

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ**



**ВАЖКЕ МАШИНОБУДУВАННЯ.  
ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ**

**МАТЕРІАЛИ  
XVII Міжнародної  
науково-технічної конференції**

Краматорськ 2019

## УДК 621.9

Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції 04 — 07 травня 2019 року / Під заг. ред. В. Д. Ковальова. — Краматорськ: ДДМА, 2019. — 130 с.

ISBN 978-966-379-853-0

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

**Ковальов В.Д.,** д.т.н., проф., ректор ДДМА

Члени програмного комітету:

<b>Антонюк В.С.,</b>	д.т.н., проф., НТУУ "КПІ"
<b>Васильченко Я.В.,</b>	д.т.н., зав. каф. ДДМА
<b>Грабченко А.І.,</b>	д.т.н., проф., НТУ "ХПІ"
<b>Дашич П.,</b>	проф. ВТМІ, Трстенік, Сербія
<b>Єфімов М.В.,</b>	президент ПАТ "ЕМСС"
<b>Залого В.О.,</b>	д.т.н., проф., зав. каф. СумДУ
<b>Іларіонов Р.,</b>	д.т.н., проф., ректор ТУ-Габрово, Болгарія
<b>Калафатова Л.П.,</b>	д.т.н., проф. ДонНТУ
<b>Кассов В.Д.,</b>	д.т.н., проф., декан ФМ ДДМА
<b>Клименко Г.П.,</b>	д.т.н., проф., зав. каф. ДДМА
<b>Клименко С.А.,</b>	д.т.н., проф., заст. директора ІНМ ім. В. Бакуля НАН України
<b>Клочко О.О.,</b>	д.т.н., проф., НТУ "ХПІ"
<b>Луців І.В.,</b>	д.т.н., проф., зав. каф. ТНТУ ім. І. Пулюя
<b>Майборода В.С.,</b>	д.т.н., проф., НТУУ "КПІ"
<b>Мельничук П.П.,</b>	д.т.н., проф. ЖДТУ
<b>Мироненко Є.В.,</b>	д.т.н., проф., декан ФЕМ ДДМА
<b>Павленко І.І.,</b>	д.т.н., проф., зав. каф. КДТУ
<b>Палашек О.Г.</b>	головний конструктор ПрАТ "КЗВВ"
<b>Пасічник В.А.,</b>	д.т.н., проф., зав. каф. НТУУ "КПІ"
<b>Пермяков О.А.,</b>	д.т.н., проф., зав. каф. НТУ "ХПІ"
<b>Петраков Ю.В.,</b>	д.т.н., проф., зав. каф. НТУУ "КПІ"
<b>Равська Н.С.,</b>	д.т.н., проф., НТУУ "КПІ"
<b>Рібайн Ф.,</b>	ген. директор "Heidenhain", Німеччина
<b>Скальський Є.О.,</b>	директор представництва Gertnergrouр в Україні
<b>Сорока О.Б.,</b>	д.т.н., ПМіц ім. Г.С.Писаренка НАН України
<b>Струтинський В.Б.,</b>	д.т.н., проф., НТУУ "КПІ"
<b>Суков Г.С.,</b>	к.е.н., ген. директор ПрАТ "НКМЗ"
<b>Тонконогий В.М.,</b>	д.т.н., проф., директор ППТДМ НТУ "ОНПУ"
<b>Турчанін М.А.,</b>	д.х.н., проф., проректор ДДМА
<b>Христо К. Радєв,</b>	д.т.н., ТУ "Софія", Болгарія
<b>Шелковой А.Н.</b>	д.т.н., проф., зав. каф. НТУ "ХПІ"
<b>Torsten Ehrentreich</b>	Dipl. Ingenieur, Berlin, Germany

ISBN 978-966-379-853-0

© ДДМА 2019

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE  
DONBAS STATE ENGINEERING ACADEMY**



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

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

Kramatorsk 2019

Heavy engineering. Problems and prospects of development: materials of the XVI International scientific and technical conference — June 04 — 07, 2019 / under general edition of V. Kovalov, Doctor — Kramatorsk : DSEA, 2019. — 130 p.

**ISBN 978-966-379-853-0**

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 are described in the collection of abstracts.

## INTERNATIONAL PROGRAM COMMITTEE

Chairman

**Kovalov V.D.**, Dr., Prof., rector DSEA

Members of program  
committee:

<b>Antonjuk V.S.</b> ,	Dr., Prof., NTUU "KPI"
<b>Vasylchenko Y.V.</b>	Dr., head of dep. DSEA
<b>Dašić P.</b> ,	Prof. of HTMS of Trstenik, Serbia
<b>Grabchenko A.I.</b> ,	Dr., Prof., NTU "KhPI"
<b>Hristo K. Radev</b>	Dr., TU "Sofia", Bulgaria
<b>Ilarionov R.</b> ,	Prof., rector of TUG, Bulgaria
<b>Kalafatova L.P.</b> ,	Dr., Prof., DonNTU
<b>Kassov V.D.</b> ,	Dr., Prof., dean DSEA
<b>Klimenko G.P.</b> ,	Dr., Prof., head of dep. DSEA
<b>Klimenko S.A.</b> ,	Dr., Prof., vice-director ISM NAS of Ukraine
<b>Klochko O.O.</b> ,	Dr., Prof., NTU "KhPI"
<b>Lootsiv I.V.</b> ,	Dr., Prof., head of dep. TNTU
<b>Majboroda V.S.</b> ,	Dr., Prof., NTUU "KPI"
<b>Melnichuk P.P.</b> ,	Dr., Prof., ZhSTU
<b>Mironenko E.V.</b> ,	Dr., Prof., dean DSEA
<b>Palashek O.G.</b>	Chief designer "KZTS"
<b>Pavlenko I.I.</b> ,	Dr., Prof., head of dep. KSTU
<b>Pasichnyk V.A.</b> ,	Dr., Prof., head of dep. KSTU
<b>Permjakov O.A.</b> ,	Dr., Prof., head of dep. NTUU "KPI"
<b>Petrakov Y.V.</b> ,	Dr., Prof., head of dep. NTUU "KPI"
<b>Ravskaya N.S.</b> ,	Dr., Prof., NTUU "KPI"
<b>Rehbein F.</b> ,	General Director "Heidenhain", Germany
<b>Shelkovoï A.N.</b> ,	Dr., Prof., head of dep. NTUU "KPI"
<b>Skalskiy E.O.</b> ,	Director Gertnergroun in Ukraine
<b>Soroka O.B.</b> ,	Dr., IPMS NAS of Ukraine
<b>Strutinskiy V.B.</b> ,	Dr., Prof., NTUU "KPI"
<b>Sukov G.S.</b> ,	Ph.D., General Director NKMZ
<b>Tonkonogiy V.M.</b> ,	Dr., Prof., director ITDMI NTU "ONPU"
<b>Torsten Ehrentreich</b>	Dipl. Ingenieur, Berlin, Germany
<b>Turchanin M.A.</b> ,	Dr., Prof., vice-rector DSEA
<b>Yefimov M.V.</b> ,	General Director EMSS
<b>Zaloga V.A.</b> ,	Dr., Prof., head of dep. SSU

**ISBN 978-966-379-853-0**

© DSEA, 2019

# СТВОРЕННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ КРУПНОГАБАРИТНИХ РЕДУКТОРІВ ВАЖКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

<sup>1</sup>Ковалев В.Д., <sup>2</sup>Клименко С.А., <sup>3</sup>Антонюк В.С., <sup>1</sup>Васильченко Я.В.,  
<sup>4</sup>Клочко А.А., <sup>2</sup>Рябченко С.В., <sup>5</sup>Волошин О.І., <sup>5</sup>Статкевич О.В., <sup>5</sup>Іванов С.О.  
(<sup>1</sup>ДДМА, м. Краматорськ, Україна, <sup>2</sup>ІСТМ ім. В.Н. Бакуля НАН України,  
м. Київ, Україна, <sup>3</sup>НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського", м. Київ, Україна,  
<sup>4</sup>НТУ «ХПІ, м. Харків, Україна, <sup>5</sup>ПрАТ НКМЗ, м. Краматорськ, Україна)

Вітчизняне машинобудування є фундаментом економічного потенціалу країни. Від рівня ефективності діяльності підприємств цієї галузі залежить стан соціально-економічного розвитку України. За рівнем наукоємності дана галузь повинна залишатись провідною галуззю вітчизняного виробництва.

Україна має значний науковий потенціал. Наукове надбання української науки відіграє важливу роль на сьогоднішньому етапі у прискореному розвитку машинобудування. Відродження машинобудівної галузі, забезпечення її випереджаючого розвитку – одна з найважливіших умов побудови постіндустріального суспільства, що базується на ефективному використанні наукових знань і високих технологій.

Створено та впроваджено інноваційні технології виготовлення крупногабаритних редукторів для важкого машинобудування, що дозволило забезпечити імпортозаміщення, а також створити важке обладнання нового покоління (прокатні стани, поворотні платформи важких екскаваторів, рудорозмельні млини тощо) енергетичної, гірничої, суднобудівельної та оборонної галузей промисловості. Випуск таких виробів вітчизняного важкого машинобудування дозволив поширити експортні ринки та забезпечити створення нових робочих місць з високою інтелектуальною складовою.

Вперше в світовій практиці розроблено новий вид зубчастих зачеплень редукторів з гідродинамічними карманами і гарантованим рідинним змащуванням зони контакту з використанням пружно нестисливої рідини та некрратним зачепленням зубчастих коліс.

Для реалізації інноваційних технологій авторами розробки були створені технічні завдання для виготовлення унікальних верстатів: порталного обробного центру «Waldrich Coburg – PowerTec» 7500 AG-S2, токарного обробного центру «Waldrich Siegen DHL» 1500x8000 та ін., які експлуатуються на ПрАТ НКМЗ.

Впроваджені нові процеси шліфування крупномодульних зубчастих коліс на зубошліфувальних верстатах. Для цих верстатів розроблені та впроваджені спеціальні шліфувальні круги з хромистого корунду форми Т2 (форма кільця) діаметром до 564 мм та висотою до 90 мм. Також впроваджені високопористі абразивні круги з білого та хромистого корунду діаметром до 450 мм для профільного шліфування на верстатах з ЧПК.

Для лезової обробки елементів зубчастих коліс, валів та ділянок корпусів редукторів використано фрези і різці, оснащені надтвердим композитом

«Борсинит» та мінералокераміка на основі систем  $Al_2O_3-ZrC$ ,  $TiC$ . Форморозміри різальних пластин відповідають стандарту ISO 1832-2014. Використані захисні покриття системи  $(TiAlSiY)N$ .

Розроблені інформаційні моделі для реалізації системи адаптивного оптимального управління процесом обробки загартованих крупномодульних зубчатих коліс і багаторівнева система прийняття рішень з елементами штучного інтелекту, що дозволяє автоматизувати та підвищує ефективність обробки великогабаритних валів редукторів.

Виявлені значущі параметри і розроблено математичні моделі та програмні комплекси, а також структурні схеми і конструкції мехатронних верстатних вузлів для реалізації системи адаптивного оптимального управління процесом ефективної обробки загартованих крупномодульних зубчатих коліс та великогабаритних валів редукторів.

Розроблені інноваційні технології можуть використовуватись в оборонній промисловості при виготовленні приводів важкої броньованої техніки і з забезпеченням роботи на форсованих режимах.

За результатами роботи колектив науковців ДДМА, ПАТ НКМЗ, Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН, НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», НТУ «Харківський політехнічний інститут» відзначені премією Кабінету міністрів України за розроблення й впровадження інноваційних технологій.



Рис. 1. Обробка зубчастих коліс за інноваційними технологіями

# АНАЛІЗ СИЛОВОГО РЕЖИМУ ВИДАВЛЮВАННЯ ПОРОЖНИСТИХ ДЕТАЛЕЙ З ПЕРЕМІННОЮ ТОВЩИНОЮ СТІНКИ

Абхарі П.Б., Кузенко О.А., Онищенко К.О.

(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Для аналізу розглянуто плоску задачу на основі методу верхньої оцінки. Схема годографів з варіюванням відносного зазору між матрицею і пуансоном, з поступовим переміщенням пуансона, представлена на рис. 1 (а), де  $\bar{z} = \frac{R_m - R_n}{R_n}$ .

Для визначення сили в ході процесу необхідно визначити величину і напрям швидкості течії металу:

$$\bar{p} = \frac{1}{2BV_0} \left[ (l_{02}V_{02} + l_{23}V_{23} + l_{34}V_{34} + l_{12}V_{12} + l_{13}V_{13} + l_{45}V_{45}) + 2\mu(l_{04}V_{04} + l_{05}V_{05}) \right] \quad (1)$$

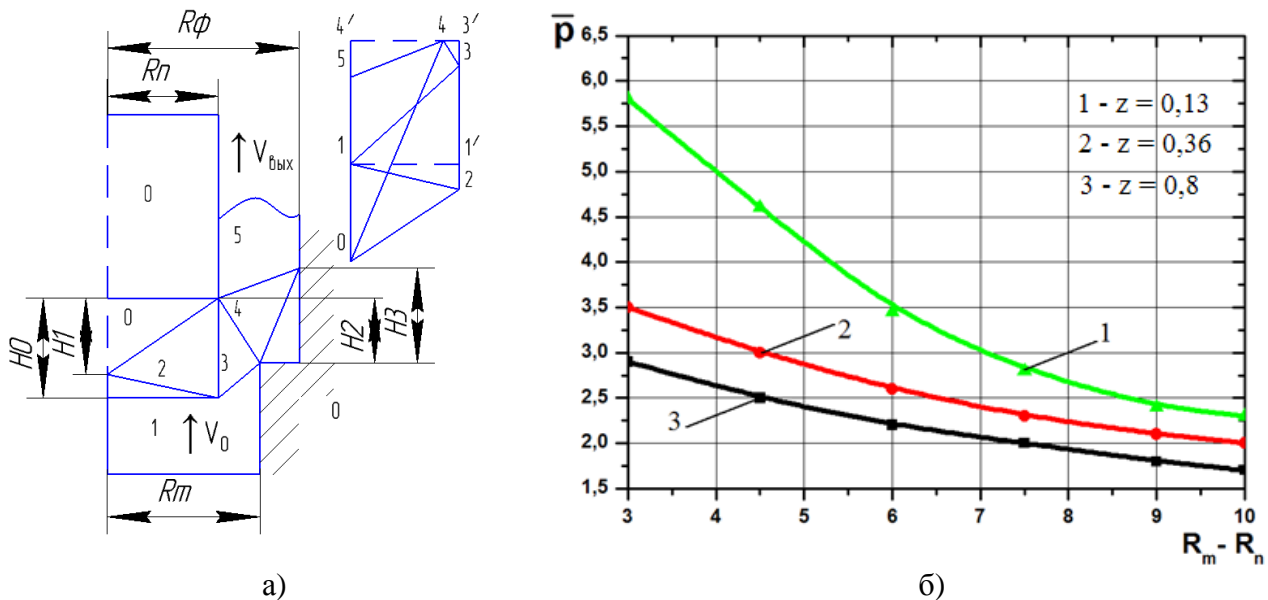


Рис. 1. Розрахункова схема процесу комбінованого видавлювання з величиною зазору між матрицею і пуансоном  $R_m - R_n = 0,36$  (а) та графік залежності приведенного тиску від величини зазору між матрицею і пуансоном  $(R_m - R_n)$  при постійній величині  $H_2$

На основі отриманих виразів розраховано приведений тиск комбінованого видавлювання. Основними параметрами, що впливають на зміни сили деформування є зазори між матрицею та пуансоном  $(R_m - R_n)$  та зазор, що відповідає за зміну товщини стінки  $(R\phi - R_n)$ . Встановлено, що збільшення зазору між матрицею та пуансоном  $(R_m - R_n)$  сприяє зниженню приведенного тиску, що пояснюється зменшенням степені деформування (рис. 1 (б)). Аналогічний характер розподілу сили зберігається і при зміні зазору  $(R_m - R_n)$ .

