваются в цифровом вычислительном блоке со значениями зависимости потребляемой активной мощности от массы поднимаемого груза и нагрузок от сил внешнего воздействия на кран. Указанная зависимость вводится в память цифрового запоминающего блока устройства для реализации предлагаемого способа. Для построения зависимости с достаточной точностью необходимо получить две рабочие точки: при работе крана без груза и с массой груза близкой к номинальной. По потребляемой активной мощности двигателя механизма подъёма определяется нагруженность металлоконструкции от массы поднимаемого груза на основе зависимости  $P=f(m)$ , которая фиксируется с помощью блока визуальной индикации. По потребляемой активной мощности двигателя механизма передвижения крана определяется нагруженность металлоконструкции от сил внешнего воздействия на кран (силы сопротивления передвижению крана, ударные нагрузки на стыках рельсов и т.д.), которая также фиксируется с помощью блока визуальной индикации.

Предлагаемый способ позволяет предотвратить возможность подъёма груза, масса которого превышает номинальную грузоподъёмность крана, а также оценить в целом уровень нагруженности металлоконструкции крана.

## **РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ ТЕРМООБРАБОТКИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ 40X12B4K2Ф ПОСЛЕ НАПЛАВКИ САМОЗАЩИТНОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ**

Бойко И.А., Гринь А.Г.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Инструмент, наплавленный разработанной самозащитной порошковой проволокой типа ПП-40X12B4K2Ф применяется в состоянии после наплавки с последующей закалкой и отпуском.

Для исследования влияния различных режимов термической обработки на свойства наплавленного и основного металла производились наплавки этого состава самозащитными порошковыми проволоками на пластины размером 20x60x250 мм из стали 45 и 38ХН3МФА. С целью предотвращения образования кристаллизационных и закалочных трещин заготовки предварительно подогревали в камерной электропечи до температуры 350 °С. Все образцы после наплавки 4...5 слоев охлаждались вместе с печью.

Образцы для замеров твердости, исследования макро- и микроструктуры, а также рентгеноструктурного анализа изготавливались путем порезки наплавленных пластин на темплеты толщиной 10...12 мм перпендикулярно оси наплавки. Порезка образцов выполнялась вулканитовыми кругами на режимах, предотвращающих нагрев металла в зоне резки выше 150...200 °С.

За меру чувствительности к закалочным трещинам принимали количество образцов (в % от общего числа закаленных по данному режиму), на которых обнаруживались трещины. Для определения чувствительности наплавленного металла типа 40X12B4K2Ф к трещинам при закалке с различных температур производилась наплавка на пластины из стали 45 в 8...10 слоев с предварительным подогревом, предупреждающим образование трещин при наплавке. Перед закалкой образцы предварительно подогревались в камерной печи до температуры 600 °С, а затем помещались в печь, нагретую до температуры закалки. Закалку образцов производили с температуры нагрева 950, 1000, 1050, 1100, 1150 °С в масле. Для каждой температуры закалки изготовлено по 5 образцов. Наличие трещин определялось визуально после травления в 10 % - ном водном растворе азотной кислоты в течение 0,3 часа.

Как показали результаты исследований с увеличением температуры закалки с 950 до 1150 °С чувствительность к трещинообразованию возрастает. При температурах закалки 110 и 1150 °С количество образцов с закалочными трещинами составляет 10...20 % от общего количества образцов, закаленных при данной температуре.

Таким образом, для обеспечения требуемых свойств наплавленного металла необходимо выполнить термическую обработку по следующему режиму:

- нагрев до температуры 1050 °С;
- выдержка 30...40 мин.
- охлаждение в масле;
- отпуск при температуре 350...400 °С в течение 1-2 часов.

## О РАСЧЕТЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ТОРМОЗНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЗМОВ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ

Будиков Л.Я., Шишкин Р.В.  
(ВНУ им. В. Даля, г. Луганск, Украина)

В случае оборудования кранов управляемыми тормозными устройствами становятся актуальными задачи формирования тормозных характеристик, обеспечивающих оптимальное (рациональное) торможение.

Разработан метод расчета оптимальных тормозных характеристик механизмов грузоподъемных кранов, базирующийся на многопараметрическом анализе переходных процессов. Оптимизация предполагает выбор (расчет) и реализацию такого закона изменения тормозной силы механизма, при котором основные параметры переходного процесса (*время торможения  $t_{Ti}$ , максимальные динамические нагрузки металлоконструкции  $P_{mi}^{max}$  и привода  $P_{при}^{max}$ , максимальная амплитуда отклонения груза от вертикали  $A_i^{max}$  и др.*) принимают наиболее приемлемые значения.

Вследствие случайного характера тормозных процессов, решение такой оптимизационной задачи возможно, если рассматривать процесс торможения как детерминированный. В этом случае решение включает следующие этапы:

- построение динамической и математической моделей крана;
- определение переменных (факторов), задающих (описывающих) тормозную характеристику механизма в  $i$ -ом вычислительном эксперименте;
- выбор обобщенного критерия «качества» тормозного процесса. Оценка «качества» переходных процессов производится по совокупности параметров. В качестве обобщенного критерия использована обобщенная функция желательности. Для нахождения ее значений в каждом опыте значения параметров  $t_{Ti}$ ,  $P_{mi}^{max}$ ,  $P_{при}^{max}$ ,  $A_i^{max}$  преобразовываются в значения безразмерных функций желательностей  $d_{1i} = f_1(t_{Ti})$ ,  $d_{2i} = f_2(P_{mi}^{max})$ ,  $d_{3i} = f_3(P_{при}^{max})$  и  $d_{4i} = f_4(A_i^{max})$ , а последние - в значение обобщенной желательности  $D_i$  (здесь  $i$  – порядковый номер опыта, в данном случае вычислительного);
- расчет (определение) оптимальной (рациональной) тормозной характеристики механизма передвижения методом крутого восхождения.

Движение по градиенту продолжается, пока имеет место улучшение обобщенного критерия оптимизации. Как только его значение начнет уменьшаться, то либо задача оптимизации решена (если исследователя удовлетворяют полученные результаты), либо проводится новая серия опытов с центром, соответствующим условиям лучшего достигнутого результата.

Метод позволяет рассчитывать оптимальные тормозные характеристики механизмов передвижения (поворота) грузоподъемных кранов с учетом действительного распределения масс, жесткостей упругих элементов и др., чего не предусматривают существующие методы расчета.



## **ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ КОМПОНОВКИ СТАНКОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА БАЗЫ ЗНАНИЙ О ПРЕДПРИЯТИЯХ ТЯЖЕЛОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Васильченко Я.В., Сукова Т.А., Шевченко Э.С., Лобов А.В.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Создание нового рационального металлорежущего оборудования для условий тяжелого машиностроения во многом зависит от качества решения задач на этапе его технологического проектирования. Компоновка несущей системы очень важна. Она влияет на многие технико-экономические показатели станка когда определяются технологические возможности и основные параметры машин. Очевидно, что параметры оборудования целесообразно формировать в зависимости от характеристик обрабатываемых 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.

Создана база знаний об обрабатываемых деталях на предприятиях тяжелого машиностроения. При разработке ее структуры учитывалось требование обеспечения базой знаний быстрого доступа к каждому элементу информации. Для этого в ней отражены естественные логические связи между данными, на основании которых при решении задач выполнялась выборка нужных элементов информации без обработки остальной информации.

При наличии основных признаков задача группирования деталей решена методом кластерного анализа. Представлено условное расположение объектов в виде точек на плоскости. Первым этапом решения задачи поиска кластеров являлось вычисление расстояний или близости между объектами или признаками. Разработана и представлена информационная модель детали, которая является основной структурной единицей базы знаний.

Эта информация 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.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЯЖЕЛОГО ТОКАРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЗА СЧЕТ РАЗРАБОТКИ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ВЫБОРУ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ**

Васильченко Я.В., Шаповалов М.В., Михайлюк А.В.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Основная группа оборудования машиностроительных предприятий Украины - это токарные станки. На тяжелых токарных станках с числовым программным управлением производится механическая обработка широкой номенклатуры деталей, таких как прокатные валки, роторы турбин, колесные пары железнодорожного и горного транспорта, корабельные гребные валы и многое другое. Скорейшая модернизация тяжелого машиностроения представляет собой системный фактор, который определяет экономическое состояние Украины в ближайшем будущем. Поэтому повышение эффективности работы тяжелого токарного оборудования является актуальной задачей.

Для обеспечения конкурентоспособности продукции тяжелого машиностроения необходимы новые станки, обеспечивающие высокую точность и производительность обработки деталей, с применением современных инструментов и разработка нормативов режимов резания для них. Для решения проблемы обеспечения высокопроизводительной и высокоточной автоматизированной обработки деталей тяжелого машиностроения, создана база знаний о работе режущего инструмента на тяжелых станках. Использован ранее существующий банк данных, который дополнен новыми претендентами, в том числе об обработке новых марок труднообрабатываемых материалов, новых конструкций тяжелого оборудования и режущего инструмента.

Проанализированы типовые детали представители для тяжелого машиностроения типа вал, ротор, обечайка, траверса, ролик и т.д., с технологиями их изготовления и применяемых инструмента и оснастки.

Исследованные условия обработки типовых деталей являются базой для назначения характеристик станков для обработки таких деталей и нормативов режимов резания.

Разработаны рекомендации по выбору режимов резания для нового поколения тяжелых токарных станков.

Нормативы отличаются от ранее существующих применением новых моделей оборудования, учитывающих повышение прочностных характеристик новых инструментальных материалов и конструкций инструмента.

Нормативы предусматривают расширение технологических возможностей, повышение производительности, точности и качества обработки на новом оборудовании.

## ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ВИНТОВЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Витренко А.В., Воронцов С.Б., Грязев А.А.  
(ВНУ им. В. Даля, г. Луганск, Украина)

Многозаходные гиперболоидные зубчатые колеса, применяемые в винтовых зубчатых передачах, нашли широкое распространение в промышленности всего мира. Существующие передачи, как правило, имеют точечный характер касания зубьев, однако в настоящее время удалось получить линейный характер касания зубьев при передаточном отношении больше восьми. В промышленности нет никаких технологических проблем с изготовлением высокоточного червяка, а нарезать высокоточное колесо пока не удается. Такое положение объясняется тем, что основная инструментальная и производящая поверхности зуборезного инструмента при их изготовлении не совпадают.

В представленной работе рассматривается изготовление зубьев на одном из зубчатых колес входящих в винтовую зубчатую передачу. В данном случае это зубчатое колесо получено на однополостном гиперболоиде. До этого нарезались зубчатые колеса на квазигиперболоидных заготовках, заготовках вида «однополостной гиперболоид», а на однополостном гиперболоиде нарезать зубья пока не удавалось. Для того, чтобы нарезать зубья на однополостном гиперболоиде, необходимо подавать производящее зубчатое колесо (инструмент) вдоль его прямолинейной образующей. Однако в промышленности очень сложно получить такое зубчатое колесо, что связано с определенными технологическими трудностями, обусловленными конструктивными особенностями зубофрезерных станков.

В представленной работе показана методика нахождения геометрии гиперболоидного зубчатого колеса в зависимости от схемы его формообразования, а также станочного оборудования на котором изготавливалось это зубчатое колесо. Наиболее ценным, является то, что впервые в мировой практике удалось нарезать гиперболоидные зубчатые колеса на универсальном оборудовании с ЧПУ.

## РАЗРАБОТКА СОСТАВА ЭКЗОТЕРМИЧЕСКОГО ФЛЮСА И СПОСОБА ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СТАЛИ 35

Власов А.Ф.  
ДГМА, г.Краматорск, Украина

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 объема осуществляется в дуговом режиме. Данный способ характеризуется нестабильностью (частыми короткими замыканиями), неравномерным и длительным расплавлением флюса (низкой производительностью) и потерей металла донной части слитка, идущего в обресть (от 5 до 10% от общей массы слитка).

С целью определения возможности получения восстановленного металла с заданным химическим составом и сокращения количества экспериментов разработана композиция экзотермического флюса, состоящая из механической смеси окислы, алюминиевого порошка, легирующих элементов в виде ферросплавов (ферромарганца и ферросилиция) и стандартного флюса (АНФ-6), применительно к электрошлаковому переплаву стали 35 производилась с применением метода математического планирования эксперимента.

Все плавки производились на "твёрдом" 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...10 мм/мин. В качестве расходного электрода использовался прокат из стали 35 диаметром 130 мм. При этом масса экзотермического флюса составляла 3 кг, а рабочего флюса АНФ-6 – 6 кг.

Для определения химического анализа восстановленного металла стружка бралась из торцевой донной части слитка. Химический состав образованного восстановленного металла при ЭКЛ удовлетворяет требованиям ГОСТ 977-75 к литой стали 35 только при отношении окислы к алюминиевому порошку ( $\alpha$ ) равному 4,0. При других значениях  $\alpha$  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.

При плавлении экзотермического флюса восстанавливается железо (~70% от массы окислы), которое оседает на поддон или затравку и образует нижнюю часть отливки, в последствии удаляемую в обресть; рафинированный же металл расходного электрода ложится на образовавшийся слой из восстановленного железа и начинается формирование качественной отливки. В результате этого потери расходного 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.

## ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЕ КОКИЛЬНОЕ ЛИТЬЕ ДЕТАЛЕЙ ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Власов А.Ф.  
(ДГМА, г.Краматорск, Украина)

Одна из важнейших задач экономии ресурсов - значительное сокращение отходов производства, их дальнейшее использование для выпуска новых видов продукции. В машиностроении и металлообработке уменьшение потерь в отходы наполовину равноценно 10-ти процентному увеличению производства готового проката черных металлов.

Большинство стальных литых заготовок, изготавливаемых в нашей стране и за рубежом представляют собой детали сравнительно небольшого размера. Как правило, их отливают в песчаные формы. Так получают более 80% общего количества отливок.

Однако при литье стали, несмотря на многолетний опыт и обилие различных специальных способов литья, не удается добиться высокого качества выплавляемого металла.

Технология электрошлакового кокильного литья объединяет вместе два дополняющих друг друга способа: электрошлаковой тигельной плавки и разливки металла со шлаком в кокиль. Это позволило расширить возможности электрошлакового процесса, дало возможность создать простые и экономичные плавильные агрегаты.

Электрошлаковое кокильное литье существенно отличается от существующих методов литейного производства в том, что в литейную форму подают вместе с металлом шлак. При электрошлаковом кокильном литье шлак выполняет те же функции, что при ЭСП и ЭШЛ, а именно: является источником джоулева тепла, рафинирующей средой при плавке, защищает жидкий металл от окружающей атмосферы, предотвращает его контакт с материалом литейной формы и способствует созданию в отливках плотной направленной структуры. Все это дает возможность получить методом ЭКЛ литой металл самого высокого качества без ущерба для его формообразования.

Кроме того, одним из существенных преимуществ электрошлакового кокильного литья является возможность применения в качестве расходных электродов отходов производства - изношенных и отбракованных деталей из дорогостоящих сталей, которые свариваются в цепочку и идут на переплав.

Повышение производительности стартового периода наведения шлаковой ванны необходимого объема при "твердом" старте осуществлялось путем применения экзотермического флюса (механической смеси окислы, порошка алюминия и ферросплавов), проводящего электрический ток в твердом состоянии.

Отлитые по новой технологии заготовки базовой плиты УСП и наконечника подбойника имели гладкую поверхность без дефектов и позволяют резко сократить расход металла, снизить трудоемкость механообработки, сократить долю ручного труда. Коэффициент использования металла отлитых заготовок способом ЭКЛ повысился с 0,35 до 0,7.

## РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОДОВ НА АЛЬТЕРНАТИВНОМ СВЯЗУЮЩЕМ ДЛЯ РЕМОНТНОЙ СВАРКИ

Власов А. Ф., Куций А. М.  
(ДГМА, Краматорск, Украина)

В настоящее время электроды с различного типа безокислительными покрытиями применяются для ремонтной сварки низколегированных сталей, а также сталей и сплавов, содержащих элементы с большим сродством к кислороду. Одно из требований, предъявляемых к таким электродам, заключается в ограничении содержания в составе покрытия элементов, являющихся источником выделения кислорода в условиях сварки. Использование жидкого стекла в качестве связующего приводит к окислению легирующих элементов с большим сродством к кислороду, которые могут раскислять  $\text{SiO}_2$  (в виде сухого остатка жидкого стекла), восстановлению из покрытия кремния с его переходом в наплавленный металл, а также загрязнению металла оксидами легирующих элементов.

Кроме жидкого стекла, при производстве электродов иногда применяются другие связующие органического и неорганического происхождения. К органическим связующим относятся: декстрин, крахмал, различные модификации целлюлозы, бакелитовые лаки и др. Связующие этой группы имеют некоторые общие недостатки: выгорание связующего при температуре прокали электродов, связанное с образованием обуглившихся органических веществ, вызывает повышенное содержание углерода в наплавленном металле; водород органических веществ повышает содержание газов в сварочной ванне и может привести к появлению пор. К связующим неорганического происхождения можно отнести хлористые соли натрия и калия, алюминат натрия и др. Соединение алюмината натрия с крахмалом позволяет получить связующее с высокими значениями плотности и пониженными значениями вязкости, по сравнению с исходным алюминатом, что обеспечивает удовлетворительные условия опрессовки и требуемую прочность покрытий.

Для проведения экспериментальных исследований изготавливались электроды с диаметром стержня 5,0 мм и толщиной покрытия 2,0 мм на сторону. Для определения механических свойств металла шва электродами разработанного состава были заварены пластины, изготовленные из стали 10ХСНД. Исследования показали, что модифицированный алюминат натрия обладает удовлетворительными связующими свойствами и его использование вместо жидкого стекла, при хороших сварочно-технологических свойствах разработанных электродов (дуга легко возбуждается и стабильно горит, покрытие плавится равномерно, разбрызгивание незначительное, формирование валика мелкочешуйчатое, отделение шлаковой корки легкое, электроды малочувствительны к наличию окалины и ржавчины на поверхности свариваемого металла), приводит к увеличению коэффициента наплавки до 11,8–12,5 г/А·ч, скорости плавления – до 21,5–25 м/ч, повышает производительность процесса и качество сварного соединения.

## ВИЗНАЧЕННЯ КРОМОКТА ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СТРУЖКОРОЗДІЛЬНИХ КАНАВОК КІНЦЕВИХ ФРЕЗ

Вовк В. В., к.т.н., ст. викл., Гайдай А. Р., студ.  
(НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна)

Для збільшення продуктивності процесу фрезерування, подрібнення та покращення відведення стружки з зони різання на різальній частині фрези виконують стружкороздільні канавки. Для забезпечення стійкості фрези, враховуючи, що вершинні ділянки цих канавок також приймають участь в різанні, необхідно створити позитивні задні кути з метою зменшення тертя на них.

Розглянуто випадок нарізання стружкороздільних канавок при прямолінійному русі шліфувального круга перпендикулярно осі фрези з розворотом зуба фрези на задній кут  $\alpha$ . Кромки стружкороздільних канавок при цьому визначались як лінії перетину поверхні, створеної при гвинтовому русі торцевого перетину стружкової канавки фрези з поверхнями, які створюються при русі шліфувального круга. Після знаходження кромок стружкороздільних канавок визначались дотичні до цих кромок в вершинних точках і розраховувалися статичні геометричні параметри в цих точках кромок.

В ході аналізу геометрії кромок стружкороздільних канавок, створених на фрезі з гвинтовою стружковою канавкою двокутовим шліфувальним кругом симетричного профілю, було встановлено, що статичні кути в плані, а в більшій мірі статичні задні кути на протилежних кромках канавки значно відрізняються.

За рахунок того, що стружкова канавка є гвинтовою, значення задніх кутів на одній кромці спочатку зростає, а потім зменшується зі збільшенням кута профілю шліфувального круга, в той час як на протилежній кромці збільшення задніх кутів пропорційне зростанню кута профілю круга.

Зі зростанням кута профілю круга значення статичних кутів в плані також зростають, причому на протилежних кромках вони не співпадають. Це обумовлене в першу чергу тим, що напрямки швидкості головного руху різання відносно цих двох кромок також різні, і змінюються вони не пропорційно зміні кута профілю круга.

Тому пропонується для стабілізації статичних головних задніх кутів на протилежних вершинних ділянках стружкороздільних канавок, а відповідно і для їх рівномірного зношування, профіль цієї канавки бажано виконувати не симетричним. Як приклад, для кінцевої фрези  $\varnothing 10$  мм зі стружковою канавкою, розміри якої визначені ГОСТ 23248-78, з метою отримання однакових значень статичних задніх кутів  $\alpha_c = 10^\circ$  на вершинних кромках необхідно їх вишліфувати шліфувальним кругом несиметричного профілю, а саме з кутами профілю  $\rho_1 = 50^\circ$  та  $\rho_2 = 40^\circ$ .

## **УВЕЛИЧЕНИЕ НОРМАТИВНОГО СРОКА СЛУЖБЫ МОСТОВЫХ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ КРАНОВ ПУТЕМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТОиР**

Водолазская Н. В.  
(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Среди средств механизации погрузочно-разгрузочных работ на заводах тяжелого машиностроения ведущее место занимает крановое оборудование, в частности, мостовые и металлургические краны. Переход предприятий на рыночные отношения обуславливает повышение конкурентоспособности грузоподъемных кранов и качества их эксплуатации. Однако, с учетом кризисных явлений, имеющих место в последние годы, многие предприятия Украины вынуждены использовать устаревшее оборудование, в том числе и краны, отработавшие свой нормативный срок. Поэтому для обеспечения максимально длительной надежной и безопасной работы кранов с истекшим нормативным сроком службы требуется решение проблемы совершенствования системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР) этого оборудования.

Основными факторами, влияющими на эксплуатацию и надежность мостовых и металлургических кранов, являются следующие:

- факторы, обусловленные конструктивными особенностями (рабочая среда, расчетная мощность оборудования, возможность проведения ТОиР параллельно с работой кранов, наличные резервы, простота конструкции и ее слабые места и т. д.);

- факторы, обусловленные управляющими решениями по ТОиР (профилактический ремонт на основе анализа данных по эксплуатации, диагноз отклонений и проверка условий функционирования оборудования с целью предвидения и необходимости ТОиР, качество постановки задач по проведению ТОиР, уровень знаний и навыков обслуживающего персонала);

- факторы, обусловленные характером использования оборудования (использование оборудования с номинальной нагрузкой, снабжение необходимыми фирменными запасными частями, процедуры пуска и останова оборудования).

Для совершенствования и оптимизации ТОиР можно предложить следующую совокупность действий: оценка данных о состоянии кранов, постоянное обновление карт ТОиР на каждую единицу оборудования, выполнение профилактических программ; расчет показателей результативности управления обслуживанием и ремонтом; управление запасами; совершенствование методов работы и планирования; обновление чертежей, технических условий и других документов; а также обучение персонала правильной эксплуатации кранового оборудования.



## ЭЛЕКТРОКОНТАКТНАЯ НАПЛАВКА ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ С ПЛАВЛЕНИЕМ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ

Волков Д. А.  
(ДГМА, Краматорск, Украина)

Эксплуатационные свойства изделий, изготовленных электроконтактной наплавкой, а особенно многослойной, в значительной мере зависят от образования надежного физического контакта между основным и присадочным материалом, а также между соседними валиками. Сложность его состоит в необходимости защищать наплавленный валик и зону контактирования. При наплавке очередного слоя поверхность предыдущего должна быть неокисленной. Обеспечение защиты по традиционным технологиям, применяемым в сварочной технике, применительно к электроконтактной наплавке встречает определенные трудности – защитная камера должна быть замкнутой, с уплотнениями в месте сопряжения с наплаваемой заготовкой и наплавочными роликами.

Для улучшения технологичности процесса был предложен способ электроконтактной наплавки порошковыми проволоками, обеспечивающим экономичность легирования наплавленного валика, с расплавлением основного металла и пограничного слоя присадочного в зоне контактирования и последующим выдавливанием жидкой прослойки.

В ходе работы были исследованы температурные поля в зоне соединения, как расчетным, так и экспериментальным путем. Было установлено, что изменением основных параметров процесса наплавки: тока, давления, длительности импульса и паузы, можно в широких пределах регулировать интенсивность нагрева, а учитывая, что перепад температур в контактах наплаваемого валика с заготовкой и наплавочным роликом значителен, представляется возможность доводить основной и присадочный металл в зоне их контакта до плавления, сохраняя основную массу присадочного материала в пластическом состоянии.

При этом, за счет давления наплавочного ролика на формируемый валик, жидкая фаза вместе с окисными пленками и шлаком, препятствующими прочному соединению, выдавливаются из контакта в виде грата.

Так при электроконтактной наплавке цилиндрических заготовок диаметром 65 мм по предложенной технологии, порошковыми проволоками и прутками из стали Р6М5 диаметром 3,0 и 2,25 мм соответственно, при токе 8,5...11,5 кА и усилии на электродах 1,1...2,5 кг из зоны контактирования выделялся грат в виде мелких сферических блестящих капель с участками чистого пластичного металла.

Таким образом, было установлено, что в результате плавления пограничного слоя основного и присадочного металлов оказывается возможным получать бездефектную наплавку цилиндрических деталей, не применяя газовую защиту, что существенно упрощает технологию ведения процесса электроконтактной наплавки.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ НАКАТНОГО ИНСТРУМЕНТА

Воронцов Б.С., Кириченко С.Г., Кузнецова М.Н.  
(ВНУ им. В. Даля, г. Луганск, Украина)

С целью повышения точности упрочняющей и сглаживающей накатки зубьев цилиндрических зубчатых колес разработан принципиально новый накатной инструмент, изготовление которого может быть основано на схеме формообразования третьего класса. В этом случае основная инструментальная поверхность, находится как поверхность, сопряженная с поверхностью зубьев обрабатываемых зубчатых колес.

При разработке новой схемы формообразования основной инструментальной поверхности, на основании выполненных теоретических исследований, было найдено относительное движение сопрягаемых поверхностей. Впервые производящее инструментальное зубчатое колесо в процессе формообразования двигалось вдоль прямолинейной образующей однополостного гиперboloида. Это позволило в аналитическом виде в пространственном станочном зацеплении получить поверхность зубьев проектируемых гиперboloидных многозаходных накатников.

В работе определены основные геометро-кинематические параметры накатки зубьев цилиндрических зубчатых колес при помощи многозаходного накатного инструмента такие, как: относительная скорость скольжения; суммарная скорость перемещения контактирующих поверхностей; угол между вектором относительной скорости скольжения и направлением контактных линий, удельные скольжения на накатываемом зубе и накатном инструменте; приведенная кривизна контактирующих поверхностей. Эти параметры позволили еще на стадии проектирования определить работоспособность предложенного накатного инструмента.

Базируясь на теоретические выкладки, удалось разработать принципиально новые способы формообразования накатного инструмента на серийных зубофрезерных станках, а также универсальных станках с ЧПУ. Найдена оптимальная геометрия такого инструмента. Экспериментальные исследования по накатыванию зубьев зубчатых колес различной геометрии при помощи разработанного инструмента позволили определить оптимальные технологические режимы накатки зубчатых колес, определено их влияние на качество обработанной поверхности.

Благодаря проведенным исследованиям и испытаниям разработаны рекомендации по практической разработке и конструированию накатного инструмента, позволяющие повысить точность накатки зубьев цилиндрических зубчатых колес.

## **ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕХАНИЗАЦИЯ ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫХ РАБОТ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ГРУЗОВ**

Гаврильченко О.А., Конарев А.И.  
(ДГМА, г.Краматорск, Украина)

Объем погрузочно-разгрузочных работ увеличивается с каждым годом. В настоящее время на транспортных погрузочно-разгрузочных и складских операциях занято до 25% всех трудящихся. В связи с этим важность вопроса механизации возрастает еще и потому, что здесь имеются наиболее мощные резервы высвобождения рабочей силы. Механизация погрузочно-разгрузочных работ является проблемой комплексной, которая включает не только вопрос оснащения грузовых фронтов современным подъемно-транспортным оборудованием, но также и вопросы создания специальных контейнеров и поддонов для различных видов грузов, разработки автоматизированных систем управления и концентрации грузовой работы на крупных грузовых фронтах.

На современном этапе требуется не просто насыщение грузовых фронтов необходимыми механизациями, а создание систем машин, обеспечивающих внедрение прогрессивных технологических процессов комплексной механизации погрузочно-разгрузочных работ, должен быть обеспечен переход от создания и внедрения отдельных машин к разработке и внедрению комплекса машин, целиком охватывающего весь технологический прогресс, механизацию и автоматизацию.

Одним из самых серьезных условий повышения уровня комплексной механизации погрузочно-разгрузочных работ является контейнеризация пакетирования грузов.

Предварительными расчетами установлено, что на пакетный способ доставки можно переключить более 1 млрд. т. грузов, что позволит в 3-4 раза повысить производительность труда на грузовых работах и сэкономить до 500 млн. гривен. Кроме того, пакетирование грузов дает возможность высвободить значительные резервы рабочей силы. Так, согласно расчетам, повышение до 80% уровня пакетирования и контейнеризации только строительных грузов позволило бы высвободить 200 тыс. рабочих.

Перспективным является также способ предварительного пакетирования грузов перед загрузкой их в контейнеры и организация блок - пакетов, т.е. создание укрупнённого пакета из нескольких обычных. Однако достигнутый уровень контейнеризации и пакетирования грузов все еще недостаточен. В тоже время надо решить вопросы разработки и организации массового изготовления на специализированных заводах разнообразного сменного рабочего оборудования. Необходимы многочисленные конструкции специальных грузозахватных приспособлений к универсальным кранам и погрузчикам, клещевых захватов, грейферов, поворотных захватов-манипуляторов и т.д. Применение этого оборудования позволит резко повысить производительность машин и значительно расширить сферу их применения.

Для механизации погрузочно-разгрузочных работ и внутрискладских операций применяют различные устройства и машины: краны-штабелеры, электропогрузчики, кран-балки и мостовые краны, электрокары и различного рода средства непрерывного транспорта. Для комплексности механизации используют быстродействующие автоматические стропы и захваты. В последние годы получили развитие автоматизированные склады тарно-штучных грузов, оборудованные системами машин, обеспечивающими транспортировку, установку и поиск материалов по специальным программам с использованием роботов. Автоматизированные склады являются неотъемлемой частью автоматизированно - транспортных систем ГАП.

Приоритетным направлением в развитии транспортного хозяйства является механизация и автоматизация, внедрение новой техники и методов работы. Все это поможет снизить расходы на содержание и повысить производительность труда и, соответственно, прибыль предприятия.

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

Гейчук В.М., Гаврушкевич А.Ю., Галатович Д.І.  
(НТУУ "КПІ", м. Київ, Україна)

Згідно ГОСТ 31381-2009 для попередження виникнення та розвитку різних типів пошкоджень робочих поверхонь зубчастих коліс рекомендуються заходи, серед яких найважливішими є: використання відповідних матеріалів; підвищення чистоти обробки робочих поверхонь зубів та їх поверхневого зміцнення; формування залишкових напруження стискання; наявність фасок або округлень гострих кромek, особливо торців та вершини зубів. Одним із комбінованих способів фінішної обробки, який забезпечує формування поверхневого шару потрібної якості, є магнітно-абразивна обробка (МАО). Своїми перевагами вирізняється спосіб обробки в магнітній системі типу "кільцева ванна" в умовах великих робочих зазорів.

За допомогою раніше розробленої математичної моделі виконано аналіз кінематики МАО циліндричних зубчастих коліс. Встановлені залежності 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). Зростання модуля додатної швидкості основної кругової подачі приводить до розширення "активної зони" в просторі параметрів  $\{\varphi\}$  для лівої робочої сторони зуба (тут  $\varphi$  та  $\alpha$  – кутові положення колеса в рухах кругових подач). Від'ємна швидкість основної кругової подачі приводить до протилежних змін. До аналогічних залежностей приводить зміна напрямку і модуля швидкості додаткової кругової подачі. Залежності кінематичних параметрів на правій стороні зуба дзеркальні залежностям на лівій стороні. Це підтверджується тим, що на всіх режимах сума значень інтегрального критерію МАО для правої і лівої сторін зуба є величиною постійною, яка дорівнює  $\frac{1}{2} \pi \mu$ , а середня для зуба в цілому  $\frac{1}{2} \pi \mu$ .