**Література:** 1. Алиева Л. И. Особенности проектирования процессов холодного выдавливания на основе развития модульного подхода в рамках энергетического метода / Л. И. Алиева, Н. С. Грудкина // Вісник Національного технічного університету «ХП» – Харків: НТУ «ХП», 2015. – № 24 (1133) 2015. – С. 21–32.

## СТРУЖКОДРОБЛЕНИЕ ПРИ РЕЗАНИИ ВЯЗКИХ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ СПЛАВОВ

**Авдеенко А.П., Коновалова С.А.**  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Известны различные технологические методы решения проблемы дробления или удаления стружки: используются накладные стружколомы, специальная геометрия инструмента, применяется вибрация, прерывистое резание и другие.

Особое место занимают методы с применением поверхностно-активных веществ (ПАВ), уменьшающих силы трения и улучшающих чистоту обрабатываемых материалов. Однако, как правило, при высоких температурах, возникающих в зоне резания, активность ПАВ снижается.

Предложенный нами ранее состав защитной технологической среды (ЗТС) обеспечивает стабильное стружкодробление. В 40 % водный раствор силиката натрия вводили 0,5–1,5 % ПАВ – аддукта диметилфосфита с N-арилсульфонил-1,4-бензохинониминами, представляющего собой несколько изомерных продуктов, имеющих в своем составе арилсульфониламидную ( $\text{ArSO}_2\text{NH}$ ) и диметилфосфатную ( $(\text{MeO})_2\text{POO}$ ) группы.

Предложенную ЗТС вводили в зону резания капельным методом с расходом 5–15 мл/мин.

Этим способом исследована обработка жаропрочного никелевого сплава ЭИ-617 в диапазоне рабочих скоростей  $V=30\text{--}140$  м/мин, диапазоне глубин резания  $i=0,5\text{--}2$  мм и подач  $S=0,2\text{--}0,7$  мм/об, а также высокопрочной стали ОХНЗМФА в диапазоне рабочих скоростей  $V=100\text{--}200$  м/мин, диапазоне глубин резания  $i=0,25\text{--}2$  мм и подач  $S=0,2\text{--}1$  мм/об. Резание осуществляли твердосплавными стандартными неперетачиваемыми пластинками Т15К6.

Предложен механизм действия ПАВ. Особую роль в составе ПАВ играет диметилфосфатная группа. Следует отметить, что в случае других диалкилфосфитов (например, диэтилфосфита, диизопропилфосфита) стружкодробления не наблюдается. Так как в результате гидролиза, предложенного ПАВ – аддукта диметилфосфита с N-арилсульфонил-1,4-бензохинониминами, в условиях резания образуется диметилфосфат, предлагается исследовать ЗТС, в состав которых будет входить диметилфосфат. При этом будет наблюдаться одинаковый расклинивающий эффект Ребиндера.



## УДОСКОНАЛЕННЯ КОМБІНОВАНИХ ПРОЦЕСІВ ВИДАВЛЮВАННЯ-РОЗДІЛЕННЯ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ НАПРУЖЕНО\_ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЗАГОТОВКИ

<sup>1</sup>Алієва Л.І., <sup>2</sup>Сивак Р.І., <sup>1</sup>Картамишев Д.О.

(<sup>1</sup>ДДМА, м. Краматорськ, Україна; <sup>2</sup>ВНТУ, м. Вінниця, Україна)

Порожністі деталі з отворами типу кілець і втулок є досить поширеними в приладо- і машинобудуванні [1]. Існує ряд способів штампування порожнистих деталей типу втулок і кілець: гнуття й зварювання листових і пруткових заготовок, видавлювання з пробиванням перемички, вирубка з листа та ін. Однак такі способи не забезпечують раціонального використання металу, продуктивність штампування і якість деталей.

Метою роботи було дослідження нових способів комбінованому процесі «видавлювання-розділення» із створенням таких умов деформування, які забезпечили б підвищення якості деталей і особливо поверхонь розділення в процесі штампування.

Дослідження напружено-деформованого стану (НДС) заготовки з алюмінієвого сплаву при радіальному видавлюванні з подальшим відділенням проводили МСЕ в програмі Deform 3D. Порівняння НДС проводили для трьох схем деформування: вільне радіальне видавлювання, радіальне видавлювання з підпором та зануренням пуансона і радіальне видавлювання з зануренням пуансона і підсадки фланця шляхом зближення напівматриць [2].

Побудовані шляхи деформування підтвердили, що значення показника напруженого стану заготовки в початковій стадії процесу знаходяться в області від'ємних величин, що свідчить про низьку ймовірність руйнування на цій стадії. Характерне значне збільшення гідростатичного тиску в осередку деформації у всіх точках при виконанні процесу за третім варіантом (з підсадкою фланця) до певного моменту початку розділення. Цей момент відповідає приблизно половині шляху занурення пуансона в формувальне кільце.

Отримання втулок з пруткового прокату комбінованим способом видавлювання-наскрізного прошивання представляє особливий інтерес з огляду на високу економічність і продуктивність.

Для підвищення якості торцевої поверхні заготовок в процесі відрізання від пруткового матеріалу використовували прийоми попереднього радіального видавлювання з односторонню подачею в порожнину матриці. За рахунок цього в зоні зсуву і розділення створюються межа з високим градієнтом деформацій, яка сприяє якісному відрізанню заготовки.

**Література:** 1. Алиева Л. И. Перспективы развития процессов точной объемной штамповки / Л. И. Алиева, Я. Г. Жбанков // Вісник ДДМА. Краматорськ. 2008. – № 1 (11). – С. 13–19.  
2. Алиева Л. И. Процессы комбинированного деформирования и выдавливания // Обработка материалов давлением: сб. науч. тр. – Краматорск: ДГМА, 2016. – № 1 (42). – С. 100–108.

## ВИКОРИСТАННЯ СИЛ ТЕРТЯ ДЛЯ УСУНЕННЯ ФЕСТОНІВ ПРИ ХОЛОДНОМУ ВИДАВЛЮВАНІ ДЕТАЛЕЙ З БОКОВИМИ ВІДРОСТКАМИ

Алієв І.С., Левченко В.М., Абхарі П.Б., Корденко М.Ю.  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Деталі з прямокутними в перетині боковими відростками з алюмінієвих сплавів широко використовуються в сучасному машинобудуванні [1]. При холодному об'ємному штампуванні таких виробів суттєво зростає коефіцієнт використання матеріалу. Але торці відростків відштампованих деталей зазвичай мають напівкруглу форму (виникає фестон), що потребує подальшої механічної обробки або додаткової операції калібрування. Використання останньої потребує зусилля в 2...2,5 рази більшого ніж операція видавлювання [2], відповідно зростають навантаження на інструмент та сила розкриття елементів складених матриць. Метою роботи було створення таких умов деформування при видавлюванні бокових відростків прямокутної форми, які забезпечили б вирівнювання їх торцевої поверхні в процесі штампування. Для моделювання холодного об'ємного штампування деталей з прямокутними відростками використовували метод скінчених елементів. Матеріал заготовки – технічний алюміній, її діаметр становив 28 мм, коефіцієнт тертя – 0,08. Для вирівнювання торцевої поверхні в процесі формування бокового відростку використовували напівматриці зі змінним радіусом скруглення крайки отвору. Розрахунки показали, що при відношеннях висоти відростку до його ширини (діаметру матриці)  $h/D_m=0,1$  деталь можна отримати без фестонів. Для відростків з більшою товщиною ( $h/D_m=0,2$ ) застосування напівматриць зі змінним радіусом крайки не забезпечує потрібного ефекту навіть для коефіцієнтів тертя близьких до 0,15. Тому для вирівнювання торцевої поверхні бокового відростка при видавлюванні (забезпечення більшої швидкості переміщення часток вздовж відростка в бокових його зонах відносно центральної) запропоновано зменшити силу тертя на краях за шириною відростка за рахунок конструкції напівматриць з утопленими елементами у бокових зонах. В результаті виконаної роботи встановлено, що вироби з відносно невеликою товщиною відростків можна отримувати холодним об'ємним штампуванням без фестонів на торцевій поверхні бокових відростків. Для виправлення фестонів при штампуванні деталей з відносно товстими відростками доцільне використання напівматриць зі змінним радіусом крайки отвору та диференційованою величиною сили тертя за шириною відростка, що деформується.

**Література:** 1. Алиева Л. И. Перспективы развития процессов точной объемной штамповки / Л. И. Алиева, Я. Г. Жбанков // Вісник ДДМА. Краматорськ. 2008. – № 1 (11). – С. 13–19.  
2. Алієв І. С. Дослідження силового режиму в процесі видавлювання деталей з бічними відростками в роз'ємних матрицях / І. С. Алієв, П. Б. Абхарі, О. А. Жукова // Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості фахової освіти. Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції, присвяченої 115-річчю підготовки спеціалістів в області ОМТ. – Київ: НТТУ «КПІ», 2014 – С. 10–12.

## СТРУКТУРНА ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ФРЕЗИ НА ОСНОВІ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПІДХОДУ

**Аносов В. Л., Богданова Л. М., Літовка В. Д.**  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

У конкурентному середовищі сучасного світу досягти потрібної економічної ефективності виробництва можна лише за рахунок впровадження всебічної автоматизації проектування, у тому числі і засобів виробництва до яких відноситься металорізальний інструмент.

На виробництві часто стає завдання не тільки побудови моделі конструкції, але й вибору оптимального її варіанту з декількох можливих альтернатив і з урахуванням певних обмежень, властивостей та технічних характеристик. Конструкція різального інструмента повинна відповідати вимогам щодо рівня продуктивності, якості і точності обробки.

Ефективний шлях рішення даної задачі полягає в розробці системи підтримки прийняття рішень, що визначає оптимальну конструкцію ріжучого інструменту – фрези на основі поєднання методу резолюцій, розрахунку статичних, динамічних характеристик конструкції з подальшою оптимізацією її продуктивності, надійності та енергоефективності. Пропонується архітектура системи, що побудована на інтеграції CAD/CAE-систем з мультиагентною системою (МАС).

В основі мультиагентного підходу лежить поняття мобільного програмного агента, який реалізований і функціонує як самостійна спеціалізована комп'ютерна програма або елемент штучного інтелекту. На відміну від класичного способу, коли проводиться пошук деякого чітко детермінованого алгоритму, в мультиагентних технологіях рішення виходить автоматично в результаті взаємодії декількох самостійних цілеспрямованих програмних модулів – агентів.

Традиційні програмні системи діють по закладених в них програмах і в чітких послідовностях. Головна перевага МАС – це гнучкість МАС здатні орієнтуватися в складній обстановці, мати справу з нечітко поставленими завданнями, адаптуватися до умов, що міняються. У МАС кожній сутності ставиться у відповідність програмний агент, який представляє її інтереси.

Багато МАС мають комп'ютерні реалізації, що ґрунтовані на покроковому імітаційному моделюванні. Для побудови мультиагентної системи використовується бібліотека Jade в середовищі розробки Eclipse мови Java.

Змінними показниками будуть геометричні форми та розміри фрези. Для кожного варіанту геометричної форми може виконуватися побудова 3D-моделі фрези та розрахунок її статичних та динамічних характеристик. Вибір конструкції фрези виконується за допомогою роботи системи декількох інтелектуальних агентів.

Запропонована інтелектуальна система дозволить суттєво зменшити витрати часу на проектування конструкції інструменту, мінімізувати помилки при виборі конкретної фрези, що підвищить якість процесу фрезерування.

## ВПЛИВ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОГО ОБРОБЛЕННЯ НА ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ТВЕРДОСПЛАВНИХ ПЛАСТИН

**Бесарабець С.Ю., Майборода В.С., Слободянюк І.В., Джулій Д.Ю.**  
(НТУУ КПІ ім. І. Сікорського, м. Київ, Україна)

Працездатний стан твердосплавних пластин залежить від параметрів якості, до яких відноситься: фізико-механічні властивості поверхневих шарів, мікрогеометрія робочих поверхонь та різальної кромки. Одним із способів, який може одночасно забезпечити ці параметри є магнітно-абразивне оброблення в робочій зоні кільцевого типу [1, 2]. Твердосплавні пластини широко використовуються для токарного оброблення на верстатах з ЧПК. Тому, метою роботи є дослідження працездатного стану твердосплавних пластин оброблених магнітно-абразивним методом.

Дослідження виконували на пластинах типу TNUM 220408 виготовлених з твердого сплаву Т15К6 без фаски та з захисними фасками виконаними під кутом нахилу  $15^\circ$  до передньої поверхні з величиною 0,1, 0,2, 0,3 мм. Оскільки саме вона впливатиме на процес стружкоутворення під час різання металу. Процес MAO твердосплавних пластин виконували при наступних технологічних параметрах: режим "натікання з оправки"; величина магнітної індукції в робочій зоні 0,24 Тл; швидкості обертання навколо осі кільцевої ванни 280 об/хв; швидкості обертання навколо власної осі 500 об/хв; кут базування пластин відносно площини робочої зони  $p=35^\circ$  та кут повороту оправки навколо власної осі  $q=30^\circ$ ; час 180 і 420 с [1, 2]. Магнітно-абразивний інструмент формували з осколкового рівновісного порошку ДЧК з розміром фракції 400/315 мкм та додавання алмазної пасту АСМ 14/10 мкм та 28/20 мкм.