На значення  $\mu$  впливають такі параметри (в порядку зменшення ступеню впливу): кут нахилу осі колеса  $\xi$ , швидкості основної та додаткової кругових подач, кут нахилу лінії зуба  $\beta$ , кут розвороту  $\alpha$ , діаметр серединного циліндру кільцевої ванни  $D_{ср}$ , модуль зубчастої передачі  $m$ .

Встановлено, що застосування додаткової кругової подачі є недоцільним. Доцільним є застосування фіксованих кутів розвороту  $\alpha$ , значення яких визначаються за оптимальним значенням  $\mu$  згідно залежності  $\mu = \mu(\alpha)$ . Для обробки циліндричних коліс рекомендуються кінематичні параметри: кут нахилу  $\xi = 45 \div 90^\circ$ ; співвідношення швидкостей головного руху та кругової подачі  $\frac{v}{v_{доп}}$ , при цьому знаки напрямків повороту в головному русі та установчому русі нахилу осі колеса на кут  $\xi$  повинні співпадати.

## ПРОФІЛЮВАННЯ ТОРЦЕВИХ ФАСОННИХ ФРЕЗ, ЗАТИЛОВаних ПО КОЛУ, З ПЛОСКОЮ ПЕРЕДНЬОЮ ПОВЕРХНЕЮ, У ЯКИХ $\gamma \neq 0^\circ, \lambda \neq 0^\circ$

Герасимчук О.М.,  
(НТУУ «КПІ», г. Київ, Україна)

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. Розглядається графічне та аналітичне профілювання торцевих фасонних фрез з плоскою передньою поверхнею, затилованих по колу, у яких  $\gamma \neq 0^\circ, \lambda \neq 0^\circ$ , призначених для оброблення фасонних циліндричних поверхонь. Базуючись на графічному профілюванні отримані аналітичні залежності для визначення профілю різальної кромки та профілю задньої поверхні.

Вихідними даними є: профіль деталі; радіус базової точки  $R_a$ ; передній кут  $\gamma$ ; розмір  $H$  - зміщення горизонтального сліду передньої площини від осі фрези; задній кут  $\alpha$ ; координати базової точки профілю деталі ( $X_{0i}, Y_{0i}$ ).

Координати  $X_{1i}, Y_{1i}$  точок різальної кромки визначаються, як:

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

Визначення профілю задньої поверхні обертання здійснюється у наступній послідовності:

1. Вибираються ряд довільних точок на різальній кромці;
2. Визначається координата  $z_{0e}$  довільної точки різальної кромки:

$$Z_{0E} = H + Y_{0i} \operatorname{tg} \gamma.$$

3. Визначаються допоміжні кути  $\varepsilon_C$  та  $\varepsilon_E$ :

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

4. Визначається кут  $\rho$ :

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

5. Визначаються координати  $x_{2f}$  та  $y_{2f}$  довільних точок профілю задньої поверхні обертання:

$$X_{2F} = \frac{R_i \cos \varepsilon_E - R_a \cos \varepsilon_C + R_a \cos(\varepsilon_C + \alpha)}{\cos \rho} - R_a; \quad Y_{2F} = Y_{0i}.$$

Сукупність отриманих точок буде профілем фасонної задньої поверхні обертання торцевої фрези.

**Висновок.** Вирішено задачу профілювання фасонних торцевих фрез, затилованих по колу, призначених для обробки фасонних циліндричних поверхонь, для загального випадку – коли передня площина є площиною загального положення. Розроблений алгоритм дає можливість конструювання інструментів з технологічними поверхнями різальної частини.

# ДОСЛІДЖЕННЯ І РОЗРОБКА ОБ'ЄМНОЇ НОЖОВОЇ СИСТЕМИ БУЛЬДОЗЕРА З ВИСТУПАЮЧИМИ НОЖАМИ І БІЧНИМИ КОСИНКАМИ

Главацький К.Ц., Кіфорук Ю.В.  
(ДНУЗТ, м.Дніпропетровськ, Україна)

Інтенсифікація процесу копання ґрунту землерийно-транспортними машинами суттєво залежить від виду ножової системи (НС) їх робочих органів.

В основу удосконалення чи розробки нових видів НС вказаних машин покладений принцип заміни блокованого різання ґрунту напіввільним чи вільним, оскільки при цьому зменшується питома енергоємність його розробки.

Відомі і застосовуються складні однорядні чи дворядні НС скреперів і однорядні НС бульдозерів, в яких застосовується виступаючий середній ніж. Крім того відомі складні НС бульдозерів з декількома виступаючими ножами (ВН) і бічними косинками (БК), розміщеними в одній площині.

Застосування БК збільшує продуктивність бульдозера, оскільки вони підбирають і спрямовують у призму перед відвалом ґрунт із зон його бічних руйнувань, які утворюються при роботі ножа на докритичній глибині.

Відомі теоретичні розробки просторових НС прямокутного профілю, в яких ріжучі леза розміщені з вертикальним і подовжнім зсувом щодо напрямку руху робочого органа, на якому вони закріплені. Крім того, відомі окремі патентні рішення, що передбачають виконання ВН трапецієподібної форми і їх розміщення в різних площинах під різними кутами до горизонталі.

Подібна конструкція НС може бути найближчим аналогом авторської пропозиції блоку симетричних НС, в яких передбачається виконання кожної з об'ємних ножових систем (ОНС) з дворядним розміщенням ВН з однаковими і різними кутами нахилу до горизонталі та подовжнім і вертикальним зсувом ріжучих лез окремих ножів щодо напрямку руху робочого органа, виконаних на базі бульдозерного відвала. Причому кожен з ВН оснащений БК, а остаточний профіль поверхні ґрунту після проходження ОНС може бути рельєфним чи плоским. Авторами розроблені варіанти груп ОНС з ВН і БК у відповідності до вимог математичного і фізичного моделювання. При розробці блоку симетричних ОНС передбачається мінімальна кількість їх складових частин та врахована можливість їх дзеркального переустановлення і виконання в них кріплень для зменшення номенклатури виробів у випадку технологічної реалізації запропонованих технічних рішень. В результаті вирішення задачі по дослідженню, розробці і практичному застосуванню блоку ОНС очікується підвищення його продуктивності та інтенсифікація процесу розробки ґрунту робочими органами землерийно-транспортних машин, на яких вони будуть застосовуватися.

# МОДЕЛЮВАННЯ ГРУНТОУЩІЛЬНЮВАЛЬНИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ВІБРОКОТКІВ І ВІБРОПЛИТ ІЗ ПРОФІЛЕМ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ БЛОКУЮЧОЇ ДІЇ НА ГРУНТ

Главацький К.Ц., Черкудінов В.Е., Проскурня В.М.  
(ДНУЗТ, м.Дніпропетровськ, Україна)

Інтенсифікацію ущільнення ґрунту котками статичної та динамічної дії і віброплитами можна забезпечити реалізацією блокованого ущільнення ґрунту, тобто усуненням можливості його вислизання з-під робочої ущільнюючої поверхні робочого органа за рахунок її ребристого чи криволінійного профілю.

Цей новий підхід до реалізації процесу ефективного ущільнення ґрунту, запропонований авторами, може бути реалізований виконанням змінних робочих поверхонь вказаного профілю до традиційних робочих органів котків і віброплит з гладенькими циліндричними чи плоскими робочими поверхнями.

Як зазначалося авторами раніше, створення на поверхні контакту робочого органа і ґрунту напружень, що перевищують межу пластичності ґрунту, дозволить прискорити його ущільнення і супутньо доущільнити нижчі шари ґрунту, а також додатково блокувати нові насипні шари ґрунту від розсування.

При розробці профілів змінних робочих поверхонь для віброплит враховано, що розпушений ґрунт, рухаючись уздовж робочої поверхні, не залипатиме і повністю ущільнюватиметься за рахунок того, що висота і ширина профілю робочої поверхні на її базі зменшуються незалежно чи сумісно пропорційно. Причому передбачається переважне зменшення висоти профілю, оскільки це більш технологічно відповідає очікуваним результатам остаточного утворення профілю ущільненого масиву ґрунту.

При розробці профілів змінних робочих поверхонь для котків статичної і динамічної дії та віброплит також враховано, що найбільш ефективними будуть рельєфні профілі з криволінійною симетричною твірною, оскільки в них будуть відсутні мертві зони в кутах, де можливе залипання ґрунту. Але з урахуванням вібрації така можливість може бути виключена за умови раціонального сумісного вибору геометричних, частотних і амплітудних характеристик процесу ущільнення ґрунту, а також з урахуванням фізико-механічних властивостей ґрунту, зокрема його зв'язності та вологості.

При виконанні теоретичних досліджень авторами врахована відома математична модель ґрунту і критерії подібності при відтворенні процесу взаємодії робочих органів з ґрунтом в лабораторних умовах. Крім того враховані відомості про приготування ґрунтової маси і рекомендації щодо масштабування фізичної зменшеної моделі по відношенню до натурального зразка з метою уникнення похибок під час проведення досліджень і їх достовірності.

## ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОТВОРІВ В ПКМ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ОСЦИЛЮЮЧОГО СВЕРДЛІННЯ

Глоба О.В., Булах І.О., Милокост С.М.  
(НТУУ «КПІ», ММІ, кафедра ІТМ, Київ, Україна)

На даний момент 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 непрацездатними для нових типів матеріалів.

Важливо забезпечити якомога вищу точність і якість отворів у панелях з ПКМ (Н9-Н10) для надійного кріплення. Відомі конструкції інструментів нездатні забезпечити якість такого рівня. Контроль якості отворів також є проблемою через габаритність виробів з ПКМ. Тому актуальним завданням є знаходження раціональної геометрії інструменту, а також підбір найбільш оптимального режиму різання та застосування нових видів руху свердла, що дозволить отримати високу якість отворів і не застосовувати контролюючі методи. В даній роботі досліджувалася працездатність свердла нової геометрії (рис. 1) при обробці ПКМ (вуглепластика).



Рис. 1 Конструкція свердла

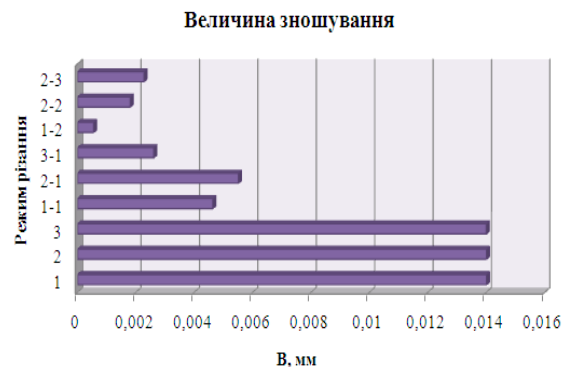


Рис. 2 Величина зношування свердла при різних режимах різання

Зразок свердла був взятий з трьома різними головними кутами в плані ( $110^\circ$ ,  $120^\circ$  і  $130^\circ$ , надалі 1, 2, 3 відповідно). Свердління проводилося на різних режимах: з різними частотами обертання шпинделя (480 об/хв. та 880 об/хв), а також з використанням пристосування, побудованого на принципі збудження осцилюючих коливань. При свердлінні за допомогою датчика записувався віброакустичний сигнал, після обробки якого розраховувалися швидкість та величина зношування інструменту. Після обробки досліджувалася якість отворів, зокрема відхилення від круглості. Було виявлено, що при різних режимах обробки кращу якість або меншу величину зношування дає інструмент з різною геометрією (рис. 2). На основі досліджень було побудовано математичну модель (за допомогою методу МГУА), що дозволить прогнозувати результат обробки при зміні певного параметра процесу.



## НОВЫЕ НАПЛАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ НАПЛАВКИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ШТАМПОВ

Голуб Д.М., Алексеенко С.В.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Перспективными для наплавки элементов штампового инструмента являются материалы с эффектом вторичного твердения в наплавленном слое (мартенситно-старяющие и дисперсионно-твердеющие стали). Эксплуатационные свойства наплавленного слоя при этом превышают аналогичные для инструментальных сталей.

Исследование влияния легирующих элементов в порошковой шихте: Ni и Al+Mg на ударную вязкость ( $a_n$ ) и твердость в процессе старения (HRC), проводилось с использованием методов математического планирования эксперимента, с целью сокращения количества опытов. Моделирование осуществляли в программной среде системы Statistica (StatSoft).

Содержание кобальта и молибдена во всех опытах было постоянным – 15%Co+15%Mo. В качестве параметров оптимизации (откликов) были выбраны ударная вязкость ( $Y-a_n$ ) и твердость ( $Y-HRC$ ). В качестве переменных величин (факторов) содержание компонентов порошковой шихты: Ni и Al+Mg.

Из анализа опытных данных видно, что при совместном повышении содержания Al+Mg и Ni в рассматриваемом интервале варьирования значение параметра оптимизации для ударной вязкости возрастает, что положительно сказывается на ударной вязкости. Кроме того, совместное повышение содержания Ni и Al+Mg вызывает повышение твердости закаленных сплавов.

Исходя из полученных результатов математического планирования экспериментов и реализованных опытов по выбору сплава для наплавки, для исследования были изготовлены опытные составы порошковых проволок, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Расчетный состав опытных порошковых проволок

Условная марка	Химический состав, вес %							
	Co	Mo	FeMo	Cr	Ni	FeNb	FeTi	Al+Mg
Б01	14	8	10	1,5	3	1,5	-	0,8
Б02	17	9	10	2	3,5	2	-	0,9
Б03	15	9	11	2,5	4	3	-	1,0
Б04	16	10	12	2,5	4	3,5	-	1,0
Б05	16	10	12	3	5	4	-	1,1
А1 ПП-К14М15Н9Б2Т	14	15	-	-	5	-	0,8	-
А2 ПП-К14М15Н9Б2Т	14	16	-	-	9	4	2	-

На основании полученных данных можно рекомендовать для дальнейшего исследования следующий состав порошкового сердечника проволоки: 15%Co; 15% Mo; 9% Ni; 4% FeNb; 1,0% Al+Mg; остальное Fe.

## НОВЫЕ НАПЛАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ НАПЛАВКИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ШТАМПОВ

Голуб Д.М., Плис С.Г., Виценко Д.М.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Мартенситно-стареющие и дисперсионно-твердеющие стали являются перспективными для наплавки элементов штампового инструмента, так как при их использовании эксплуатационные свойства наплавленного слоя превышают аналогичные для инструментальных сталей.

С использованием методов математического планирования эксперимента, с целью сокращения количества опытов было исследовано влияние легирующих элементов в порошковой шихте таких, как Ni и Cr на ударную вязкость ( $a_n$ ) и твердость в процессе старения (HRC).

Содержание кобальта и молибдена во всех опытах было постоянным – 15%Co+15%Mo. В качестве параметров оптимизации (откликов) были выбраны ударная вязкость ( $Y-a_n$ ) и твердость ( $Y-HRC$ ). В качестве переменных величин (факторов) содержание компонентов порошковой шихты: Ni и Cr.

Для получения математического описания влияния легирующих элементов на ударную вязкость и твердость после закалки была реализована полуреплика  $2^{4-1}$  от полного фактора эксперимента (дробный факторный эксперимент – ДФЭ) с учетом взаимодействия факторов. Матрица планирования и ее реализация представлены в табл. 1.

Таблица 1 – План-матрица ДФЭ  $2^{4-1}$  и ее реализация

Standard Run	Design: $2^{4-1}$					
	Ni	Al+Mg	Nb	Cr	$a_n$	HRC
1	1,000000	0,700000	1,000000	0,000000	6,2	42
2	1,000000	0,700000	2,000000	3,000000	8,6	41
3	1,000000	0,900000	1,000000	3,000000	9,3	40
4	1,000000	0,900000	2,000000	0,000000	12	37
5	3,000000	0,700000	1,000000	3,000000	9,8	38
6	3,000000	0,700000	2,000000	0,000000	13	36
7	3,000000	0,900000	1,000000	0,000000	11	39
8	3,000000	0,900000	2,000000	3,000000	10	39

В результате выполнения планирования были сделаны выводы, что значение параметра оптимизации возрастает с увеличением содержания Ni и уменьшением содержания Cr – для ударной вязкости; для твердости после закалки – возрастает с уменьшением содержания Ni.

В рассматриваемом интервале варьирования повышение содержания Ni положительно сказывается на ударную вязкость. Также повышение содержания Ni вызывает повышение твердости закаленных сплавов, в то время когда Cr практически не оказывает влияния на эти характеристики наплавленного сплава.

## КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗОНИ КОНТАКТУ ТОРЦЕВОГО КРУГА З ДЕТАЛЛЮ НА ПЛОСКОШЛІФУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ

Грабченко А.І., Пижов І.М., (НТУ «ХП», м. Харків, Україна),  
Клименко В.Г. (НТУ ім. Ю. Кондратюка, м. Полтава, Україна)

Відомо, що температура процесів механічної обробки є одним з факторів, що обмежують продуктивність операцій і має істотний вплив на якість і точність виробів. У зв'язку з цим виникає необхідність управління тепловими явищами у зоні обробки [1]. Це в значній мірі стосується процесу плоского торцевого шліфування на верстатах з вертикальним шпинделем, який характеризується особливо великим значенням площини контакту робочої поверхні круга (РПК) з деталлю. У цьому випадку часто користуються прийомом, коли шліфувальний круг на етапі попередньої обробки повертають на певний кут  $\alpha$ , а на етапі остаточного шліфування його значення суттєво зменшують, або повертають круг у вихідне положення [2, 3]. Це дозволяє в значній мірі керувати площею контакту РПК з деталлю, а отже і температурою у зоні шліфування. Таке управління особливо необхідне в автоматизованому виробництві з метою підтримки стабільності технологічного процесу і забезпечення заданої точності розмірів і форми виробів у часі [1]. Тому визначення залежностей параметрів, які характеризують розмір зони контакту РПК з деталлю, від умов шліфування є актуальною задачею.

Ця задача була вирішена нами шляхом комп'ютерного моделювання у середовищі «КОМПАС» (рис. 1).

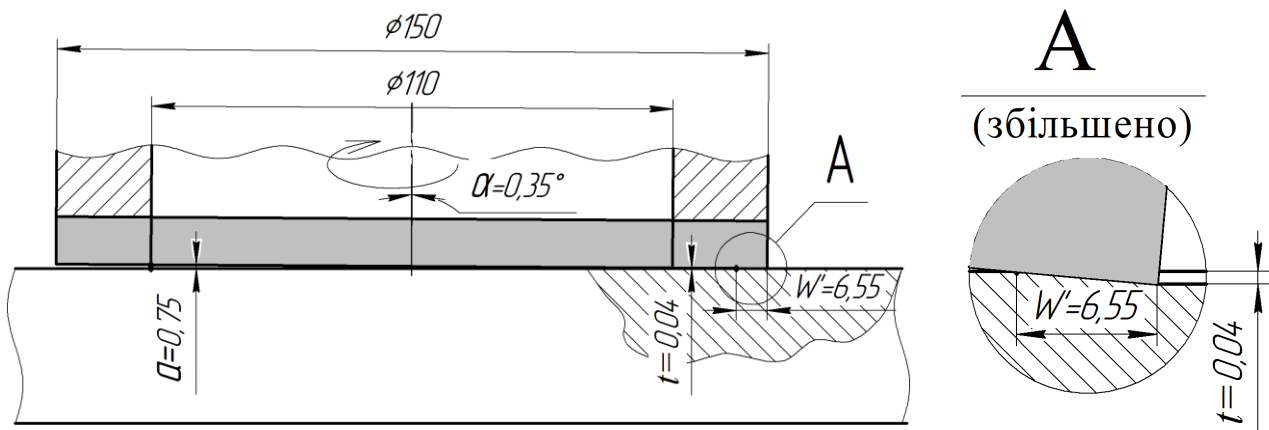


Рис. 1. Приклад і результати моделювання.

Наприклад, для умов рисунка 1 у контакт з деталлю приймає участь тільки частина (~33% ) ширини РПК ( $W'=6,55$ мм). Аналогічним чином визначалися й інші параметри (наприклад, довжина та площа) зони контакту, які будуть використовуватися у майбутньому як вихідні дані для розрахунку температури шліфування.

Список літературних джерел: [1]. Резников, А. Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов / А.Н. Резников. - М.: Машиностроение, 1981. 279 с.[2]. Лоскутов В.В. Шлифовальные станки. / В.В. Лоскутов. - М.: Машиностроение. - 1976. -191 с.[3]. Наерман М. С. Справочник молодого шлифовщика. / М. С. Наерман. -М.: Высш. шк., 1985.-207 с.

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ НАРІЗАННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС НА ОСНОВІ РАДІАЛЬНО-ОБЕРТОВОГО МЕТОДУ В УМОВАХ ОБКОЧУВАННЯ**

Грицай І.Є., Громнюк С.І.  
(НУ «Львівська політехніка», м.Львів, Україна)

Зубчасті передачі та зубчасті колеса є невід'ємними складовими сучасних машин. Їх широке використання зумовлює постійні пошуки шляхів удосконалення зубчастих зачеплень, технологій зубообробки, створення нових поколінь верстатів з чпк, зуборізних інструментів та інструментальних матеріалів. Зубчасті колеса та передачі важкого машинобудування характеризуються значною працемісткістю у виготовленні, недостатньою продуктивністю, складною технологією формоутворення та чистової обробки вінців. Виходячи з цього, проблема підвищення ефективності процесів зубообробки є на сьогодні актуальною.

Для виробництва великомодульних зубчастих коліс може бути застосований спосіб нарізання зубчастих коліс дисковими фрезами при непевному обкочуванні. Він реалізований на зубофрезерному верстаті для черв'ячного зубофрезерування, який дооснащено додатковим пристроєм. У цьому способі одною дисковою фрезою можна нарізати зубчасті колеса різних модулів у широкому їх діапазоні шляхом зміни величини ексцентриситету фрези. Крім того, на одному зубофрезерному верстаті і тим же одним інструментом можна нарізати різні типи та види зубчастих коліс: циліндричні, одновінцеві та шевронні, конічні, черв'ячні, колеса зовнішнього і внутрішнього зачеплення. У цьому способі зубофрезерування, внаслідок зміщення геометричної осі фрези відносно її кінематичної осі при неперервному обкочуванні заготовки і обертанні інструменту утворений профіль описаний синусоїдою, а колеса є синусоїдальним. 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.

Самі синусоїдальні колеса і передачі мають істотні переваги над евольвентними: вищу навантажувальну здатність при однаковому модулі; при такому ж навантаженні і моменті на виході синусоїдальна передача і синусоїдальні редуктори можуть мати до 25-30% меншу масу і габарити; вони мають кращу протидію спрацюванню, меншу циклічна втомлюваність і вищу контактну міцність. Дані висновки підтверджені теоретично та експериментально, зокрема, дослідженнями, проведеними на кафедрі ТМБ. Такі переваги цих передач, разом з вказаним способом формоутворення зубців становлять основу для підвищення ефективності процесів зубонарізання та якості важконавантажуваних приводів тяжких машин.

Додаткового ефекту можна досягти введенням між осями фрези та інструментального шпинделя підвищувальної передачі-мультиплікатора, яка змінює кінематику обкочувального зубофрезерування. Мультиплікатор збільшує частоту обертання інструменту і швидкість різання до 160 м/хв., що дає змогу обробляти колеса після термообробки твердосплавними дисковими фрезами. Вартість такої фрези порівняно з черв'ячною, оснащеною твердосплавними пластинами в десятки разів менша, осьова подача в способі обкочувального радіально-обертального зубофрезерування може бути збільшена до 10 разів, а швидкість різання – до 6 разів. Відповідно, основний час операції зубонарізання можна скоротити на порядок і більше, при цьому інтенсифікація робочих режимів не викликає збільшення сили різання, підвищення динамічних навантажень, пружних деформацій та вібрацій в пружній системі верстата, а точність обробки і якість поверхонь буде вищою, ніж у черв'ячному зубонарізанні.

# **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.  
(ДонНТУ, г. Донецк, ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Крупногабаритные тонкостенные оболочки вращения их 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.

Спектр колебаний технологической системы во время алмазного шлифования обусловлен сложным комплексом взаимодействия свободных, вынужденных, параметрических и автоколебательных процессов. 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.

На основании того, что конструкция оправки оказывает влияние на вибрации в зоне контакта шлифовального круга и заготовки, было проведено теоретическое исследование (при помощи динамической модели, созданной в программе Matlab Simulink) возможности сокращения вибраций при изменении расположения опор оправки (без увеличения их количества) относительно устанавливаемой на ней заготовки – сложнопрофильной оболочки. 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 оправки. Однако и при использовании «новой» конструкции оправки существуют зоны неустойчивости к параметрическим колебаниям заготовки-оболочки. Для получения более устойчивой установки заготовки-оболочки в приспособлении необходим расчет трехопорных и четырехопорных оправок.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ПРИВОДОВ ЩЕКОВЫХ ДРОБИЛОК

Дорохов Н.Ю., к.т.н., доцент

Для обеспечения пуска дробилок, а также пуска «под завалом» в новых конструкциях применяют вспомогательный привод, который состоит из электродвигателя малой мощности, зубчатого редуктора 3 с большим передаточным числом, обгонной муфты, соединенной с валом главного двигателя. Пуск дробилки осуществляется вспомогательным приводом. После этого включается основной двигатель, а вспомогательный - автоматически выключается. Однако такая конструкция, наряду с явными преимуществами, имеет и некоторые недостатки, и основные из них – это наличие второй ременной передачи, и обгонной или кулачковой муфты открытого исполнения.

В новой конструкции предлагается повысить надежность эксплуатации дробилки за счет улучшения конструкции привода, а именно замена вспомогательного привода на установку между основным электродвигателем и ведущим шкивом двухскоростного редуктора с ручным переключением скорости. Исключение из конструкции установки вспомогательного привода (двухступенчатый редуктор, электродвигатель мощностью 18 кВт, клиноременная передача и кулачковая муфта с ручным переключением) также позволяет повысить степень безопасности эксплуатации оборудования за счет устранения вращающихся с высокой скоростью открытых элементов, особенно опасным из которых является кулачковая муфта, именно из-за ее ручного включения оператором. Не менее значимым фактором является устранение абразивного износа открытых элементов.

Редуктор привода дробилки выполнен в виде двухступенчатой коробки скоростей, в которой входной и выходной валы выполнены соосно с передаточным отношением, равным 1. Переключение скорости осуществляется при перемещении кулачковой муфты по шлицам входного вала. При замыкании кулачков на шестерню первой ступени включается двухступенчатый редуктор, состоящий из зубчатых пар первой и второй ступеней с передаточным отношением 5,64.

Крутящий момент на выходной вал передается посредством шпонки. При замыкании кулачков на выходной вал двухступенчатый редуктор выключается из кинематической связи, что позволяет вращать выходной вал редуктора со скоростью электродвигателя. При этом прямое вращение используется для получения рабочей скорости качания подвижной щеки, а включение редуктора на пониженную передачу позволяет осуществлять пуск дробилки с заполненной рабочей камерой («под завалом») или при попадании недробимого тела, что контролируется оператором.

Выполненные предварительные экономические расчеты, основанные на предположении, что использование предложенной конструкции позволит сократить простой оборудования, связанные с неплановыми заменами ремней при их обрыве или износе, показывают срок окупаемости затрат не более 2,5...3 года.

## АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ОПОРНЫХ КОНТУРОВ СТРЕЛОВЫХ КРАНОВ

Ермакова С.А.

(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Стреловые краны находят широкое применение при погрузочно-разгрузочных, строительных и ремонтно-восстановительных работах.

Обеспечение при проектировании и эксплуатации надежной и безопасной работы стреловых кранов является одной из важнейших задач. Как показывает опыт эксплуатации кранов, добиться этого нелегко, так как краны работают в различных условиях, а зачастую и экстремальных. Очень часто краны эксплуатируют в стесненных условиях на неподготовленной рабочей площадке с разным рельефом, грунты на которых устанавливают выносные опоры, имеют различные физико-механические свойства. Поэтому вопрос рациональности опорных контуров стреловых кранов при обеспечении устойчивого и надежного положения является актуальным.

Стреловые краны, как правило, снабжены выносными опорами различной конструкции. В настоящее время на кран устанавливают выносные опоры, у которых привод каждой из опор дистанционно управляется. Это позволяет упростить установку крана в горизонтальное рабочее положение, предписанное правилами безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. Часто применение гидрофицированных опор позволяет располагать кран над рабочей площадкой, благодаря чему обеспечивается увеличение действительной статической нагрузки на кран на 5-10 процентов и улучшается устойчивость крана.

Для восприятия значительных вертикальных и горизонтальных нагрузок от собственного веса крана и полезного груза, инерционных сил, ветровых нагрузок несущие балки опор необходимо выполнять из элементов трубчатого или коробчатого сечения, а также из прокатных профилей с высоким моментом сопротивления сечения. Опорные поверхности выносных опор должны способствовать при максимальных фактических нагрузках снижению давления на грунт до нормативных значений. Рекомендуется использовать наборную подушку под выносную опору.

При возникновении чрезвычайных ситуаций необходимо обеспечить своевременный доступ автомобильного крана в зону аварии для ликвидации последствий аварии. Существующая конструкция выносных опор самоходных кранов не позволяет работать на неподготовленных площадках, что значительно сокращает возможности крана в данных условиях. Для подготовки площадки в настоящее время требуется проведение значительных по объему и времени земляных работ, а в условиях неотложного доступа к объекту – это недопустимо. Поэтому одной из задач по расширению зоны обслуживания необходимо обосновано подходить к выбору рациональных параметров выносных опор, которые бы позволили обеспечить надежную и безопасную установку и работу крана при разных условиях эксплуатации.

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА КРУПНЫХ ПОКОВОК ЗА СЧЕТ СНИЖЕНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ В ВИДЕ УТЯЖИН

Жбанков Я. Г., Швец А. А., Кальченко П. П.  
(ДГМА, Краматорск, Украина)

После осадки заготовка, как правило, имеет незначительную высоту. Протяжка осаженной или короткой исходной заготовки осуществляется с малыми относительными обжатиями и подачами. Это обуславливает деформирование только лишь периферийных слоев заготовки, как следствие образуются наплывы на торцы заготовки, которые при дальнейшей протяжке трансформируются сначала в утяжину, а после при больших уковах могут трансформироваться в свищи на торцах поковки, что является неисправим браком и требует при создании технологии введения дополнительных напусков на торцах поковки.

Проведено физическое моделирование процесса протяжки заготовки плоскими бойками по заводским режимам. Моделирование проводилось на заготовках полученных отливкой в изложнице с последующей калибровкой в матрице до диаметра  $D_0 = 36$  мм из свинца с содержанием 1% сурьмы для схожести механических характеристик модельного материала с натуральным – сталь 45.

В ходе эксперимента исследовалась зависимость глубины образования вогнутости ( $x$ ) на торцевой поверхности заготовки от величины обжатия и подачи при протяжке цилиндрической заготовки плоскими бойками. Эксперимент осуществлялся следующим образом: цилиндрическая заготовка укладывалась на нижний плоский боек шириной  $B = 28$  мм с подачей равной  $1/3$ ,  $1/2$  или  $2/3$  ширины бойка, после чего производился нажим на заготовку верхним плоским бойком такой же ширины. Величина обжатия производилась на постоянную величину, равную 3 или 6 мм со скоростью 1 мм/с. Протяжка путем последовательных подач, осуществлялась проходами по всей длине заготовки. Ковка проводилась по схеме круг – квадрат – восьмигранник – круг путем кантовок заготовки вокруг оси на  $90^0$  и  $45^0$  до диаметра  $d = 15$  мм при величине обжатий равной 3 мм и до  $d = 18$  мм при величине обжатий равной 6 мм. Таким образом, было промоделировано 6 схем протяжки.

Для устранения дефекта утяжина, предложено осуществлять протяжку заготовки по специальному режиму. Данный режим протяжки заключается в профилировании исходной заготовки на первом этапе и доковка заготовки протяжкой на втором.

С использованием метода конечных элементов и физического моделирования установлено, что при протяжке заготовок по схеме круг-круг по стандартным заводским режимам на ее торцах образуется утяжина, которая в дальнейшем при ковке трансформируется в зажим.

Величина зажима зависит от механического режима протяжки, так с увеличением относительного обжатия и подачи заготовки величина зажима существенно снижается.

Предложен новый способ протяжки, позволяющий получать поковки из коротких заготовок без торцевых зажимов, который заключается в предварительном профилировании короткой заготовки на катушку, формировании торцевых выпуклых фланцев и в дальнейшем ковке протяжкой фланцев по стандартным режимам.



## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА В ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ

Залога В.А., Зинченко Р.Н.  
(СумГУ, Сумы, Украина)

Как известно, наиболее слабым звеном при обработке резанием является режущий инструмент, работающий в сложных условиях. При механической обработке лезвийным инструментом, особенно труднообрабатываемых материалов, инструмент подвержен процессу интенсивного изнашивания. Дороговизна режущего инструмента требует максимального использования ресурса его работы, поскольку только в этом случае возможно получение экономического эффекта от его использования, которое возможно только при использовании систем диагностики состояния режущего инструмента, как непосредственно в процессе резания, так и за его пределами. Однако, одной из важнейших задач, которую решает система диагностики состояния режущего инструмента есть прогнозирование его состояния через определенный промежуток времени, либо прогнозирование времени работы инструмента до наступления критерия износа инструмента, и, как показывает практика, использование таких характеристик «жизнеспособности» инструмента как стойкость и др. 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 все значительно сложнее, т.к. один и тот же инструмент, может выполнять различные операции с различными режимами обработки. 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 режимы резания, вид обработки, инструментальный материал, обрабатываемый материал; геометрия инструмента и др. Поэтому проводить прогнозирование инструмента в реальных условиях достаточно сложная задача, для решения которой предлагается методика основана на параметре скорости износа инструмента и экспертной подсистемы на базе искусственной нейронной сети.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТА И СТЕПЕНИ ЕГО ИЗНОСА МЕТОД ВИБРОДИАГНОСТИКИ

Залого В.А., Нагорный В.В.  
(СумГУ, г.Сумы, Украина)

Повышение быстроходности и надежности машин потребовало повышения точности обработки и улучшения качества обработанной поверхности. В связи с этим расширились работы по исследованию размерной стойкости инструмента.

Стойкость инструмента  $T$  неразрывно связана с его износостойкостью  $I$ , которая в свою очередь обратна по величине интенсивности износа  $J(I=1/J)$ .

$$J = \frac{h_3}{L}, \quad (1)$$

где  $h_3$  - величина износа главной задней поверхности, мм;  $L$  - путь, который проходит инструмент в процессе мехобработки, мм.

В период устойчивого износа выражение (1) можно представить в следующем виде:

$$J = \frac{h_{3\max} - h_{3i}}{(T - \tau_i) \cdot v}, \quad (2)$$

где:  $h_{3i}, h_{3\max}$  – величины износа, соответственно, текущая, наблюдаемая в момент времени  $\tau_i$ , и максимальная, соответствующая предельно допустимому износу инструмента, которого он достигает к моменту исчерпания его стойкости  $T$ .

В докладе рассматривается вибродиагностический метод оценки стойкости инструмента  $T$  и относительной величины его износа  $\bar{h}_3$ . С этой целью предложена аппроксимационная модель, имеющая три параметра, главным из которых является искомая стойкость инструмента  $T$ . Параметры модели определяются в процессе минимизации функции невязки (3) между уровнем звука, сопровождающим процесс резания  $E_{3Bi}$ , и его расчетным значением  $E_{3BPi}$ , получаемым с помощью предложенной в докладе аппроксимационной модели.

$$U(E_{3Bi}, E_{3BPi}) = \sum_i^m (E_{3Bi} - E_{3BPi})^2. \quad (3)$$

Рассмотренный в докладе метод позволяет перейти к прогнозу стойкости режущего инструмента без использования, как правило, применяемых в настоящее время среднестатистических данных о нем.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОРЕЗАНИЯ КАНАВОК И ОТРЕЗАНИЯ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ**

Залого В.А., д.т.н.; Чертихин О.В., аспирант  
(СГУ, г. Сумы, Украина)

Применение СОЖ благоприятно воздействует на процесс резания металлов: значительно уменьшается износ режущего инструмента, повышается качество обработанной поверхности и снижаются затраты энергии на резание. При этом уменьшается наростообразование на режущей кромке инструмента, и улучшаются условия для удаления стружки и абразивных частиц из зоны резания. При работе твердосплавным инструментом на высоких скоростях резания рекомендуется обильная и непрерывная подача СОЖ. Наиболее эффективно применение СОЖ при обработке вязких и пластичных металлов, при этом с увеличением толщины среза и скорости резания положительное воздействие СОЖ на процесс стружкообразования уменьшается. Выбор СОЖ зависит от обрабатываемого материала и вида обработки. СОЖ должна обладать высокими охлаждающими, смазывающими, антикоррозийными свойствами и быть безвредной для обслуживающего персонала[1].

Общеизвестно, что при прорезании канавок и отрезании нагрев настолько интенсивен, что СОЖ практически испаряется еще до того момента, когда она может достигнуть режущей кромки. Подвод СОЖ под высоким давлением при направлении потока сверху непосредственно на переднюю поверхность инструмента способствует улучшению отвода теплоты и удаления стружки, но непосредственно в зону резания СОЖ все-таки не проникает.

Одно из решений указанной проблемы разработала фирма ISCAR, система типа JET-CUT или «Канал-Стружка» далее («КС»). Разработан комплекс конструкций: режущая пластина-державка-оснастка-станок, в которой СОЖ подается через канал в самой режущей пластине. При этом СОЖ попадает непосредственно на переднюю поверхность инструмента вблизи режущей кромки и направляется к нижней поверхности стружки, что способствует значительному улучшению теплоотвода, уменьшению интенсивности изнашивания рабочих поверхностей пластины и благоприятно влияет на форму стружки. Система «КС» частично апробирована ООО ИНАТЕК+ и ВНИИинструмент, применительно к сменным режущим твердосплавным отрезным и канавочным пластинам [2]

### **Литература:**

1 Энтелис С.Г. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: Справочник/Под ред. С.Г. Энтелиса, Э.М. Берлинера.- М.: Машиностроение, 1986. 352 с.

2. Повышение эффективности металлообработки с помощью комплекса конструкций «Инструмент-Станок» для подачи СОЖ [Электронный ресурс] / ВНИИИНСТРУМЕНТ, ред. Музыкант Я. А. - Электрон. дан. - Москва, 2006-2011. - Режим доступа: <http://www.vniinstrument.ru/production/soj/soj.php>

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАШИННОГО ВРЕМЕНИ ВИБРАЦИОННОЙ ОТДЕЛОЧНО-ЗАЧИСТНОЙ ОБРАБОТКИ

Захаров Т.Г., Мицык В.Я.  
(ВНУ им. В. Даля, Луганск, Украина)

В современном машиностроении производится многочисленная группа корпусных деталей приводных и распределительных механизмов, а также деталей типа тел вращения, таких как диски, втулки, катушки, шкивы, зубчатые колеса и др., имеющих симметричную форму и центральные сквозные отверстия. Формообразование таких деталей связано с операциями обработки лезвийным инструментом на металлорежущих станках, а именно точением, фрезерованием, сверлением, что влечет за собой появление дефектов в виде заусенцев, острых кромок, повышенной шероховатости, удаление которых необходимо согласно требованиям последующей сборки и эксплуатации.

Для операций отделочно-зачистной обработки указанных деталей разработан новый способ виброобработки с дополнительным использованием энергии воздействия мелкодисперсной псевдосжиженной рабочей среды. В данном случае при удалении дефектов требуется проведение определенного количества проходов гранул среды по обрабатываемым поверхностям. Количество  $n$  проходов определяется из выражения:  $n = (R_{a1}/R_{a2}) + 1$ , где  $R_{a1}$  – величина исходной микрошероховатости, мкм;  $R_{a2}$  – величина микрошероховатости, полученная после операции виброобработки, мкм.

Согласно исследованиям проф. Шаинского М.Е. съем  $Q$  металла на операциях виброобработки находится по формуле:

$$Q = \frac{28 \cdot 10^{-6} P_N^2 t \omega (m + M) \delta}{c \rho_x^2 \tau_s m M}, \left[ \text{г} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot \text{мм}^2 \right]$$

где  $P_N$  – нормальная составляющая силы косоугольного удара гранул рабочей среды, Н;  $t$  – время обработки, мин;  $\omega$  – частота колебаний резервуара, Гц;  $m, M$  – приведенные массы гранулы и детали, кг/ч<sup>2</sup>·см;  $c$  – коэффициент, учитывающий количество одновременно контактирующих зерен гранулы;  $\rho_x$  – радиус отпечатка зерна гранулы, см;  $\tau_s$  – величина контактных касательных напряжений, Н/см<sup>2</sup>.

Сопоставляя выражение количества проходов с формулой съема металла, получим равенство:  $k_0 k_\zeta Q_{y\delta} = Q n t$ , где  $k_0$  – коэффициент эффективности химически-активного раствора;  $k_\zeta$  – коэффициент, учитывающий форму обрабатываемых деталей;  $Q_{y\delta}$  – эффективный съем металла с учетом физико-технологических свойств рабочей среды.

Таким образом, время обработки партии деталей составит:

$$\tau = \frac{60 k_0 k_\zeta Q_{y\delta}}{n Q}, \left[ \text{ч} \cdot \text{г} \right].$$

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВАННО-ШЛАКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ТЯЖЕЛОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

Иванык А.В.  
(ДГМА, Краматорск, Украина)

В современных условиях рыночной экономики к изделиям тяжелого машиностроения возрастает рост требований, таких как повышение эффективности производства, экономное использование материалов, снижение металлоёмкости конструкций, повышение надёжности и долговечности крупного оборудования. Основную роль в решении этой задачи играет электрошлаковая сварка, являющаяся основным технологическим процессом при изготовлении крупных заготовок.

Ванно-шлаковая сварка приобретает все большее распространение при изготовлении изделий металлургического, прокатного и энергетического оборудования, в котло-, гидро- и прессостроении, в строительстве и т.д. С помощью этого способа сварки выполняются конструкции из углеродистых и легированных сталей, титана, алюминия, меди и их сплавов. Диапазон свариваемых толщин металла составляет 20-2500 мм. Современная оснащённость ванно-шлаковой сварки такова, что позволяет решать практически любые задачи промышленности на самом высоком техническом уровне.

Первоначальным назначением электрошлакового процесса была сварка вертикальных монтажных швов изделий, швы которых нельзя поставить в удобное для дуговой сварки нижнее положение. Однако высокая эффективность электрошлакового процесса вывела его за пределы монтажной сварки, сделав его основным способом сварки металла большой толщины, а затем и за пределы собственно сварочного производства. Сейчас электрошлаковый процесс применяется не только при сварке и наплавке, но также для получения отливок и слитков специального назначения.

Электрошлаковая сварка нашла широкое применение в производстве барабанов паровых котлов и других сосудов высокого давления, где уже полностью вытеснила применявшуюся ранее многослойную автоматическую сварку. Данный вид сварки активно используется при изготовлении станин крупных механических прессов, траверс, архитравов и цилиндров гидравлических прессов, валов крупных гидротурбин и гидрогенераторов, станин прокатных станов, судовых корпусов, ахтерштевней, форштевней и других судовых деталей, корпусов крупных электромашин, паровозных и тепловозных рам, стоек мартеновских печей, коленчатых валов, крупных фланцев и многих других деталей. Широкое распространение получила электрошлаковая сварка стыков арматуры. Несмотря на сравнительно небольшое сечение сварных соединений, этот способ проявляет себя эффективнее других.

Использование электрошлаковой сварки для изготовления сварных конструкций из литья и поковок бесспорно. Без увеличения мощностей литейного и прессового оборудования можно создавать крупные детали из нескольких простых элементов. Так, например, изготовление нижних и верхних частей рам щековых дробилок, свариваемых из четырех или шести литых заготовок с толщиной стенки 390...450 мм и длиной до 1200...4670 мм. Масса готового изделия составляет 27...100 т. Однако в процессе изготовления литых заготовок весьма вероятно появление трудноустраняемых трещин. Это указывает на необходимость проработки и исследования всего цикла производства и выбора оптимального, с учетом применения электрошлаковой сварки, технологического процесса, который обеспечит высокое качество сварных изделий.

## ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЗНИЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ РІЗАННЯ ЗА РАХУНОК ОХОЛОДЖУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ

Івченко Т.Г., Витохина Д.В.  
(ДВНЗ ДНТУ, м. Донецьк, Україна)

Найбільш ефективно зниження температури різання досягається за рахунок застосування під час механічної обробки мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ (МОТС).

Мета роботи – визначення впливу властивостей різних МОТС і способів їх подачі в зону різання на температуру різання та оцінка ефективності дії МОТС за критерієм зниження температури.

В результаті порівняльного аналізу можливостей різних МОТС за коефіцієнтом тепловіддачі встановлено, що найбільш вираженими охолоджуючими властивостями володіє 5% розчин емульсолу Аквол-2, незначно від нього відрізняється 5% розчин емульсолу Укринол-1 та значно меншими - МР-1у. Найбільший коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha$  має місце при використанні подачі МОТС напірним струменем.

На підставі встановлених закономірностей зміни теплових потоків  $q_1$  і  $q_2$  та температури різання в залежності від режимів різання для різних умов токарної обробки сталей без використання МОТС -  $\Theta$  та з її використанням -  $\Theta_{\text{МОТС}}$  визначається коефіцієнт зниження температури різання:  $K_o = \Theta_{\text{МОТС}}/\Theta$ .

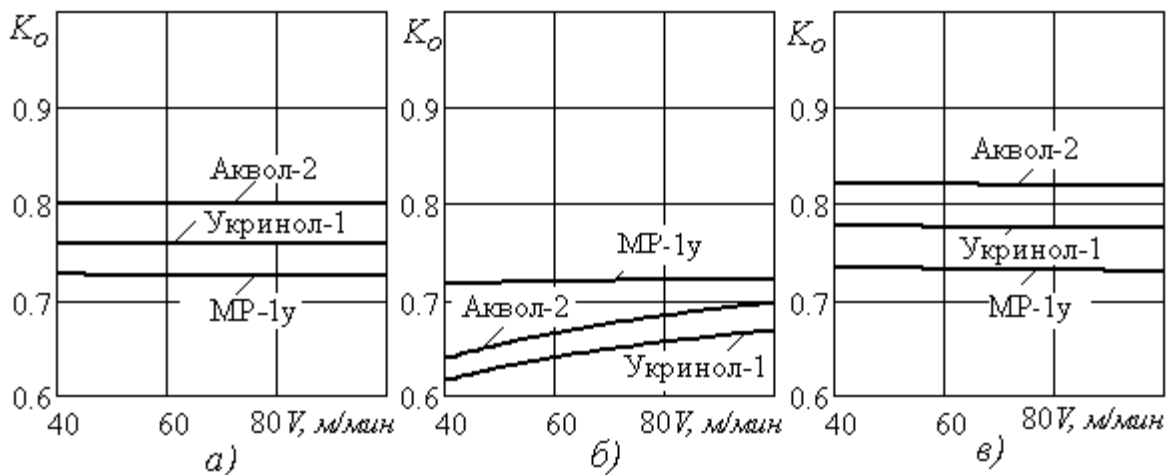


Рис.1. Графіки залежності коефіцієнта зниження температури різання  $K_o$  від швидкості  $V$  під час обробки сталей з подачею МОТС

Найбільш ефективно зниження температури різання досягається для подачі МОТС напірним струменем при використанні 5% розчину емульсолу Укринол-1, який має як охолоджуючі, так і змащувальні властивості. Для подачі МОТС вільним поливом та розпиленням найбільше зниження температури різання має місце при застосуванні МР-1у з найбільш вираженими мастильними властивостями.

## ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ШОРСТКОСТІ ПІД ЧАС ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ КРИВОЛІНІЙНИХ ПОВЕРХОНЬ

Івченко Т.Г., Король К.О.  
(ДВНЗ ДНТУ, м. Донецьк, Україна)

Серед різноманітних видів поверхней деталей машин особливе місце займають фасонні поверхні, механічна обробка яких досить утруднена. Під час обробки криволінійних поверхонь має місце складний характер зміни як кінематичних геометричних параметрів леза інструменту, так і параметрів зрізу поверхневого шару, пов'язаний з кривиною поверхні, що суттєво ускладнює аналіз впливу цих параметрів на рівень шорсткості. Дослідження в цьому напрямку досить обмежені.

Метою представленої роботи є встановлення закономірностей формування шорсткості криволінійних поверхонь тіл обертання під час токарної обробки з урахуванням змінних кінематичних кутів у плані леза інструменту.

Під час обробки криволінійних поверхонь головні  $\varphi_K$  та допоміжні  $\varphi_{1K}$  кінематичні кути в плані одночасно змінюються в залежності від положення вершини леза на криволінійній поверхні, яке для опуклої поверхні з постійним радіусом кривини  $\rho$  визначається миттєвим кутом повороту  $\zeta_i = 90^\circ - \psi_i$  ( $\zeta = x/\rho$  – безрозмірна координата):

$$\varphi_K = \varphi_C - \psi_i; \varphi_{1K} = \varphi_{1C} + \psi_i; \psi_i = \arcsin(1 - \xi). \quad (1)$$

Закономірності формування шорсткості криволінійної поверхні визначаються на підставі відомих залежностей висоти нерівностей профілю шорсткості полягають від параметрів обробки з урахуванням одночасної зміни кінематичних головних і допоміжних кутів у плані (рис. 1). Обробка виконується інструментом з тригранною пластиною, для якої статичні кути в плані:  $\varphi_C = 90^\circ$ ;  $\varphi_{1C} = 30^\circ$ .

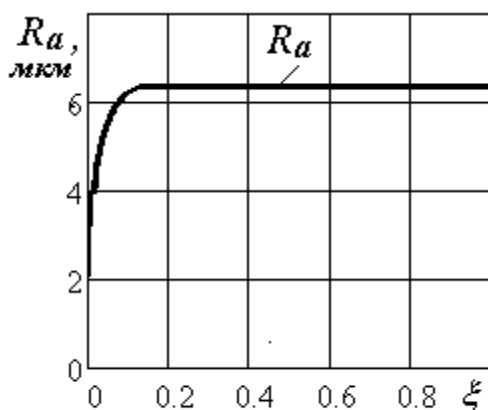


Рис. 1. Графіки зміни параметрів шорсткості  $R_{ai}$  обробленої криволінійної поверхні

На підставі встановлених закономірностей зміни кінематичних кутів у плані леза інструменту під час токарної обробки криволінійних поверхонь визначений вплив головних та допоміжних кутів у плані леза інструменту на шорсткість обробленої поверхні.

В результаті виконаних досліджень для заданих радіусів при вершині леза та подач встановлені кількісні зв'язки шорсткості з кутами у плані леза інструменту, які складають підставу для розробки методів керування шорсткістю під час обробки криволінійних

поверхонь.

# ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МАСТИЛЬНО-ОХОЛОДЖУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ ЗА КРИТЕРІЄМ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ОБРОБКИ

Івченко Т.Г., Юдицька В.О.  
(ДВНЗ ДНТУ, м. Донецьк, Україна)

Підвищення продуктивності обробки деталей машин за рахунок застосування мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ (МОТС) є важливою задачею сучасного машинобудування.

Мета роботи - оцінка можливостей підвищення продуктивності чистового та чорнового точіння за рахунок використання МОТС на підставі визначення оптимальних режимів різання в залежності від умов обробки.

З використанням методу лінійного програмування визначені аналітичні залежності оптимальних за критерієм максимальної продуктивності режимів різання від умов чистової та чорнкової обробок з урахуванням дії МОТС.

На підставі визначених аналітичних залежностей оптимальних подач та швидкостей різання визначений коефіцієнт підвищення продуктивності обробки за рахунок використання МОТС, завдяки якому може бути виконана оцінка ефективності використання МОТС з різними охолоджуючими та мастильними властивостями в різних умовах обробки.

$$K_{I1} = K_O^{(k_1 - k_3)/(y_t k_3 - z_t k_1)} K_{MR}^{(y_t - z_t)/y_p z_t}; \quad K_{I2} = K_O^{-1/z_t} K_{MP}^{(y_t - z_t)/y_p z_t},$$

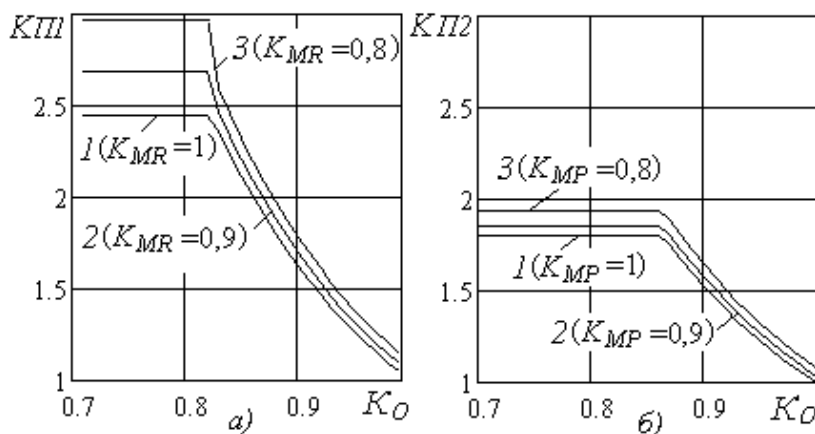


Рис. 1. Графіки зміни коефіцієнтів підвищення продуктивності  $K_{II}$  від коефіцієнта зниження температури  $K_O$  для різних коефіцієнтів, що враховують мастильну дію МОТС, під час чистової обробки  $K_{MR}$  - а) та чорнкової  $K_{MP}$  - б)

де  $K_O$  - коефіцієнт, що враховує охолоджуючу дію МОТС;  $y_t, z_t$  - показники, що характеризують ступінь впливу подачі та швидкості на температуру різання;  $K_{MR}$  - коефіцієнт, що враховує мастильну дію МОТС на шорсткість;  $k_1, k_3$  - показники, що характеризують ступінь впливу подачі швидкості різання на шорсткість обробленої поверхні;  $K_{MP}$  - коефіцієнт, що враховує мастильну дію МОТС на силу різання;  $y_p, z_t$  - показники, що характеризують ступінь впливу подачі на силу різання

Встановлено, що використання МОТС дає ефект підвищення продуктивності під час обробки конструкційних сталей до 3 разів.



## СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ В ТЕХНОЛОГІЇ РОЗКОЧУВАННЯ КІЛЕЦЬ ШАРИКОПІДШИПНИКІВ

Іскович-Лотоцький Р.Д., Веселовська Н.Р.  
(ВНТУ, м.Вінниця, Україна)

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. Ефективність цих процесів суттєво залежить від можливостей приводів розкочувального обладнання, що використовується для їх реалізації.

Досвід створення маловідходної технології 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.

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.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ И УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СБОРНЫХ ТОРЦОВЫХ ФРЕЗ ДЛЯ ОБРАБОТКИ НЕШИРОКИХ ПЛОСКОСТЕЙ И УСТУПОВ

Казакова Т.В.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

В настоящее время для обработки плоскостей и уступов наиболее часто применяют сборные торцовые фрезы с углами в плане 45,75 и 90°. Зарубежными фирмами выпускается широкая номенклатура торцовых фрез, поэтому перед потребителем всегда стоят вопросы не только правильного выбора конструкции фрезы, имеющей высокую надежность, но и условий ее эксплуатации, обеспечивающих максимальную производительность.

Целью настоящей работы является определение оптимальных условий эксплуатации сборных торцовых фрез фирмы Seco диаметром 125 мм с углами в плане 45,75 и 90 градусов.

Определение оптимальных условий и режимов эксплуатации проводили методом линейного программирования. В качестве критерия оптимальности было выбрано основное (технологическое) время, которое должно быть минимальным при однопроходной обработке.

$$T_0 = L/S_M = L/S_z z n = \min,$$

где L – длина обработки, мм;

$S_M$  – минутная подача, мм/мин;

$S_z$  – подача на зуб, мм/зуб;

z – число зубьев;

n – частота вращения, мин<sup>-1</sup>.

Для получения  $T_0 = \min$  необходимо, чтобы  $(S_z * n) = \max$ . Необходимо найти такие значения  $S_{z \text{оп}}$ , которые удовлетворяют всем наложенным ограничениям, при которых достигается максимум производительности. В качестве ограничений приняты: 1. Режущая способность фрезы (скорость резания V); 2. Эффективная мощность станка ( $N_{\text{ст}}$ ); 3. Минимальная частота вращения шпинделя станка  $n_{\text{min}}$ ; 4. Максимальная частота вращения шпинделя станка  $n_{\text{max}}$ ; 5. Минимальная минутная подача станка  $S_{M \text{ min}}$ ; 6. Максимальная минутная подача станка  $S_{M \text{ max}}$ . Определение оптимальных значений  $S_{z \text{оп}}$  проводили путем графической интерпретации названной выше системы ограничений и целевой функции  $(S_z * n) = \max$ .

Определение оптимальных значений  $S_z$  и n проводили при фрезеровании стали на различных моделях вертикально-фрезерных станков с различной мощностью двигателя N: 6P13 (N= 11 кВт), 6P13Ф3 (N= 7,5 кВт), МА-400 НА фирмы «Окума» (N= 15 кВт), 6A56 (N= 22 кВт). Глубину резания принимали с учетом размеров режущей пластины – 10 мм. Для вышеназванных моделей фрезерных станков оптимальная производительность принимает следующие значения: 90, 60, 160 и 1780 мм\*мин<sup>-1</sup>, т. е. существенно зависит от мощности станка.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ НАПРАВЛЯЮЩИХ ОПОР ГОЛОВКИ ДЛЯ ГЛУБОКОГО СВЕРЛЕНИЯ

Казакова Т.В., Неупокоев А.В.  
(ДГМА, г.Краматорск, Украина)

В настоящее время в условиях тяжелого машиностроения для обработки отверстий с  $L/D$  больше 5 применяют сверла и головки для глубокого сверления, которые по способу базирования делят на две группы: с постоянным (определенным) базированием и периодически изменяющимся базированием. При постоянном базировании силы сопротивления, возникающие в поперечной плоскости сверла, действуют все время в одном направлении по отношению к сверлу и прижимают инструмент к поверхности обработанного отверстия.

Целью настоящей работы является определение оптимального базирования сверлильной головки, обеспечивающего минимальный и равномерный износ периферийных кассет и, соответственно, высокую точность обработки. В качестве объекта исследований была принята головка для глубокого сверления диаметром 105 мм конструкции ПАО «НКМЗ». Расчетная схема для определения сил резания приведена на рисунке 1.

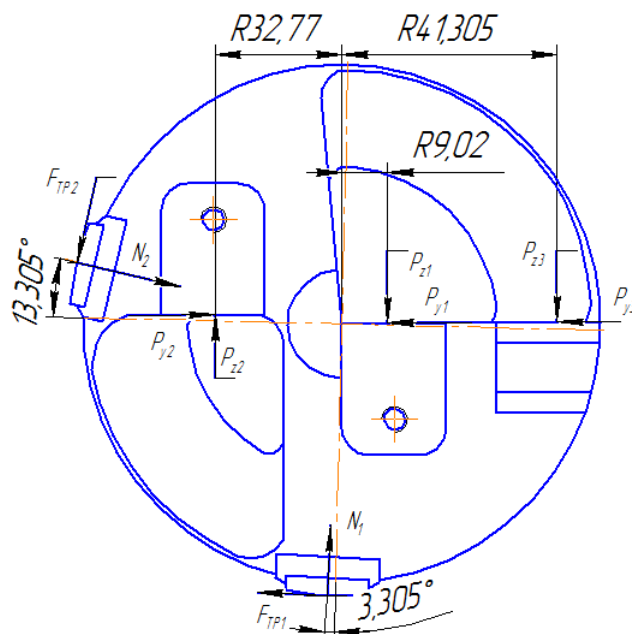


Рисунок 1 – Расчетная схема сил, действующих на кассетах в плоскости, перпендикулярной оси сверла

Для расчета сил, возникающих в направляющих, составлена система уравнений  $\begin{cases} \sum P_z = 0 \\ \sum P_y = 0 \end{cases}$ , и найдены значения  $N_2 = 6272.37 \text{ Н}$  и  $N_1 = 12719.91 \text{ Н}$ . При таком расположении опор направляющая 1 будет изнашиваться гораздо быстрее, чем направляющая 2. Для устранения этих недостатков предлагается расположить опорные направляющие таким образом, чтобы равнодействующая всех сил была направлена по биссектрисе угла между ними.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ СЛОЕВ ИЗ ВЫСОКОТВЕРДЫХ БОРИДОВ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ**

Калиниченко В. В.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Среди перспективных материалов контактных слоев износостойких покрытий для режущих инструментов следует отметить наноструктурированные пленки боридов переходных металлов IV–VI групп Периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева (титана, тантала, гафния, ванадия и др.), наносимые методом ВЧ-магнетронного распыления. Неоспоримым достоинством высокотвердых боридов переходных металлов является высокая температура плавления, коррозионная стойкость, теплопроводность. Важной особенностью наноструктурированных слоев из высокотвердых боридов металлов, получаемых ВЧ-магнетронным распылением, является возможность за счет варьирования технологических режимов распыления обеспечить изменение не только размера, но и типа структуры зерна (столбчатая, глобулярная и др. структуры), что может служить основой для разработки вариантов слоя покрытия, одновременно характеризующегося высокой твердостью, износостойкостью, сопротивляемостью локальному разрушению при резании и высокой прочностью адгезионного сцепления с материалом основы, то есть сочетающих в себе возможность выполнять различные функциональные требования к слоям износостойких покрытий. Такие покрытия в перспективе могут выступить в качестве возможной замены известных вариантов архитектуры многослойно-композиционных покрытий с функциональными слоями различных составов.

Учитывая высокий уровень соответствия эксплуатационным требованиям и твердость наноструктурированных слоев износостойких покрытий из боридов переходных металлов IV–VI групп Периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева, основной задачей повышения функциональной работоспособности таких покрытий является обеспечение удовлетворительного уровня характеристик упругости. При выборе состава слоев покрытия и назначении режимов ВЧ-магнетронного распыления с целью обеспечения требуемой стойкости инструмента необходимо обеспечить:

- соответствие общим эксплуатационным требованиям к материалу слоя;
- твердость контактного слоя покрытия, гарантирующую требуемый уровень сопротивляемости процессам изнашивания при резании;
- характеристики упругости слоя покрытия, гарантирующие требуемый уровень сопротивляемости процессам локального разрушения покрытия при когезионном растрескивании и адгезионном отслаивании слоев;
- минимальное различие характеристик упругости материала слоя покрытия, контактирующего с основой, и инструментального материала основы, гарантирующие требуемую прочность адгезионного сцепления покрытия.

# ВЛИЯНИЕ СООТНОШЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО СЛОЯ ПОКРЫТИЯ НА ЕГО СОПРОТИВЛЯЕМОСТЬ КОГЕЗИОННОМУ РАСТРЕСКИВАНИЮ

Калиниченко В. В., Шумилкин Е. Л.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Высокая работоспособность износостойкого покрытия для режущего инструмента обеспечивается при его хорошей сопротивляемости локальному разрушению вследствие растрескивания и отслаивания слоев при резании. Начальным этапом такого разрушения для каждого из слоев является когезионное растрескивание слоя в направлении, перпендикулярном границе с основой инструмента или смежным слоем покрытия. В связи с этим сопротивляемость слоев покрытия когезионному растрескиванию при резании является важным фактором, сдерживающим локальное разрушение покрытия.

Высокая сопротивляемость когезионному растрескиванию отмечается у наноструктурированных слоев, состоящих из зерен кристаллической фазы размером  $d < 50$  нм и межзеренных прослоек аморфной фазы. Особенности деформации и механические свойства материалов наноструктурированных слоев покрытий обусловлены их размерно-структурными характеристиками, в частности размером  $d$  зерна и объемной долей границ раздела фаз в слое. Снижение  $d$  при переходе к нанокристаллической фазе вплоть до критического размера  $d_c$  соответствует доминированию внутривзеренных дислокационных процессов и росту твердости  $H$  материала по закону Холла–Петча, дальнейшее снижение  $d$  в зоне  $d < d_c$  – доминированию скольжения по границам фаз, обусловленного малым  $d$  и большой объемной долей границ раздела фаз, снижению  $H$  и повышению модуля Юнга  $E$  материала слоя.

На основе известных закономерностей механики разрушения и анализа связи характера деформации и механических свойств материалов наноструктурированных слоев с их размерно-структурными характеристиками была получена формула зависимости критического коэффициента интенсивности напряжений при образовании трещин в наноструктурированном

слое покрытия от соотношения  $\frac{H}{E}$  материала слоя:

$$K_{1c} = \sqrt{\frac{0,074 \cdot k \cdot a \cdot E^2}{H^2}} = \frac{0,27 \cdot \sqrt{k \cdot a}}{\frac{H}{E}},$$

где  $k$  – коэффициент, зависящий от типа структуры материала слоя (столбчатой, глобулярной и т. д.),  $a$  – длина межатомных связей.