До та після MAO контролювали величину округлення радіусу різальної кромки (табл. 1).

Таблиця 1 – Результати вимірювання радіусу округлення різальної кромки

Кут нахилу фаски, град.	Ширина фаски, мм	Радіус округлення РК до MAO, мкм (номер пластини)	Час MAO, хв	Радіус округлення РК після MAO, мкм (номер пластини)	$\Delta r$ , мкм
0	0	34,8 (1)	3	42,8 (4)	7,7
15	0,1	34,5		48,3 (6)	13,8
	0,2	36,6 (2)		50,9 (5)	14,3
	0,3	34,7		6	53,4 (3)

Аналіз отриманих результатів показав, що наявність захисної фаски, виконаної під кутом нахилу  $15^\circ$  забезпечує при MAO формування більшого в 1,8 – 2 рази радіусу округлення різальної кромки. Зазначимо, що збільшення ширини фаски від 0,1 до 0,2 мм приводить до формування більшого радіусу округлення в процесі MAO, що пояснюється специфічними особливостями взаємодії порошкового магнітно-абразивного інструменту з оброблюваними поверхнями [3].

Стійкісні випробування проводились на токарному верстаті 16К20 з ЧПК при швидкості різання  $V=70$  м/хв, глибині різання  $t=1$  мм та подачі  $S=0,2$  мм/об. Матеріал заготовки сталь У8А в стані поставки з початковим діаметром 78 мм та довжиною оброблюваної поверхні 460 мм.

Під час проведення досліджень пластиною №1 без фаски до МАО стружка не дробиться, що негативно впливає як на якість оброблюваної поверхні, так і на саму пластину. На поверхні пластини №2 під час вимірювання спостерігали викришування різальної кромки, а на пластині №3 – лункоутворення, а стружка була рвана та зливна.

За критерій зношування було обрано величину 0,2 мм [4]. Результати проведення стійкісних випробувань зображено на рис. 1.

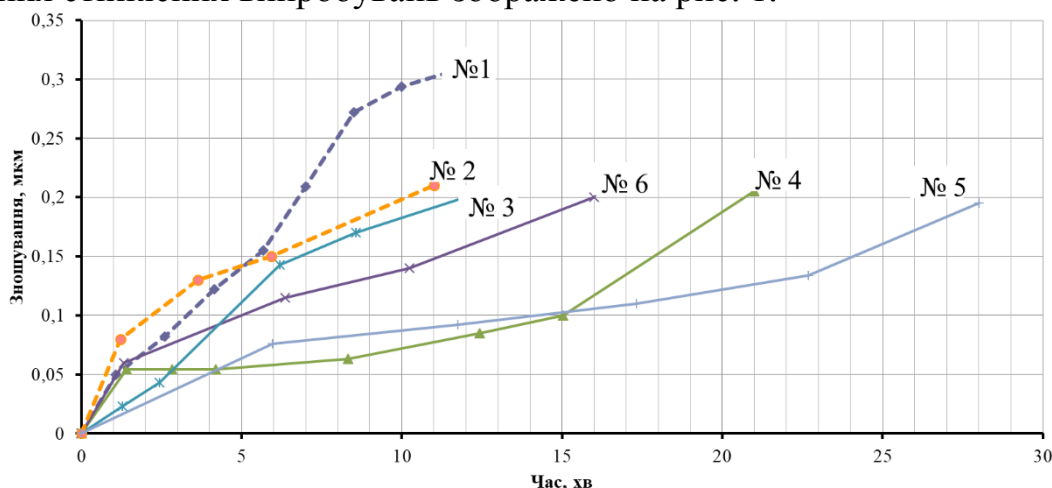


Рис. 1. Зношування твердосплавних пластин (номер пластини див. табл.1)

Отримані результати показали, що округлення різальних кромки за допомогою МАО забезпечує ріст стійкості. Дані отримані на пластинах з фасками 0,2 та 0,3 мм показали що на пластині з фаскою 0,3 стійкість вище в 1,2 рази ніж на пластині з фаскою 0,2 мм. У той час як пластина без фаски з радіусом округлення різальної кромки в районі 50 мкм показала найкращий результат. Дослідження вимагає більш детального вивчення цього процесу. Для подачі 0,2 мм/об радіус округлення різальних кромки має бути більш близький до нижніх границь оптимальних рекомендованих значень виробником для забезпечення ефективного оброблення.

**Література:** 1. Майборода В.С. Магнитно-абразивная обработка деталей сложной формы / В.С. Майборода, И.В. Слободянюк, Д.Ю. Джулий. – Житомир: ПП "Рута", 2017. – 272 с. 2. Майборода В.С. Аналіз умов магнітно-абразивного оброблення багатограничних непереточуваних твердосплавних пластин при їх довільному розташуванні в робочих зонах установки типу кільцева ванна / В.С. Майборода, Д.Ю. Джулий // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім. М.Остроградського. – Кременчук, 2008. – №1(48), частина 2. – С. 27 – 31. 3. Майборода В.С. Структурно-физическая модель формирования магнитно-абразивного инструмента в больших рабочих зазорах кольцевого типа при обработке стержневых изделий / В.С. Майборода, И.В. Ткачук, Д.Ю. Джулий, // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Машинобудування і машинознавство. – Донецьк: ДонНТУ, 2013. – Вип. 1 (10). – С. 36 – 46. 4. Внуков Ю.М. Зношування і стійкість різальних лезових інструментів: навчальний посібник / Ю.М. Внуков, В.О. Залого – Суми: СумДУ, 2010. – 243 с.

## **МЕХАТРОННІ ГОЛОВКИ ДЛЯ БАГАТООПЕРАЦІЙНИХ ОБРОБЛЮВАЛЬНИХ ЦЕНТРІВ НА БАЗІ ВАЖКИХ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТІВ**

**Васильченко Я.В., Ковальов В.Д., Сукова Т.О., Глущенко К.О.**  
(ДДМА, м Краматорськ, Україна)

Для підвищення ефективності машинобудування поряд з удосконаленням технології обробки, появою нових різальних матеріалів, інструментів створюються принципово нові мехатронні верстатні вузли автоматизації на базі інтеграції засобів прецизійної механіки, електроніки, електротехніки. Принципово новим підходом є забезпечення складного взаємопов'язаного руху робочих органів металообробного верстату, в тому числі різального інструменту, не за рахунок складної механіки; а за допомогою електроніки, програмного управління і точної вимірювальної техніки.

Створення і застосування мехатронних модулів руху в металорізальних верстатах принципово змінює погляд на технологічні науки, переводячи їх на системний рівень, що враховує складні взаємозв'язки між проектуванням, виготовленням, складанням, налагодженням, програмуванням, експлуатацією, ремонтом, і утилізацією.

Критерії якості виконання руху модулями є проблемно-орієнтованими, визначаються постановкою конкретно прикладної задачі. Специфіка завдання механічної обробки на металорізальному верстаті складається з реалізації переміщення вихідної ланки (наприклад, інструменту). При цьому необхідно координувати управління просторовим переміщенням модуля з керуванням різними зовнішніми процесами. Рух мехатронного модуля верстату можна вважати функціональним рухом і т. д.

На підставі виконаного огляду новітніх досягнень вітчизняної та зарубіжної науки в галузі створення верстатів обґрунтовано необхідність розробки і впровадження принципово нових верстатів, сконструйованих з використанням мехатронних інструментальних обробних головок. Виявлено області ефективного використання мехатронних обробних головок при обробці деталей на важких верстатах. Розроблено методи проектування і структурної побудови мехатронних обробних головок.

Проаналізовано точність комбінованих (електромеханічних) кінематичних ланцюгів. На підставі балансу точності системи показані можливості істотного підвищення точності верстатів, а як кінцевий результат - підвищення точності виробу при застосуванні верстатів з мехатронними обробними головками.

Розроблено математичні моделі руху різального інструменту в обробних центрах і верстатах з мехатронними обробними головками, як по одній, так і по декількох координатах .

Розроблено методи оптимізації управління з метою забезпечення високої точності позиціонування і руху по заданій траєкторії. Розроблено принципи створення математичної моделі багатокординатного руху мехатронних обробних головок в обробних центрах.

## ЗАСТОСУВАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ РАДІУСА ОКРУГЛЕННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

**Вовк В.В., Плівак О.А., Яцук С.О.**

*(НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна)*

Одним з основних сучасних напрямків досліджень процесів різання є аналіз впливу округлення різальних кромки інструменту на механізми пластичного й крихкого руйнування оброблюваного матеріалу при високошвидкісному HSM та високоефективному НЕМ обробленні матеріалів та стійкість різального інструменту. Це стосується також мікрорізання і різання з малими співвідношеннями товщини зрізу до радіуса округлення різальної кромки, коли цей параметр стає одним із найважливішим параметрів, котрий визначає взагалі можливість утворення стружки. Проведення таких досліджень, та контрольних експериментів для підтвердження результатів моделювання таких процесів передбачає вимірювання реального округлення різальних кромки інструментів, при цьому найбільші труднощі виникають коли потрібно виміряти параметри округлення не в одному перерізі, а вздовж різальної кромки та коли вона фасонної форми. Найбільш продуктивними й автоматизованими є оптичні безконтактні методи вимірювань, проте висока вартість стримує їх широке застосування. Тому в вимірювальній лабораторії кафедри ІТМ ММІ КПІ ім. Ігоря Сікорського було розроблено і створено вимірювальний комплекс, який дозволяє в повністю автоматичному циклі реалізувати метод ощупування для вимірювання 3D-мікрогеометрії різальної кромки інструменту та автоматизованого визначення параметрів її округлення.

При ощупуванні різальної кромки на комп'ютері отримуємо масиви точок, що описують передню, задню поверхні та поверхню різальної кромки в паралельних перерізах. Для розрахунку параметрів округлення в кожному з перерізів масив розділяється на три частини, які апроксимуються геометричними примітивами, що описують сліди поверхонь в цих точках. Знаходиться уявну вершину леза, як лінію перетину двох прямих, що є слідами передньої та задньої поверхонь і визначаються точки переходу цих слідів в криву, що описує округлення різальної кромки. Далі проводиться визначення величини К-фактора та радіуса округлення для точок, які знаходяться між цими точками переходу.

Траєкторії вимірювання вибираються в програмі або можуть бути імпортовані в файлі формату \*.cnc. Програмне забезпечення дозволяє зберігати результати ощупування в файл текстового формату, котрий містить стовпчики даних з координатами X, Y, Z точок. Експортуванням цих точок в існуючі CAD системи будується відповідна поверхня. Для побудови поверхні інструменту, яка ощупувалась, створюється рівновіддалена поверхня, зміщена на величину радіуса щупа, яким проводились вимірювання. Таким чином отримуємо тривимірну модель леза різального інструменту. Ця можливість може бути використана при вирішенні задач реінжинірингу, коли для аналізу геометрії існуючого виробу доцільно отримати його тривимірну модель.

## КОМП'ЮТЕРНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

**Волошко О.В., Вислоух С.П.**

*(НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна)*

Актуальною задачею сучасного машинобудування є покращення якості, надійності виробів, що випускаються, та підвищення їх життєвого циклу. Це можна забезпечити шляхом отримання відповідних значень експлуатаційних властивостей деталей, найбільш вагомими з яких є зносостійкість, корозійна стійкість, втомна міцність, контактна жорсткість та міцність пресових з'єднань. Вказані властивості залежать, в основному, від стану поверхневого шару деталей, а саме: від нерівностей поверхні (шорсткості, хвилястості, напрямку нерівностей); фізичного стану (ступеня деформації, деформаційного зміцнення, кристалічної структури); залишкових напружень тощо.

Таким чином, експлуатаційні характеристики деталей залежать від таких технологічних чинників: складу, структури та фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу; методу виготовлення заготовки; матеріалу, геометрії, мікрогеометрії та спрацювання різального інструменту; використаної змащувально-охолоджувальної рідини; вібрації в системі верстат-приспособування-інструмент-деталь; режимів механічної обробки.

У сучасному виробництві призначення і технологічне забезпечення параметрів стану поверхонь деталей не завжди є достатньо обґрунтованими, що призводить або до завищення вимог і збільшення собівартості деталей, або до їх зниження та зменшення надійності.

Із літературних джерел відомо, що виготовлення деталей із одного і того ж матеріалу, але за різними технологіями та режимами обробки призводить до значної зміни якості поверхневого шару, при цьому довговічність та надійність деталей істотно відрізняється.

Підвищити продуктивність технологічних процесів виготовлення деталей з заданими характеристиками та забезпечити ефективність використовуваного обладнання можливо шляхом розв'язання оптимізаційних задач на основі математичного та комп'ютерного моделювання [1].

Комп'ютерне моделювання є одним з ефективних методів вивчення стану будь яких об'єктів. Воно надає можливість досліджувати об'єкти в динаміці. При цьому є можливість керувати тривалістю дослідження, здійснювати багаторазові випробування початкової моделі, отримувати різноманітні характеристики об'єкту в числовому або графічному вигляді, знаходити оптимальне проектне рішення без виготовлення дослідних зразків. При комп'ютерному моделюванні використовуються метод скінченних елементів, метод кінцевих різниць, метод вузлових потенціалів тощо.

Основна ідея методу скінченних елементів полягає в тому, що будь-яку безперервну величину, таку як температура, тиск, переміщення тощо, можна



апроксимувати дискретною моделлю, яка будуватиметься на множині кусково-неперервних функцій, визначених на кінцевій кількості підобластей. Кусково-неперервні функції визначаються за допомогою значень неперервної величини в кінцевій кількості точок даної області.

Одним з найбільш важливих етапів кінцево-елементного аналізу є нанесення на модель досліджуваного об'єкта сітки кінцевих елементів, при цьому точність розрахунків залежить від правильного вибору типів і розмірів елементів. Тип елемента повинен відповідати розв'язуваній задачі з точки зору фізики процесу і мати відповідне математичний опис. Так, для виконання кінцево-елементного аналізу, необхідно використовувати кілька елементів і моделей, орієнтованих на рішення конкретних задач. Сучасним прогресивним програмним середовищем для вирішення задач інженерного аналізу є FEMAP, що дозволяє створювати кінцево-елементні моделі деталей, складних виробів та систем й виконувати аналіз отриманих результатів. FEMAP допомагає чітко представити картину поведінки досліджуваної конструкції виробу.