Наличие широкого массива данных о значениях  $\frac{H}{E}$  для различных материалов наноструктурированных слоев обеспечивает возможность научно обоснованного выбора материалов слоев износостойких покрытий с заданными показателями интенсивности когезионного растрескивания.

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ФРЕЗ СБОРНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Клименко Г. П. , Коноплицкий Е. В.  
( ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Целью исследования является повышение эффективности работы твердосплавных фрез, за счет повышения их надежности регламентированной заменой инструмента.

В данной работе разработана математическая модель надежности сборной концевой фрезы как системы, которая представляет собой параллельную систему с пассивным резервом. В этом случае, при отказе первой режущей пластины её нагрузку при резании воспринимает следующая за ней режущая пластина. При этом надежность фрезы в целом снижается, то есть уменьшается вероятность безотказной работы.

В зависимости от необходимого уровня надежности фрезы выбирается стратегия замены её режущих элементов. Повышение надежности путем замены одного отказавшего зуба приводит к недоиспользованию ресурса фрезы, повышению суммарных затрат.

Данная стратегия замены режущих элементов фрезы позволяет достичь целесообразного уровня ее надежности, который определен по критерию приведенных затрат.

Для исследования износостойкости были проведены испытание торцовых фрез с разными пластинами в условиях ЗАО НКМЗ. Проверялись на износостойкость фрезы с пластинами фирмы Seco, Ceratizit, TaeguTec, Iscar, ZCCCT, SandvikCoromant.

В результате получены реализации износа для пластин, изготовленных разными фирмами-изготовителями.

Для расчета напряжений и перемещений в конструкции сборной фрезы применен программный пакет Solid Works. Модель исследования представлена в виде трехмерной конструкции инструмента.

При выполнении расчетов напряженного состояния фрезы, в приложении Simulation Xpress, осуществлено моделирование процесса фрезерования паза фрезами с различным количеством работоспособных зубьев, которое позволило исследовать влияние сил резания действующих в различных плоскостях инструмента. Проведенные исследования позволили выявить величины запаса прочности и величину статического перемещения, в конструкции инструмента, что дало возможность сделать вывод о рациональной стратегии замены отказавших элементов.

Целесообразный уровень надежности сборной фрезы, определенный по критерию суммарных затрат, обеспечивается стратегией регламентированной замены режущих пластин и составляет 0,82 – 0,95 (вероятность безотказной работы)

Результаты исследования позволили прогнозировать средний период стойкости и вероятность безотказной работы инструмента, а также снизить затраты на его эксплуатацию.

# ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СВЕРЛ ДЛЯ ГЛУБОКОГО СВЕРЛЕНИЯ

Клименко Г. П. , Коноплицкий Е. В. , Яворовская Я. И.  
( ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Статистический анализ операций, выполняемых на тяжелых токарных станках, показывает, что, кроме операций точения, значительная доля приходится на операции глубокого сверления. Современный процесс глубокого сверления – это непрерывный процесс образования в сплошном материале заготовки отверстий с относительной длиной более 3-5 диаметров сверления с применением специальных сверл, оснастки и оборудования, обеспечивающих принудительный отвод стружки из зоны резания. Особенностью операции является невозможность наблюдения за ходом процесса обработки, повышенные требования к жесткости и прочности инструмента. Для исследования напряженного состояния сверла для глубокого сверления и показателей его жесткости в пакете программы SolidWorks(SimulationXpress) произведено моделирование работы инструмента в условиях глубокого сверления.

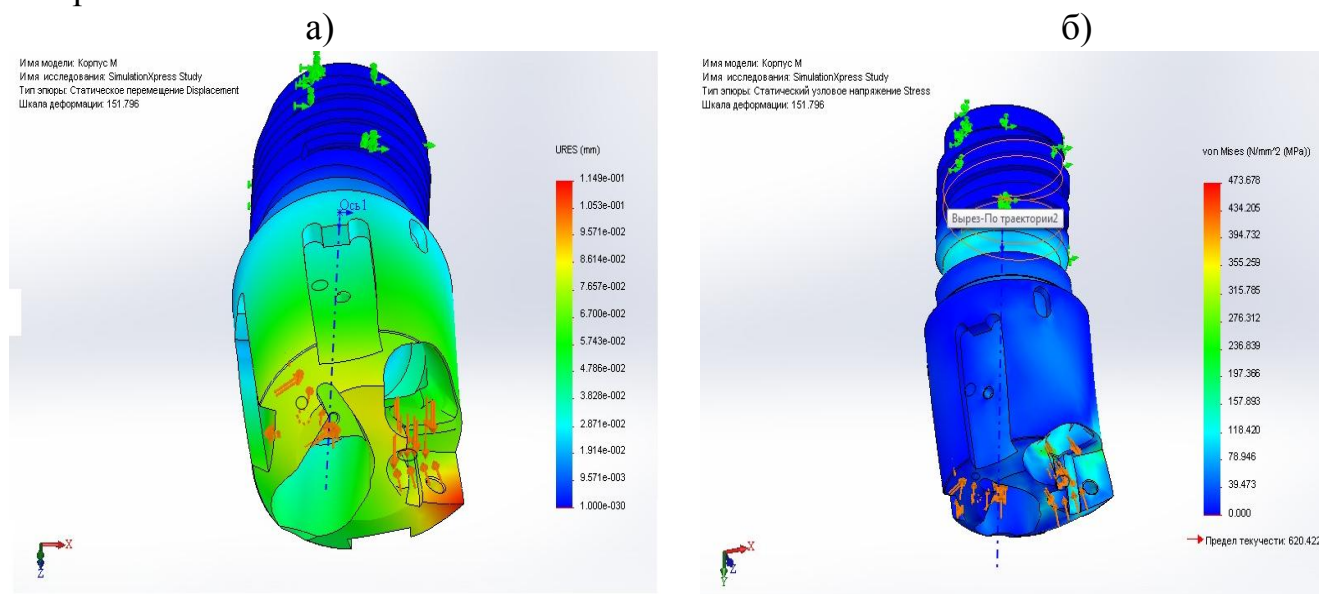


Рис.1 Диаграммы перемещений (а) и напряжений (б) в сверле  $\varnothing 50$  мм, при сверлении Стали 45

Расчетная схема приложения сил учитывала: силу сопротивления резанию, равную  $P_z$ , и действующую параллельно скорости резания в том же направлении, силу сопротивления подаче, равную  $P_x$ , направленную параллельно оси сверла в сторону обратную подаче; силу  $P_y$ , действующую в плоскости перпендикулярной оси сверла; силы трения на базовых направлениях сверла; силы веса стебля и сверла; центробежные силы инерции.

Полученные распределения были использованы при совершенствовании конструкции инструментов и определении рациональных регламентов их эксплуатации.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ НА ГОРИЗОНТАЛЬНО-РАСТОЧНОМ СТАНКЕ С ЧПУ

Клименко Г.П., Полонников С.А.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Работа направлена на повышение точности и оперативности контроля технологического процесса обработки деталей на горизонтально-расточном станке

Для повышения точности работы станка с ЧПУ применялись методы, основанные на измерении погрешностей и их компенсации или стабилизации.

В соответствии методом измерения погрешностей проведена компенсации систематической составляющей погрешностей на основе информации о погрешностях станка с ЧПУ и всей технологической системы, полученной аналитическими расчетами и экспериментальными исследованиями. Это достигается путем предсказания программы управления на этапе программирования, редактированием программы в процессе эксплуатации или вводом коррекций с пульта устройства ЧПУ (радиуса, длины и положения инструмента и др.).

Применение метода стабилизации позволило произвести компенсацию погрешностей станка с ЧПУ на основе информации, поступающей непрерывно от систем обратной связи. Это позволило компенсировать не только систематическую, но и случайную составляющую погрешностей и проводить эту компенсацию непрерывно в процессе эксплуатации.

Поскольку на точность обработки влияет размерный износ инструмента, в работе предусмотрен его контроль косвенным методом, по измерению составляющих сил резания с помощью датчиков, установленных в подшипниках шпинделя.

Получена математическая модель управления точностью обработки деталей  $F_{VT}(A_d)$ , позволяющая путем выбора и поддержания на заданном уровне параметров режима резания и износа инструмента повысить точность обработки деталей. Основными компонентами которой являются математические модели: возмущающих воздействий  $F_{BB}(\varepsilon)$ ; сил резания  $F_{CP}(P)$ ; выбора параметров управления  $F_{IV}(s, v)$ .

$$F_{VT}(A_d) = f(F_{BB}(\varepsilon), F_{CP}(P), F_{IV}(s, v))$$

Применение разработанных автоматизированных систем управления точностью обработки позволило значительно увеличить точность обработки за счет компенсации влияния на точность не только силовых упругих деформаций, но и износа инструмента. При этом достигнуто увеличение производительности обработки путем поддержания оптимальной скорости износа инструмента, расширения диапазона регулирования скорости резания, в котором точность работы не снижается.



# АВТОМАТИЗАЦИЯ ГАШЕНИЯ АВТОКОЛЕБАНИЙ В ПРИВОДЕ ПОДАЧИ ГЛУБОКОРАСТОЧНОГО СТАНКА

Клименко Г.П., Синельников Н. Ю.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

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. 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.

Исследование привода подачи глубокорасточного станка в условиях ПАО «НКМЗ» позволило получить осциллограммы и построить фазовый портрет переходных процессов, которые использовались при синтезе системы управления.

Анализ полученных результатов позволил разработать структурную модель управления приводом подачи глубокорасточного станка с учетом того, что в устройстве привода подачи используется двигатель постоянного тока. Полученная модель показана на рисунке 1.

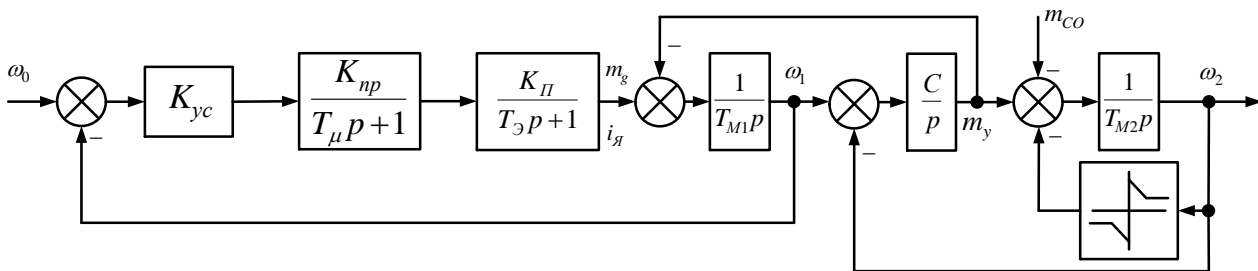


Рисунок 1 – Структурная схема рассматриваемой модели системы управления

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. Также с помощью разработанной системы управления выведена 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 пригодна для дальнейшего исследования возможных средств гашения автоколебаний методом управления процессом обработки, и 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.

# **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.  
(ХНТУ «ХПИ», г. Харьков, ДГМА, г. Краматорск, Украина)

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.

Расчет остаточных напряжений, обусловленных структурными и фазовыми превращениями основывается на расчете температурных остаточных напряжений и остаточных напряжений, обусловленных силовым воздействием на поверхностный слой. При анализе шероховатости обработанной поверхности на формирование неровностей обработанной поверхности при встречном фрезеровании оказывают влияние радиус округления режущей кромки зубьев фрезы, параметры инструмента, изменяемая во времени геометрия сечения среза, объем, и скорость пластического деформирования металла, обусловленные комплексом температурно-силовых явлений, возникающих в зоне резания. 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.

## **ОБЛАСТИ ОПТИМАЛЬНОГО. УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ТОЧНОСТИ, КАЧЕСТВА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЗУБООБРАБОТКИ ЗАКАЛЕННЫХ КРУПНОМОДУЛЬНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС**

Клочко А.А., Тимофеев Ю.В., Шелковой А.Н.  
(НТУ «ХПИ» г.Харьков, Украина)

Рассмотрение 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).

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).

Анализ динамической системы станка позволяет определить область устойчивой работы системы ДТСС в условиях управления размером динамической настройки при максимально достижимой производительности.

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.

В связи с разделением элементами упругой системы участков протекания технологических процессов, представляется возможным перейти к эквивалентному представлению о динамической системе станка.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ СБОРНЫХ РЕЗЦОВ ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ

Ковалёв Д.Г.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

При снятии больших сечений среза растет число поломок инструмента, что заставляет ограничивать подачу, снижает стойкость инструмента, а также увеличивает расход инструмента. Для повышения эффективности лезвийной обработки на тяжелых карусельных станках был спроектирован сборный резец (рис. 1).

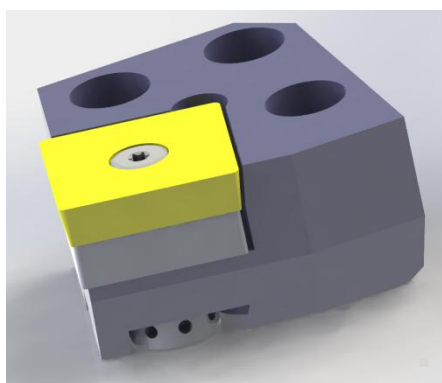


Рис. 1 - Общий вид сборного блока резца

Для анализа работоспособности инструмента были рассмотрены эпюры распределения коэффициента запаса прочности и распределения эквивалентных напряжений как всей конструкции в целом, так и поэлементно. Анализ прочностных характеристик резцового блока, показал что участок с минимальным запасом прочности распределен по острым кромкам опорной поверхности, и имеет 4-х кратный запас прочности. По данным проведенного моделирования получен график изменения

эквивалентных напряжений по передней поверхности вдоль режущей кромки (рис. 2). Изменение эквивалентных напряжений соответствует уравнению:  $\sigma_3 = 1619.6 \ln(l) + 2928.3$ ; где  $\sigma_3$  – величина эквивалентных напряжений,  $l$  – параметрическое расстояние воздействия сил резания на передней поверхности.

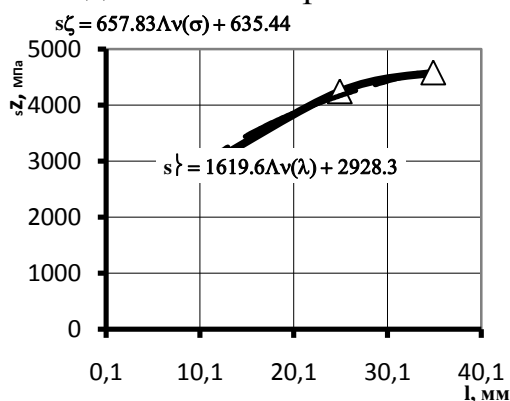


Рис. 2 – Аппроксимации зависимости эквивалентных  $\sigma_3$  по передней поверхности

По результатам приведенных исследований установлено месторасположение границ действия максимальных эквивалентных напряжений и распределения коэффициента запаса прочности в узле крепления предложенного резцового блока, что позволяет оптимизировать размеры резцовой вставки, с учетом выполняемой операции обработки.

## ИМПУЛЬСНО-ФРИКЦИОННЫЕ ГАЙКОВЕРТЫ

Красовский С.С., Хорошайло В.В.  
(ДГМА, г.Краматорск, Украина)

Сборка является завершающим этапом производственного процесса в машиностроении и в значительной степени определяет качество изготавливаемой продукции. Особое место в конструкциях и технологии производства машин занимают резьбовые соединения, которые составляют от 35% до 80% от общего количества соединений, применяемых в машиностроении. Для механизации процессов сборки в настоящее время в основном используют гайковерты ударного и безударного действия.

Из всего множества ударных гайковертов, практически нет гайковертов, обеспечивающих тарированную затяжку. Исследования в области затяжки резьбовых соединений показывают, что 50-60% крепежных деталей разрушаются из-за неправильной затяжки. Таким образом, создание принципиально новых конструкции гайковертов, обеспечивающих тарированную затяжку, и исследование их энерго-силовых параметров является актуальной задачей.

Применением гайковертов ударного действия достаточно сложно обеспечить заданное усилие. Поэтому была поставлена задача создать импульсно-фрикционные гайковерты, обеспечивающие тарированную затяжку резьбовых соединений.

Импульсно-фрикционные гайковерты - это новый класс ручного механизированного инструмента, разработанный в последние годы. В основу конструкций гайковертов, обеспечивающих заданное усилие затяжки положен принцип работы конусных фрикционных муфт. Эти муфты отличаются хорошей функциональностью, однако имеют значительные радиальные размеры и отличаются от других муфт высокими требованиями к точности изготовления рабочих поверхностей. На технические характеристики этих муфт влияют осевое давление, коэффициент трения, закон изменения нагрузки, продолжительность неподвижного контакта фрикционных поверхностей. Существенное влияние на передаваемый муфтой момент оказывает нормальное давление и коэффициент трения фрикционных поверхностей.

Для импульсно-фрикционных гайковертов может быть использован как пневматический, так и электрический привод с механизмом управления различных конструкций. В целях повышения эффективности работы в дополнение к передаче усилия через фрикционные конические вставки в конструкции могут быть предусмотрены элементы ударного типа, которые взаимодействуют в момент затяжки резьбового соединения.

Отличительной особенностью импульсно-фрикционных гайковертов является их долговечность и стабильность момента затяжки, и то, что затяжка осуществляется за один импульс. Проведенные испытания импульсно-фрикционных гайковертов показали, что их ресурс определяется ресурсом работы привода в отличие от ударных гайковертов, срок службы которых определяется стойкостью основных деталей - ударника и наковальни.

## **ЕФЕКТИВНІСТЬ КЕРОВАНОГО ПРОЦЕСУ СВЕРДЛІННЯ НАСКРІЗНИХ ОТВОРІВ ШЛЯХОМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗМІНИ ПОДАЧІ**

Кривий П.Д., Кобельник В.Р.  
(ТНТУ ім. І. Пулюя, м. Тернопіль, Україна)

Встановлено, що трудомісткість механічної обробки містить в собі вагому частину свердлильних робіт, які становлять: 6...7% в одиничному і дрібносерійному виробництвах, 10...12% у середньосерійному і до 20...30% в масовому виробництві.

Відзначено, що виробництво широко використовує, як вертикально-свердлильні (ВСВ) так і спеціальні верстати для отримання отворів, в тому числі наскрізних, де одночасно здійснюється процес різання свердлами різних діаметрів. Це дає змогу стверджувати, що собівартість свердлильних операцій суттєво впливає на загальну собівартість готової продукції.

За проаналізованими відомими літературними джерелами встановлено, що при свердлінні наскрізних отворів під дією осьового зусилля виникають пружні деформації деталей механізму подач ВСВ. Це призводить до накопичення потенціальної енергії, яка в свою чергу, при виході інструмента із тіла заготовки може сприяти значному зростанню подачі, крутного моменту, і як результат, може бути причиною поломки свердл. Через те, в процесі свердління наскрізних отворів величину подачі рекомендують встановлювати на 20...35%, а в деяких випадках навіть, у 2 рази меншу по відношенню до подачі, яка призначається при свердлінні глухих отворів.

Таке зменшення подачі на всій глибині отвору призводить до збільшення шляху різання, підвищення трудомісткості операцій та інтенсивності зношування свердл і в кінцевому результаті до зниження ефективності обробки.

Запропоновано ряд пристроїв, які забезпечують зменшення подачі на ВСВ тільки на етапах врізання та виходу інструменту. Зміну подачі на цих етапах при свердлінні наскрізних отворів можна забезпечувати такими системами та програмами керування металорізальними верстатами, як гідропривід, електромеханічний привід, електромагнітний привід, відповідний профіль кулачка.

Використання запропонованих пристроїв дозволило здійснювати усталений процес свердління на максимально допустимих подачах, що сприяє зростанню продуктивності обробки. Зниження подачі, як стверджують існуючі джерела та експериментальні дослідження авторів, забезпечило зменшення величини задирок, що скорочує час на операцію їх зрізання.

Отримано залежність для визначення основного часу при свердлінні наскрізних отворів за запропонованою технологією, з врахуванням зміни подачі при врізанні та виході свердла з тіла заготовки.

Запропоновано залежності для визначення зменшення витрат на свердління наскрізних отворів та зрізання задирок за запропонованою технологією у порівнянні з традиційною, за рахунок збільшення продуктивності праці, економії електроенергії, зменшення потрібної кількості свердл для свердління заданої кількості отворів.

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НАПРЯЖЕНИЙ В ГУСЕНИЧНЫХ ЗВЕНЬЯХ ЭКСКАВАТОРОВ

Крупко В.Г., Опенько С.Ю.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

В современных гусеничных движителях экскаваторов одним из наименее долговечных элементов являются гусеничные звенья. При общем подобии конструкций они имеют значительный разброс в геометрических размерах, при этом в настоящее время не существует методик проектирования и обоснованного выбора их параметров. С целью определения рациональных параметров звеньев на кафедре ПТМ были изготовлены модели гусеничных звеньев с разными параметрами и проведены экспериментальные исследования напряженного состояния при разном сочетании нагрузок.

Экспериментальные исследования проводились в несколько этапов, причем было выделено три наиболее характерных способа нагружения опорных элементов :

- гусеничное звено нагружалось только растягивающей нагрузкой (тяговым усилием);
- гусеничное звено нагружалось только вертикальными (изгибающими) нагрузками, аналогично нагрузкам от опорных катков;
- нагрузки создавались как тяговые, так и опорные;

Экспериментальные исследования были проведены на модели трака экскаватора ЭКГ-5А, выполненной из алюминиевого сплава АМГ6 со следующими физико-механическими свойствами: пределом текучести при растяжении 320 Мпа; пределом текучести 170 Мпа; - пределом выносливости 180 Мпа; твердость по Бринелю 45 НВ; модуль упругости  $0,71 \times 10^5$  Мпа; удельным весом (плотностью)  $2,8 \text{ т/м}^3$ ;

Нагрузки при проведении эксперимента проводились в пределах близких к  $(0,5...0,7)G_T$ . В результате проведенных экспериментов было установлено следующее:

1. При нагружении трака только растягивающей нагрузкой (равномерно нагружались обе проушины) отмечен рост напряжений в точках 3 и 8. Рост напряжений составлял в относительных единицах до половины от суммарного напряжения в тягах, т.е. нагрузка между проушинами распределялась равномерно, а боковые опорные площадки практически не реагировали на изменение нагрузки. Это позволило представить диаграмму напряжений в траке.

2. При равномерном нагружении проушин траков напряжения в поверхностном слое трака (участки Д3 и Д8) нагружаются равномерно и составляют примерно 50% от напряжений в тягах, при этом опорная поверхность нагружается примерно в 5 раз меньше, чем в самих проушинах.

При нагружении трака как балки на 2-х опорах максимальные напряжения возникают в среднем сечении, что очевидно и вызывает разрушение траков в средней зоне.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ МОЩНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

Крупко И.В., Отченаш С.Ю.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

На современных мощных экскаваторах ковшом вместимостью 4 м<sup>3</sup> и более в качестве ходового оборудования используют, как правило, гусеничные и шагающие механизмы передвижения. Эти виды ходового оборудования отвечают следующим требованиям: достаточными тяговыми усилиями, обеспечивающими передвижение машин в сложных горно-технических условиях с необходимой скоростью; сравнительно низким давлением на грунт (0,1...0,2)Мпа; достаточной устойчивостью экскаваторов при разных положениях рабочего оборудования. В современной практике экскаваторостроения сложилось так, что гусеничное ходовое оборудование применяют на карьерных экскаваторах, а шагающее – на драглайнах. В тоже время ряд зарубежных фирм (Марион, Бьюайрус, Пейдж) выпустили ряд драглайнов и на гусеничном ходу. В связи с разработкой новых конструкций механизмов передвижения возник вопрос о возможности применения шагающих и гусеничных движителей на экскаваторах драглайнах и механических лопатах.

В данной работе предполагается дать сравнительный анализу указанных механизмов передвижения и обосновать целесообразность применения их на отдельных группах машин. С этой целью необходимо выделить ряд технических параметров механизмов передвижения, которые могут характеризовать их технический уровень. Современные методы оценки технического уровня машин, в частности механизмов передвижения, базируются на удельных показателях, таких как: удельная металлоемкость механизма; удельная энергоемкость процессов перемещения; целом ряде показателей надежности (работоспособности, ремонтпригодности).

Сбор необходимой информации для определения указанных показателей проводился на кафедре ПТМ ДГМА длительное время, что позволило установить обобщенный показатель технического уровня ходовых механизмов по методике проф. Солода Г.Н.

$$\lambda = \frac{P_i}{M_3 V_3},$$

где  $P_i$  – суммарная мощность двигателей механизма передвижения экскаватора, кВт;

$M_3$  и  $V_3$  – масса и скорость передвижения экскаватора.

Сравнительный анализ по указанным показателям позволил определить степень совершенства и основные пути повышения технического уровня существующих механизмов передвижения и обосновать новые конструктивные решения по совершенствованию ходовых механизмов экскаваторов.



## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ DFA EXPERT**

Лашина Ю.В.

(НТУУ «КПИ», ММИ, кафедра ТМ, Киев, Украина)

Современные подходы к управлению производством, такие как «Бережливое производство» (Lean Manufacturing), направлены на минимизацию или полное исключение всех видов потерь из процесса создания продукции. Достичь сокращения потерь возможно не только используя инструменты менеджмента, но также инструменты процессно-ориентированного проектирования, такие как: сборочно-ориентированное конструирование (DFA – Design for Assembly), конструирование, ориентированное на процессы обработки (DFM – Design for Manufacturing) и т.п. Существующие системы поддержки принятия решений при сборочно-ориентированном проектировании обладают одним общим недостатком – незначительным уровнем автоматизации анализа.

Целью работы является дальнейшее развитие системы автоматизированного DFA анализа DFA Expert в части автоматизации получения исходных данных на основе 3D модели.

Предложено представить модель конструкторско-технологического решения в виде диаграммы классов. Согласно такой модели, класс «Design and Manufacturing Concept» (конструкторско-технологическое решение) состоит из трех подклассов, связанных между собой: «Component» (компонент), «Process» (процесс), «Resources» (ресурсы).

Автоматизированное получение свойств класса «Component» 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 САД систему; импорт данных определенного формата, генерируемых САД системой.

Для обмена данными между САД и DFA Expert предлагается использовать формат XML, в котором в соответствующих тегах представляется информация о свойствах элементов сборочного изделия.

В работе 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 работе представлен способ импорта данных о структуре, габаритных размерах, материалах, массе и т.п. характеристиках собираемых изделий из САД системы с использованием формата XML.

## **РЕЖУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ И ИЗНОС БОКОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТРЕЗНОГО КРУГА ПРИ АБРАЗИВНОЙ РАЗРЕЗКЕ ТРУБ**

Левченко Е.А.  
(СевНТУ, г. Севастополь, Украина)

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. В процессе обработки режущие кромки притупляются, и на вершинах зерен появляются площадки износа, образующие усеченную вершину. При этом форма площадок износа определяется как исходной формой каждого из зерен, так и общими характеристиками формы абразивного отрезного круга. При этом в плоскости вектора скорости резания вершина зерна имеет площадку с радиусом округления, равным радиусу круга.

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. С увеличением времени работы абразивного инструмента износ вершины зерна непрерывно увеличивается. Возрастание площадок износа вызывает рост сил резания. 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, увеличиваются вибрации в технологической системе, появляются прижоги, что делает невозможным дальнейшую эксплуатацию инструмента.

## ЖОРСТКІСТЬ ШТОКОВИХ ТОКАРНИХ ПАТРОНІВ

Литвин О.В.  
(НТУУ "КПІ", м. Київ, Україна)

Технологічна система верстат – затискний патрон – інструмент – деталь представляє собою систему, жорсткість (або деформації) елементів якої в процесі обробки обумовлюють виникнення систематичних та випадкових похибок розмірів і геометричної форми оброблюваних заготовок. Разом з тим, ця технологічна система є замкненою динамічною системою, здатною до збудження та підтримання вібрацій, що породжують похибки форми оброблюваних поверхонь (некруглість, хвилястість) і збільшують їх шорсткість. Жорсткістьзатискних патронівмаєвеликий впливнаточність обробки, надинамічнукартинузатискних зусиль, згинальнихіперекиднихмоментів. Розробка методівіпроцесів, що дозволяють описати івизначитижорсткістьзатискних патронів, має велике практичне значення.Жорсткістьзатискногопатрона, йогоскладальних одиницьабоскладових частинхарактеризуютьїх пружні деформації поведінкупід впливом зовнішніхсилімоментів, стійкість дозмінїх форми і положення. Під часобробкивпатронізаготовкиназатискнійповерхнікулачкавідбуваєтьсяствореннянеобхідногозусилля затиску, а також виникають осьовіітангенціальнісили. Деформований стан та поведінкасистемизатискногопатрона, якправило, повністюможуть бути описанідев'ятьмажорсткостями, що характеризують відповідні переміщення вздовж осей координат, ідев'ятьмакутовими жорсткостями.

де  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$  - переміщення під дією комбінованого навантаження в напрямі осей  $X, Y, Z$ ;  $k_{xx} - k_{zz}$  - лінійна жорсткість в напрямі осей  $X, Y, Z$  в локальній системі координат відносно осей  $X, Y, Z$ ;  $k_{x\alpha} - k_{z\alpha}$  - поворотна жорсткість в відносно осей  $X, Y, Z$  в локальній системі координат відносно осей  $X, Y, Z$ ;  $\alpha, \beta, \gamma$  - нахил затискного кулачка відносно осей  $X, Y, Z$ ;  $F_x$  - сила затиску на кулачку,  $F_y$  - тангенціальна сила на кулачку,  $F_z$  - осьова сила на кулачку. При визначенні параметрів, які впливають на розрахунок пружної деформації, перед усім повинні розглядатися наступні лінійні і кутові жорсткості:  $k_{xx}, k_{yy}, k_{zz}, k_{x\alpha}, k_{y\alpha}$ . Серед цих жорсткостей радіальна та кутова при радіальному навантаженні мають найбільший вплив на динамічну зміну зусилля затиску. В затискному патроні передача енергії відбувається в напрямі від джерела енергії з перетворенням та підсиленням до виконавчого органу, що створює необхідну силу затиску об'єкта для надійного закріплення в процесі виконання технологічних та допоміжних операцій. Таку передачу енергії можна представити в вигляді силових потоків від привода до патрону, розглядаючи різні напрямки на вході та виході. У точці прикладання зусилля затиску воно викликає переміщення затискного кулачка, що складається з окремих переміщень всіх елементів, що беруть участь в передачі енергії від привода, таких як затискний кулачок

(змінний), основний кулачок (підкулачник), передавально - підсилюючий механізм і корпус патрона, а також переміщення в самих елементах.

## **БАГАТОРІЗЦЕВЕ ОСНАЩЕННЯ АДАПТИВНОГО ТИПУ З ПРУЖНИМИ НАПРЯМНИМИ**

Луців І.В., д.т.н., проф., Шарик В.  
(ТНТУ ім. І. Пулюя, Тернопіль)

Через зміну величини припуску і твердості матеріалу заготовки, зношення ріжучого інструменту, обробка з постійними режимами різання викликає змінні сили різання. Для зменшення похибки обробки необхідно або знизити режими різання, або збільшити кількість проходів, що призводить до зниження сили різання і зменшення пружних переміщень.

Для вирішення зазначеної задачі в Тернопільському національному технічному університеті ім. І. Пулюя на кафедрі конструювання верстатів, інструментів та машин запропоновано три конструкції багаторізцевого оснащення адаптивного типу з пружними напрямними, що дозволяє керувати положенням інструментів в процесі обробки, 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. В головці різцетримачі жорстко з'єднані з якорями електромагнітів, які нерухомо прикріплені до корпусу. На якорях встановлені пружні елементи в вигляді пластин, які закріплені другим кінцем до штанг, що кріпляться до корпусу, причому пластини оснащені тензометричними давачами (ТД). ТД з'єднані з тензопідсилювачем, мікропроцесорною системою керування, та системою погодження та підсилення. У випадку, коли на одному із різців, наприклад, через збільшення локального припуску (а значить і глибини різання), чи локального збільшення твердості, виникає осьова складова сила різання  $R_{x1}$ , яка більша від осьових складових на двох інших різцях і при цьому порушується стан рівноваги, що призводить до відповідного переміщення різця. Це призводить до деформації пружної пластини і разом з нею і ТД, сигнал з якого у вигляді збільшення сили електричного струму подається на тензопідсилювач, а після цього підсилений сигнал - на мікропроцесорну систему керування, яка в свою чергу через систему погодження і підсилення спрямовує сигнал більшої сили струму на два інші електромагніти, примушуючи цим самим переміщувати їх якори, збільшуючи подачу на різцях і вирівнюючи їхні осьові складові, а значить і радіальні складові  $R_{y1}$ ,  $R_{y2}$ ,  $R_{y3}$ , що діють на заготовку. При цьому забезпечується рівнодійна радіальних зусиль  $R_y$ , яка прямує до нуля. У другій головці електромагніти знаходяться не зверху, як в попередньому випадку, а з торця головки. На якорях встановлені пружні елементи у вигляді пластин, які закріплені другим кінцем до корпусу електромагніта, на яких закріплені ТД, а принцип роботи такий, як і у попередній. У третій головці вирівнювання зусиль здійснюється за рахунок гідрокамери та штоків гідроциліндрів, які пов'язані між собою через рідину і система являється замкнутою та завжди прагне знаходитися у рівновазі

## **ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ БАГАТОГРАННИХ НЕПЕРЕТОЧУВАНИХ ТВЕРДОСПЛАВНИХ ПЛАСТИН ПРИ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОМУ ОБРОБЛЕННІ**

Майборода В.С., Джулій Д.Ю.  
(НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна)

Працездатність багатогранних непереточуваних твердосплавних пластин (БНТП) суттєво залежить від їх фінішного оброблення. А саме від забезпечення сприятливої мікрогеометрії робочих поверхонь, в особливості різальних кромок (РК), фізико-механічних властивостей поверхневого шару. Досягнення необхідних характеристик можливо за рахунок використання на фінішних етапах виготовлення БНТП магнітно-абразивного оброблення (МАО) у великих магнітних щілинах кільцевого типу.

МАО – це абразивне оброблення, яке здійснюється при відносному русі заготовки в середовищі магнітно-абразивного порошку, який під силами магнітного поля в процесі оброблення формується в магнітно-абразивний інструмент (МАІ).

Метою роботи є розробка науково-практичних засад для забезпечення шляхів формування параметрів якості БНТП при МАО в умовах великих магнітних щілин кільцевого типу.

Для досягнення поставленої мети було вирішено наступні задачі:

1. Визначено особливості кінематики контактної взаємодії МАІ з оброблюваними поверхнями при МАО БНТП в умовах великих магнітних щілин кільцевого типу. Обґрунтовано доцільність застосування методу МАО БНТП у великих магнітних щілинах і розроблено кінематичну модель процесу формоутворення МАІ при МАО, яка забезпечує отримання рівномірного оброблення робочих поверхонь і досягнення ефекту підвищення працездатності різального інструменту.

2. Визначено вплив кінематики процесу МАО БНТП в умовах великих робочих щілин, слабких магнітних полів та підвищених швидкостей оброблення на показники якості різального інструменту.

3. З урахуванням особливостей процесу МАО БНТП встановлено основні закономірності, кінетику формування мікрогеометрії поверхонь, фізико-механічних властивостей поверхневого шару БНТП при застосуванні МАО.

В результаті досліджень розроблено теоретико-експериментальні положення підвищення працездатності БНТП, які полягають у:

- теоретичному визначенні і експериментальному підтвердженні застосування технології підвищення працездатності БНТП, яка полягає в використанні на фінішних етапах виготовлення методу магнітно-абразивного оброблення в умовах великих магнітних щілин кільцевого типу;

- розробці моделі процесу МАО БНТП у великих магнітних щілинах, яка враховує особливості взаємодії оброблюваних поверхонь з МАІ і визначенні раціональних умов оброблення;

- визначенні особливостей взаємодії оброблюваних поверхонь з МАІ при магнітно-абразивному оброблюванні в умовах великих магнітних щілин кільцевого типу, а саме: особливості зміцнення поверхневого шару робочих елементів БНТП, закономірності формування мікрорельєфу та мікрогеометрії робочих поверхні БНТП після МАО з урахуванням особливостей деталей в зонах оброблення.

## РАЗРАБОТКА ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОШЛАКОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Макаренко Н.А.  
(ДГМА, Краматорск, Украина)

Источники питания большой мощности предназначены для высокопроизводительных способов наплавки – многоэлектродной (гребенкой проволок, а также ленточными электродами), электрошлаковой (двумя параллельными лентами).

Данные источники питания имеют жесткую ВАХ с подъемом в области токов 500–700 А, что стабилизирует процесс наплавки и облегчает его начало (первоначальное возбуждение дуги).

Применение токов более 2700 А нежелательно, так как магнитные силы при больших токах вызывают движение жидкого металла ванны к ее оси, в результате чего ухудшается формирование наплавленного валика, в связи с чем разработанный источник ТОР-6КА имеет две независимые секции, каждая из которых рассчитана на ток до 3000 А при ПВ 100%. Кроме того, при проектировании источника питания предусматривалось в случае необходимости, чтобы возможно было обе секции соединить параллельно, что позволяет развивать ток до 6000 А.

Источник питания имеет напряжение холостого хода 72 В.

Для электрошлаковых процессов (наплавки, сварки пластинчатым электродом, плавящимся мундштуком, процессов ЭШП и ЭШЛ) разработаны источники питания разнополярно-импульсного тока пониженной частоты (0,1–10 Гц).

Данные источники питания имеют преимущества перед трансформаторами ТРМК, ТШС и ТШП, так как равномерно загружают все три фазы питающей сети, снижают потери электроэнергии в короткой цепи электрошлаковой установки.

Изготовлен источник питания ТОР-2КА, действующий по данному принципу, который рассчитан на ток 2000 А при ПВ 100%. Он имеет функцию твердого старта и плавной регулировки частоты выходного тока.

Питающая сеть - 3х380 В 50 Гц.

Режимы работы:

- постоянный ток прямой полярности;
- постоянный ток обратной полярности;
- разнополярно-импульсный ток с регулировкой частоты 1–10 Гц;
- выходное напряжение (max) – 75 В;
- ПВ – 100%;
- максимальный ток – 2000 А;
- мощность – 165 КВА

## РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ТИГ-СВАРКИ МЕДИ В СРЕДЕ ГЕЛИЯ

Макаренко Н.А.  
(ДГМА, Краматорск, Украина)

Установка TOP-450 разработана совместно с ИЭС им. Е.О.Патона и предназначена для сварки меди в среде гелия неплавящимся вольфрамовым электродом (ТИГ-сварка). В отличие от аргона гелий обеспечивает более эффективный нагрев изделия при сварке, что связано с его характеристиками. Известно также, что термический КПД нагрева изделия при ТИГ-сварке с применением гелия выше, чем при использовании аргона в качестве защитного газа, в связи с чем его использование при сварке меди больших толщин более предпочтительно. В тоже время наличие высокого градиента падения напряжений в столбе дуги, высоких значений приэлектродных падений напряжений, наиболее высокий потенциал ионизации гелия (в сравнении с другими инертными газами) предъявляют достаточно жесткие требования к проектированию сварочной установки. Так, возбуждение дуги в гелии с помощью высоковольтного возбудителя дуги, имеющего стандартные параметры осциллятора, импульсного возбудителя, затруднено. Проведенные разработки позволили создать возбудители импульсного тока с энергией разряда 0,8...1,2 Дж, в то время как стандартные имеют мощность импульса 0,2 Дж, что вполне достаточно для сварки в аргоне, но недостаточно – в гелии.

Разработанный возбудитель-стабилизатор дуги может найти применение в промышленности и для ТИГ-сварки алюминия на переменном токе в среде аргона, а также для сварки магния и их сплавов. Применение разработанного возбудителя-стабилизатора дуги позволяет ликвидировать разрушение вольфрамового электрода и, как следствие, переход вольфрама в сварной шов (даже при применении тиристорного регулятора сварочного тока). Разработаны технологические рекомендации по стабилизации горения сварочной дуги в гелии.

Установка TOP-450 состоит из двух блоков. Основной блок – источник питания, включающий в себя также вспомогательный 3-х фазный трансформатор 380/36 В для питания выносного блока безопасным напряжением, который собран в виде передвижной тележки и может перемещаться по цеху на расстояние до 50 м от основного блока. Разработанная схема позволяет существенно облегчить его перемещение по цеху. Так, к выносному блоку от основного подводят лишь сварочный кабель и тонкий пятижильный кабель управления. В выносном блоке смонтирована автономная система охлаждения горелки антифризом, возбудитель дуги, система управления током дуги, система подачи гелия. Баллон с гелием устанавливается на тележку выносного блока. Установка TOP-450 успешно применяется для сварки медных кристаллизаторов ЭШП (обеспечивает сварку меди толщиной до 30 мм без подогрева). Кроме того, данное оборудование может быть также применено для сварки на постоянном токе прямой полярности меди неплавящимся электродом в среде аргона или азота.



## ПЛАЗМЕННАЯ НАПЛАВКА РЕЛИТА

Макаренко Н.А., Богуцкий А.А.  
(ДГМА, Краматорск, Украина)

Исследования показали, что наибольшей износостойкостью обладают сплавы, в которых содержится сфероидизированный карбид вольфрама (стойкость при абразивном износе таких сплавов на 50-70% выше, чем у сплавов, содержащих карбид вольфрама осколычатой формы).

Промышленность Украины выпускает сфероидизированный карбид вольфрама (в качестве металлической матрицы возможно применение либо самофлюсующихся сплавов системы Ni, Cr, W, Si, C, сплавов - на основе железа либо марганцевого мельхиора).

При наплавке композитных сплавов на основе карбида вольфрама основными задачами являются: недопущение растворения зерен карбида вольфрама в металлической связке; уменьшение глубины проплавления основного металла; обеспечение надежного соединения наплавленного металла с основным металлом направляемого изделия.

Был разработан способ плазменной наплавки разнополярно-импульсным током и оборудование для его осуществления. Установка рассчитана на ток до 160 А (по данному принципу могут быть изготовлены установки большей мощности, предназначенные для наплавки более крупных деталей). Установка содержит систему автономного охлаждения плазмотрона антифризом, расположенную в нижней части шкафа установки. Принцип действия основан на питании плазменной дуги импульсным током с чередованием полярности тока. Форма импульсов тока близка к прямоугольной с быстрым переходом тока через ноль, что обеспечивает высокую стабильность горения плазменной дуги. Переключение полярности тока осуществляется коммутатором, собранным на силовых IGBT транзисторах. Во время прохождения импульса тока прямой полярности происходит основное тепловложение в направляемое изделие, подплавление его поверхности (во время прохождения импульса тока обратной полярности); вследствие эффекта катодной очистки поверхность изделия очищается от оксидной пленки, обеспечивая хорошую растекаемость наплавленного металла по основному. Длительность импульсов прямой и обратной полярности регулируется плавно и независимо друг от друга. Также регулируются токи обеих полярностей, при этом ток обратной полярности выбирается значительно меньшим (примерно в 3-7 раз) тока прямой полярности, что обеспечивает не только длительный срок службы вольфрамового электрода плазмотрона, но и снижение тепловложения в жидкую металлическую ванну, содержащую карбид вольфрама, что предотвращает растворение карбида вольфрама, обеспечивая в наплавленном металле сохранение зерен карбида вольфрама. С этой же целью выбрана схема наплавки с боковой сосредоточенной подачей порошкообразного сплава в плазменную дугу (непосредственно перед жидкой металлической ванной, что приводит к уменьшению нагрева частиц карбида вольфрама плазменной дугой).

## ТЕМПЕРАТУРА РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ ЗАКАЛЕННЫХ СТАЛЕЙ ОДНОКРОМОЧНЫМ РЕЗЦОМ

Манохин А.С., Клименко С.А.  
(ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев, Украина)

Для крупногабаритных деталей, изготовленных из сталей высокой твердости, таких как валки прокатных станов, валы и шпиндели тяжелых станков, важнейшим требованием к механической обработке является обеспечение такого сочетания стойкости инструмента и производительности процесса, которое на финишном этапе позволяет обработать деталь без смены инструмента. В этих условиях перспективным является применение однокромочных инструментов, оснащенных ПСТМ на основе КНБ, работающих по косоугольной схеме.

В условиях обработки с высокими режимами резания, определяющими уровень производительности технологии, важно установить температурные закономерности процесса.

Наибольшее влияние на температуру в зоне резания оказывает скорость резания, вторым по значимости фактором является угол наклона режущей кромки.

При точении стали ШХ 15 (60-62 HRC), с ростом скорости резания от 0,5 до 1,5 м/с средняя температура резания возрастает с 880 до 1060 °С.

С увеличением угла наклона режущей кромки от 30 до 60° средняя температура резания возрастает от 800 до 1030 °С. Причинами роста температуры в данном случае являются увеличение средней толщины среза, рост силы трения на передней поверхности, а также значительное увеличение сил, действующих на задней поверхности резца, что связано с уменьшением кинематического заднего угла и, соответственно, интенсификацией процессов трения на площадке износа.

Глубина резания и подача оказывают менее значимое влияние, при этом при увеличении глубины температура резания возрастает более интенсивно, чем с увеличением подачи. С ростом глубины резания увеличивается толщина срезаемого слоя и ширина среза – растет мощность теплового потока и, за счет увеличения длины активной части режущей кромки, общее количества теплоты, поступающего в инструмент на контактных участках. С увеличением глубины резания от 0,05 до 0,1 мм температура резания возрастает на 50 °С. При дальнейшем увеличении глубины резания интенсивность роста температуры снижается.

Уровень температур при резании закаленных сталей инструментом, оснащенным ПСТМ на основе КНБ, при оптимальной скорости резания составляет 1000–1100 °С. Для точения деталей из закаленной стали ШХ 15, при условии обеспечения максимальной стойкости инструмента, рекомендуются следующие условия обработки:  $v = 1,2–1,5$  м/с;  $S = 0,1–0,6$  мм/об;  $t = 0,075–0,100$  мм;  $\lambda = (40–50)^\circ$ .

Приведенные выше результаты целесообразно использовать при разработке технологий точения крупногабаритных деталей из закаленных сталей.

## ВЛИЯНИЕ СИЛ ТРЕНИЯ НА ТОЧНОСТЬ СРАБАТЫВАНИЯ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ТОРМОЗНЫХ БАРАБАНОВ АВТОМОБИЛЕЙ

Мельникова Е.П., Быков В.В., Боднар С.В.  
(АДИ ГВУЗ «ДонНТУ», г. Горловка, Украина)

Одним из основных методов управления точностью процесса обработки резанием является восстановление первоначальной точности взаимного расположения инструмента и обрабатываемой детали [1,2]. Это актуально при токарной обработке тормозных барабанов автомобилей с применением мобильного токарного станка с внутренней адаптивной системой управления. Направляющие резцедержателей станка обеспечивают необходимое взаимное расположение резцов и возможность их перемещения относительно тормозного барабана. Они обеспечивают взаимные возвратно-поступательные движения резцедержателей с одной степенью свободы и имеют прямоугольную форму, а действующие силы в направляющих постоянно изменяются, и определяются как составляющая силы резания и силы трения в направляющих. Скорости скольжения в направляющих определяются кинематикой и динамикой функционирования адаптивной системы управления, что определяет их систему смазки и защиту от загрязнений. Наиболее существенными требованиями к направляющим являются: надежность, долговечность, ремонтпригодность, стабильность, геометрическая точность, оптимальная жесткость, минимальные силы трения.

В связи с этим целью данной статьи является изучение влияния сил трения в прямоугольных направляющих токарного станка для восстановления тормозных барабанов автомобилей на точность срабатывания адаптивной системы управления.

Для достижения поставленной цели необходимо рассмотреть характер действия сил трения в направляющих скольжения двурезцового токарного станка с внутренней адаптивной системой управления и гидравлической системой выравнивания сил. На каждом резце, закрепленном на передних концах направляющих, действуют составляющие силы резания  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$ . Полости гидроцилиндров соединены между собой.

Если предположить, что в начальный момент времени система находится в равновесии и силы резания, действующие на резцах одинаковы, то осевые составляющие силы резания уравниваются силами давления жидкости, действующими на поршни, силами со стороны демпфирующих пружин и силами трения. При изменении силы резания на резце нарушается равновесие, но благодаря адаптивной системе управления она будет стремиться достичь нового состояния равновесия, что соответствует выравниванию осевых сил резания в результате перераспределения мгновенных подач между резцами. Таким образом, существует определенное соотношение сил резания на резце, при котором система не обеспечивает полного выравнивания сил резания. Это соотношение определяет точность срабатывания АСУ с учетом сил трения.

**Вывод.** В результате анализа характера действия сил трения в прямоугольных направляющих установлено, что точность срабатывания АСУ токарного станка с прямоугольными направляющими для восстановления тормозных барабанов в значительной степени определяется коэффициентами трения в направляющих резцедержателей.

## ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЗУБООБРАБОТКИ ЗАКАЛЕННЫХ КРУПНОМОДУЛЬНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Мироненко Е.В., Клочко А.А., Кошелева А.Д., Годзула И.Г.  
(ДГМА, г.Краматорск, Украина)

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). Каждый технологический объект (ТО), входящий в объект управления рассматривается на более низкой иерархической ступени как самостоятельный объект, содержащий ряд технологических объектов. Вид функционального назначения *системы автоматического проектирования разработки технологических объектов (САПР ТО)* управления зубообработкой, устанавливаемый на основе классификатора и определяет объем и источник информации, необходимые для реализации процесса. В САПР ТО управления зубообработкой ограничения контролируемых параметры, характеризующие процесс, 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. В стабилизирующих САПР ТО управления зубообработкой программой предписывается поддерживать постоянным значение управляемой величины. При этом исходная программа не изменяется и контролируемый технологический параметр, характеризующий состояние процесса поддерживается постоянным при изменении внешних и внутренних возмущений.

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.

## ОСОБЕННОСТИ ОТКАЗОВ СБОРНЫХ РЕЗЦОВ НА ТЯЖЕЛЫХ КАРУСЕЛЬНЫХ СТАНКАХ

Мироненко Е.В., Ковалёв Д.Г.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Современное развитие производства направлено на решение ряда задач связанных с повышением производительности, снижения трудоемкости и себестоимости выпускаемой продукции, при постоянном повышении ее качества. Важную роль в этом играет применение новых технологий, а также использование прогрессивного оборудования.

При черновой обработке на тяжелых токарных станках режущая часть инструмента подвергается сложным воздействиям механических и тепловых нагрузок. С точки зрения физики процесса резания имеют место различные виды отказов: образивно-механический, адгезионный, диффузионный, контактное разрушение и пластическое деформирование режущей кромки.

Как показали проведенные исследования температурные колебания, вызванные прерывистым характером резания, приводят к возникновению микротрещин, перпендикулярных режущей кромке. Эти трещины приводят к выкрашиванию мелких частиц из режущей кромки, что влечет за собой ухудшение качества обрабатываемой поверхности и к увеличению износа по задней поверхности. Выкрашивание также может быть связано с наростообразованием.

Очень высокая температура в зоне резания в сочетании с контактными нагрузками приводит к опусканию режущей кромки в области вершины резца или деформации со стороны задней поверхности. Это ухудшает дробление стружки, качество обработанной поверхности, а дальнейший рост износа по задней поверхности может привести к поломке пластины.

Анализ отказов инструмента позволяет сделать вывод, что отказы бывают зависимыми и независимыми. Поломка пластинки может быть результатом предшествующего выкрашивания, пластической деформации прихвата-стружколома или опорной пластины под действием больших сил резания и высокой температуры на рабочих поверхностях инструмента. Анализ структуры отказов инструмента позволяет наметить пути повышения его качества. Поэтому перед началом проектирования нового агрегатно-модульного инструмента необходимо наряду с анализом условий эксплуатации изучить структуру отказов эксплуатируемого инструмента на данном оборудовании.

Анализ статистических данных показывает, что на тяжелых станках при черновом и получистовом точении на экономически целесообразных режимах, доля поломок колеблется от 20% до 40 % от всех видов отказов.

Это указывает на то, что проблемы обеспечения прочности главным образом касаются тяжело нагруженного инструмента для чернового и получистового точения.

## ПОЛУЧЕНИЕ И АНАЛИЗ ВЫРАЖЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ВЫСОТЫ МИКРОШЕРОХОВАТОСТИ НА ОПЕРАЦИЯХ ВИБРООБРАБОТКИ

Мицьк А.В., Федорович В.А.  
(НТУ «ХПИ», г. Харьков, Украина)

Усредненное значение высоты микрощероховатости поверхности детали, прошедшей операцию виброшлифования свободной абразивной средой в колеблющемся резервуаре определяется выражением:

$$H_{\text{н\ddot{o}}} = \frac{b\Delta_{\text{н\ddot{o}}}\xi_{\text{н\ddot{o}}}A\omega(1+k)mM(f_1+f_2)(1+2K_A)n_1+(1+K_A)n_2\sin\alpha_{\text{н\ddot{o}}}}{4\pi\rho_x\sigma\Delta T(m+M)(n_1+n_2)}.$$

Значения коэффициентов и величин в выражении микрощероховатости находились опытным путем при экспериментальной обработке на вибростанке мод. ВМСИ-25М: постоянный усредняющий коэффициент  $b=0,35$ ; коэффициент затухания силового импульса, передаваемого стенками и днищем резервуара в глубь рабочей среды  $\Delta_{\text{н\ddot{o}}}=0,55$ ; коэффициент подобия гранул рабочей среды  $f_1=0,47$ ; коэффициент подобия обрабатываемых деталей  $f_2=0,38$ ; коэффициент эллипсности траектории движения резервуара  $K_A=1,5$ ; количество прямых ударов  $n_1 \approx 40\%$ ; количество косых ударов  $n_2 \approx 60\%$ ; время соударения  $\Delta T=4 \cdot 10^{-5}$  с; коэффициент силового воздействия  $\xi_{\text{н\ddot{o}}}=0,16$ ; коэффициент восстановления  $k=0,9$ ; средневероятностный угол встречи гранулы среды и обрабатываемой детали  $\alpha_{\text{н\ddot{o}}}=28^\circ$ .

Значения приведенных коэффициентов не зависят от режимов обработки, грануляции рабочей среды, веса детали и др. Кроме этих величин необходимо учитывать число  $\tilde{N}$  одновременно работающих зерен, так как при силовом контакте с деталью гранула одновременно работает несколькими зернами. Поэтому при постоянной силе удара, которая зависит от амплитудно-частотных параметров движения резервуара вибростанка, воздействие каждого зерна в отдельности уменьшается в  $\tilde{N}$  раз. С учетом абразивной способности материала гранул рабочей среды, а также числа  $\tilde{N}$  одновременно работающих зерен выражение микрощероховатости примет вид:

$$H_{\text{н\ddot{o}}} = \frac{106\eta A\omega m M}{C\sigma_s\rho_x(m+M)},$$

где  $\eta$  – коэффициент, учитывающий абразивную способность материала гранул рабочей среды;  $A, \omega$  – амплитуда и частота колебаний резервуара, мм и Гц;  $m$  – приведенная масса гранулы,  $\tilde{a} \cdot \tilde{n}^2 / \tilde{m}$ ;  $l$  – приведенная масса детали,  $\tilde{a} \cdot \tilde{n}^2 / \tilde{m}$ ;  $\sigma_s$  – прочность материала детали на растяжение;  $\rho_x$  – диаметр лунки от внедрения абразивного зерна, см.

Для проверки выражения и установления границ его применения проведены эксперименты, которые показали 85% сходимость экспериментальных результатов с расчетными.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ НА ОПЕРАЦИЯХ ВИБРООБРАБОТКИ

Мицык В.Я.  
(ВНУ им. В. Даля, г. Луганск, Украина)

Суммарное динамическое воздействие гранул рабочей среды на поверхность деталей при их обработке в колеблющемся традиционном резервуаре с «U» – образной формой поперечного сечения зависит не только от силы соударения гранул и деталей, но и от времени их нахождения в зонах резервуара с различной степенью силового нагружения.

Характер силового нагружения определяется распределением давления по поперечному сечению резервуара, расположенному в плоскости его колебаний, а время нагружения устанавливается по скорости циркуляционного движения рабочей среды. Для изучения кинематики и динамики движения среды и обрабатываемых деталей поперечное сечение резервуара разделялось на зоны, динамическое давление в которых сохранялось примерно равным. Скорость движения среды в каждой из зон резервуара, расположенных на одинаковом удалении от его стенок и дна, практически постоянна.

Расчет значений коэффициента  $\xi$  динамического воздействия традиционного «U» – образного резервуара на его содержимое, то есть рабочую среду и обрабатываемые детали, при частоте колебаний 35...50 Гц выполнялся согласно следующим выражениям:

$$\xi_i = \frac{\Delta t_i}{t}; \quad t = \frac{S_i}{V_i},$$

где  $\Delta t_i$  – время нахождения детали в  $i$ -й зоне резервуара;  $t$  – машинное время виброобработки;  $S_i$  – размер  $i$ -й зоны, расположенной вдоль образующей стенок резервуара;  $V_i$  – скорость движения гранул рабочей среды в  $i$ -й зоне.

Значение коэффициента динамического воздействия  $\xi = 0,16$ . Это говорит о том, что только 16 % времени периода колебаний резервуара детали находятся в зонах обработки, где происходит интенсивный съем металла.

В случае оснащения «U» – образного резервуара жестко установленным элементарным прямолинейным дефлектором значения определяемого коэффициента достигает 0,21...0,24, что позволяет предположить повышение производительности обработки не менее, чем в 1,5 раза. Количественная оценка процесса виброобработки с использованием в резервуаре дефлектора может быть произведена путем расчета съема металла согласно выражению:

$$Q = \theta_1 \frac{Ad}{M(b - \theta_2)} - \theta_3(1 - M),$$

где  $A$  – амплитуда колебаний резервуара, мм;  $d$  – размер гранул рабочей среды, мм;  $M$  – коэффициент загрузки резервуара;  $b$  – ширина слоя среды, мм;  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  – константы, определяемые опытным путем.

## **АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЕРЕНАЛАЖИВАЕМЫХ ШТАМПОВ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ**

Мовшович А.Я., Резниченко Н.К., Черная Ю.А., Николенко Л.В., Федосеева М.Е.

Надежная работа штамповой оснастки зависит от величины, направления и способа передачи нагрузок, а также от условий опирания и закрепления штампов на столах прессов. Все факторы, воздействующие на элементы конструкции штампов в процессе эксплуатации, можно разделить на три основные группы: зависящие от внешних воздействий; связанные с конструктивными особенностями обратимой штамповой оснастки; связанные с организационно-техническим уровнем листоштамповочного производства.

К факторам второй группы относятся, главным образом, конструктивные особенности обратимых штампов, обусловленные физико-механическими характеристиками материалов, применяемых при их изготовлении, исходным качеством сопрягаемых поверхностей, пределами прочности при изгибе и повторных ударных нагрузках, твердостью, теплопроводностью, точностью изготовления элементов конструкции и сборки штампов в целом. Организационно-технический уровень листоштамповочного производства определяется точностью, мощностью и производительностью оборудования, габаритными размерами и точностными характеристиками штампуемых деталей.

Надежность и долговечность штампов из композиционных материалов в значительной степени определяется прочностью и несущей способностью конструктивных элементов из армированных пластмасс. В связи с тем, что обратимые штампы в процессе длительной эксплуатации применяют для штамповки листовых деталей различной толщины и марок сталей, пластмассовые держатели при съеме заготовок с пуансонов подвергаются различным по величине нагрузкам. Однако во всех случаях усилие съема передается на пластмассовый держатель при обратном ходе ползуна пресса через пуансон посредством торцевых буртиков и кольцевых канавок и за счет адгезии пластмассы с боковой поверхностью пуансона.

Для определения оптимальных условий нагружения пластмассовых держателей в процессе эксплуатации обратимых штампов был проведен комплекс экспериментов по определению влияния конструктивно-технологических параметров вырубных пуансонов на прочность их соединения с пластмассой и на прочность самих держателей. При этом методом выпрессовки было испытано около 500 образцов пластмассовых держателей с пуансонами круглой формы с различными размерами и количеством кольцевых канавок, торцевых буртиков и с различной шероховатостью боковых поверхностей.

В результате проведенных испытаний было установлено, что глубина кольцевых канавок практически не влияет на прочность соединения держателя с пуансоном, а их количество и ширина прямо пропорционально изменяют усилие выпрессовки.

В результате анализа условий эксплуатации обратимых штампов выявлены оптимальные условия нагружения и опирания пластмассовых держателей. Предложены конструкции штампов для выполнения различных операций листовой штамповки с широким использованием для изготовления основных деталей композиционных материалов на основе стеклотекстолита и пластмассовых композиций. В зависимости от технологического назначения и серийности производства, разработанные конструкции могут быть как специальными, так и переналаживаемыми, в которых конструктивные детали из композиционных материалов используются многократно, в том числе при переходе к изготовлению новых изделий.



## **ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ И ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ПРИ ПЕРЕДВИЖЕНИИ КРАНОВ МОСТОВОГО ТИПА**

Неженцев А.Б.

(ВНУ им. В. Даля, г. Луганск, Украина)

Для решения проблемы повышения эффективности энергопотребления грузоподъемных кранов разработаны методики расчета и оптимизации потерь энергии и динамических нагрузок при передвижении кранов. Методики базируются на системном подходе, при котором кран рассматривается как многомассовая электромеханическая система «электропривод - металлоконструкция - груз» с учетом воздействия на нее различных, в том числе и случайных факторов. Методики включают нелинейные математические модели, описывающие переходные процессы при работе механизма передвижения крана в различных режимах: двигательном (при контактно-контроллерном и частотном управлении), динамического торможения, противовключения, торможения колодочным тормозом и их комбинаций.

С помощью математической теории планирования эксперимента были проведены многофакторные исследования мостовых кранов и получены аппроксимирующие полиномы потерь энергии и динамических нагрузок при передвижении кранов в различных режимах. Построены графики линий равных уровней потерь энергии и динамических нагрузок, которые очень удобны для применения в инженерной практике и позволяют не только рассчитывать потери энергии, но и решать задачи выбора наиболее экономичных по энергопотреблению и динамическим нагрузкам параметров крановых механизмов на стадии проектирования.

Разработанные методики позволяют повысить точность расчета потерь энергии кранов мостового типа на 13–25%, находить оптимальные значения параметров крановых механизмов и металлоконструкции, а также определять эффективные пути снижения энергопотребления и динамических нагрузок грузоподъемных машин.

Анализ переходных процессов на примере мостового крана г/п 20/5т показал, что применение в электроприводе передвижения частотного управления взамен традиционного релейно-контакторного позволяет снизить динамические нагрузки, действующие на металлоконструкцию крана, на 15–27%, амплитуду колебания груза - в три раза, потери энергии - почти в два раза. При этом значительно уменьшается число включений привода, а также увеличивается производительность крана.

Вместе с тем, при автоматическом управлении частотой питающего напряжения имели место резонансы (при совпадении периода переключения с одной механической характеристики на другую при изменении частоты и периода колебаний металлоконструкции крана) что вызвало значительный рост динамических нагрузок. В связи с этим, разработаны алгоритмы оптимизации параметров частотного управления приводов передвижения кранов для их реализации с помощью микропроцессорной техники.

## ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ПРИ РАЗГОНЕ МОСТОВОГО КРАНА С ЧАСТОТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ПРИВОДА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ

Неженцев А.Б., Аветисян С.М., Гонтарь Д.В.  
(ВНУ им. В. Даля, г. Луганск, Украина)

В настоящее время все больше грузоподъемных кранов изготавливаются с наиболее перспективными по энергетическим и динамическим характеристикам частотно-управляемыми электроприводами. На рынках частотных преобразователей предлагается большое количество устройств управления асинхронными электроприводами с различными схемными решениями и законами частотного управления. На их базе разрабатываются наиболее перспективные по диапазону, плавности и экономичности регулирования скорости замкнутые системы автоматического управления крановыми электроприводами.

Вместе с тем, анализ переходных процессов мостовых кранов с частотным управлением электроприводов передвижения показал, что в зависимости от изменения таких факторов как время работы частотного преобразователя (ТР), шаг изменения частоты (hч), диапазон регулирования частоты напряжения статора (f1) параметры процесса разгона крана (динамические нагрузки на металлоконструкцию крана  $S_m$  и груз  $S_k$ , время разгона крана  $t_p$ ) могут как значительно снижаться, так и существенно возрастать.