При використанні комп'ютерного моделювання і методу скінченних елементів можливе отримання адекватної моделі напружено-деформованого стану деталі і призначення оптимальних для кожного конкретного випадку режимів різання. В результаті формуються розрахункові залежності для знаходження допустимих величин сил і моментів різання, а також необхідні залежності для визначення або коригування режимів різання для конкретних технологічних умов обробки деталей [2].

Визначити параметри поверхневого шару деталі при її механічному обробленні та перевірити правильність призначення режимів різання можна шляхом комп'ютерного моделювання за методом скінченних елементів, засобами якого отримують адекватну модель пружно-деформованого стану деталі. В результаті цього формуються розрахункові залежності для знаходження допустимих величин сил і моментів різання, а також необхідні формули для визначення або коригування режимів різання для конкретних технологічних умов оброблення деталі.

Таким чином, забезпечення необхідних значень експлуатаційних властивостей деталей приладів є актуальним і необхідним на сучасному етапі розвитку приладобудівного виробництва. Вирішення задачі підвищення експлуатаційних характеристик деталей можна забезпечити шляхом розробки методів і засобів встановлення раціональних режимів різання з урахуванням оброблюваності матеріалу деталі та оброблювальних властивостей матеріалу інструменту.

**Література:** 1. Вислоух С.П., Волошко О.В. Математичне моделювання параметрів технологічних процесів механічної обробки деталей приладів // Вісник НТУУ «КПІ». Серія. Приладобудування. - 2005. Вип. 29.-с. 63-67. 2. Барандич К.С., Вислоух С.П. Створення кінцево-елементної моделі валу та вирішення крайової задачі напружено-деформованого стану матеріалів. // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво)/ Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка.– Вип. 2 (41). – Полтава: ПолтНТУ, 2014. – С. 228-232

## РУЙНУВАННЯ МІДНОСТАЛЬНИХ ЗВАРНИХ ШВІВ

**Гавриш П.А.**

(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

На експлуатаційну стійкість мідно сталевих зварних швів істотний вплив має якість зварних з'єднань. Причому з підвищенням вмісту міді в металі шва схильність до утворення тріщин зростає, оскільки у такому разі із-за низької розчинності міді в сталі, вона виділяється по межах зерен. При дії розтягуючої напруги зварювання і ефекту Ребіндера – можуть утворитися тріщини (рис.1).

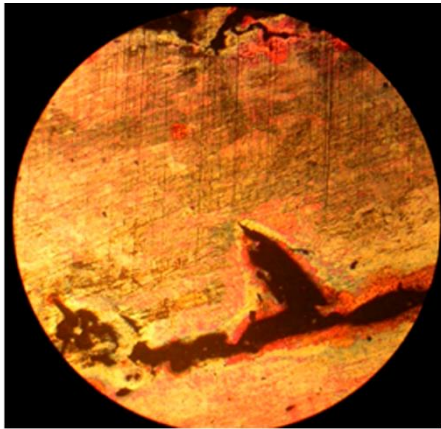


Рис. 1. Мікроструктура тріщини з боку міді

У зв'язку з малою розчинністю такого роду хімічних елементів при зварюванні утворюються структури псевдо-евтектики  $Cu_2O$ ,  $Cu_2S$ ,  $Cu_2B$  (рис.2).

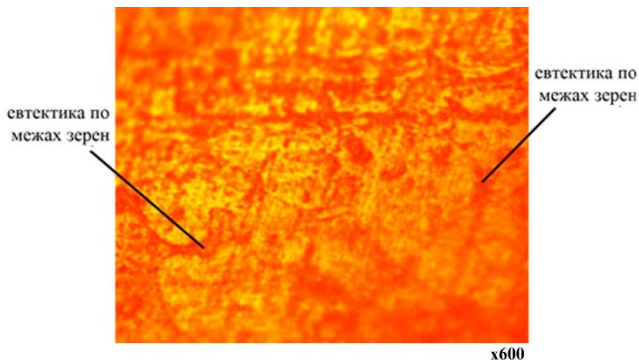


Рис. 2. Евтектика  $Cu-Cu_2O$  по межах зерен

Особливо схильні до утворення кристалізаційних тріщин ті мідні сплави які мають евтектику і перитектику. На утворення тріщин впливає наявність евтектики і низька розчинність легуючого елементу. Наприклад, в мідних сплавах з киснем, сіркою, бором (температура евтектики відповідно 1065 °С, 1067 °С, 1060 °С), причому гранична розчинність цих елементів невелика ( $\leq 0,005\%$ ,  $0,002\%$ ,  $0,08\%$ ).

Такі хімічні сполуки добре змочують кордони зерен і при кристалізації матричної фази – сталі, рідка мідь проникає в мікротріщини, заповнюючи розклинає їх в процесі термічної напруги розтягування. Одним з факторів утворення дефектів зварних швів міді зі сталлю це евтектичні новоутворення на границях зерен металу.

Таким чином, адсорбція при зварюванні знижуючи вільну поверхневу енергію (при контакті з речовинами здібними до дії на міжфазній поверхні) сприяє деформації і утворенню дефектів в твердих тілах і кінець кінцем до їх руйнування.

**Висновки:** для зменшення кількості евтектичних утворень у зварному шві необхідно застосовувати засоби стабілізації термічного стану зварного з'єднання і удосконалені методи підготовки крайок з урахуванням коефіцієнтів теплопровідностей металів.

# НАВАНТАЖЕНІСТЬ ВУЗЛА ПІДКОСУ ЖОРСТКОЇ ОПОРИ РУДНО-ГРЕЙФЕРНОГО ПЕРЕВАНТАЖУВАЧА ТАКРАФ

Гавриш П.А., Ворошков К.  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Експлуатаційні операції які виконує рудно-грейферний перевантажувач можна поділити на декілька етапів:

- переміщення візка крану до місця завантаження грейфера;
- опускання грейфера та зачерпування матеріалу (вапняк, кокс);
- підйом завантаженого грейфера;
- переміщення візка крану з завантаженим грейфером до місця розвантаження грейфера;
- переміщення мосту перевантажувача до місця розвантаження грейфера;
- опускання грейфера і його розвантаження.

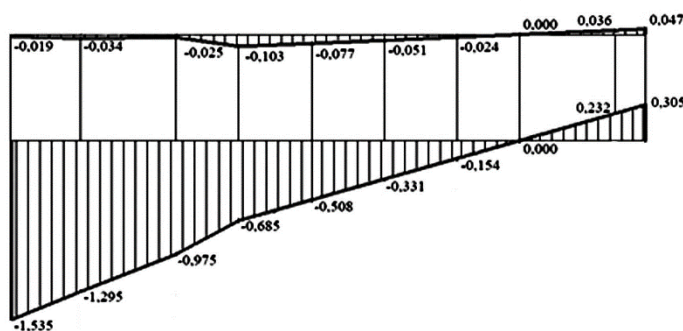
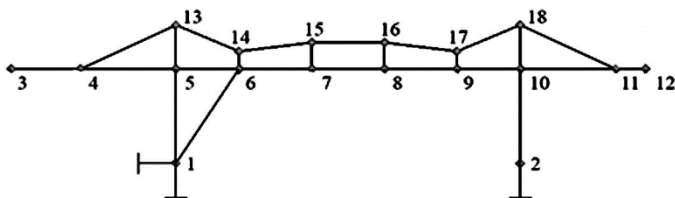


Рис. 1. Лінії впливу стрижня 1-5 та стрижня 5-6

Аналіз експлуатації рудно-грейферного перевантажувача показав, що найбільше впливає на навантаженість вузла жорсткої опори процес переміщення мосту рудно-грейферного перевантажувача. Побудова ліній впливу приведена на (рис.1) вказує на наявність циклічного характеру навантаженості металоконструкції. Розрахунок напруг в металоконструкції жорсткої опори і вузла з'єднання з головної балкою при переміщенні мосту крана (з порожнім грейфером і завантаженим грейфером) визначив збільшення напруги в  $1,4 \div 1,6$  разів.

Циклічна навантаженість жорсткої опори і нижнього поясу головної балки, а також перевищення допустимої напруги матеріалу німецької сталі типу st37-3 при переміщенні мосту перевантажувача приводить до появи тріщин в нижньому поясі головних балок. Це створює небезпеку руйнування нижнього поясу головних балок.

**Висновки:** врахування циклічних навантажень металоконструкції рудно-грейферного перевантажувача необхідно для зменшення ризику утворення тріщин і руйнувань металоконструкції; існує реальна необхідність зміни конструкції вузла з'єднання жорсткої опори з головної балкою.

## РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ПРОФІЛЬОВАННЯ КРУПНОГАБАРИТНИХ ЗАГОТОВОК

<sup>1</sup>Герасименко О. В., <sup>1</sup>Марков О. Є., <sup>2</sup>Хващинський А. С.

(<sup>1</sup>ДДМА, м. Краматорськ, Україна;

<sup>2</sup>ПАТ «Енергомашипецсталь», м. Краматорськ, Україна)

Альтернативою осадження заготовок циліндричної форми є попереднє формування на заготовці виступів [1, 2]. Зміна поперечного переріза заготовки за рахунок формування виступів дозволить змінити НС металу при осадженні. Виступи заготовки будуть забезпечувати підпір металу при деформації, що буде сприяти зменшенню рівня середніх напружень що розтягують у металі заготовки. Це дозволить виключити тріщиноутворення та зменшити відсоток браку.

Метою роботи є розробка рекомендацій щодо геометрії інструменту для профілювання крупногабаритних заготовок, що буде сприяти закриттю осьової пористості у процесі осадження заготовок.

Теоретичний аналіз осадження профілюваних злитків проводився на основі скінчено-елементного моделювання. Заготовка мала виступи з ухилом в  $115^\circ$ . Відносна висота виступів ( $d/D$ ) змінювалась в інтервалі 0,75; 0,80; 0,85. Верифікація результатів закриття осьової пористості на свинцевих моделях проводилась експериментальними дослідженнями на сталі 34ХН.

Заготовки з відносною висотою виступів 0,85 при ступені деформації 40 % мають найменше значення відносної осьової пористості,  $d_1/d_0$  становить 0,6. Рекомендована величина обтискання, яка буде забезпечувати закриття осьової пористості, повинна бути більше 50 %. Для кута виступів  $115^\circ$  зі збільшенням їх висоти ступінь закриття осьової пористості збільшується. Деформування профілюваних злитків призводить до змінення НС заготовки. Максимальні стискаючі напруження утворюються у місці осьової пористості для висоти виступів 15 %.

Результати з формозмінення й зменшення розмірів осьової пористості на свинцевих зразках перевірялися експериментом на сталі. Нагріті заготовки профілювали випуклим інструментом з кутом  $115^\circ$  з величиною обтискання за два проходи 20 %. По закінченню профілювання відбувалося осадження на половину висоти заготовки. Після підготовки площини розрізу проводився макроструктурний аналіз слідів осьової пористості. Деформування чотирипроменевих заготовок бойками з кутом  $115^\circ$  та величиною обтискання 20 % дозволило визначити величину закриття осьової пористості. Отримані результати перевірялися у виробничих умовах при осадженні злитків вагою 35 т.

**Література:** 1. Banaszek G., Stefanik A. Theoretical and laboratory modelling of the closure of metallurgical defects. *J. Mater. Proc. Technol.*, 177 (2006), pp. 238–242.

2. Scarabello D., Ghiotti A., Bruschi S. FE modelling of large ingot hot forging. *Int. J. of Mater. Form.*, 3 (2010), pp. 335-338.

# ПРОГРЕСИВНА КОНСТРУКЦІЯ ТОКАРНОГО РІЗЦЯ З КРІПЛЕННЯМ РІЗАЛЬНОЇ ПЛАСТИНИ З ЦЕНТРАЛЬНИМ ОТВОРОМ ЗА ДОПОМОГОЮ КОЛИВНОГО ТА НАТИСКНОГО ЕЛЕМЕНТІВ

Гузенко В. С., Гах В. М., Калініченко В. В., Хорошайло В. В., Рибкін В. А.  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

У якості прогресивної конструкції збірного токарного різця може бути запропонована конструкція з кріпленням різальної пластини з центральним отвором за допомогою коливного та натискного елементів [1] (рисунок 1).

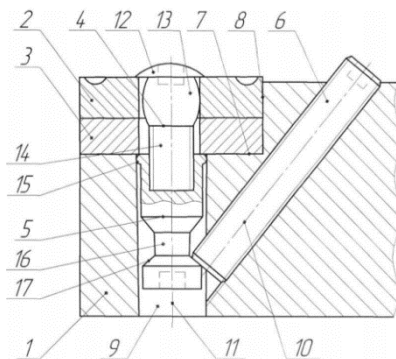


Рис. 1. Конструкція збірного токарного різця з кріпленням різальної пластини з центральним отвором за допомогою коливного та натискного елементів [1]

Різець складається з корпусу 1, різальної 2 та опорної 3 пластин, збірного коливного елемента з верхньою 4 та нижньою 5 частинами, і натискного елемента 6. Корпус 1 має гніздо під різальну та опорну пластини з опорною 7 та упорними 8 поверхнями та отвір 9 з віссю 11, розташованою під кутом до осі 10. Верхня частина 4 коливного елемента має голівку з притискними ділянками 12 та 13 і хвостову ділянку 14. Нижня частина 5 коливного елемента має різьбовий отвір, тороїдну ділянку 15 та хвостову ділянку 16 з конічним пояском 17. Твірний поясок 17 та торець натискного елемента 6 знаходяться у одній площині. Загвинчування верхньої частини 4 у нижню частину 5 коливного елемента за рахунок взаємного притискання різальної та опорної пластин забезпечує високу жорсткість кріплення цих пластин. При затягуванні натискного елемента 6 його торець натискає на поясок 17, забезпечуючи осьове переміщення коливного елемента і його коливання навколо точки контакту тороїдної ділянки 15 з отвором 9; ділянка 12 взаємодіє з верхньою поверхнею різальної пластини, а ділянка 13 – з її центральним отвором, забезпечуючи притискання різальної та опорної пластин до поверхонь гнізда корпусу 1.

Використання у вузлі кріплення різальної пластини збірного коливного елемента запропонованої конструкції та попереднє взаємне притискання різальної та опорної пластин забезпечують високу жорсткість механічного кріплення різальної пластини, що позитивно впливає на працездатність різця.