Цель работы - построение полиномиальных моделей максимальных динамических нагрузок  $S_m$ ,  $S_k$  и времени разгона  $t_p$  мостового крана г/п 20 т, пролетом 28,5 м при частотно-регулируемом пуске (с постоянным отношением питающего напряжения к частоте  $U_1 / f_1 = \text{const}$ ).

В качестве расчетной схемы мостового крана была принята трехмассовая динамическая модель, движение которой описывается нелинейными дифференциальными уравнениями второго порядка. Установлены области определения, уровни и интервалы варьирования факторов ТР, hч, f1 для исследуемого крана. Выбран композиционный план компьютерного эксперимента типа ВЗ.

По результатам компьютерного эксперимента, проведенного с помощью программы (в среде Delphi), были рассчитаны коэффициенты регрессии и получены аппроксимирующие полиномы для расчёта и исследования максимальных динамических нагрузок  $S_m$ ,  $S_k$  и времени разгона  $t_p$  мостового крана г/п 20 т. Выполнены проверки адекватности и значимости коэффициентов полученных полиномов. Построены графики и линии равных откликов процессов разгона указанного крана при частотно-регулируемом пуске.

Анализ результатов исследования позволил сделать следующие выводы: наиболее эффективным средством формирования переходных процессов, оптимальных по динамическим нагрузкам и быстродействию является частотно - управляемый асинхронный электропривод; получены аппроксимирующие полиномы динамических нагрузок  $S_m$ ,  $S_k$  и времени разгона  $t_p$  мостового крана г/п 20 т для применения в инженерной практике, позволяющие решать задачи выбора наиболее экономичных по динамическим нагрузкам и быстродействию законов частотного управления.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПРОФИЛЬНЫХ ПАЗОВ НА СИЛОВЫЕ ФАКТОРЫ ПОВТОРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ОТДЕЛЁННОЙ СТРУЖКОЙ

Нечепаев В.Г., Мышов М.С., Яценко А.В.  
(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

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.

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.

Графическая интерпретация полученных результатов (рис. 1) позволяет сделать следующие выводы:

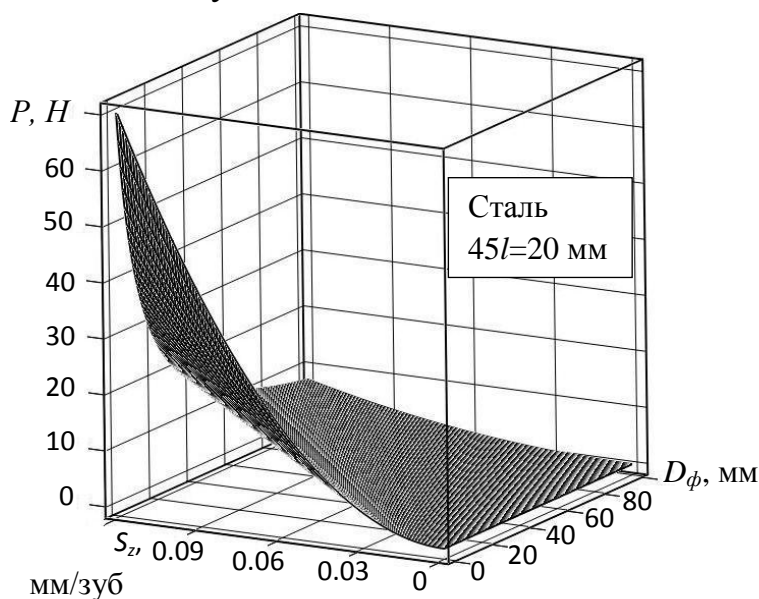


Рис. 1 – График поверхности изменения силы повторного взаимодействия элемента стружки с режущим инструментом  $P$  как функция подачи на зуб фрезы  $S_z$  и диаметра фрезы  $D_\phi$

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

- зависимость силы повторного взаимодействия элемента стружки с режущим инструментом  $P$  от подачи на зуб  $S_z$  и от диаметра фрезы  $D_\phi$  имеет существенно нелинейный характер во всём возможном диапазоне значений режимных параметров при фрезеровании профильных пазов, установленных действующими стандартами;

- возрастание силы повторного взаимодействия элемента стружки с режущим инструментом  $P$  определяется уменьшением диаметра фрезы  $D_\phi$  и увеличением

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТА СТРУЖКИ ДЛЯ СЛУЧАЯ ЕГО РАСПРЕДЕЛЁННОГО ЗАГРУЖЕНИЯ

Нечепаяев В.Г., Мышов М.С., Яценко А.В.  
(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Математическая модель деформирования элемента стружки для случая распределённого его нагружения ориентирована на определение силовых факторов, воздействующих на режущий инструмент в процессе его повторного взаимодействия с отделённой стружкой при фрезеровании профильных пазов и обуславливающих деформацию режущего инструмента и соответствующую погрешность обработки профильных пазов.

При разработке модели приняты следующие допущения:

- элемент стружки может быть представлен в виде единичной замкнутой тонкостенной цилиндрической круговой оболочки;
- опасным напряжением является предел прочности материала обрабатываемого профильного паза.

В качестве исходного уравнения для разработки модели принимаем дифференциальное уравнение общей теории расчёта круговых цилиндрических оболочек в развёрнутом виде

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

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

Рассматриваем полубезмоментное напряжённое состояние изгиба оболочки в кольцевом направлении.

Максимальные напряжения, возникающие в сечении стружки

$$\sigma = \frac{1.908PR}{\delta^2 l}.$$

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

$$P = 0.00265 \frac{\sigma_s S_z^2 l}{D_\phi \arccos(a/D_\phi)}.$$

Ограничениями представленной модели являются геометрические и режимные параметры фрезерования, предусмотренные соответствующими действующими стандартами, а также физико-механические свойства обрабатываемых материалов.

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ УСТАНОВКИ ДЕТАЛИ ПРИ УНИФИКАЦИИ УСТАНОВОЧНО-ЗАЖИМНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ МНОГОПОЗИЦИОННЫХ АГРЕГАТНЫХ СТАНКОВ**

Пермяков А.А., Забара А.С., Хицан В.Д.  
(НТУ «ХПИ» г.Харьков, Украина)

Рассмотрены проблема выбора комплекта технологических баз при установке деталей, обрабатываемых на многопозиционных агрегатных станках. Разнообразие вариантов схем базирования проиллюстрировано на примере обобщенной детали, особенностью которой является возможность рассмотрения ее как призматического, так и цилиндрического тела для назначения технологических баз с различными вариантами простановки размеров. Показано влияние схемы базирования на точность получаемых размеров.

Одна из важных задач, возникающих на ранних этапах проектирования технологических процессов и оснастки, – выбор схемы базирования заготовки для формирования систем координат детали, инструментов, силовых агрегатов и придания им требуемых положений в системе координат многопозиционного агрегатного станка. Схема базирования является основой дальнейшего конструирования, компоновки и выбора УЗП для реализации заданного технологического процесса. От правильного выбора технологических баз в значительной степени зависят: фактическая точность выполнения размеров, заданных чертежом; правильность взаимного расположения поверхностей; уровень конструктивной сложности приспособлений, режущих и измерительных инструментов; производительность обработки.

Специфика процесса обработки (реализации технологического процесса) на агрегатных станках предполагает обработку заготовок деталей без их перебазирования в установочно-зажимном приспособлении. При этом, как следствие, соблюдается принцип постоянства баз, а различное координирование конструктивных элементов детали во многих случаях не позволяет полностью выдержать принцип единства баз. Повышение производительности и точности обработки на агрегатированном оборудовании достигается за счет обработки различно координированных поверхностей набором взаимно увязанных режущих инструментов.

Вариантность выбора унифицированной компоновочной схемы УЗП, как и вариантность выбора схемы базирования предполагают необходимость отбора альтернатив при проектировании. Разнообразие вариантов схем базирования проиллюстрировано на примере обобщенной детали, каждый вариант имеет разную погрешность базирования детали для различных способов простановки размеров обрабатываемой поверхности, и зависит от расположения опорных точек по отношению к заданному размеру. Предпочтение следует отдавать схемам базирования с меньшей погрешностью базирования.

## ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ САПР ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ КАФЕДРЫ ПТМ.

Поликарпов Ю. В.  
(ДГМА, г.Краматорск, Украина)

ДГМА располагает лицензионными академическими версиями машиностроительных САПР (MCAD) Компас 3dV14 и SolidWorks 2012, В соответствии с выработанной концепцией учебный процесс, включающий изучение средств анализа прочности конструкции, должен быть построен на основе одной из этих систем.

Сами эти MCAD хорошо известны и обе позволяют достичь целей учебного процесса в части трехмерного моделирования .

Наличие в составе MCAD встроенного средства для инженерного анализа, ориентированного на конструктора, в настоящее время является стандартом де-факто.

Входящая в состав SolidWorks подсистема конечноэлементного анализа Simulation давно и успешно используется в реальном проектировании.

Компас 3d был, пожалуй, последней из распространенных систем, выполнившей требования этого не писаного стандарта. Подсистема конечноэлементного анализа АРМFЕМ была включена в его состав в 2012г., и является своего рода «темной лошадкой».

В материалах рекламного характера система позиционируются как средство для прочностного экспресс-анализа небольших по размерам деталей и узлов. Во всех остальных случаях, пользователя отсылают к системе *АРМWinMachine*.

В результате ознакомления с публикациями, документацией и тестирования (проводилось с использованием ознакомительной версии) установлено:

1. Требования к аппаратным средствам существенно превышают реальные возможности существующего парка ПК.
2. Заявленная ниша для использования не соответствует номенклатуре ПТМ:
  - а. Анализ металлоконструкций в текущем релизе АРМFЕМ не предполагается ввиду отсутствия балочных и оболочечных элементов;
  - б. Детали механизмов ПТМ имеют большие размеры.
3. В системе предусмотрена крайне ограниченная номенклатура нагрузок: равномерно распределенное усилие и давление; линейное и угловое ускорение, что во многих случаях не позволяет адекватно смоделировать реальное нагружение деталей, и принуждает переходить к анализу сборок.
4. В сборках предусмотрен только «жесткий» контакт деталей.
5. Справочная система АРМFЕМ крайне скудна и содержит преимущественно информацию для оператора, а не конструктора (расчетчика).
6. Отсутствуют примеры расчета и данные о верификации системы.
7. В работе системы имеются отдельные недоработки:
  - а. При назначении ограничений на экране присутствуют лишние линии, обозначающие не используемые направления ограничения;
  - б. При назначении нулевых ограничений отсутствует возможность перенаправить направление их отображения в графической области;
  - с. При работе в режиме прочностного анализа не работает функция Переместить;
  - д. Окно сообщения о недостаточном количестве ограничений не помещается поверх остальных окон.
8. Отсутствует модуль параметрической оптимизации.
9. Модуль АРМFЕМ не входит в стандартную конфигурацию Компас 3dV14.

На его использование необходима отдельная лицензия.

На основании изложенного принято решение о построении учебного процесса по изучению современных MCAD на кафедре ПТМ на основе SolidWorks 2012.

## ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ЛИСТІВ З КОМПОЗИЦІЙНОГО МЕТРИАЛУ

Поліщук Д. М., Глоба О. В.  
(НТУУ «КПІ», ММІ, кафедра ІТМ, м.Київ, Україна)

На сьогоднішній день композиційні матеріали все більше замінюють традиційні матеріали, які використовуються в конструкціях сучасної техніки. Композиційні матеріали мають важливі переваги над традиційними матеріалами: легкість, висока витривалість та зносостійкість, висока жорсткість. Важливу роль має ремонтпригодність таких матеріалів. Велику перспективу мають нові методи відновлення працездатності виробів з композиційних матеріалів.

Опираючись на результати аналізу інформації про експлуатаційні пошкодження в елементах з вуглепластика що показують: найбільш розповсюдженими серед них є пробої (наскрізні та ненаскрізні), тріщини, розшарування, розм'якшення та зломи (Рис. 1). Дані експлуатаційні пошкодження, здебільш, є результатом ударів, абразивного зносу, втоми, негерметичності зовнішнього шару та ін.

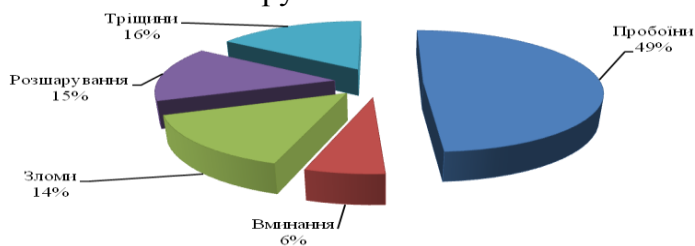


Рис. 1. Частота виникнення різних пошкоджень в елементах

Згідно із стандартами листи з композиційних матеріалів ремонтуються таким чином: виконується отвір, який повністю перекриває пошкодження, потім виконується скос (рис. 1а) з кутом 7-12 або радіус в залежності від рекомендованої технології ремонту. У виконане посадкове місце вставляється ремонтна вставка – ”латка”.

Для підвищення міцності після ремонту в даній роботі було виконано не конусоподібний скос (рис. 2а), а фасонний – наприклад ступінчастої форми (рис. 2б). Така форма поверхні має більшу площу дотику пошкодженого листового матеріалу з ремонтною вставкою, також виступи працюють як ”замок” при розтягуванні.

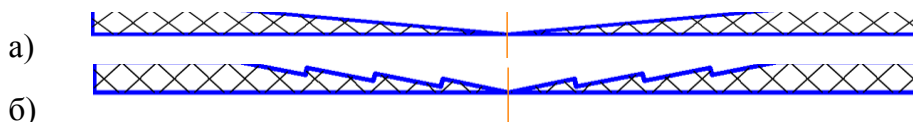


Рис. 2 Конічний та фасонний профілі скосу

Ступінчастий профіль не має складнощів при виконанні. Він виконується багатофункціональним дволезовим інструментом. Також перевагою є те, що профіль на пошкодженому листі та на ”латці” виконується одним інструментом. Після склеювання ”латки” з пошкодженим листом з таким фасонним профілем – одержуємо більш жорсткішу та міцнішу конструкцію, порівняно з конічним профілем. При проектуванні такого фасонного профілю можна варіювати кількістю, висотою та кутом нахилу виступів, що впливає в результаті на міцність та жорсткість з’єднання.

Експерименти показали що після ремонту елементів з композиційного матеріалу стандартним методом міцність відновилась до 73% від початкового значення, а після ремонту з використанням фасонного ступінчастого профілю міцність складає 78%.

Для збільшення жорсткості та міцності з’єднання виконують зшивання країв латки дворядним швом, для того щоб зменшити ймовірність відриву латки в небезпечних ділянках, якими саме являються її краї, через додаткові напруження відриву при склейці, які є найнебезпечнішими при навантаженні даного елемента.

## ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОЛЕСНЫХ ПАР СБОРНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Полупан И. И.

(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Процесс восстановления колесных пар сборным инструментом включает в себя целый комплекс взаимосвязанных процессов: стружкообразования, трения, износа сборного инструмента за счет схода стружки по передней поверхности, теплообразования, а также динамического воздействия на сборный резец от дефектов, образующихся на обрабатываемой поверхности катания колесной пары.

В ходе анализа динамической системы «сборный резец – колесо» в момент прохождения резца по дефекту было установлено, что вследствие колебаний, вызванных дефектом при резании и смещении сборного режущего инструмента относительно колеса по нормали к обрабатываемой поверхности колеса, имеет место изменение глубины резания.

Также при этом изменяются толщина среза  $a$ , скорость скольжения стружки по передней поверхности, коэффициент усадки стружки, передний угол  $\gamma$  и задний угол  $\alpha$  резания.

После прохода сборным резцом дефектной зоны, твердость которой в три раза выше твердости основного металла поверхности катания колесной пары, резец испытывает удар как при входе в дефектную зону, так и при выходе из нее.

При обработке колесных пар из-за большой вращающейся массы (около 2,5 т), а также большой жесткости станка, вся энергия удара от дефекта воспринимается твердосплавной пластиной, которая обладает высокой твердостью и малой пластичностью.

Таким образом, учитывая все вышесказанное, была предложена динамическая модель системы «резец-колесо», которая учитывает нелинейную зависимость силы резания от скорости, и допущение, что колебательная система имеет две степени свободы по координате  $x$  и вращению.

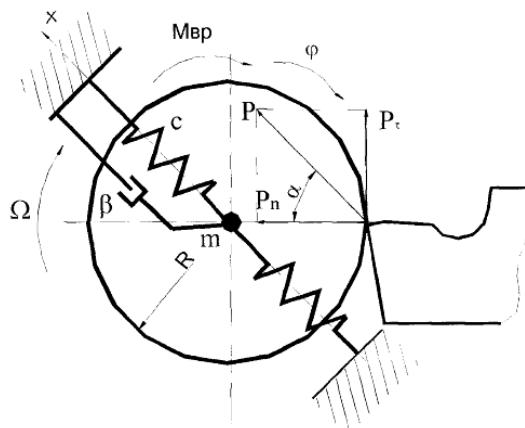


Рисунок – Схема динамического взаимодействия колеса со сборным резцом



## ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ

Поперечный А.В., Солодкий В.И.  
(НТУУ "КПИ", Киев, Украина)

Формообразование деталей червячными фрезами осуществляется по кинематической схеме качения прямой по окружности. Реализация движения обкатки осуществляется за счет его имитации благодаря тому, что режущие кромки инструмента расположены на винтовой линии.

В результате этого при равномерном вращении инструмента создается равномерное движение обкатки, в то время как сам инструмент не перемещается вдоль своей оси.

Одновременно с этим и стружечные канавки, формирующие переднюю поверхность инструмента, и боковые стороны зуба являются винтовыми поверхностями. Все это вместе взятое приводит к тому, что режущие кромки левой и правой сторон зуба фрезы имеют разные геометрические параметры. Это в свою очередь, вызывает разную степень загрузки противоположных сторон зуба.

Нами была предложена методика определения задних боковых углов зуба червячного инструмента для различных точек режущих кромок расположенных на противоположных сторонах зуба, которые имеют криволинейную форму.

Было установлено, что на величину геометрических параметров инструмента наибольшее влияние оказывает расстояние исследуемой точки кромки от точки контакта начальной окружности с начальной прямой. Чем больше эта разница, тем сильнее отличаются друг от друга геометрические параметры правой и левой сторон зуба фрезы.

Полученные результаты можно объяснить тем, что задние боковые углы инструмента образуются винтовыми двумя винтовыми поверхностями. Боковая сторона зуба является винтовой поверхностью, которая образована в результате сложения двух движений – собственно винтового движения при формообразовании стружечной канавки и движения затылования боковой стороны зуба. В общем случае поверхность детали, образованная червячной фрезой также является винтовой поверхностью.

Каждая из этих винтовых поверхностей характеризуется углом подъема винта (винтовой траектории) которые в сумме составляют винтовую поверхность в целом.

Было установлено, что в тех точках контакта инструмента и детали, в которых угла подъема винтовых траекторий совпадают, разница геометрических параметров для противоположных сторон зуба фрезы будет минимальной. Следовательно, для того чтобы получить червячные фрезы, которые обладают минимальной разнице геометрических параметров вдоль режущих кромок, необходимо использовать фрезы наибольшего возможного диаметра.

## ПЕРЕОБОРУДОВАНИЕ ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОГО СТАНКА 1А-616 ПОД ЭЛЕКТРОКОНТАКТНУЮ НАПЛАВКУ

Пресняков В.А.  
(ДДМА, г.Краматорск, Украина)

Электроконтактная наплавка порошковой проволокой (ЭКНПП) нашла широкое применение при упрочнении рабочих органов почвообрабатывающих машин. Однако при наплавке тел вращения, таких как валы и оси, невозможно добиться равномерного распределения износостойкого слоя по поверхности детали. Для обеспечения возможности качественной наплавки подобных деталей предложен способ, при котором проволоку предварительно деформируют между дополнительными роликовыми электродами и перед подачей в зону наплавки обрезают кромку под углом 45°. Реализовать данный процесс можно только на специализированной установке.

К технологическим особенностям электроконтактного припекания, определяющим требования к компоновке установок, относятся электрические параметры процесса. Режим электроконтактной наплавки характеризуется силой тока до 30 кА, который подается в зону припекания импульсами длительностью (0,01–0,08 с) с паузами равными (0,05–0,1 с). Передача импульсов тока от источника к электроду представляет некоторые трудности. Величина потерь мощности при этом зависит от компоновки отдельных узлов и токопередающих сопряжений.

Особые требования предъявляются к механизму нагружения электрода: перед включением импульса тока электрод должен быть нагружен номинальной силой, обеспечивающей требуемое давление в контакте покрытие-металл основы; при прохождении импульса тока, вызывающего нагрев давление в контакте должно сохраняться; к началу прохождения очередного импульса номинальная нагрузка на электрод должна восстанавливаться.

К электрическим устройствам установок для электроконтактного нанесения покрытий предъявляются следующие требования: возможность обеспечения плотностей тока 2–3 кА/мм<sup>2</sup>; продолжительность включения не менее 50%; кратковременное ПВ до 75%; хорошее охлаждение. Устройство для формирования импульсов тока должно обеспечивать минимальные длительности импульсов в пределах 0,005–0,01 с.

Были проведены исследования по определению возможности использования токарно-винторезного станка 1А-616 в качестве основы для установки ЭКНПП. Производилось сравнение характеристик как отечественных, так и зарубежных станков. Учитывались такие параметры как: габаритные размеры, масса станка, мощность, экономичность, стоимость. Исследовалась возможность установки электродов для наплавки, пути подвода электрического тока, расположение источника питания.

В результате проведенных исследований определено, что установка для наплавки наружной поверхности деталей типа тел вращения должна состоять из следующих элементов: базового станка, контактного патрона с токосъемником или другого контактного устройства, позволяющего включать наплавляемые детали в силовую цепь наплавки и обеспечивать их вращение; наплавочной головки; двух электродов для предварительного деформирования порошковой проволоки; резца для обрезки кромки полученной ленты; устройства подачи присадочного материала в зону наплавки; источника тока наплавки; устройства для формирования импульсов тока наплавки.

Был переоборудован токарно-винторезный станок 1А-616. Базовый станок оснащен устройством, уменьшающим число оборотов. На станину установлены выше перечисленные устройства, позволяющие реализовать предложенный способ ЭКНПП.

Источником тока служит трансформатор сварочной машины МШ-150, управляемый серийным игнитронным прерывателем ПИШ-50. Используются водоохлаждаемые роликовые электроды из хромистой бронзы. Опытные наплавки показали высокую работоспособность оборудования и необходимое качество износостойкого слоя.

## **ВИЗНАЧЕННЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ РІЗАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ БАГАТОЗУБИХ ДИСКОВИХ ІНСТРУМЕНТІВ ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ 3D ПРОЕКТУВАННЯ**

Равська Н.С., Охріменко О.А., Майданюк С.В.  
(Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ)

Параметри зрізуваного шару матеріалу є однією з важливих характеристик процесу різання та визначаються поряд зі швидкістю різання і геометрією різальної частини інструменту. В більшості робіт з визначення завантаження різальної частини розглядається інструмент з постійною схемою зрізання припуску без врахування зміни її для окремих зубів інструменту.

Переріз зрізуваного 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 твердотільного 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 зрізуваного шару – площа зрізуваного шару  $f$ , товщина зрізуваного шару  $a$ , ширина зрізуваного шару  $b$ . Шар матеріалу, що відокремлюється лезом за один цикл головного руху різання формується профілем зуба інструмента при його русі відносно заготовки – ця операція для системи геометричного твердотільного 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.

### **ВИСНОВОК**

В даній роботі на прикладах дискової відрізної пили з різно направленими зубами у групі і торцевою фрезою з 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 інструменту в процесі обробки і знаходження параметрів зрізуваного шару, як результат перетину об'ємів заготовки та всіх об'ємів послідовних положень інструменту. 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 інструменту, що працювали раніше, ці всі операції реалізуються однією командою - витягнути ескіз по траєкторії, що присутня у всіх системах комп'ютерного 3d проектування це значно спрощує розрахунки і підвищує точність отриманих результатів.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУППЫ КЛАССИФИКАЦИИ (РЕЖИМА РАБОТЫ) ГРУЗОПОДЪЁМНОГО КРАНА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ ТРЕБУЕМУЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И СРОК СЛУЖБЫ**

Рагулин И.А.  
(ДГМА, Краматорск, Украина)

Группа классификации (режима работы) грузоподъемного крана определяется согласно международному стандарту ИСО 4301/1 и имеет два применения.

Первое применение классификации позволяет покупателю и изготовителю крана прийти к соглашению о режиме работы данного крана.

Второе применение классификации позволяет проектировщику на ее основе анализировать проект и доказать, что проектируемый кран может работать в течение определенного срока службы при определенных условиях эксплуатации, установленных для данного вида использования.

Эти характеристики являются главными как при покупке оборудования так и при его эксплуатации. В настоящее время существует большое количество предложений по определению срока службы грузоподъемных кранов различных вузов, научных и творческих коллективов. Однако единственной официальной методикой, на данный момент, является ИСО 4301/1.

По данной методика для каждой группы классификации А1–А8 используется четыре варианта сочетания коэффициентов распределения нагрузок и классов использования крана. Соответственно каждый из этих вариантов определяет массу грузов с которыми работает кран и количество циклов работы с ними, то есть производительность и срок службы крана для каждого из этих вариантов.

Для практического использования данной методики необходимо представить каждый вариант через величину грузов и соответствующее им максимальное количество циклов работы крана с ними для соответствующей группы классификации (режима работы). Данная задача может быть решена при помощи, например, операции "Поиск решения" Microsoft Excel и представлена в графическом виде. Используя предварительные характеристики транспортируемых грузов, а также применяя, например, логарифмические тренды полученных графиков для каждой группы классификации можно получить все четыре варианта набора транспортируемых грузов и соответствующее им максимальное количество циклов работы крана.

В случае работы крана предпочтительно с грузами близкими к номинальной грузоподъемности коэффициент распределения нагрузок будет максимальным, а класс использования крана и, соответственно, максимальное количество циклов работы крана и срок его службы- минимальным. В таком случае необходимо рассмотреть вопрос использования крана повышенной грузоподъемности, выполнив для него аналогичные расчеты для тех же транспортируемых грузов.

Эти данные позволяют определить общее количество перегружаемых грузов, производительность и срок службы крана для каждого варианта группы классификации (режима работы).

Анализ полученных данных позволяет выбрать группу классификации для приобретаемого крана, обеспечивающую минимальные затраты на разработку, изготовление и эксплуатацию грузоподъемного крана.

Применение данной методики для эксплуатируемого оборудования позволяет разработать энерго- и ресурсосберегающие технологии погрузочно-разгрузочных работ и определить оптимальные затраты на обслуживание, ремонт и замену оборудования.

## **ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ШВИДКІСНИХ РЕЖИМІВ РУХУ ВАГОНІВ ПІДВІСНОЇ КАНАТНОЇ ДОРОГИ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИВОДУ**

Ракша С. В., Горячев Ю. К., Куроп'ятник О. С.  
(ДНУЗТ, м. Дніпропетровськ, Україна)

Підвісна канатна дорога (ПКД) є досить складною системою з точки зору математичного моделювання динаміки її елементів. Вона характеризується наявністю зосереджених мас та елементів з розподіленими параметрами. Зосередженими масами можемо вважати ротор електродвигуна, деталі редуктора, шків, вагони та реальну або умовну масу, що характеризує робоче зусилля натяжного пристрою до тягового каната (поняття умовної маси вводиться для натяжних пристроїв не вагової дії, наприклад, гідравлічних). Несучий та тяговий канати є елементами з розподіленими параметрами. Таке представлення ПКД визначає математичну модель руху її елементів у вигляді системи диференціальних рівнянь у звичайних та часткових похідних, яка є досить громіздкою та складною для аналізу.

Одним із шляхів спрощення моделі ПКД є приведення рухомих мас приводу до шківів як зосередженої маси. Таким чином, утворюється система з декількох зосереджених мас як кінцевих вантажів (натяжний пристрій, шків та вагони), з'єднаних між собою пружними елементами з розподіленими параметрами – відрізками тягового каната (наприклад, у моделі ПКД маятникового типу таких мас чотири). Недоліком такого способу спрощення є відсутність можливості врахування впливу параметрів кожного з елементів приводу окремо на досліджувані процеси. Проте з математичного описання вилучаються рівняння у звичайних похідних, а рух усіх елементів характеризується системою хвильових рівнянь.

Для ПКД кільцевого типу або маятникових доріг невеликої протяжності можна застосувати інший підхід до спрощення моделі. Оскільки в таких умовах довжини відрізків тягового каната, які сполучають вагони, є порівняно невеликими, їх можна замінити невагомими пружинами, маси яких приведено до мас кінцевих зосереджених вантажів – вагонів, шківів або натяжного пристрою. Таким чином, з математичної моделі вилучаються хвильові рівняння, а динамічний стан системи описується системою рівнянь Лагранжа II роду.

Не залежно від обраної моделі основною задачею є отримання та подальший аналіз спектра власних частот приводу, за яким визначаються раціональні значення швидкості руху вагонів у різних умовах навантаження. При цьому розв'язуються задачі оптимального проектування щодо досягнення максимальної продуктивності або мінімізації динамічної навантаженості елементів приводу в умовах дотримання обмежень швидкості руху вагонів.

## НЕОБХІДНІСТЬ ВХІДНОГО КОНТРОЛЮ ХАРАКТЕРИСТИК МІЦНОСТІ СКЛА ПРИ ВИРОБНИЦТВІ АВІАЦІЙНОГО СКЛІННЯ

Родічев Ю.М., Сорока О.Б.  
(ІПМіц НАН України)

Авіаційне скління є відповідальною конструкцією, призначеною для роботи у складних умовах навантаження. На відміну від інших матеріалів, реальна конструкційна міцність скла не є його стабільною характеристикою, вона залежить від великої кількості визначальних факторів технологічного, конструкційного та експлуатаційного походження. Рівень міцності на згин та розтяг скла може змінюватися від 20 МПа до 150 МПа залежно від стану дефектності поверхні, яка формується при виготовленні базового листового флюат скла, його наступному обробленні та при експлуатації.

На основі аналізу статистичних характеристик міцності проведена оцінка потенційних властивостей стекел різних виробників, які можуть бути реалізовані в конструкції при належній технологічній обробці і поводженні. Статистичні закономірності міцності на згин різних видів листового флюат скла оцінювали на зразках квадратної форми в умовах короткочасного навантаження на центральносиметричний згин. Випробуванням підлягали зразки скла товщиною 5мм, яка відповідала товщині електрообігрівного шару авіаційного

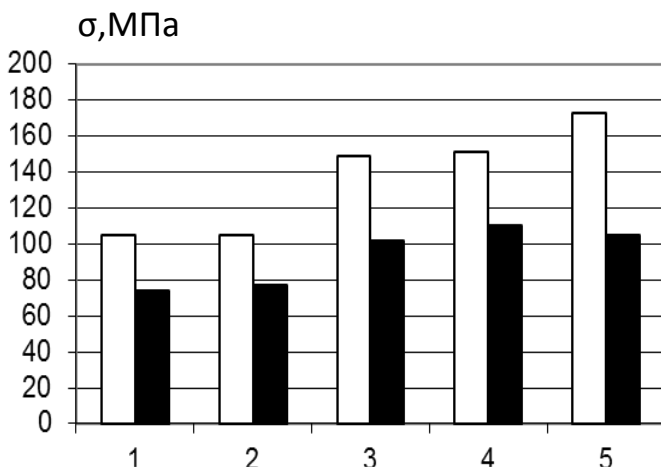


Рис.1 Середня міцність (прозорі стовпчики) і гарантований нижній рівень міцності (чорні стовпчики) для стекел Лісичанського заводу (1), Борського заводу (2), "Pilkington" (3), "Sphinx" (4) та "Eurofloat" (5)

скління. За сукупністю статистичних параметрів, насамперед по середнім і нижнім значенням границь міцності листові стекла виробництва Лісичанського і Борського заводів значно поступаються склу кращих зарубіжних виробників - Pilkington, Sphinx і Euroglas (рис.1). Отримані дані обумовлюють необхідність запровадження на виробництві вхідного контролю скла за параметрами міцності. Для оцінки реальних конструкційних властивостей стекел необхідні випробування великорозмірних зразків, що дозволяють оцінити ступінь впливу масштабного ефекту і

ефективності застосовуваної технології промислового виробництва.

## СТАТИЧНА ТА ВТОМНА МІЦНОСТІ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ, ОБРОБЛЕНИХ ІМПУЛЬСНИМ МАГНІТНИМ ПОЛЕМ

Родічев Ю.М., Сорока О.Б., Ковальов В.Д., Васильченко Я.В., Шаповалов М.В.  
(ІПМіц НАН України, ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Інструментальні матеріали для різального інструменту різців, фрез, що використовуються при механічному обробленні великогабаритних деталей для важкого машинобудування працюють в екстремальних умовах термосилового навантаження. За цих умов, разом з підвищенням зносу на граничний стан інструменту впливають механізми мікро- і макро викришування, зламу кромки та руйнування різальних пластин у цілому. Тому підвищення характеристик об'ємної 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). Отримано, що внаслідок модифікації ОІМП конструкційна міцність на згин різальної пластини з твердого сплаву Т5К10

зросла на 16...27% залежно від режиму обробки. 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.

На основі аналізу експериментальних даних, наведених в літературних джерелах побудовано залежності границь витривалості при пульсуючому циклі  $\sigma_{0зг}$  для твердих сплавів ВК та титановольфрамів сплавів від значень границі міцності при згинанні  $\sigma_{зг}$  (рис.1). Таким чином, використання графіка (рис.2) дозволяє зробити прогноз щодо приросту  $\sigma_{0зг}$ , виходячи з експериментально отриманого значення  $\sigma_{зг}$  модифікованого сплаву.

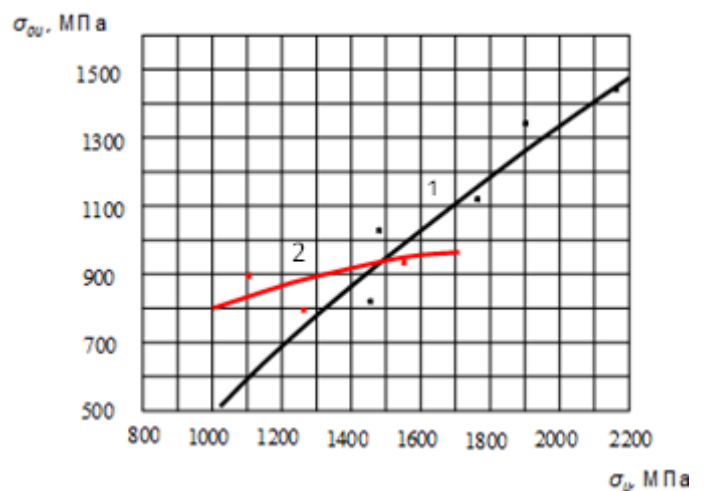


Рис.1 Залежності границь витривалості від статичної міцності на згин для твердих сплавів ВК (1) та ТК(2)

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЯЖЕЛЫХ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ ЗА СЧЕТ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ РЕЗАНИЯ**

Савелова И.К., Ковалев В.Д.  
ДГМА, г. Краматорск, Украина

В процессе эксплуатации оборудования меняется его динамическое состояние не только при переходе от одной операции к другой, но и при типичных операциях технологического процесса. Для более успешного решения задач оптимизации необходимыми становятся оперативная оценка условий обработки и учет текущего состояния оборудования. При назначении оптимальных режимов резания необходимо учитывать множество факторов, связанных с фактическим состоянием заготовки, инструмента и всей технологической системы в целом. Этим и определяется актуальность оптимизации режимов механической обработки изделий тяжелого машиностроения с учетом фактического состояния процесса в режиме реального времени.

При современном уровне техники применение систем адаптивного управления является не только целесообразным, но и необходимым, так как позволяет снизить себестоимость изготовления и упростить конструкцию несущей системы станка за счёт компенсации деформаций при работе, а так же значительно снизить длительность обработки деталей на станке с обеспечением требуемых точностных и эксплуатационных параметров.

Целью данной работы является повышение продуктивности и точности обработки на тяжелом токарном станке

В результате работы была создана система математических моделей процесса резания и раскрыта на примере управления оптимальной температурой в зоне резания. Получена функциональная зависимость скорости резания от оптимальной температуры. Разработаны законы оптимального управления по температуре и силе резания для реализации на программируемом логическом контролере системы ЧПУ. Разработана аппаратная структура системы адаптивного управления тяжелым токарным станком и исследовать её динамические характеристики.

Таким образом, были сделаны выводы, что имеющиеся в литературе данные о системах адаптивного управления не охватывают область тяжелого резания. Необходимо создания систем адаптивного управления тяжелыми станками, а также что законы управления тяжелым токарным станком могут быть реализованы путем применения современной системы ЧПУ оснащенной PLC модулями.

Результаты работы используются для задач обеспечения качества процесса резания и формообразования на тяжелых токарных станках с современными системами ЧПУ и элементами адаптивного управления.



## **ЗНИЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ТА НАПРУЖЕНЬ КОНТРУКЦІЯХ ПІД ЧАС ПІДСИЛЕННЯ ШЛЯХОМ ПРИВАРЮВАННЯ НАКЛАДОК ДЛЯ ЗМІЦНЕННЯ**

Савуляк В. І., Бакалець Д. В.  
(ВНТУ, м. Вінниця, Україна)

Рамні конструкції транспортних та технологічних машин сприймають статичні та динамічні навантаження, внаслідок яких в процесі експлуатації на певних ділянках виникають тріщини та інші пошкодження.

В роботі досліджено автомобіль, оснащений гідроманіпулятором, який окрім перевезення вантажу має функцію навантажувача. Це спричиняє до виникнення додаткових навантажень в елементах рами. Для визначення небезпечних зон з найменшим запасом міцності та умов, за яких небезпечні ділянки піддаються максимальним навантаженням, використано математичне моделювання на основі методу кінцевоелементного аналізу з реалізацією на ЕОМ.

Проблемою посилення небезпечних зон шляхом встановлення елементів підсилення, а також відновлення таких зон з зародженими тріщинами, є небезпека пошкодження основного металу рами за рахунок негативних процесів, які можуть мати місце під час зварювання. До таких негативних процесів відносять потужні теплові поля від зварювальної дуги, напруження та деформації, що виникають при цьому тощо. Потужні теплові поля можуть викликати у зоні термічного впливу перерозподіл хімічних елементів та рекристалізацію матеріалу рамної конструкції.

В роботі вивчено вплив таких факторів як режими зварювання, послідовність виконання зварних швів, форма та розміри накладок та їх відносне розташування на статичну та втомну міцність підсиленої ділянки рами. З цією метою розроблено модель для натурних випробувань та модель для реалізації на ЕОМ з використанням кінцево-елементного аналізу. Дослідження показали, що зона температурного впливу, її форма і розміри залежать від режимів, геометрії деталей, послідовності виконання зварних швів, і навіть кута нахилу електрода в процесі зварювання. В свою чергу, аналіз експериментальних даних, з використанням розроблених моделей, дає можливість враховувати вплив вище зазначених показників для мінімізації залишкових напружень і розробляти якісні технологічні процеси ремонту деталей та конструкцій складної конфігурації без застосування складних аналітичних розрахунків.

Використання викладеної технології з розрахованими режимами зварювання та розмірами накладок для підсилення дозволили успішно експлуатувати відновлені рамні конструкції машин в усіх режимах допустимих навантажень.

## ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА МЕДНОЙ ОСНОВЕ ВЫПОЛНЕННЫХ ПРЕССОВАННОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ

Свиридов А.В., Гринь В.А  
(ДГМА, Краматорск, Украина)

Работоспособность и долговечность изделий, изготовленных из меди на примере кристаллизаторов ЭШНЖМ, определяются эксплуатационной стойкостью, прежде всего механическими свойствами и термостойкостью сварных соединений [1]. В связи с этим были проведены исследования механических свойств сварных соединений при рабочих температурах, теплопроводности, а также ряд исследований по сравнительной термостойкости сварных соединений, выполненных различными сварочными материалами.

Исследования эксплуатационной стойкости сварных соединений, выполненных, проводили согласно стандартным методикам.

Учитывая то, что рассматриваемое изделие (кристаллизатор ЭШН ЖМ) работает при повышенных температурах, испытания механических свойств проводили в интервале температур от комнатной до температуры возможного перегрева (20...400 °С).

Для сравнительной оценки механических свойств при этих же температурах испытывались образцы, сваренные различными сварочными материалами: прессованные порошковые проволоки диаметром 5 и 8 мм, электродами марки «Комсомолец-100», автоматической сваркой с использованием сварочной проволоки марки М1 под слоем флюса АН-М1 и проволоки марки Бр.КМц3-1 в среде аргона. Механические свойства определяли по результатам испытаний четырех образцов по каждому показателю.

Испытания на растяжение образцов, изготовленных из сварного соединения, выполненного вышеуказанными сварочными материалами, показали, что разрушение их происходит по околошовной зоне в результате разупрочнения основного металла в процессе сварки и более высокой прочности металла сварного шва.

Из приведенных данных видно, что прочность металла швов, выполненных прессованной порошковой проволоки, начинает уменьшаться при температуре испытания выше 300 °С.

Относительное удлинение металла шва не изменяется в интервале исследованных температур. Металл швов, выполненных другими сварочными материалами, менее легирован, имеет более низкую температуру рекристаллизации и теряет прочностные и пластичные свойства при более низкой температуре.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гурьевич С. М. Справочник по сварке цветных металлов / Гурьевич С. М. – К. : Наукова думка 1981. – 608 с.

## ЭФФЕКТИВНЫЕ РАБОЧИЕ СРЕДЫ ДЛЯ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ЗАТОПЛЕННЫМИ СТРУЯМИ

Сирота А.А., Мицык В.Я.  
(ВНУ им. В. Даля, Луганск, Украина)

Создание новых прогрессивных технологий и оборудования для гидроабразивной обработки затопленными струями (ГОЗС) широкой номенклатуры деталей, имеющих различные габариты и сложную конфигурацию поверхности требует экспериментальных исследований влияния физико-технологических свойств как уже внедренных, так и новых рабочих сред. В последнее время в отечественной металлообработке получил распространение гранатовый абразивный песок («Гарнет»). Это химически неактивный, гомогенный, неметаллический природный минерал, который состоит из гранул Альмандина и является крайне жестким, а также тяжелым абразивом с плотностью  $4,1...4,3 \text{ г/см}^3$ . В сравнении с др. абразивными материалами гранатовый песок позволяет в  $2...3$  раза увеличить скорость резки и очистки металлов и их сплавов, что позволяет обеспечить выполнение отделочно-зачистных технологических операций в металлообработке.

Следует отметить, что гранатовый песок является экологически безопасным природным минералом. Из-за большей твердости ( $7...8$  Моос), связанной с его кристаллическим строением, обеспечивается высокое сопротивление к разрушению. Поэтому гранатовый песок с различной грануляцией фракций также используется в качестве абразива в металлообрабатывающих производствах на отделочно-зачистных операциях, связанных со шлифованием деталей и одновременным удалением дефектов их поверхностей, полученных на предшествующих операциях формообразования деталей. Достижимая шероховатость поверхности при использовании гранатового абразивного песка  $R_a = 0,63...0,32 \text{ мкм}$ . Гранатовый песок широко используется на операциях гидроабразивной резки. Однако, он может успешно применяться для различных видов струйной обработки и очистки поверхностей, а также декоративной финишной обработки альтернативно оксиду алюминия.

В НИЛ «ОСА» ВНУ им. В. Даля проведены сравнительные исследования ГОЗС по эффективности применения на операции шлифования как традиционных рабочих сред из электрокорунда нормального зернистостью  $160...200 \text{ мкм}$ , так и новых рабочих сред из гранатового песка («Гарнет») такой же зернистости. Эксперименты проводились на лабораторной установке мод. УГСШ – 150. Режимы обработки: давление воздуха в соплах –  $0,15 \text{ МПа}$ , в барботажной системе  $0,2 \text{ МПа}$ ; расстояние от сопла до поверхности детали  $100 \text{ мм}$ ; частота вращения шпинделя  $2500 \text{ мин}^{-1}$ . Материал детали – сталь 3 ГОСТ 1050-88. Деталь типа тела вращения  $57 \times 20 \text{ мм}$ .

Эксперименты показали превосходство рабочих сред из нового абразива в сравнении с традиционным. Повышение съема металла – не менее, чем в  $1,6$  раза при достигаемой шероховатости поверхности  $R_a = 0,63 \text{ мкм}$ .

## РАЗНОСТНАЯ ФОРМА АЛГОРИТМОВ РЕГУЛЯТОРОВ ТОКА И СКОРОСТИ

Ставицкий В.О., Субботин О.В.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Аналоговые регуляторы преобразуются в цифровые если на их входе поставить экстраполятор нулевого уровня. Передаточные функции цифровых регуляторов тока и скорости находим по формуле:

$$D(z) = \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{W_{PER}(p)}{p} \right\}; \quad (1)$$

Регулятор скорости определится:

$$D_c(z) = \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{W_{PC}(p)}{p} \right\} = \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{K_{PC}}{p} \right\} = K_{PC} \frac{z-1}{z} \cdot \frac{z}{z-1} = K_{PC}. \quad (2)$$

Регулятор тока определится:

$$\begin{aligned} D_T(z) &= \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{W_{PT}(p)}{p} \right\} = \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{K_{IT}}{p} + \frac{K_{IT}}{p^2} \right\} = \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{K_{IT}}{p} \right\} + \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{K_{IT}}{p^2} \right\} = \\ &= K_{IT} \frac{z-1}{z} \cdot \frac{z}{z-1} + K_{IT} \frac{z-1}{z} \cdot \frac{Tz}{(z-1)^2} = K_{IT} + \frac{K_{IT}T}{z-1} \end{aligned} \quad (3)$$

В результате мы получили цифровой П-регулятор скорости и ПИ-регулятор тока.

Программная реализация регуляторов тока и скорости требует преобразования дискретных передаточных функций регуляторов в разностную форму.

Дискретная передаточная функция регулятора тока

$$D_T(z) = K_{IT} + \frac{K_{IT}}{z-1} = \frac{K_{IT}z + (K_{IT} - K_{IT})}{z-1}. \quad (4)$$

Применим обратное Z преобразование:

$$\begin{aligned} Y(z) \cdot (z-1) &= X(z) \cdot K_{IT}z + (K_{IT} - K_{IT}); \\ Y(z) \cdot (1-z^{-1}) &= X(z) \cdot K_{IT}z + (K_{IT} - K_{IT}); \\ Y(z) &= Y(z) \cdot z^{-1} + X(z) \cdot K_{IT} + X(z)(K_{IT} - K_{IT})z^{-1}; \end{aligned} \quad (5)$$

Получим разностное уравнение для регулятора тока:

$$Y(n) = Y(n-1) + X(n) \cdot K_{IT} + X(n-1) \cdot (K_{IT} - K_{IT}). \quad (6)$$

Дискретная передаточная функция регулятора скорости, где  $X$  - выходная величина контура скорости,  $E$  - входная:

$$D_{СКОР}(z) = \frac{X(z)}{E(z)} = K_{PC}. \quad (7)$$

Применим обратное Z преобразование

$$X(z) = K_{PC}E(z); \quad (8)$$

Получим разностное уравнение для регулятора скорости

$$X(n) = K_{PC}E(n); \quad (9)$$

Разностная форма алгоритмов регуляторов тока и скорости будет использована при программировании контроллера электропривода.

## **ВЛАСТИВОСТІ ПОВЕРХОНЬ, ВИГОТОВЛЕНИХ КОМПЛЕКСНИМ МЕТОДОМ ТЕРМОФРИКЦІЙНОЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ**

Струтинський В.Б., Покінтелиця М.І.  
(НТУУ «КПІ», м. Київ, СевНТУ, м. Севастополь, Україна)

При виготовленні деталей сучасних машин особливого значення набувають спеціальні методи обробки, які забезпечують поліпшені характеристики поверхневого шару. До таких методів відносяться поверхневе пластичне деформування та термофрикційна обробка (ТФО) деталей дисковим інструментом.

Мета роботи – дослідження властивостей поверхневого шару деталей, виготовлених комплексним методом термофрикційної і механічної обробки, та визначення перспектив їх застосування в прогресивних конструкціях машин.

На основі проведених досліджень прогнозується значне підвищення якісних показників поверхонь деталей з необхідними значеннями 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 зі сталі 45, в якій поміщені стрижні із бронзи Бр.ОФ10-1, температура плавлення якої 934°C. Деталь після ТФО піддається механічній обробці з утворенням рівномірної поверхні, на якій передуються ділянки бронзи і сталі.

В результаті проведених досліджень встановлено, що бронзові і сталеві ділянки поверхні мають міцне з'єднання і утворюють однорідну оброблену поверхню з регулярною хвилястістю, яка допускає подальшу механічну обробку. Застосування переривчастих плоских поверхонь в рухомих контактах суттєвим чином покращує умови змащення. Переривчасті плоскі поверхні є ефективними також при застосуванні в точних малорухомих контактних парах. Такі поверхні доцільно використовувати також у з'єднаннях, які сприймають зсувні навантаження.

Застосування комплексних методів обробки є ефективним при виготовленні деталей машин, зокрема підшипникових вузлів осьового 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.

Встановлено, що запропоновані комплексні методи дозволяють одержати поверхні з рівномірним розподілом контактних напружень, а в разі необхідності – забезпечити надійний контакт при дії дотичного навантаження.

## **ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РЕЖУЩИХ ПРОТЯЖЕК, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ В ДЕТАЛЯХ ИЗ ЧУГУНОВ**

Студенец С.Ф.

(ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев, Украина)

Широкое использование чугуна обуславливается его дешевизной, высокими механическими свойствами и хорошей обрабатываемостью. Для обработки отверстий различного профиля в таких деталях широко применяется режущее протягивание. В металлообрабатывающей промышленности для изготовления режущих протяжек для обработки деталей из чугунов, в качестве инструментального материала используются твердые сплавы марки ВК и быстрорежущие стали. Однако условия эксплуатации режущих протяжек имеют ряд особенностей, существенно ограничивающих эффективность применения твердых сплавов.

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.

Область использования конструктивных способов ограничивается: длиной инструмента, снижением прочности и жесткости, технологическая сложность. Использование конструктивного способа не ограничивает, а предполагает использование других направлений.

Применение СОТС при протягивании чугунов быстрорежущими протяжками целесообразно только в случае, когда требования к качеству обработанной поверхности являются первостепенными.

Ионное азотирование в безводородных средах, как способ модификации поверхности инструмента, отличается высокая технологичность процесса, возможность получения требуемых физико-механических свойств, структуры, фазового состава и эксплуатационных параметров покрытия, экономичность, безопасность условий труда и экологичность. Исследования износостойкости режущих протяжек из стали Р6М5 с покрытием, полученным методом безводородным ионным азотированием, при обработке отверстий в деталях из чугуна, показал, что нанесение таких покрытий является эффективным методом повышения работоспособности протяжек. Модификация поверхности режущих протяжек, изготовленных из быстрорежущих сталей, методом ионного азотирования в безводородной среде, позволяет решать проблему повышения стойкости инструмента при обработке чугуна, а следовательно относится к основным направлениям повышения работоспособности протяжного инструмента, применяемого для обработки отверстий в деталях из чугунов.

## ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Ткаченко Є.В., Мішура Л.В.  
(ДДМА, МКДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Розглядаючи технологічний процес механічної обробки як відкриту систему, на яку впливають зовнішні фактори, постає проблема необхідності створення перспективного підходу не тільки до підвищення його ефективності, але і дозволяє системно підвищити його якість. На сьогоднішній день, одним із способів підвищення якості продукції та розвитку систем управління промисловим підприємством є застосування функціонально-вартісного аналізу (ФВА). Існують різні думки про ефективність застосування ФВА. Одні економісти вважають ФВА дуже простим методом для застосування його в практичній діяльності, інші - складним, як в методичному плані, так і в області технології застосування ФВА. Можливо, це пов'язано з тим, що недостатньо інформації про досвід використання методу.

Процесу функціонування складних технологічних систем та процесу їх структуризації властива невизначеність, викликана неповнотою інформації про умови експлуатації, про якість використовуваних систем. Внаслідок безлічі варіюваних змінних і стохастичного характеру їх початкових умов опис технологічного процесу зустрічає значні математичні труднощі:

1 багатofакторність і як наслідок велика розмірність задачі;

2 наявність прихованих взаємозв'язків між чинниками і їх комплексний вплив на параметри технологічної операції, що часто важко обліковуються;

3 складність надання вихідних даних, що виявляється через різноваріантності структури технологічних процесів, відмінності в режимах різання, що виникають внаслідок широти діапазонів значень емпіричних коефіцієнтів та ін.

Функціональна структура технологічної системи повинна інтегрувати і узагальнювати теоретичні знання і виробничий досвід, закладений у типових технологічних процесах деталей групи. Тому побудова найбільш ефективною технологічної операції можливо тільки при максимальному врахуванні всіх чинників, що впливають на її роботу, як технічного, економічного, соціального характеру, так і умов впливу навколишнього середовища.

ФВА має принципову відмінність від звичайних способів зниження виробничих і експлуатаційних витрат, так як передбачає функціональний підхід. Сутність такого підходу - розгляд об'єкта не в його конкретній формі, а як сукупність функцій, які він повинен виконувати. Кожна з них аналізується з позиції можливих принципів і способів виконання за допомогою сукупності спеціальних прийомів. Оцінка варіантів побудови об'єкта здійснюється за умовою, що враховує ступінь виконання і значимість функцій, а також розмір витрат, пов'язаних з їх реалізацією на всіх етапах життєвого циклу.

## ВПЛИВ СКЛАДУ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОГО ІНСТРУМЕНТУ НА ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ СВЕРДЕЛ ІЗ ШВИДКОРІЗАЛЬНОЇ СТАЛІ

Ткачук І.В., Майборода В.С.  
(НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна)

Одним з методів формування показників якості кінцевого різального інструменту (РІ) на фінішних стадіях його виготовлення є магнітно-абразивне оброблення (МАО) у великих магнітних щілинах при їх кільцевому розташуванні, в процесі якого відбувається формування мікрогеометрії поверхонь робочих елементів інструменту, забезпечуються відповідні фізико-механічні характеристики поверхневого шару.

Метою роботи є дослідження впливу процесу МАО магнітно-абразивними порошками (МАП) різних типів та складів на експлуатаційні властивості РІ.

Дослідження виконували на свердлах фірми Fette виготовлених з швидкорізальної сталі  $\varnothing 13$  мм  $\varnothing 6,8$  мм. Оброблення виконували на експериментальному верстаті при швидкості руху вздовж робочої зони - 3 м/с, частоті обертання навколо власної осі інструменту 250 об/хв., при різних кутах нахилу осі свердла по відношенню до площини кільцевої ванни. Величина магнітної індукції в робочій зоні верстата при МАО зазначених деталей складала 0,25 Тл у вільному від МАП зазорі. Висота зони оброблення дорівнює 30 мм і є достатньою для підтримання ідентичних умов ефективного оброблення робочих поверхонь і елементів свердел.

Для МАО застосовували такі магнітно-абразивні порошки (МАП): Полімам-Т з розміром частинок 200/100 мкм, Царамам – 315/200 мкм, ПР Р6М5 – 200/100 мкм та суміш порошку Полімам-М - 315/200 мкм з 5% порошку Полімам-Т – 200/100 мкм.

Для конкретизації умов контактної взаємодії магнітно-абразивного інструменту (МАІ) з оброблювальними деталями в процесі МАО було виконано вимірювання і визначено характерні розміри різальних кромки (РК) частинок МАП, які використовували для проведення експерименту. Вимірювання виконували на інструментальному мікроскопі УІМ-2М. Досліджували не менше 100 частинок кожного з порошків. За результатами статистичного аналізу розмірів РК окремих частинок МАП встановлено, що найменші середні значення радіусів округлення окремих РК частинок порошків притаманні Царамаму, а найбільші – частинкам порошку ПР Р6М5. Це пояснюється тим, що Царамам відноситься до класу нерівновісних порошків з коефіцієнтом нерівновісності  $k_f > 2$ , а частинки ПР Р6М5 – рівновісні і мають практично сферичну форму з величиною  $k_f$  близькою до 1. Для осколкових рівновісних порошків Полімам-М та Полімам-Т середній радіус округлення РК практично однаковий, не зважаючи на різну зернистість порошку. Це може бути пояснено різницею у величині  $k_f$  для зазначених порошків – 1,59 і 1,5, відповідно.

Встановлено, що найбільша поліруюча здатність притаманна МАІ, сформованому з рівновісного осколкового порошку Полімам-Т 200/100 мкм, а зміцнювальне оброблення – МАІ, який сформовано з округлого сферичного порошку ПР Р6М5 200/100 мкм.

Експлуатаційні дослідження свердел виконували при наскрізному свердлінні плити, виготовленої з Сталі 45 товщиною 30 мм при швидкості обертання свердел 1000 об/хв. і подачі 0,1 мм/об. Визначали величину зношення кутика свердел. Встановлено, що після МАО різними МАП на кривих зношення фіксуються дві площадки стаціонарного зношення на рівні 0,1-0,12 мм та 0,2-0,21 мм, що може бути пов'язано зі станом поверхневого шару РІ і його структурними змінами. Показано, що МАО свердел забезпечує підвищення працездатності до 3 – 3,5 разів у порівнянні з необробленими. Найбільша працездатність притаманна свердлам, які оброблені порошком Царамам 315/200 мкм. Встановлено, що найбільш впливовими факторами, які забезпечують підвищення працездатності свердел є величина радіусу округлення РК і ступінь зміцнення поверхневого шару.



## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНВЕЙЕРА НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ В ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ СТЕЛЛАЖНОГО СКЛАДА**

Турушина Н.В., Турушин В.А.

(ВНУ им. В.Даля, г.Луганск, Украина)

Использование конвейеров с воздушной подушкой для создания автоматизированной системы транспорта стеллажного склада позволяет повысить эффективность использования складской площади, снизить энергозатраты на производство складских работ, упростить схему автоматизации и повысить безопасность работ.

Система состоит из транспортных конвейеров для перемещения поддонов с грузом в ячейках стеллажей, предназначенных для размещения поддонов с грузом в ячейках и выдачи их на транспортный конвейер. Транспортное устройство представляет собой короткий реверсивный конвейер, длина которого примерно равна длине поддона. Подача сжатого воздуха под поддон осуществляется через наклонные питающие каналы, что позволяет не только создавать воздушную подушку, но и перемещать поддон с грузом в сторону наклона питающих каналов. С помощью управляющей плиты осуществляется открытие соответствующих каналов для установки поддона в ячейку или выдачи его из ячейки.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования процесса перемещения поддона с грузом в ячейке позволили определить влияние основных конструктивных и технологических факторов (угла наклона оси питающего канала, площади поперечного сечения каналов, глубины камеры в днище поддона, давление воздуха в ресивере, смещение центра тяжести груза относительно центра поддона) на тяговую силу, расход воздуха и время одной операции по выдаче груза из ячейки, а также разработать методику определения оптимального значения конструктивных параметров установки.

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РАСТОЧНЫХ РЕЗЦОВ

Гузенко В.С., Хорошайло В.В., Соловьев В.С.  
(ДГМА, Краматорск, Украина, РУДН, г. Москва, Россия)

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. Уменьшение амплитуды колебаний позволяет повысить стойкость инструмента, что дает увеличение производительности обработки резанием. Следовательно статический расчет упругой линии державки резца является важной задачей не только для прочностного расчета, но и для исследования динамических нагрузок при изменяющейся во времени силе резания.

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.

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 3DV14 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 конечных элементов модели и выполняется расчет. В результате расчета получены: напряжения, перемещения, деформации, а также собственные частоты державки расточного резца.

Сходность расчетных значений и результатов компьютерного моделирования позволяют говорить об адекватности компьютерной модели.

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.

## ПОВЫШЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ БЫСТРОИЗНАШИВАЮЩИХСЯ ДЕТАЛЕЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Чепель Ю.А.

(ДГМА, Краматорск, Украина)

Наплавка является самым распространенным способом восстановления быстроизнашивающихся деталей металлургического и машиностроительного оборудования. Её широкое применение объясняется высокими технико-экономическими показателями. Наплавкой можно нарастить слой практически любой толщины, различного химического состава и физико-механических свойств. Несмотря на большое значение выбора материалов для наплавки деталей, работающих в условиях трения металла о металл, до настоящего времени эти вопросы разработаны недостаточно. От механических свойств и структуры поверхностного слоя детали зависит не только ее износ, но и износ детали, работающей в паре с ней (контртела). Кроме того, при выборе оптимального состава наплавляемого металла для этих деталей нужно учитывать внешние механические воздействия и рабочую среду. Для исследования свойств наплавочных материалов применяют различные виды оборудования, в частности, машины трения. Большинство известных машин трения основаны на вращательном движении исследуемого образца и контртела. Была создана машина трения возвратно-поступательного движения, перемещение каретки и прижим абразива к испытуемым образцам осуществляется цилиндрическими линейными двигателями.

Предложенная конструкция машины трения за счет использования линейных электродвигателей уменьшает затраты энергии, излишнее трение в узлах деталей. Отсутствие кривошипно-шатунного механизма как промежуточного звена между двигателем и исполнительным органом машины существенно упрощает ее конструкцию.

Машина трения возвратно-поступательного движения содержит стол с закрепленным образцом, прижимной механизм с цилиндрическим линейным электродвигателем постоянного тока, прикрепленную к нему пластину из неметаллического материала с абразивом и механизм перемещения, также оснащенный цилиндрическим линейным двигателем. При подаче напряжения определенной полярности и величины, на цилиндрический линейный электродвигатель, который размещен на прижимном устройстве, он будет прижимать пластину из неметаллического материала с абразивом к образцу и двигаться вверх или вниз. Аналогично, при подаче напряжения определенной полярности в цилиндрический линейный электродвигатель механизма перемещения, устройство начинает двигаться вправо или влево, и мы получим возвратно-поступательное движение механизма перемещения. Возникает процесс трения, в результате которого изнашиваются образцы. Применение предлагаемой машины трения позволяет избежать лишних затрат энергии на трение в механизмах и сделать конструкцию более простой.

Использование в научных целях для разработки оптимального состава наплавленного слоя разработанной машины трения повышает точность измерений на 7-10 %. Испытания показали, что износ образцов и контртела обуславливается в основном соотношением твердости и эквивалентным содержанием углерода в наплавленном металле. Функциональная связь между этими величинами имеет минимум по суммарному износу для расчетно-перлитных структур в диапазоне соотношения твердости 1,02-1,13, а для сорбитных структур 1,47-1,62. При увеличении этого соотношения износ контртела значительно усиливается, а наплавленного образца уменьшается.

## **ОБУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО И МАКЕТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ЧПУ**

Чесноков А.В., Витренко В.А., Чорная В.И.  
(ВНУ им. В.Даля, г. Луганск, Украина)

Неоднократно правительством отмечалась приоритетность подготовки специалистов технических специальностей. В промышленности наблюдается острая нехватка квалифицированных специалистов, владеющих знаниями и навыками, базирующимися на достижениях науки и техники. Из-за отсутствия финансирования модернизации лабораторной базы на выпускных кафедрах находится устаревшее оборудование. И специальность технология машиностроения, являющаяся основой машиностроительного производства, с которой начиналось становление большинства современных вузов не исключение. Наиболее неразрешимо выглядит вопрос создания лабораторной базы востребованного на производстве оборудования с ЧПУ. Современному оборудованию с ЧПУ присуще многообразие компоновочных схем и технологических возможностей, знание и умение использовать которые должен современный технолог. Приобретение промышленного оборудования с ЧПУ, учитывая его стоимость, сопоставимую с бюджетом вуза, коэффициент загрузки лабораторными занятиями и научными исследованиями, период морального старения и ряд менее значимых факторов, становится неразрешимой проблемой. Анализ лабораторной базы современного оборудования с ЧПУ и уровня подготовки в вузах страны, приведенный в работе, показал масштабность и актуальность проблемы.

Целью исследований являлся поиск рационального решения в обеспечении учебного процесса наглядными примерами современного оборудования с ЧПУ различных компоновочных схем и технологических возможностей для обучения составлению технологических процессов и программированию оборудования с ЧПУ за счет создания виртуального и макетного оборудования.