**Література: 1.** Збірний різець: пат. 126816 Україна, МПК В23В 27/16 / В. С. Гузенко, В. М. Гах, В. В. Калініченко, В. В. Хорошайло. № u201800209; заявл. 05.01.2018; опубл. 10.07.2018, Бюл. № 13. – 4 с.: іл.

## АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ПРОЦЕСУ ГЛИБОКОГО СВЕРДЛІННЯ

Гузенко В.С., Соколов Є.П., Шевцов О.О.  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Свердління глибоких отворів - відповідальна технологічна операція. Адже в разі незадовільної обробки деталь буде зіпсована, а поломка свердла при глибокому свердлінні - досить часте подія. В якості інструменту для глибокого свердління можуть бути використані: спіральні свердла з циліндричним хвостовиком, рушничні свердла, ежекторні свердла, гарматні свердла. Для запобігання пакетування стружки і поломки інструменту необхідно вдосконалити систему контролю процесу глибокого свердління на верстатах з ЧПК [1].

Для контролю крутного моменту добре підходять безконтактні обертові датчики крутного моменту забезпечені системою підвищеного класу точності для вимірювання в широких діапазонах крутного моменту і швидкості обертання валу. Кожна модель має інтегрований електронний модуль, який перетворює вимірювальний сигнал каналу крутного моменту в нормалізовану напругу  $0V.. \pm 10V$  і забезпечує частотний вихід для каналу вимірювання швидкості обертання [2]. Безконтактні обертові датчики крутного моменту з установкою на вал надійні в роботі, мають підвищений захист від перевантажень і впливу електромагнітних перешкод, мають високий ступінь стабільності протягом тривалого проміжку часу. Датчики забезпечені унікальною вимірювальною технологією, заснованої на застосуванні безконтактного диференціального перетворювача сигналу крутного моменту. Основна перевага вимірювальної технології є відсутність обертових електронних компонентів.

Вимірювальна система працює за принципом диференціального трансформатора і заснована на пропорційності крутного моменту, що виникає в результаті деформації індуктивності та складається з двох концентричних циліндрів, розташованих на валу з двох сторін області концентрації деформації валу, і двох концентричних котушок статора, прикріплених до корпусу.

Система складається з мікроконтролера, датчика лінійних переміщень, датчика крутного моменту, перетворювача сигналів.

Система управління глибоко свердлильним верстатом з функцією контролю пакетування стружки і зносу інструменту дозволить контролювати процес зносу інструменту, уникнути поломки інструменту, підвищити якість і геометричні параметри оброблених отворів.

**Література:** 1. <http://tverdysplav.ru/glubokoe-sverlenie-vybor-pravilnogo-instrumenta-video/>  
2. <https://stanko-arena.ru/article/neskolko-slov-o-glubokom-sverlenii.html>

## ВДОСКОНАЛЕННЯ ТОРЦЕВИХ ФРЕЗ ДЛЯ ЧОРНОВОЇ ОБРОБКИ З ТАНГЕНЦІАЛЬНИМ КРІПЛЕННЯМ ПЛАСТИН

**Гузенко В.С., Федоров В.М., Ліфанов А.В.**

*(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)*

Для успішної експлуатації фрези необхідно, щоб механічні і фізичні характеристики вузла кріплення, такі як міцність, всього вузла та його жорсткість, а також міцність ріжучої пластини відповідали силовим навантаженням вузла кріплення, які виникають у процесі різання.

Метою справжньої роботи є підвищення ефективності процесу торцевого чорнового фрезерування в умовах важкого машинобудування.

Предметом дослідження є характеристики на міцність вдосконаленої торцевої фрези шляхом імітаційного моделювання процесу статистичного навантаження, включаючи аналіз процесів деформації в умовах навантаження силами різання.

Результатом імітаційного аналізу стало визначення контактних напружень. Моделі дослідження являють собою трьохвимірні конструкції інструменту, навантаженими відповідно даним умовам роботи і відповідним чином зафіксовані, тобто корпус фрези жорстко закріплений, а сили різання прикладаються до ріжучих поверхонь пластин.

За результатами комп'ютерних розрахунків встановлено, що конструкції ріжучої частини торцевої фрези з тангенціальним кріпленням пластин (рис. 1а,б) є роботоздатними для завданих умов обробки.



Рис. 1. Конструкції різальних пластин з тангенціальним кріпленням.

Проте слід відмітити той факт, що при всіх перевагах використання змінних багатогранних пластинок з стружкороздільними канавками, вдосконалена конструкція ріжучої пластини з нахильними стружкороздільними кінцевими канавками (рис. 1б) має більш високу стійкість за рахунок позитивних задніх допоміжних кутів на стружкодільних канавках, що приводить до сприятливих умов різання, у результаті чого підвищується продуктивність чорнкової обробки конструкційних сталей.

## ПЕРЕДУМОВИ ПРОГНОЗУВАННІ СТІЙКОСТІ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ У ВИРОБНИЧИХ УМОВАХ

**Данильченко М.А., Петришин А.І.**

*(НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна)*

В роботах, присвячених прогнозуванню стійкості процесів різання [1-3], зокрема і токарного оброблення [4], наголошується про обов'язковість врахування в динамічній моделі наявності закріпленого в шпинделі патрона або оправки з інструментом. При цьому, у виробничих умовах пропонується використовувати спрощені динамічні моделі системи шпиндель-інструмент або шпиндель-заготовка за рахунок отримання частотного відгуку інструмента/заготовки (FRF) в поєднанні з методом аналізу динамічної спадковості з'єднання підсистем (RCSA) [1-3].

Метою роботи є проведення аналізу сучасних підходів до створення спрощених динамічних моделей ТОС для прогнозування стійкості процесу поздовжнього точіння у виробничих умовах.

Підхід, викладений в [1-3] передбачає спрощення аналітичної динамічної моделі ТОС до динамічної моделі інструмента/заготовки з відомими характеристиками його закріплення в шпинделі. При цьому, механічно замкнена пружна система шпиндель-заготовка-інструмент в розрахунковій моделі подається у вигляді двох механічно розімкнених підсистем, одна з яких, зазвичай, приймається абсолютно жорсткою. Отже, при прогнозуванні стійкості процесу різання враховуються лише власні частоти однієї з підсистем, а не механічно замкненої системи загалом.

В роботі запропоновано підхід до створення спрощеної динамічної моделі ТОС токарного верстата з урахуванням контактної взаємодії заготовки та інструменту [5, 6] та моделювання діаграм стійкості процесу поздовжнього точіння для використання у виробничих умовах. Розроблено відповідну модель та алгоритм моделювання діаграм стійкості.

**Література:** 1. *Özşahin O., Investigating Dynamics of Machine Tool Spindles under Operational Conditions / O. Özşahin, E. Budak, H. N. Özgüven. // Advanced Materials Research Online. – 2011. – Vol. 223. – pp. 610–621.* 2. *Schmitz T. L., Tool Point Frequency Response Prediction for High-Speed Machining by RCSA / T. L. Schmitz, M. A. Davies, M. D. Kennedy/ // ASME J. Manuf. Sci. Eng. – 2001. – Vol. 123. – pp. 700–707.* 3. *Wang E., Dynamic Parameter Identification of Tool-Spindle Interface Based on RCSA and Particle Swarm Optimization / E. Wang, B. Wu, Y. Hu, and others. // Shock and Vibration. – 2013. – Vol. 20, No. 1. – pp. 69-78.* 4. *Schmitz T., Receptance Coupling for High-Speed Machining Dynamics Prediction / T. Schmitz, T. Burns. // Proceedings of IMAC-XXI: Conference & Exposition on Structural Dynamics, Kissimmee, FL.* 5. *Данильченко М.А. Исследование влияния контактного взаимодействия заготовки и инструмента на динамические характеристики токарного станка / М.А. Данильченко, А.И. Петришин // Вісник НТУУ «КПІ», серія Машинобудування. - №77. - 2016. - С.140-146.* 6. *Данильченко М.А. Учет процесса резания в динамических моделях шпиндельных узлов металлорежущих станков. / М.А. Данильченко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ, вип. №38, 2016. – С.99-104.*



## ТОКАРНИЙ РІЗЕЦЬ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ГВВИНТОВИХ ПОВЕРХОНЬ

Дичковський М. Г., Кобельник В. Р., Кривий П. Д., Петречко І. Р.  
(ТНТУ, м. Тернопіль, Україна)

Проаналізовано конструкції токарних різців з плоскою головною задньою поверхнею [2].

Відзначено, що у відомих конструкцій токарних різців з плоскою головною задньою поверхнею, головний задній кут є постійним вздовж головної різальної кромки (ГРК) [1, 2, 4].

Показано, що перспективними конструкціями токарних різців [3] є такі у яких головна задня і передня поверхні є неплоскими вищих порядків. Разом з тим геометричні параметри таких різців у літературі та існуючих стандартах не висвітленні.

Враховано, що процес різання токарним різцем здійснюється в результаті забезпечення відповідних рухів (рис. 1) і тому геометричні параметри такого різця запропоновано розглядати на основі положень теоретичної механіки, нарисної та аналітичної геометрії. Особливо важливим є такий підхід щодо геометричних параметрів різця при формуванні гвинтових поверхонь.

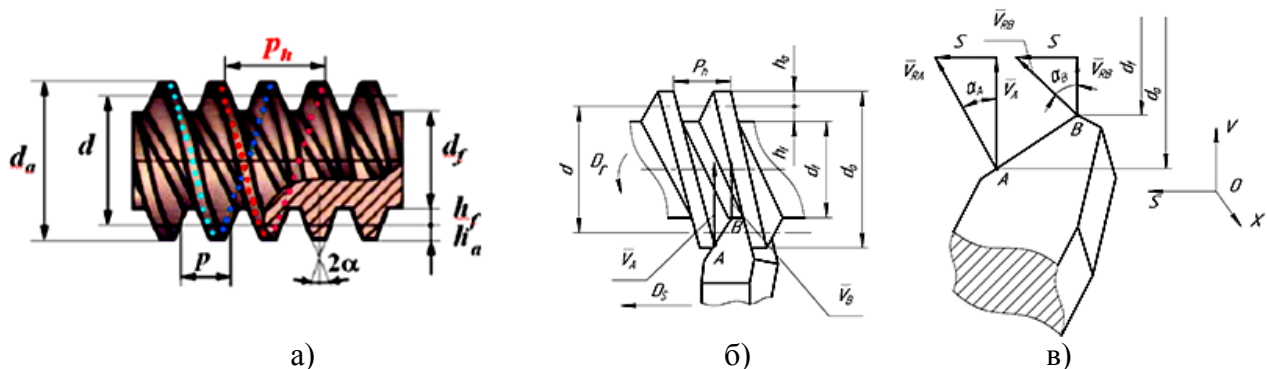


Рис. 1. Гвинтова поверхня і елементи рухів процесу її утворення:  
а) – однозахідний циліндричний черв'як; б) – схема формування гвинтової поверхні;  
в) – схема векторів швидкостей складного руху

На основі аналізу рухів поданих на рисунку 1 показано, що точки  $A$  і  $B$  на головній різальній кромці різця знаходяться у складному русі (відносному, переносному і абсолютному) так, як ці точки рухаються відносно деталі системи координат, яка у свою чергу рухається відносно іншої нерухомої системи наприклад  $OVSX$ .

Відповідно до вищеподаних положень абсолютну швидкість  $\vec{V}_A$  переміщення точки  $A$  у робочій площині за теоремою про суму векторів запропоновано визначити за залежністю  $\vec{V}_A = \vec{V}_e + \vec{V}_r$  де  $(\vec{V}_e)$  і  $(\vec{V}_r)$  відповідно швидкості переносного і відносного рухів.

Запропоновано площину різання задавати суцільним спектром векторів

швидкостей абсолютного руху на лінії контакту ГРК і поверхні різання.

Встановлено, що значення кінематичних кутів у точці  $\alpha_{KA}$  і  $\alpha_{KB}$  відповідно у точках  $A$  і  $B$  головної різальної кромки визначаються із залежностей

$$\alpha_{KA} = \arctg m/d_a \quad (1)$$

$$\alpha_{KB} = \arctg m/d_f \quad (2)$$

де  $m$  – модуль гвинтової поверхні (черв'яка);

$d_a$  і  $d_f$  – відповідно діаметри вершин і западин витків.

Аналізом (1) і (2) встановлено  $\alpha_A < \alpha_B$ .

Запропоновано статичне, після заточування, значення головного заднього кута визначати залежністю  $\alpha_c = \arctg m/d_x + \alpha_p$ , де  $d_f \leq d_x \leq d_a$   $\alpha_p$  – регламентоване значення головного заднього кута.

На основі вищеподаного виходить, що головний задній кут токарного різця для формування гвинтових поверхонь є змінним, максимальне його значення буде мати місце в околі його вершини, а мінімальне – в точці його контакту ГРК з поверхнею різання на діаметрі  $d_a$ .

Використавши запропоноване, для черв'яка евакуаційної лебідки виробництва ПАТ «Кам'янець-Подільськийавтоагрегат», яка монтується на буфері автомобіля КрАЗ, визначено значення кута  $\alpha$  в околі вершини і на периферії різця для формування черв'яка з параметрами: діаметр діляльного циліндра  $d = 100$  мм, модуль  $m = 10$  мм, крок черв'яка  $p = \pi m$ , діаметр вершини витків  $d_a = d + 2m = 120$  мм; діаметр западин витків  $d_f = d - 2,4m = 76$  мм, за формулою (1) і (2) визначили значення кінематичних кутів в точках  $A$  і  $B$ , відповідно  $\alpha_{KA} = 4,76^\circ$ ,  $\alpha_{KB} = 7,40^\circ$ . Якщо прийняти за регламентоване значення  $\alpha_p = 8 \pm 2^\circ$  то значення кутів після заточування повинні бути:  $\alpha_{3A} = 4,76^\circ + 8 \pm 2^\circ = 12,76 \pm 2^\circ$ ,  $\alpha_{3B} = 7,40 + 8 \pm 2^\circ = 15,4 \pm 2^\circ$ .

**Висновок:** запропонований токарний різець для формування гвинтових поверхонь забезпечить нормальний процес різання на напівчистовому переході після отримання вихровим методом гвинтової поверхні.

**Література:** 1. ГОСТ 25762. Обработка резанием. Термины определения и обозначение общих понятий. – Введ. 1984. 01. 07. – М: Изд.-во стандартов, 1985 – 41 с. 2. Родин П. Р. Металлорежущие инструменты: Учебник для вузов – 3-е изд. перераб. и доп. – К.: Высшая школа. Главное издание, 1986 – 455 с. 3. Кошарновський В. П. Проблеми розвитку науки про різання металів / В. П. Кошарновський. – Харків, : Видавництво ДХУ, 1967. – 204 с. 4. Справочник по технологии резания материалов. В 2-х кн. Кн. 1 / Ред. нем. изд. / : Г. Шпур, Т. Штеферле; пер. с нем. В. Ф. Копятенкова. Под ред. Ю. М. Соломонцева. – М.: Машиностроение, 1985 – 616 с.

## ЗНИЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ У МЕХАНІЗМАХ ПТМ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРУЖИННО-ХВИЛЬОВОГО РЕДУКТОРА

Дорохов М.Ю., Єрмакова С.О.  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Зниження динамічних навантажень кранів можливо або застосуванням спеціальних пристроїв (гасителів коливань), або керуванням пусковими характеристиками (початкові умови процесу). Найбільш доступним є використання пристроїв, що дозволяють управляти початковою швидкістю підйому, наприклад, хвильових передач.

Більшість схем хвильових редукторів мають ряд недоліків, що утрудняє застосування в кранових механізмах. Більш того, високе передатне відношення (тобто мала швидкість підйому вантажу) позитивна тільки в початковій стадії несталого руху, а наявність гнучкого колеса суттєво збільшує вартість редуктора.

У результаті виконаних досліджень до застосування в механізмі підйому вантажу пропонується хвильовий зубчастий редуктор, у конструктивну схему якого, на відміну від аналога (рис. 1.а) включена спіральна пружина, що виконує функцію гнучкого колеса (рис. 1.б).

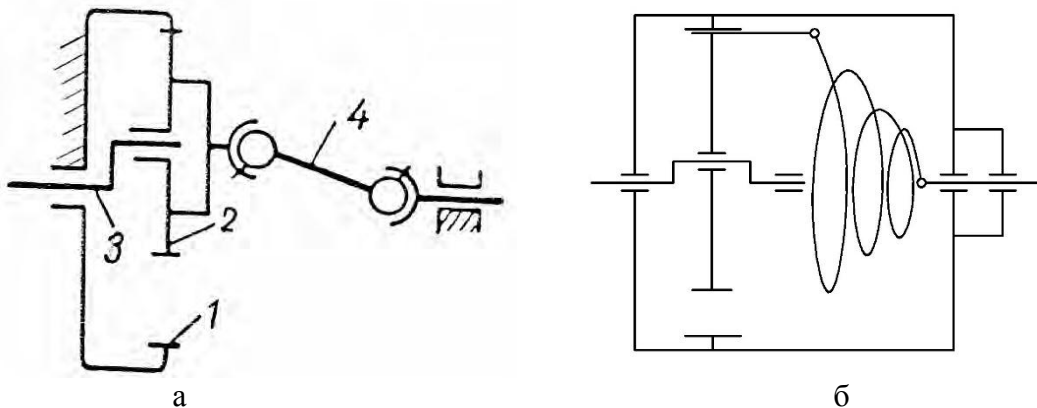


Рис. 1. Одноступінчастий хвильовий редуктор-прототип (а)  
і запропонована конструкція (б)

Конструктивно хвильовий зубчастий редуктор складається з корпусу, на вхідному валу якого ексцентрично встановлена ведуча рухлива шестірня, що контактує з нерухомим колесом по внутрішньому зачепленню, причому різниця чисел зубців колеса й шестірні не більш 3. На рухливій шестірні закріплено один кінець спіральної пружини, другий кінець якої встановлений на вихідному валу.

Застосування запропонованої конструкції хвильового редуктора дозволить:

- зменшити габаритні розміри механізму;
- знизити вартість механізму за рахунок спрощення конструкції;
- знизити динамічні навантаження на металоконструкцію крана завдяки включенню в конструкцію редуктора спіральної пружини.

## МОДЕЛЮВАННЯ ВІБРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ В ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНИХ МАШИНАХ

Дорохов М.Ю., Шевцов Є.О.  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Незворотнім наслідком процесу зниження власної ваги мостових та козлових кранів, тривалості їх експлуатації є зменшення жорсткості металевих конструкцій. Це призводить до збільшення тривалості коливальних процесів, зменшенню довговічності кранів, погіршенню якості виконання вантажопідйомних, монтажних операцій і санітарно гігієнічних умов роботи. Тому в останні роки ведуться науково-дослідницькі і конструктивні роботи направлені на створення віброзахисних пристроїв, дослідження природи вібрацій, та розгляд альтернативних методів дослідження динамічних впливів вібрацій на металоконструкції підйомно-транспортних машин. Не останню роль в цьому відіграють вібраційні машини.

Вібраційні машини і вібротехнології широко застосовуються у багатьох галузях промисловості: машинобудування, сільське господарство, будівництво, транспорт, медицина, комунальних господарствах, в лабораторіях та на випробувальних стендах. Їх застосування приносить значний економічний ефект, а також сприяє покращенню умов праці.



Рис. 1. Схема установки вібраційної машини: а) вібратор закріплений на мосту крана, б) вібратор закріплений на опорі крана

В більшості вібраційних установок у промисловості, в якості вібратора використовується асинхронний двигун з коротко замкнутим ротором, який має на своєму валу дисбаланс. Треба пам'ятати що, активними методами гасіння вібрацій (пульсації тиску, повітряного шуму, динамічних сил) прийнято називати способи штучного створення відповідних вібраційних впливів, які діють у протифазі вихідних (йдуть від установки). Метою дослідження є можливість переведення власної частоти коливань металоконструкції козлового грейферного перевантажувача методом встановлення вібраційної установки з можливістю регулювати частоту на елемент підйомно-транспортної машини та підбір оптимального методу гасіння коливань.

## **СИНЕРГЕТИКА, ТЕРМОДИНАМИКА И КИНЕТИКА ДЕФЕКТОВ ПРИ ТРЕНИИ И ИЗНАШИВАНИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

**Емалетдинов А.К.**

*(УГАТУ, г. Уфа, Россия)*

e-mail: emaletd@mail.ru

Взаимодействие поверхностей при граничном трении приводит к характерным изменениям микроструктуры приповерхностных областей. Установлено, что образуются различные виды дислокационной субструктуры, которые и определяют физико-механические характеристики материалов контактной зоны и поведение трибосистемы в целом. Как известно кинетика развития микротрещин и их слияния в магистральную критическую трещину определяют разрушение материалов.

При трении и разрушении выполняются принципы термодинамики. С позиций неравновесной термодинамики и синергетики, образующиеся дислокационные субструктуры, являются диссипативными структурами. Были сформулированы уравнения кинетики дислокаций. Проведено численное исследование двухпараметрической системы уравнений кинетики дислокаций при пластической деформации в зоне трения. Анализ типов решений системы стационарных уравнений проводился с использованием методов конечных разностей, построения фазовых траекторий и диаграмм, расчета показателей Ляпунова, построения отображений Пуанкаре. В численном моделировании были получены основные типы решений системы уравнений, была построена диаграмма дислокационных состояний в приповерхностной зоне трения. Знание температурных полей контактных поверхностей и приповерхностной зоны трения имеет важное научное и прикладное значение для повышения физико-механических характеристик материалов контактной зоны, оптимизации приработки пар трения и переходу в оптимальный режим трения. Рассмотрена постановка микроскопической задачи описания тепловых полей зоны трения. Показано, что разогрев определяется кинетикой дислокаций. Проведен расчет температурных полей в контактной зоне. Кинетика процесса разрушения включает стадии: «взрывообразного» зарождения микротрещин, образование и рост макротрещины. Обсуждается состояние вопроса в области физики зарождения микротрещин. Подчеркивается, что он может решаться в рамках синергетического подхода. Сформулированы силовые и энергетические условия гомогенного зарождения микротрещины. Построена система уравнений кинетики фононов, критической моды. Получены выражения для времени зарождения, силовых и энергетических условий образования микротрещины. Появление бифуркации решений кинетических уравнений дефектов, микротрещин, температуры будет описывать зарождение макротрещины и определять разрушение материала.

## МИКРОМЕХАНИЗМЫ ТЕРМОАКТИВАЦИИ КИНЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ МЕХАНОАКТИВАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ

**Емалетдинов А.К., Галактионова А.В.**

*(УГАТУ, г. Уфа, Россия)*

e-mail: emaletd@mail.ru

Дефекты решетки (дислокации, границы зерен и др.) приводят к активизации химических и кинетических процессов, в частности, диффузии, адгезии, роста фаз и т.п., играющих большую роль в технологиях механического сплавления (сварки трением), механоактивации, механодиспергирования, легирования, механохимии и других. Целью данной работы является исследование механизмов локального повышения температуры в полосе скольжения как источников термоактивации физико-химических процессов. Рассмотрена упрощенная модель деформирования кристалла, когда под действием поверхностной деформации развивается дислокационное скольжение и вакансионные потоки. Под действием возникающих неоднородных термоупругих напряжений происходит зарождение вакансий, дислокаций. Эволюция дефектной структуры описывается кинетическими уравнениями. Анализируются микромеханизмы зарождения вакансий и дислокаций. Рассмотрены модели и сделаны оценки скорости зарождения дефектов различными источниками. Рассмотрены особенности описания скалярной и тензорной плотности дислокаций. Уравнение кинетики для плотности дислокаций, записанное в приближении времени релаксации, описывает основные дислокационные процессы: размножение, иммобилизацию, диффузию, аннигиляцию и др. Уравнение кинетики для концентрации вакансий, записанное в приближении времени релаксации, учитывает зарождение вакансий тепловыделением, термоупругими напряжениями и движущимися дислокациями. Исчезновение вакансий происходит на стоках дислокациях, границах зерен. Основными микромеханизмами термоактивации являются: вязкое движение краевых и винтовых дислокаций, аннигиляция дислокаций в полосах скольжения, выход дислокаций на поверхность и границы зерен, размножение дислокаций гетерогенными источниками дислокаций. Для описания тепловых полей предложена система уравнений состояния, теплопроводности и кинетики дислокаций. Рассмотрена термоактивация диффузии в полосе скольжения. Благодаря неоднородности температурного поля коэффициент диффузии также неоднородный. Максимальная скорость диффузии в центре полосы скольжения. Эффективный размер диффузионной зоны будет определяться коэффициентом затухания температурного поля вокруг полосы. Получено условие, когда тепловая диффузия в полосе скольжения преобладает над трубочной диффузией вдоль ядра дислокации. Таким образом, при деформации тепловыделение от движущихся дислокаций может существенно ускорить термоактивационные физико-химические процессы.

## ДВОХСТУПЕНЕВА СИСТЕМА ПОКООРДИНАТНОГО КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ

<sup>1</sup>Єнікєєв О.Ф., <sup>1</sup>Захаренков Д.Ю., <sup>2</sup>Абрамська І.Б.  
(<sup>1</sup>ДДМА, м. Краматорськ, Україна; <sup>2</sup>УкрДУЗТ, м. Харків, Україна)

**Вступ.** Традиційні технології алмазного шліфування використовують вимірювання мікронерівностей для періодичного контролю якості поверхні деталі. Побудова систем керування параметрами технологічного процесу зі зворотнім зв'язком по стану мікронерівностей викликає складності, які обумовлено відсутністю відповідних первинних перетворювачів. Пропонується використати флуктуації швидкості обертання шліфувального круга у якості інформативного сигналу про стан мікронерівностей.

**Постановка завдання.** Доповідь присвячено розробці непрямого метода вимірювань мікронерівностей та побудові відповідних апаратно-програмних засобів із метою забезпечення безперервного процесу алмазного шліфування.

**Основні результати.** Апаратно-програмні засоби другої ступені вимірюють миттєву швидкість обертання шліфувального круга та формують інформаційний сигнал флуктуацій. Еталонні рівні значень сигналу флуктуації встановлені на основі можливих «квалітетів» чистоти поверхні деталі процесу алмазного шліфування та внесені до бази даних цих апаратних засобів у вигляді нормативів. Тому частотно-модульований сигнал флуктуацій є джерелом непрямої інформації про фактичні мікронерівності та сигналом зворотного зв'язку, який містить в собі інформацію про відхилення прогнозованого «квалітету» чистоти від встановленого програмою оброблення партії деталей. Реалізація цієї ідеї дозволила побудувати двоступеневу тривимірну автоматизовану систему для отримання прогнозованої якості поверхні деталі без посередніх вимірювань її мікронерівностей. На основі методу управління зі зворотнім зв'язком по стану, а також методів безпосереднього цифрового та покоординатного управління розроблено апаратні засоби системи.

Розглянуто питання розроблення методів та апаратних засобів покращення точності вимірювальних перетворювачів параметрів частотно-модульованих сигналів швидкості обертання шліфувального круга. Для компенсації кінематичної похибки при побудові апаратних засобів пропонується метод багатоканальних вимірювань інтервалів часу, які формуються однією рисою первинного перетворювача та відповідають повному оберту валу шліфувального круга.

**Висновки:** Підвищення ефективності процесу алмазного шліфування в умовах неповної інформації забезпечується апаратними засобами першої ступені шляхом керування його технологічними параметрами. Апаратні засоби другої ступені на основі оброблення сигналу миттєвої швидкості обертання оцінюють прогнозовану амплітуду мікронерівностей поверхні деталі та формують відповідні корегування технологічних параметрів.

## НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ТЕРМІНУ СЛУЖБИ ЕЛЕМЕНТІВ ФУТЕРОВКИ БАРАБАННОГО КУЛЬКОВОГО МЛИНА

**Єрмакова С.О.**

*(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)*

Кульові млини широко застосовуються на гірничо-збагачувальних підприємствах для розмелювання корисних копалин.

Процес розмелювання є одним з найбільш енергоємних і металоємних процесів на збагачувальних підприємствах.

Тому вдосконалення технології роботи кульових млинів має важливе наукове та практичне значення.

Найбільш дорогим обладнанням всього гірничо-збагачувального комплексу є кульовий млин, а особливо його футерування ціна одного комплекту футеровки зі сталі Гадфільда, хоча і має високі зносостійкі характеристики, коштує більше 1 млн. грн. У той же час до найбільшого зношення схильне саме футерування, тому в дослідження розглядається проблема зносу та способу продовження життя футерувальних плит.

Під час експлуатації кульового млина футерування, що контактує з породою, піддається значному зносу, внаслідок чого воно швидко виходить з ладу. Оскільки футерувальні плити досягають маси 250 кг, заміна футерування представляє тривалий енергоємний процес. З цього приводу подовження тривалості роботи футеровки є важливою практичною задачею.