Применение в учебном процессе виртуального и макетного оборудования с ЧПУ является вынужденным компромиссным решением. Нарботан опыт внедрения программы SprutCAM для создания виртуальной лаборатории передовых технологий. Имеются примеры использования программы для изложения разделов технологических дисциплин, ориентированных на применение оборудования с ЧПУ. Проанализированы возможности программы SprutCAM для моделирования схем передового оборудования с ЧПУ и процессов обработки на них. Внедрено макетирование оборудования с ЧПУ для проведения лабораторных работ. Накоплен опыт использования взаимодействия программ моделирования деталей, разработки управляющих программ для оборудования с ЧПУ и согласованного управления приводами макетного оборудования с ЧПУ для учебных целей.

Внедрение программных продуктов КОМПАС-3D, Delcam, SprutCAM и Mach3 в комплексе с макетным оборудованием позволили повысить качество учебного процесса и интерес студентов к изучаемым дисциплинам.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ЗОНІ НАПЛАВЛЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМБІНОВАНОГО ЕКРАНУВАННЯ ТЕПЛОВИХ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ

Шаблій О.М., Пулька Ч.В., Гаврилюк В.Я., Сенчишин В.С.  
(ТНТУ ім. Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна)

При індукційному наплавленні з використанням додаткових технологічних операцій (вертикальної і горизонтальної вібрації), важливе значення відіграє температурне поле на поверхні тонкої деталі, яка підлягає наплавленню, оскільки порошкоподібний твердий сплав в цьому випадку розплавляється від поверхні основного металу. В залежності від розподілу температури досягається відповідна рівномірність товщини шару наплавленого металу. Самою конструкцією індуктора дуже складно досягнути необхідний розподіл температури.

В даному випадку тепловий екран розташовується на торці і в нижній поверхні диска з протилежної сторони зони наплавлення, а електромагнітний екран – на торці диска. Тепловий екран зменшує конвективний теплообмін між поверхнею деталі і оточуючим середовищем, а електромагнітний екран регулює потужність електромагнітного поля на поверхні деталі. Така конструкція нагрівальної системи розширює технологічні можливості для досягнення більш рівномірної температури по ширині зони наплавлення.

Для цього було розроблено математичну модель для визначення температури по радіусу диска і в зоні наплавлення. Отримано вирази її визначення для двох варіантів. Перший варіант є складний, але більш точний, а другий, інженерний варіант менш точний у порівнянні з першим. Перевірені експериментально величини температур, отриманих за допомогою математичної моделі наплавлення. Похибка при використанні цих методик відносно експериментальних вимірювань складає при наплавленні 1 – 5 %.

З метою підсилення електрорушійної сили термопар використовували тензопідсилювач типу “Топаз-4-01” з регулюючим приладом живлення “Агат-7”. При градуванні термопар проводилось записування їх ЕРС при різних температурах і цей запис співставлявся із записом електрорушійної сили контрольної термопар. Таким чином отримана математична модель знаходження температури в диску через параметри джерела його індукційного нагрівання з використанням електромагнітного і теплового екранування торця диска і нижньої поверхні, протилежній наплавленню. Це дає змогу визначити та оптимізувати вказану температуру в зоні наплавлення диска в залежності від параметрів індуктора, диска, електромагнітного і теплового екранів та електричного струму з використанням вертикальної і горизонтальної вібрації.

Розроблена математична модель дозволяє проектувати складну нагрівальну систему (індуктор, тепловий і електромагнітний екрани) для наплавлення тонких сталевих дисків довільних діаметрів і розмірів зони наплавлення без проведення експерименту, що дозволить значно зменшити трудові і матеріальні затрати при розробленні нових технологічних процесів індукційного наплавлення тонких сталевих дисків виходячи з потреб технології.

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПАРКА КРАНОВ МОСТОВОГО ТИПА

Швачунов А.С., Дорохов Н.Ю.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Сложное экономическое состояние машиностроительных предприятий Украины, - потенциального заказчика мостовых кранов, - ввиду отсутствия средств на развитие производства не позволило им своевременно произвести замену кранового парка, и по состоянию на 01.01.2010г. общее количество мостовых кранов, отработавших нормативный срок службы, составляет 83%, в связи с чем появилась реальная угроза превращения работающих кранов в субъекты техногенной опасности.

На основании данных можно сделать следующие выводы:

- число кранов, фактический режим работы которых с учётом коэффициента нагрузки превышает расчётный, составляет 50%;
- фактическое число кранов, в которых обнаружены усталостные трещины и другие дефекты, не позволяющие не только эксплуатировать, но и ремонтировать их, составляет около 10%;
- 40% от парка мостовых кранов составляют краны с пониженной надёжностью эксплуатации.

Известно, что одним из наиболее эффективных методов повышения надёжности технических изделий (систем) является метод резервирования. Применение именно этого метода позволяет создавать высоконадёжные изделия из мало или недостаточно надёжных элементов. Среди направлений повышения безопасности существующих кранов выделяется резервирование механических систем, суть которого состоит в дублировании основной системы. Большая эффективность использования метода резервирования для повышения надёжности машин требует изыскания практически применимых и экономичных схем резервирования для механических систем. Важно при этом определить технический и экономический эффект от внедрения различных схем резервирования. Такой анализ в отношении выполнения конструкций тем более необходим, что при разработке большей части схем подъёмно-транспортных машин с резервными цепями преследовалась цель повышения безопасности и оценка эффекта такого резервирования с точки зрения надёжности, как правило, не проводилась.

В механических системах, так же как и в других, при нагруженном (постоянно включённом) резерве отказ всей системы предотвращается выключением из работы отказавшего элемента или цепи. При этом оставшиеся в работе элементы или цепи в состоянии обеспечить нормальное выполнение системой заданных функций в течении заданного времени.

Таким образом, одним из наиболее актуальных направлений дальнейших исследований является поиск конструктивных решений и методики расчёта параметров резервных систем в механизме подъёма груза.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАННОЙ СИСТЕМЫ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАКАЛЕННЫХ КРУПНОМОДУЛЬНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Шелковой А.Н., Тимофеев Ю.В., Клочко А.А.  
(ХНТУ «ХПИ», г. Харьков, ДГМА, г. Краматорск, Украина)

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).

Структурная схема решения задачи по технологическому обеспечению заданной системы параметров поверхностного слоя цилиндрических закаленных крупномодульных зубчатых колес состоит из условий уже существующего производства с информативной базой конструкторской документации и технических требований на определенное цилиндрическое зубчатое колесо, выбора 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. 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.

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  $\sigma_v$  и  $\tau_{сдв}$  с учетом радиуса округления режущей кромки зубьев фрезы  $\rho$ .

Соотношение  $\sigma_v$ ,  $\tau_{сдв}$  и  $\rho$  определяет параметры качества поверхностного слоя, значение угла сдвига  $\Phi$ , 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.

## ВПЛИВ ШВИДКОСТІ НАПЛАВЛЕННЯ НА ВЛАСТИВОСТІ НАПЛАВЛЕНИХ ВИСОКОВУГЛЕЦЕВИХ ПОКРИТІВ

Шенфельд В.Й.  
(ВНТУ, м. Вінниця, Україна)

В процесі експлуатації відбувається знос та вихід з ладу деталей машин. Наплавлення в середовищі захисних газів є одним із поширених методів нанесення покриттів на деталі. В роботі досліджено вплив швидкості наплавлення на структуроутворення та твердість наплавлених високовуглецевих покриттів. Зміна швидкості наплавлення впливає на час кристалізації металу зварювальної ванни. У роботі досліджено вплив швидкості наплавлення від 11 до 26 м/год. Вивчалась структура наплавленого високовуглецевого покриття, зони сплавлення та основного металу в зоні термічного впливу. Інші параметри режиму наплавлення фіксувалися на рівні:  $U=28$  В,  $V_{др}=104$  м/год,  $d_e=1,4$  мм. На партію однакових заготовок, виготовлених з сталі Ст.3, виконувалось наплавлення так, щоб швидкість переміщення зварювальної дуги для кожного наступного зразка зменшувалась. Створення високовуглецевого шару забезпечувалось шляхом комбінування наплавлювального дроту Нп-30ХГСА та вуглецевої тканини марки УУТ-2 ТУ6-06 И 78-85, із щільністю  $250$  г/м<sup>2</sup>.

Із отриманих зразків вирізалися темплети з використанням електроерозійних верстатів та виготовлялися шліфи. Дослідження структур проводилось шляхом використання оптичних мікроскопів з наступною фотофіксацією. Мікротвердість структурних складових покриття вимірювалась за допомогою мікротвердоміра ПМТ-3 (навантаження на індентор становило 1Н.). Твердість покриття вимірювалась за методом Роквелла на твердомірі ТК2М. Типи структур кожного з зразків, а, відповідно, і твердість покриттів виявились різними. Аналіз результатів досліджень показав, що зменшення швидкості переміщення дуги призводить до збільшення температури в зоні навколо зварювальної ванни та часу розчинення вуглецевого матеріалу, який вводиться у розплав. При цьому відбуваються фазові перетворення з утворенням однорідного дрібнозернистого мартенситу ( $H_{\mu}$  960) .

При збільшенні швидкості переміщення дуги від 11 до 14 м/год у перехідній зоні сплавлення утворюється крупногальчастий, а на поверхні наплавленого шару- дрібнозернистий мартенсит. Зі збільшенням швидкості переміщення дуги до 20 ... 26 м/год тепловкладення в деталь є недостатнім для значного зростання температури у зоні фазових перетворень. Це призводить до скорочення часу кристалізації зварювальної ванни та швидкого формування наплавленого валика з утворенням градієнтного покриття з структурами легованого білого чавуну (ледебурит, цементит, карбіди).

Таким чином шляхом зміни швидкості переміщення дуги під час наплавлення високовуглецевих покриттів можна керувати процесами їх структуроутворення та фізико - механічними властивостями.



## ФОРМАЛІЗОВАНИЙ СИНТЕЗ КОМБІНОВАНОГО ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Юхимчук В.М., Пасічник В.А., Татарин Я.В.  
(НТУУ «КПІ», ММІ, кафедра ІТМ, Київ, Україна)

Важливою задачею в автоматизації технологічного підготовки виробництва є вибір методів механічного оброблення елементарних поверхонь деталей та синтез відповідного інструментального забезпечення, що може забезпечити вихідні параметри якості виробу за умови мінімальних сумарних витрат.

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. Тип такого інструменту визначається порядком виконання технологічних переходів, які назначаються відповідно до необхідних параметрів точності та шорсткості оброблюваних поверхонь отвору, та точності їх взаємного розташування. Існуючі класифікації комбінованого різального інструменту представляються у вигляді простих схем, але без формалізованого опису, що унеможлиблює автоматизовано синтезувати варіанти комбінованих РІ на основі вхідних даних та використання їх у системах автоматизованого проектування. Крім того, відсутність оптимізації режимів різання для комбінованих різальних інструментів залишає можливі резерви для підвищення ефективності механічного оброблення такими інструментами.

Для автоматизованого синтезу комбінованого осьового РІ було розглянуто процес формування варіантів комбінації елементарних різальних інструментів (РІ) у комбінованому РІ у вигляді матриці та графу сполучень таких типів осьових різальних інструментів: S – свердло, Z – зенкер, R – розвертка, M – мітчик, Ro – розкатка, Ri – різець, Ze- зенківка. Я якості вихідних даних використовується множина елементарних поверхонь {EP} оброблюваного отвору та параметри їх якості (точність, шорсткість та ін.) – ці дані можливо автоматизовано отримувати, аналізуючи 3D модель деталі. Процес представляється у циклічному вигляді, а синтезований комбінований інструмент є результатом кроків послідовного додавання елементарних різальних інструментів, що задовільняють параметри якості відповідної елементарної поверхні отвору та максимально економічно вигідний.

Запропонований механізм підвищення ефективності механічного оброблення комбінованим РІ за рахунок коригування періоду стійкості елементарних РІ, з яких він складається. Пропонується змінювати режими різання в процесі роботи такого інструменту, використовуючи 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.

## ИННОВАЦИИ В ОБЛАСТИ СКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК В МАШИНОСТРОЕНИИ

В.А.Рогов, Н.К.Пономарев, В.В.Соловьев  
(РУДН, г.Москва, Россия)

В современном машиностроении значительно возросли требования к физико-механическим характеристикам изделий, поскольку им приходится работать в тяжелых эксплуатационных условиях при высоких динамических нагрузках.

При высокоскоростной обработке значительно снижаются на 30% силы резания и остаточные внутренние напряжения, повышается качество обработанных поверхностей, повышается производительность, сокращается время производственного цикла до 70%. Это позволяет обрабатывать маложесткие и тонкостенные детали, что очень важно в авиационной, автомобильной и судостроительной промышленности.

Наиболее эффективно высокоскоростное объемное фрезерование штампов, пресс-форм, гребных винтов, цельных крыльев самолетов, антенных обтекателей, лопаток турбин и компрессоров и др. В качестве инструмента при этом используются цельные твердосплавные концевые фрезы.

Цельные твердосплавные фрезы предназначены для прецизионной обработки и имеют от 2 до 6 режущих кромок, причем одна из них выполнена с перекрытием оси вращения, что позволяет работать методом врезания.

В качестве режущего материала используют особомелкозернистый твердый сплав, который обеспечивает постоянство физико-механических характеристик и возможность тонкого затачивания, как с покрытием, так и без него. Применяются и фрезы с режущими кромками из поликристаллического алмаза. Наибольшую стойкость инструмента и высокое качество поверхности обеспечивает попутное фрезерование.

Для закрепления инструмента используют цанговые патроны с закреплением инструмента по «горячей» посадке с натягом типа H7/p6 или H7/n6. Закрепление инструмента может осуществляться многократно (свыше 5000 раз), если оно происходит в диапазоне упругих деформаций патрона.

По concentричности, силе закрепления и уровню вибраций собранный инструментальный блок равноценен цельному инструменту той же конфигурации.

Ограничением дальнейшего повышения скорости резания при высокоскоростной обработке фрезерованием является нагрев примерно до 80<sup>0</sup>С только при трении о воздух, ещё не касаясь детали, что может привести к его искривлению и дисбалансу.

## ЗМІСТ

<i>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.</i> Створення високоточного обладнання та виготовлення крупногабаритних деталей і устаткування.....	9
<i>Schepotko V., Makarenko N., Gavrish P. Grote K.-H., Postnikov J.</i> Die methodik für die lebensdauer der schweisskonstruktionen.....	11
<i>Аветисян С.М.</i> Исследование переходных процессов при опускании грузов кранами мостового типа.....	12
<i>Адаменко Ю.І., Бесарабець Ю.Й.</i> Ступінчаста обробка отворів у композиційних матеріалах.....	13
<i>Азарова Н.В., Цокур В.П., Маленко А.Н.</i> Влияние способа правки алмазного круга на параметры его рабочей поверхности.....	14
<i>Алешичев П.В., Москаленко И.Г.</i> Эффективность применения комбинированных приводов исполнительных механизмов землеройных машин.....	15
<i>Алиев И.С., Жукова О.А., Абхари П.Б.</i> Боковое выдавливание деталей с отростками.....	16
<i>Алиева Л.И., Деревенько И.А., Шкира А.В.</i> Комбинированное трехстороннее выдавливание сложнопрофилированных деталей.....	17
<i>Алиева Л.И., Мартынов С.В., Амелин С.О.</i> Силовой режим процесса высадки.....	18
<i>Аносов В.Л., Гузенко В.С., Миранцов С.Л.</i> Повышение производительности торцевого фрезерования за счет использования ступенчатой схемой резания.....	19
<i>Антоненко Я.С., Ковалев В.Д., Линкевич С.А.</i> Жесткость несущей системы при прогнозировании точности обработки.....	20
<i>Богданова Л. М., Васильева Л. В., Балычев И. И., Гузенко Д. Е.</i> Использование гибридных алгоритмов для оптимизации параметров механической обработки.....	21
<i>Бойко Г.А.</i> Способ оценки уровня нагруженности металлоконструкций мостового крана.....	22
<i>Бойко И.А., Гринь А.Г.</i> Разработка режимов термообработки инструментальной стали 40X12B4K2Ф после наплавки самозащитной порошковой проволокой.....	23

<b>Будиков Л.Я., Шишкин Р.В.</b> О расчете оптимальных тормозных характеристик механизмов передвижения грузоподъемных кранов.....	24
<b>Васильченко Я.В., Шаповалов М.В., Михайлюк А.В.</b> Повышение эффективности работы тяжелого токарного оборудования за счет разработки рекомендаций по выбору рациональных режимов резания.....	25
<b>Васильченко Я.В., Сукова Т.А., Шевченко Э.С., Лобов А.В.</b> Выбор рациональной компоновки станков на основе анализа базы знаний о предприятиях тяжелого машиностроения.....	26
<b>Витренко А.В., Воронцов С.Б., Грязев А.А.</b> Формообразование винтовых зубчатых колес.....	27
<b>Власов А.Ф.</b> Разработка состава экзотермического флюса и способа электрошлакового переплава применительно к стали 35.....	28
<b>Власов А.Ф.</b> Электрошлаковое кокильное литье деталей ответственного назначения.....	29
<b>Власов А. Ф., Куций А. М.</b> Разработка электродов на альтернативном связующем для ремонтной сварки.....	30
<b>Вовк В. В., Гайдай А. Р.</b> Визначення кромки та геометричних параметрів стружкороздільних канавок кінцевих фрез.....	31
<b>Водолазская Н. В.</b> Увеличение нормативного срока службы мостовых и металлургических кранов путем совершенствования системы тоир.....	32
<b>Волков Д. А.</b> Электроконтактная наплавка порошковой проволокой с плавлением пограничного слоя.....	33
<b>Воронцов Б.С., Кириченко С.Г., Кузнецова М.Н.</b> Исследование схем формообразования накатного инструмента.....	34
<b>Гаврильченко О.А., Конарев А.И.</b> Организация и механизация погрузочно-разгрузочных работ при перевозке грузов.....	35
<b>Гейчук В.М., Гаврушкевич А.Ю., Галатович Д.І.</b> Магнітно-абразивна обробка зубчастих коліс в кільцевій ванні: аналіз кінематики.....	36
<b>Герасимчук О.М.</b> Профілювання торцевих фасонних фрез, затіланих по колу, з плоскою передньою поверхнею, у яких $\gamma \neq 0^\circ, \lambda \neq 0^\circ$ .....	37

<i>Главацький К.Ц., Кіфорук Ю.В.</i> Дослідження і розробка об'ємної ножової системи бульдозера з виступаючими ножами і бічними косинками.....	38
<i>Главацький К.Ц., Черкудінов В.Е., Проскурня В.М.</i> Моделювання ґрунтоущільнювальнихробочих органів віброкотків і віброплитіз профілем робочої поверхні блокуючої дії на ґрунт.....	39
<i>Глоба О.В., Булах І.О., Милокост С.М.</i> Підвищення якості отворів в ПКМ за рахунок використання осцилюючого свердління.....	40
<i>Голуб Д.М., Алексеенко С.В.</i> Новые наплавочные материалы для наплавки и восстановления штампов.....	41
<i>Голуб Д.М., Плис С.Г., Виценко Д.М.</i> Новые наплавочные материалы для наплавки и восстановления штампов.....	42
<i>Грабченко А.І., Пижов І.М., Клименко В.Г.</i> Комп'ютерне моделювання зони контакту торцевого круга з деталлю на плоскошліфувальних верстатах.....	43
<i>Грицай І.Є., Громнюк С.І.</i> Підвищення ефективності процесу нарізання зубчастих коліс на основі радіально-обертового методу в умовах обкочування.....	44
<i>Гусев В.В., Калафатова Л.П., Олейник С.Ю.</i> Исследование влияния конструкции оправки на вибрации в зоне контакта алмазного круга и изделия при шлифовании крупногабаритных тонкостенных оболочек вращения из хрупких неметаллических материалов.....	45
<i>Дорохов Н.Ю.</i> Совершенствование конструкций приводов щековых дробилок.....	46
<i>Ермакова С.А.</i> Анализ параметров опорных контуров стреловых кранов.....	47
<i>Жбанков Я. Г., Швец А. А., Кальченко П. П.</i> Повышение качества крупных поковок за счет снижения отклонений формы в виде утяжин.....	48
<i>Залого В.А., Зинченко Р.Н.</i> Прогнозирование состояния режущего инструмента в процессе резания.....	49
<i>Залого В.А., Нагорный В.В.</i> Определение стойкости инструмента и степени его износа метод вибродиагностики.....	50
<i>Залого В.А., Чертихин О.В.</i> Повышение эффективности прорезания канавок и отрезания за счет применения смазочно-охлаждающей жидкости.....	51

<i>Захаров Т.Г., Мицык В.Я.</i> Определение машинного времени вибрационной отделочно-зачистной обработки.....	52
<i>Иванык А.В.</i> Перспективы использования ваннно-шлаковых технологий в тяжелом машиностроении.....	53
<i>Івченко Т.Г., Витохина Д.В.</i> Визначення коефіцієнта зниження температури різання за рахунок охолоджуючих технологічних середовищ.....	54
<i>Івченко Т.Г., Король К.О.</i> Особливості визначення параметрів шорсткості під час токарної обробки криволінійних поверхонь.....	55
<i>Івченко Т.Г., Юдицька В.О.</i> Оцінка ефективності використання мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ за критерієм підвищення продуктивності обробки.....	56
<i>Іскович-Лотоцький Р.Д., Веселовська Н.Р.</i> Сучасні тенденції в технології розкочування кілець шарикопідшипників.....	57
<i>Казакова Т.В.</i> Определение оптимальных режимов и условий эксплуатации сборных торцовых фрез для обработки нешироких плоскостей и уступов.....	58
<i>Казакова Т.В., Неупокоев А.В.</i> Определение оптимальных положений направляющих опор головок для глубокого сверления.....	59
<i>Калиниченко В. В.</i> Перспективы применения наноструктурированных слоев из высокотвердых боридов металлов для износостойких покрытий режущих инструментов.....	60
<i>Калиниченко В. В., Шумилкин Е. Л.</i> Влияние соотношения механических характеристик материала наноструктурированного слоя покрытия на его сопротивляемость когезионному растрескиванию.....	61
<i>Клименко Г. П. , Коноплицкий Е. В.</i> Повышение надежности фрез сборной конструкции.....	62
<i>Клименко Г.П. , Коноплицкий Е.В. , Яворовская Я.И.</i> Исследование напряженного состояния сверл для глубокого сверления.....	63
<i>Клименко Г.П., Полонников С.А.</i> Автоматизация контроля точности обработки на горизонтально-расточном станке с ЧПУ.....	64
<i>Клименко Г.П., Синельников Н. Ю.</i> Автоматизация гашения автоколебаний в приводе подачи глубокорасточного станка.....	65

<i>Клочко А.А., Мироненко Е.В., Гаков С.А., Мельник М.С.</i> Методика выбора, назначения, технологического и метрологического обеспечения системы параметров поверхностного слоя цилиндрических крупномодульных зубчатых колес.....	66
<i>Клочко А.А., Тимофеев Ю.В., Шелковой А.Н.</i> Области оптимального управления параметрами точности, качества и производительности зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес.....	67
<i>Ковалёв Д.Г.</i> Повышение эффективности конструкций сборных резцов повышенной прочности.....	68
<i>Красовский С.С., Хорошайло В.В.</i> Импульсно-фрикционные гайковерты.....	69
<i>Кривий П.Д., Кобельник В.Р.</i> Ефективність керуваного процесу свердління наскрізних отворів шляхом забезпечення зміни подачі.....	70
<i>Крупко В.Г., Опенько С.Ю.</i> Методика экспериментальных исследований напряжений в гусеничных звеньях экскаваторов.....	71
<i>Крупко И.В., Отченаш С.Ю.</i> Сравнительный анализ механизмов передвижения мощных экскаваторов.....	72
<i>Лашина Ю.В.</i> Автоматизация получения исходных данных для программного обеспечения DFA Expert.....	73
<i>Левченко Е.А.</i> Режущая способность и износ боковых поверхностей отрезного круга при абразивной разрезке труб.....	74
<i>Литвин О.В.</i> Жорсткість штокових токарних патронів.....	75
<i>Луців І.В., Шарик В.</i> Багаторіздцеве оснащення адаптивного типу з пружними напрямними.....	76
<i>Майборода В.С., Джулій Д.Ю.</i> Підвищення працездатності багатогранних непереточуваних твердосплавних пластин при магнітно-абразивному обробленні.....	77
<i>Макаренко Н.А.</i> Разработка источника питания для электрошлаковых процессов.....	78
<i>Макаренко Н.А.</i> Разработка оборудования для ТИГ-сварки меди в среде гелия....	79
<i>Макаренко Н.А., Богуцкий А.А.</i> Плазменная наплавка релита.....	80

<i>Манохин А.С., Клименко С.А.</i> Температура резания при точении закаленных сталей однокромочным резцом.....	81
<i>Мельникова Е.П., Быков В.В., Боднар С.В.</i> Влияние сил трения на точность срабатывания адаптивной системы управления при обработке тормозных барабанов автомобилей.....	82
<i>Мироненко Е.В., Клочко А.А., Кошелева А.Д., Годзула И.Г.</i> Информационное моделирование технологических процессов зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес.....	83
<i>Мироненко Е.В., Ковалёв Д.Г.</i> Особенности отказов сборных резцов на тяжелых карусельных станках.....	84
<i>Мицык А.В., Федорович В.А.</i> Получение и анализ выражения для расчета высоты микрошероховатости на операциях виброобработки.....	85
<i>Мицык В.Я.</i> Определение коэффициентов динамического воздействия рабочей среды на операциях виброобработки.....	86
<i>Мовшович А.Я., Резниченко Н.К., Черная Ю.А., Николенко Л.В., Федосеева М.Е.</i> Анализ условий эксплуатации переналаживаемых штампов из композиционных материалов для разделительных операций листовой штамповки.....	87
<i>Неженцев А.Б.</i> Потери энергии и динамические нагрузки при передвижении кранов мостового типа.....	88
<i>Неженцев А.Б., Аветисян С.М., Гонтарь Д.В.</i> Динамические нагрузки при разгоне мостового кранас частотным управлением привода передвижения.....	89
<i>Неченаев В.Г., Мышов М.С., Яценко А.В.</i> Исследование влияния геометрических и режимных параметров фрезерования профильных пазов на силовые факторы повторного взаимодействия с отделённой стружкой.....	90
<i>Неченаев В.Г., Мышов М.С., Яценко А.В.</i> Разработка модели деформирования элемента стружки для случая его распределённого нагружения.....	91
<i>Пермяков А.А., Забара А.С., Хицан В.Д.</i> Обеспечение точности установки детали при унификации установочно-зажимных приспособлений многопозиционных агрегатных станков.....	92
<i>Поликарпов Ю. В.</i> Обоснование выбора машиностроительной САПР для использования в учебном процессе кафедры ПТМ.....	93



<b>Поліщук Д. М., Глоба О. В.</b> Відновлення працездатності листів з композиційного метріалу.....	94
<b>Полупан И. И.</b> Динамическая модель процесса восстановления колесных пар сборным инструментом.....	95
<b>Поперечный А.В., Солодкий В.И.</b> Геометрические параметры червячных фрез...96	
<b>Пресняков В.А.</b> Переоборудование токарно-винторезного станка 1А-6І6 под электроконтактную наплавку.....	97
<b>Равська Н.С., Охріменко О.А., Майданюк С.В.</b> Визначення завантажкннн рїзальної частини багатозубих дискових інструментів допомогою комп'ютерних систем 3d проектування.....	98
<b>Рагулин И.А.</b> Определение группы классификации (режима работы) грузоподъёмного крана, обеспечивающей требуемую производительность и срок службы.....	99
<b>Ракша С. В., Горячев Ю. К., Куроп'ятник О. С.</b> Визначення раціональних швидкісних режимів руху вагонів підвісної канатної дороги на основі аналізу динамічних характеристик приводу.....	100
<b>Родічев Ю.М., Сорока О.Б.</b> Необхідність вхідного контролю характеристик міцності скла при виробництві авіаційного скління.....	101
<b>Родічев Ю.М., Сорока О.Б., Ковальов В.Д., Васильченко Я.В., Шаповалов М.В.</b> Статична та втомна міцності твердих сплавів, оброблених імпульсним магнітним полем.....	102
<b>Савелова И.К., Ковалев В.Д.</b> Повышение эффективности тяжелых токарных станков за счет оптимального управления процессом резания.....	103
<b>Савуляк В. І., Бакалець Д. В.</b> Зниження деформацій та напружень конструкторів під час підсилення шляхом приварювання накладок для зміцнення.....	104
<b>Свиридов А.В., Гринь В.А</b> Исследования механических свойств сварных соединений на медной основе выполненных прессованной порошковой проволокой.....	105
<b>Сирота А.А., Мицьк В.Я.</b> Эффективные рабочие среды для гидроабразивной обработки затопленными струями.....	106
<b>Ставицкий В.О., Субботин О.В.</b> Разностная форма алгоритмов регуляторов тока и скорости.....	107

<b>Струтинський В.Б., Покітєлиця М.І.</b> Властивості поверхонь, виготовлених комплексним методом термофрикційної і механічної обробки.....	108
<b>Студенец С.Ф.</b> Основные направления повышения работоспособности режущих протяжек, применяемых для обработки отверстий в деталях из чугунов.....	109
<b>Ткаченко Є.В., Мішура Л.В.</b> Функціональний підхід до оптимізації технологічних процесів.....	110
<b>Ткачук І.В., Майборода В.С.</b> Вплив складу магнітно-абразивного інструменту на працездатність свердел із швидкорізальної сталі.....	111
<b>Турушина Н.В., Турушин В.А.</b> Использование конвейера на воздушной подушке в транспортной системе стеллажного склада.....	112
<b>Гузенко В.С., Хорошайло В.В., Соловьев В.В.</b> Компьютерное моделирование и расчет напряженно деформированного состояния расточных резцов.....	113
<b>Чепель Ю.А.</b> Повышение срока службы быстроизнашивающихся деталей металлургического оборудования.....	114
<b>Чесноков А.В., Витренко В.А., Чорная В.И.</b> Обучение технологии машиностроения с применением виртуального и макетного оборудования с ЧПУ.....	115
<b>Шаблій О.М., Пулька Ч.В., Гаврилюк В.Я., Сенчишин В.С.</b> Дослідження температурного поля в зоні наплавлення з використанням комбінованого екранування теплових та електромагнітних полів.....	116
<b>Швачунов А.С., Дорохов Н.Ю.</b> Современное состояние парка кранов мостового типа.....	117
<b>Шелковой А.Н., Тимофеев Ю.В., Клочко А.А.</b> Технологическое обеспечение заданной системы параметров поверхностного слоя цилиндрических закаленных крупномодульных зубчатых колес.....	118
<b>Шенфельд В.Й.</b> Вплив швидкості наплавлення на властивості наплавлених високовуглецевих покриттів.....	119
<b>Юхимчук В.М., Пасічник В.А., Татарин Я.В.</b> Формалізований синтез комбінованого інструментального забезпечення.....	120
<b>Рогов В.А., Пономарев Н.К., Соловьев В.В.</b> Инновации в области скоростной обработки заготовок в машиностроении.....	121

## ДЛЯ ПОДАТОК

## ДЛЯ ПОДАТОК

Scientific publication

**HEAVY ENGINEERING.  
PROBLEMS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT**

**MATERIALS  
of the XI International  
scientific and technical conference**

Recommended for publication by the Scientific Council of DSEA,  
minutes №04-13/5 dated May 27, 2013

Signed print 29.05.2013 Conv.-printed sheets 8,25. Circulation of 100 copies	Paper size 60×84 <sup>1</sup> / <sub>16</sub> . Accont.-publ. sheets 6. Order №44
--	---

---

Publisher and manufacturer  
"Donbas state engineering academy"  
Ukraine, 84313, Kramatorsk, Shkadinova str., 72  
Certificate of registration of the subject of publishing activities in the State Register  
ДК №1633 dated 24.12.2003

Наукове видання

**ВАЖКЕ МАШИНОБУДУВАННЯ.  
ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ**

**МАТЕРІАЛИ  
XI Міжнародної  
науково-технічної конференції**

Рекомендовано до друку вченою радою ДДМА,  
протокол №04-13/5 від 27.05.2013

Підп. до друку 29.05.2012 Ум. друк. арк. 8,25. Тираж 100 прим.	Формат 60×84 <sup>1/16</sup> . Обл.-вид. арк. 6. Зам. №44
--	---

---

Видавець і виготівник  
"Донбаська державна машинобудівна академія"  
84313, м. Краматорськ, вул. Шкадінова, 72  
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру  
ДК №1633 від 24.12.2003