Задачею досліджень є проаналізувати різноманітні види подовження строків використання броньових плит, таких як наклеп, наклеп вибухом, зміна геометричної форми футерування, та наплавлення; вплив наплавлення зносостійких матеріалів на зносостійкість сталі при різних видах зносу (абразивний, ударно-абразивний та при контактній силі).

Як показали дослідження при роботі кульового млина ударно-абразивний знос є домінуючим. Він виникає в місці контакту «куля – порода, що подрібнюється – футерування».

Також помітний вплив на роботу млина надає форма футеровки її барабана.

Футерування барабанів кульових млинів, що працюють із великим первинним матеріалом, має ребра. Для млинів, що працюють на дрібному матеріалі, застосовують футерування з дрібними ребрами або зовсім гладкі. Висота, взаємне розташування і форма ребер визначають силу зчеплення дробильного середовища з барабаном, тобто, і результати роботи млина.

В подальших дослідження розглядається можливість заміни більш дорогої сталі Гадфільда на Сталь 40 з наплавленням на цю сталь зносостійких сплавів. Це дасть можливість знизити вартість самого футерування і пов'язані із заміною витрати, так як в разі зносу наплавлення – нам необхідно буде провести нову операцію наплавлення, а не повністю змінювати комплект футерування, як би це було із сталлю Гадфільда, так як на сталь Гадфільда неможливо наплавити зносостійкі матеріали.



## ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА МЕХАНІЗМ ОБЕРТАННЯ БАШТОВОГО КРАНУ

**Єрмакова С.О., Єгорова А.В.**

*(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)*

Баштовий кран – це вантажопідйомна машина зі стрілою, закріпленою у верхній частині вертикальної вежі і виконує роботу по переміщенню і монтажу конструкцій за рахунок поєднання робочих рухів: крана по рейках і повороту стріли з вантажем. Це найбільш розповсюджений тип вантажопідйомних машин, який застосовується в цивільному і промисловому будівництві. Основне призначення баштового крана:

– обслуговувати територію будівельних майданчиків будівель і споруд, складів, полігонів;

– навантаження і розвантаження матеріалів з транспорту;

– виконання будівельно-монтажних і вантажно-розвантажувальних робіт.

Переваги баштових кранів у порівнянні з кранами інших типів наступні: розташування кранових стріл на великій висоті, у результаті чого вони не перетинають конструкції об'єкта, який монтується; можливість обслуговування з одного майданчика одного чи декількох об'єктів (прольотів), а також складальних площадок; простота переміщення кранів по підкранових коліях; гарний огляд крановиком монтажної зони. Баштові крани відрізняються простотою і надійністю в експлуатації.

Безпечний стан вантажопідйомної машини повинно відповідати умові: виключення аварійної ситуації під час проведення навантажувально-розвантажувальних, транспортних і складських робіт.

Статистика показує, що із загальної кількості аварій, що мають місце при експлуатації вантажопідіймальних кранів, близько половини припадає на перекидання кранів. Стійкість крана проти перекидання – це властивість крана, яке полягає в здатності працювати без перекидання в реальних умовах експлуатації це вантажозахватні органи, сталеві канати, блоки, крюкові підвіски, поліспасти.

Динамічні навантаження виникають в період пуску-гальмування механізмів крана внаслідок дії прискорення або уповільнення. Кран являє пружну систему, тому сили інерції викликають коливання його елементів, які тривають деякий час і після закінчення перехідних процесів.

Джерелом великих динамічних навантажень можуть бути поштовхи і удари, що досягають великої сили при великих зазорах в передачах механізмів, несправних стиках рейкових шляхів, знос опорно-поворотних пристроїв і т. п.

Ця проблема є актуальною, тому, при розробки необхідно врахувати розраховуємо коефіцієнт жорсткості канатного поліспасти, деформацію башти, динамічний момент навантажень та ін. Метою дослідження є забезпечення надійної та безпечної роботи баштового крана при різних умовах. Виключити з роботи крана непередбачений вплив динамічних навантажень.

## ШЛЯХИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОЇ ТА БЕЗПЕЧНОЇ РОБОТИ СТРІЛОВИХ САМОХІДНИХ КРАНІВ

**Єрмакова С.О.**

*(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)*

Питання надійності та безпечності експлуатації підйомно-транспортних машин є основними проблемами машинобудування. Особливу увагу приділяється вдосконаленню існуючих або створенню нових машин, які б виконували широкий спектр робіт та експлуатація їх була б безпечною та надійною.

Важко уявити роботу промислових підприємств, будівельних майданчиків, судобудівництва та виконання ремонтних робіт без стрілових кранів. Вони виконують навантажувально-розвантажувальні, будівельні та ремонтно-відновлювальні роботи в усіх галузях господарського комплексу України. Переваги використання таких кранів полягають у високій мобільності, маневреності і у виконанні широкого спектру робіт.

У зв'язку з широким застосуванням цих машин, забезпечення безпечної та надійної роботи є однією з головних задач при проектуванні, модернізації та експлуатації кранів. Безпечна експлуатація стрілових кранів залежить від багатьох чинників.

Як показує опит експлуатації, до максимально тяжких наслідків призводить втрата стійкості крану при роботі. Це може призвести до руйнування самої машини без можливості її подальшого відновлення, а також до можливого руйнуванням навколишніх будов і до людських жертв.

Все це свідчить про те, що забезпечення надійної та безпечної експлуатації стрілових самохідних кранів є первинною задачею.

Для забезпечення стійкості стрілових самохідних кранів необхідно особливу увагу приділити взаємодії опорних елементів з ґрунтом; правильному, обґрунтованому вибору параметрів опорних поверхонь аутригерів, в залежності від умов роботи.

Основні параметри опорної поверхні аутригера залежить від допустимої глибини просідання (занурення) і питомого опору занурення, який залежить від фізико-механічних характеристик ґрунту, та фактичного тиску на ґрунт.

Таким чином, глибина занурення виносної опори зростає пропорційно величині фактичного тиску на ґрунт і зменшується при збільшенні коефіцієнта опору тому, що зім'яло і збільшенні площі того, що спирається виносної опори на ґрунт. Виходячи з цього, для забезпечення безаварійної роботи крану на виносних опорах і стабільній роботі на різних ґрунтах необхідно мати змінні опорні елементи, різних розмірів і конструкцій.

В подальших дослідження необхідно розробити практичні рекомендації та обґрунтувати параметри опорних елементів для різних умов роботи на ґрунтах різних фізико-механічних властивостей, що дозволить підвищити рівень безпечності при експлуатації стрілових самохідних кранів.

## МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВЕРСТАТА МОДЕЛІ 1512

**Жуков П.Р., Суботін О.В.**  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Механічне обладнання верстатів і їх металоконструкції мало зношуються в силу того, що вони спроектовані і виготовлені з великим запасом міцності. Це не можна сказати про електронне обладнання, яке навіть в нових верстатах має часті відмови, через що необхідно постійне технічне обслуговування. Виграш в разових витратах на ремонт застарілої елементної бази верстата повернеться великими втратами при експлуатації, постійно оплачуючи дрібний ремонт і додаткові втрати через простой. Отже, відновлювати і ремонтувати застарілі системи приводів недоцільно, а встановлення нового сучасного устаткування з високим рівнем автоматизації буде перспективним рішенням.

Таким чином, дослідження, спрямовані на модернізацію системи керування електроприводом верстата, що сприяють підвищенню якісних показників регулювання технологічних параметрів електроприводу і забезпечують задану точність обробки деталей, є дуже актуальними [1].

Об'єктом дослідження є одностієчний токарно-карусельний верстат моделі 1512.

Мета дослідження - підвищення точності обробки деталі на верстаті шляхом виявлення і усунення недоліків системи керування його електроприводом.

Для досягнення мети вивчені показники і характеристики базового електроприводу, яким є асинхронний двигун, і приводу, що застосовуються в аналогічних технологічних процесах і установках. На підставі аналізу їх переваг і недоліків зроблено висновок, що застосовуваний базовий асинхронний двигун не дозволяє забезпечити необхідні техніко-економічні показники для заданих умов використання [2].

В результаті запропоновано рекомендації щодо вибору електродвигуна і електромагнітної муфти, проведено моделювання електроприводу в програмному середовищі MATLAB. Моделювання проводилося за розробленою математичною моделлю.

Встановлено, що втрата точності при обробці деталей на верстаті було наслідком роботи застарілої системи керування і недоліком в кінематичній схемі верстата. Модернізація системи числового програмного керування верстатом і вибір електромагнітних муфт дали хороші результати. Про це свідчать перехідні процеси роботи модернізованої системи керування електроприводом верстата, які дають кращі показники якості.

**Література:** 1. Еникеев А.Ф. Основы синтеза и проектирования следящих систем станков и промышленных роботов. Учебное пособие / А.Ф. Еникеев, О.В. Суботин. - Краматорск, ДГМА, 2009. - 267с. 2. Плахтина О.Г., Мазепа С.С., Куцик А.С. Частотно-керовані асинхронні та синхронні електроприводи: навч. посібник. - Львів : Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2002. - 227 с.

## **ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ, ЯКОСТІ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ ОБРОБКИ КРУПНОГАБАРИТНИХ ЕВОЛЬВЕНТНИХ ШЛІЦОВИХ ПОВЕРХОНЬ**

**Заковоротний О.Ю., Ключко О.О., Старченко Е.П.,  
Камчатна-Степанова К.В. Анциферова О.А.**  
*(НТУ «ХПІ», м. Харків, Україна)*

Створення конкурентоспроможної продукції машинобудування, а також специфіка її експлуатації вимагає постійного підвищення точності, якості та продуктивності механічної обробки деталей. Гарантування високого рівня цих показників є необхідною умовою технічного прогресу.

Актуальним завданням виробництва крупногабаритних евольвентних шліцевих з'єднань ГОСТ 6033-80 з центруванням по бічних поверхнях зубів є підвищення продуктивності операцій їх обробки при забезпеченні заданої точності і якості деталей. Точність обробки прямо впливає на експлуатаційні показники якості та зносостійкості машин і має значення при збільшенні їх питомих навантажень.

Вирішенням питання підвищення точності, якості та продуктивності виготовлення елементів шліцевих з'єднань є удосконалення технологічного обладнання та впровадження надшвидкісної обробки деталей за одну установку на високоефективному технологічному обладнанні. Метою досліджень є розробка нових технологічних рішень стосовно обробки великогабаритних евольвентних шліцевих з'єднань, спрямованих на підвищення продуктивності, якості та зниження матеріальних і трудових затрат на їх виготовлення.

Для забезпечення якості обробки та складання ЕШЗ розроблені технологічні засоби обробки крупногабаритних евольвентних шліцевих з'єднань з модифікацією зуборізного інструменту черв'ячної фрези для валів та зуборізного довбача для отворів валів.

Застосування такого інструменту дозволяє на етапі чистової обробки виконувати обробку тільки бокових поверхонь шліців. Це значно спрощує схему чистової обробки, підвищує точність та якість поверхні шліцевих з'єднань.

На основі модифікацій аналітичним шляхом визначаються їх різноманітні поєднання необхідні і можливі для кожного конкретного поєднання вихідних параметрів оброблюваної поверхні. Форма і розміри протуберанця зуборізного інструменту залежать від параметрів нарізаної поверхні шліцевого з'єднання [1, 2].

Розрахунок параметрів профільної модифікації черв'ячних фрез створюється профілем рейки фрези, виконаним у вигляді двох прямолінійних ділянок, кожен з яких формує на зубі колеса відповідну евольвенту: основна

ділянка рейки – евольвенту робочого профілю та ділянка протуберанця – евольвенту піднутріння. Тому черв'ячні фрези проектують на основі синтезу основної рейки як для отримання раціонального за формою і величиною припуску під наступну чистову обробку зубчастого вінця, так і для створення заданої кресленням колеса модифікації профілю.

Модифікація профілю колеса біля ніжок виконується по евольвенті, яка називається евольвентою піднутріння [1]. Технологічне піднутріння профілю біля основи зуба колеса, що здійснюється на попередній операції зубофрезерування перед шевінгуванням або шліфуванням профілю зуба, необхідно для вільного виходу інструменту при чистовій обробці. Евольвента піднутріння формується прямолінійною ділянкою профілю оброблюваної рейки (протуберанцем).

Евольвента піднутріння розташовується між двома концентричними колами. Перше коло діаметром  $d_{рш}$  проходить через граничні точки основної евольвенти чистового профілю, виконаного з запасом (перекриттям) активної ділянки. Друга коло діаметром  $d_{рр}$  перетинає чорновий профіль основної евольвенти в граничних точках, виконаних відповідно до креслення колеса без перекриття. Евольвента піднутріння проходить через точки перетину цих кіл з евольвентами чистового і чорнового профілів відповідно.

З метою недопускання підрізу при визначенні діаметра  $d_{рр}$  повинна виконуватися умова  $S_{d_{рш}} > S_{ррs}$ . Якщо ця умова не виконується, то діаметр  $d_{рр}$  збільшують на величину п'яти відсотків від модулю і визначають відповідне йому значення  $S_{d_{рр}}$  яке повинно задовольняти нерівності  $S_{d_{рш}} > S_{d_{рр}}$ . З іншого боку, діаметр кола  $d_{рр}$ , що обмежує ділянку модифікації, не повинен перевищувати діаметра початкового кола  $d_w$ . Таке обмеження зумовлене тим, що кут профілю протуберанця [1, 8, 9, 10] повинен бути менше кута профілю основного ділянки рейки, тобто має виконуватися умова  $d_{рр} < d_w$ .

Розрахунок параметрів профільної модифікації зуборізних довбачів створюється модифікованим зубом довбача, виконаним у вигляді двох евольвентних ділянок з різними профільними кутами вихідного контуру. Контакт різальних кромок з оброблюваним профілем зуба здійснюється за трьома парам ліній зачеплення, які перетинаються в полюсі. Ділянки профілю довбача – основна евольвента і евольвента протуберанця – формують на зубі колеса відповідно евольвентні ділянки – робочого профілю і піднутріння.

**Література:** 1. Інформаційний фонд релевантності конструкторсько-технологічних видів крупногабаритних з'єднань для передачі крутного моменту // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні / Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – Харків: НТУ «ХПІ», 2018. – № 34 (1310) 2018. – С. 77–83. – ISSN 2079-004X. 2. ГОСТ 6033–80 Основні норми взаємозамінності. З'єднання шліцьові евольвентні з кутом профілю 30 °. Розміри, допуски і вимірювані величини. – Замість ГОСТ 6033–51; введ. 01.01.1982. – М.: ПІК Видавництво стандартів, 2005. – 86 с.

## ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ CAD/CAM ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ОРТЕЗІВ СТОПИ (ОРТОПЕДИЧНИХ УСТІЛОК)

<sup>1</sup>Залога В. О., <sup>2</sup>Залога О. О., <sup>3</sup>Веселов А. В., <sup>1</sup>Сивоконь М. Л.

(<sup>1</sup>СумДУ, м. Суми, Україна; <sup>2</sup>СумДУ, СМЦ «ОРТО», м. Суми, Україна,

<sup>3</sup>КУ СОДКЛ, м. Суми, Україна)

Огляд літератури показав, що на сьогодні найпоширенішим з методів консервативного лікування проблем стопи та частин опорно-рухового апарату, що пов'язані зі стопою, є використання індивідуальних ортезів (ортопедичних устілок) стопи та/або спеціального взуття. Використання даних ортезів дає можливість поліпшити самопочуття, зняти втому ніг, у багатьох випадках позбутися таких проблем, як плоскостопість, клишоногість, п'яткові шпори, варусна або вальгусна постановка стоп та ін. Доведено, що використання індивідуальних ортезів є найбільш ефективним при лікуванні багатьох проблем у зв'язку з тим, що вони враховують всі анатомічні особливості та функціональні вимоги окремого пацієнта ще на етапах проектування та виготовлення.

В Україні на даний момент широко використовуються дві технології виготовлення індивідуальних ортезів, а саме: 1) методом термоформування; 2) з використанням CAD/CAM технологій виробництва. Процес виготовлення ортезів стопи методом термоформування полягає в тому, що виконується підбір заготовки відповідно до розміру стопи клієнта, розігрів даної заготовки до температури приблизно 50°C, вигинання розігрітої заготовки відповідно до форми стопи клієнта шляхом навантаження розігрітої заготовки натисненням стопою та внесення (у разі потреби) коректив майстром вручну. Основним недоліком цього методу є те, що він повторює форму стопи клієнта і, за наявності її неправильного положення, підтримує в ньому. Корективи, що при цьому вносяться майстром є приблизними і робляться, образно кажучи, «на око». Враховуючи той факт, що заготовка для виготовлення ортезів методом термоформування зазвичай має товщину 1-2 мм, вона має дуже низькі амортизаційні властивості.

Принцип виготовлення ортезів стопи з використанням сучасних CAD/CAM технологій дозволяє провести точне сканування стопи клієнта в тому анатомічному положенні тіла під навантаженням його ваги, в якому стопа знаходиться під час стояння чи руху. Таким чином, є можливість отримати комп'ютерну тривимірну модель стопи в її реальному положенні (правильному чи неправильному) і за допомогою сучасних засобів моделювання спроектувати необхідну модель ортезу, що буде задовольняти всім вимогам для проведення необхідної корекції як стопи безпосередньо, так і постави в цілому. У зв'язку з тим, що всі етапи виробництва ортезів за даною технологією є комп'ютеризованими, вплив людського фактору майже дорівнює нулю та є можливість спрогнозувати вплив ортезу на опорно-руховий апарат клієнта ще

на етапі проектування. Основні переваги та недоліки кожного з методів представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняння методів виготовлення індивідуальних ортезів

Метод виготовлення	Переваги	Недоліки
<b>Термоформування</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Відносно велика швидкість виготовлення - від замовлення до передачі замовнику від 15 хв.</li> <li>2. Відносно невелика вартість виготовлення</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Низька точність розмірів та форми</li> <li>2. Низька зносостійкість (термін придатності)</li> <li>3. Значний вплив людського фактору</li> <li>4. Обмежені варіанти конструкцій ортезів</li> </ol>
<b>З використанням CAD/CAM технологій</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Висока точність виготовлення (розмірів та форми)</li> <li>2. Можливість вносити корективи на етапі проектування</li> <li>3. Необмежені можливості проектування конструкцій ортезів</li> <li>4. Мінімальний вплив людського фактору</li> <li>5. Високий термін придатності</li> <li>6. Гарні амортизаційні властивості</li> <li>7. Використання сучасних матеріалів сертифікованих для виробництва вкладних устілок (ортезів)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Відносно велика вартість виготовлення</li> <li>2. Відносно невелика швидкість виготовлення - від замовлення до передачі замовнику від 2 діб</li> </ol>

Таким чином, можна зробити висновок, що при порівнянні двох технологій виготовлення індивідуальних ортезів стопи (ортопедичних устілок) метод з використанням сучасних CAD/CAM технологій має набагато більше переваг та можливостей проектування форми і забезпечує кращу точність, а, як наслідок, гарні результати в лікуванні та поліпшенні стану та самопочуття. У зв'язку з цим постає питання високошвидкісної обробки пластичних композитних матеріалів.

## **ADVANTAGES OF USING CAD/CAM TECHNOLOGIES FOR THE MANUFACTURE OF CUSTOM ORTHOTICS (ORTHOPAEDIC INSOLES)**

**Prof. Zaloga Villiyam** (SSU, Sumy, Ukraine),  
**phd Zaloha Olha** (SSU, Sumy, Ukraine), **med. doc. Veselov Andrii** (SRCCH, Sumy, Ukraine), **Syvokon Maksym** (SSU, Sumy, Ukraine)

*The article considers the use of different technologies for the production of custom orthotics. The advantages and disadvantages of various technologies and their analysis are considered.*

## РОЗРОБКА ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАГОТОВОК ТОВСТОСТІННИХ ТРУБ БЕЗ ОПРАВКИ

<sup>1</sup>Іванова Ю.О., <sup>2</sup>Маркова М. О., <sup>2</sup>Житніков Р. Ю.

(<sup>1</sup>ПрАТ «НКМЗ» м. Краматорськ, Україна; <sup>2</sup>ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Важливою задачею для розвитку важкого машинобудування є підвищення якості та зниження витрат на виробництво деталей відповідального призначення. До таких деталей відносяться товстостінні труби. Пустотілі поковки типу труб потрібно виготовляти куванням на конічній оправці. На сьогодні товстостінні труби виробляються з суцільних заготовок із використанням операції висвердлювання отвору. Як результат, підвищується тривалість виготовлення труб за рахунок значної механічної обробки та підвищуються витрати металу. Це викликано з тим, що при куванні довгомірних труб з довжиною більш 3000 мм та діаметру отвору менше 300 мм використання ковальської оправки під час деформування неможливо. Тому проблема виготовлення заготовок товстостінних труб на сьогодні залишається актуальною, яка потребує удосконалення.

Мета роботи – інструменту для виготовлення товстостінних труб без використання оправки для зменшення часу та витрат металу при механічній обробці.

Для проведення експериментальних досліджень були спроектовані та виготовлені спеціальні вирізні бойки з випуклими крайками (кут вирізу  $\alpha = 120^\circ$  і довжина горизонтальної полиці 0,1 від діаметра заготовки  $D$ ), матеріал бойків – сталь 30. Паралельність деформуючого інструменту забезпечувалась штамповим пакетом. Для даної геометрії інструмента в процесі протягування на поверхні поковки не утворюються затиски та метал плине інтенсивніше вздовж осі. По закінченню процесу кування поковка має поверхню, близьку до циліндричної.

За результатами досліджень встановлено ефективні геометричні параметри деформуючого інструменту для протягування труб без оправки. Запропоновано новий інструмент для виготовлення пустотілих заготовок, які йдуть на виготовлення довгомірних товстостінних труб з діаметром отвору менш 300 мм. Раніше такі вироби виготовлялись з суцільних заготовок свердленням, що потребувало значного часу на механічну обробку та збільшені витрати металу. Запропонований спосіб дозволяє виключити використання спеціальних оправок з жароміцної сталі. Встановлені в роботі рекомендації по геометричним параметрам інструменту є важливими науково-технічними напрацюваннями, які можна використовувати в теорії і технології процесів виготовлення пустотілих поковок без оправки.

**Література:** 1. Sizek, H. W. Radial Forging. Metalworking: Bulk Forming. 2005. P. 172–178. 2. Ghaei A., Movahhedy M.R., Karimi Taheri A. Finite element modelling simulation of radial forging of tubes without mandrel. Materials & Design. 2008. № 29. P. 867–872.



## ГЕНЕРАТИВНИЙ ДИЗАЙН ТА АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ

**Іванов Д.Є., Барандич К.С.**

*(НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна)*

Генеративний дизайн – підхід до проектування виробу, при якому людина делегує частину процесів комп'ютерним технологіям і платформам [1]. Інженер безпосередньо не шукає рішення поставленої задачі, а описує її параметри і обмеження програмі, після чого та створює (генерує) варіанти рішення, які формують бачення виробу [2].

Генеративні системи напівавтоматично створюють і первинно відбирають варіанти рішень, що змінює характер взаємодії людини з системою. Генеративні технології є зразком ефективного інтегрування останніх досягнень матеріалознавства, інформаційних, лазерних, іонно-плазмових та інших наукоємних технологій, а також теорії управління, оптимізації технологічних процесів і конструкцій, сучасних технологій лиття тощо. Ці технології затребувані в галузях, де є потреба в зниженні маси виробу, наприклад – в аерокосмічній, військовій промисловості, суднобудуванні, медицині тощо.

Однією з відомих систем промислового дизайну є Autodesk Dreamcatcher, яка дозволяє вирішувати прикладні завдання конструювання і проектування з урахуванням різних вимог до матеріалів, способу виробництва, ефективності: користувач завантажує вимоги до конструкції виробу, система знаходить безліч алгоритмічно синтезованих рішень і пропонує їх користувачеві для оцінювання або коригування завдання [3].

Адитивні технології (3D-друк) – одна з форм технологій адитивного виробництва, де тривимірний об'єкт створюється шляхом накладання послідовних шарів матеріалу (друку, вирощування) за даними цифрової моделі. Друк здійснюється спеціальним пристроєм – 3D-принтером, який забезпечує створення фізичного об'єкта шляхом послідовного накладання пластичного матеріалу на основі 3D-моделі. Найбільшого поширення в застосуванні отримало 5 технологій: SLA технологія – стереолітографія; SLS – селективне лазерне спікання; MJM – метод наплавлення; DLP технологія наплавлення; FDM – пошарове укладання полімеру.

На ринку представлено низку різних за конструкцією і використовуваною технологією обладнань 3D-друку, а також вихідних матеріалів для друку. Найпопулярніший матеріал – ABS пластик, з якого виготовляють більшість прототипів виробів, і PLA – біорозкладний пластик. Крім того, використовуються спеціальні види пластиків, які розчиняються у воді (PVA) або спеціальному розчиннику і застосовуються для друку допоміжних структур. 3D-принтери, як правило, дозволяють швидше виконати виготовлення деталей, мають помірну вартість, прийнятну навіть для невеликих підприємств і прості в освоєнні та експлуатації, ніж інші технології адитивного виробництва. Використання генеративного дизайну і 3D-принтерів може якісно

змінити продукцію приладобудування, машинобудування, будівництва та інших галузей, але потрібні САПР, що забезпечують їх інтеграцію в звичайний процес проектування. Siemens PLM Software створила таку САПР для машинобудування, як Solid Edge ST10 [4].

Це перша САПР, що дає можливість в повній мірі використовувати переваги генеративного дизайну і адитивних технологій. Особливий інтерес представляє оптимізація форми та конструкції виробів, що приносить швидкий ефект у вигляді економії матеріалів і енергоресурсів, а також збільшення продуктивності. Рішення, отримане в результаті геометричної оптимізації, можна відразу ж відправити на 3D-друк, але функціонал Solid Edge ST10 цим не обмежується. У десятій версії вперше застосовується технологія об'єднаного моделювання, що дає можливість редагувати продукт генеративного дизайну.

Таким чином, Solid Edge ST10 не просто забезпечує застосування якісно нової технології генеративного моделювання, але ще і пропонує зручну можливість модифікації результату. Комп'ютерна оптимізація геометрії виробів дає незвичайні варіанти геометрії. Вона дозволяє знизити їх вагу без погіршення характеристик міцності, оптимізувати витрати матеріалу, відповідно знижуючи вартість виробу. Однак при цьому відразу ж виникає питання про технологічність виготовлення продукту.

Маючи оптимізовану модель можна переконатися в непридатності традиційних способів виготовлення деталей, таких як обробка металів різанням, тиском. Єдиний спосіб, окрім адитивних технологій, за допомогою якого можна виготовити деталі такої складної форми – лиття. Але він досить затратний з точки зору використання енергоносіїв, а також має високу вартість.

Ефективне використання адитивних технологій та технологій комп'ютерного інжинірингу, включаючи оптимізацію, дозволяє створювати оптимальні за різними експлуатаційними характеристиками (вага, жорсткість, міцність, вібраційні характеристики, довговічність тощо) і якістю виробу, машини та конструкції нового покоління, причому – проектувати, виготовляти і виводити продукцію на ринок в гранично короткий термін.

**Висновок.** В роботі наведеного аналізу є аналіз можливості використання технологій генеративного дизайну для вдосконалення конструкції деталей приладів та забезпечення їх експлуатаційних характеристик.

**Література:** 1. Канягин В.Н. Промышленный дизайн Российской Федерации: возможность преодоления дизайн-барьера. – Издательство Политехнического университета, 2012. – С. 37. 2. Метелик Т.С. Генеративный метод проектирования и способы его реализации в графическом дизайне // Бизнес и дизайн ревю : журнал. – 2017. – Т. 1, № 2(6). – С. 11. 3. Дизайн: от создания вещей к проектированию будущего [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://design-thinker.livejournal.com/52932.html>. 4. Генеративный дизайн: на пороге новой эпохи проектирования [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://habr.com/company/nanosoft/blog/345500/>

## ДОСЛІДЖЕННЯ НАЦІОНАЛЬНОГО ЗАКОНОДАВСТВА ЩОДО РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОГРАМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В ПРОМИСЛОВІСТІ УКРАЇНИ

**Івченко О.В., Дмитрієва Н.В., Залога О.О., Чучук Т.Є., Дегтяренко О.Г.**  
(СумДУ, м. Суми, Україна)

Україна є Договірною Стороною Угоди про заснування Енергетичного Співтовариства, тому взяла на себе зобов'язання прийняти напрацьовану базу законодавства ЄС у сфері енергетики і пов'язаних галузях. Директиву 2012/27/EU було прийнято для забезпечення досягнення на 2020 рік цільового показника енергоефективності ЄС та для створення основи подальшого розвитку концепції та ефективності енергозбереження.

Аналіз структури споживання енергії в Україні, наприклад електроенергії рис. 1, вказує на питому вагу національного промислового комплексу в заходах з енергозбереження.

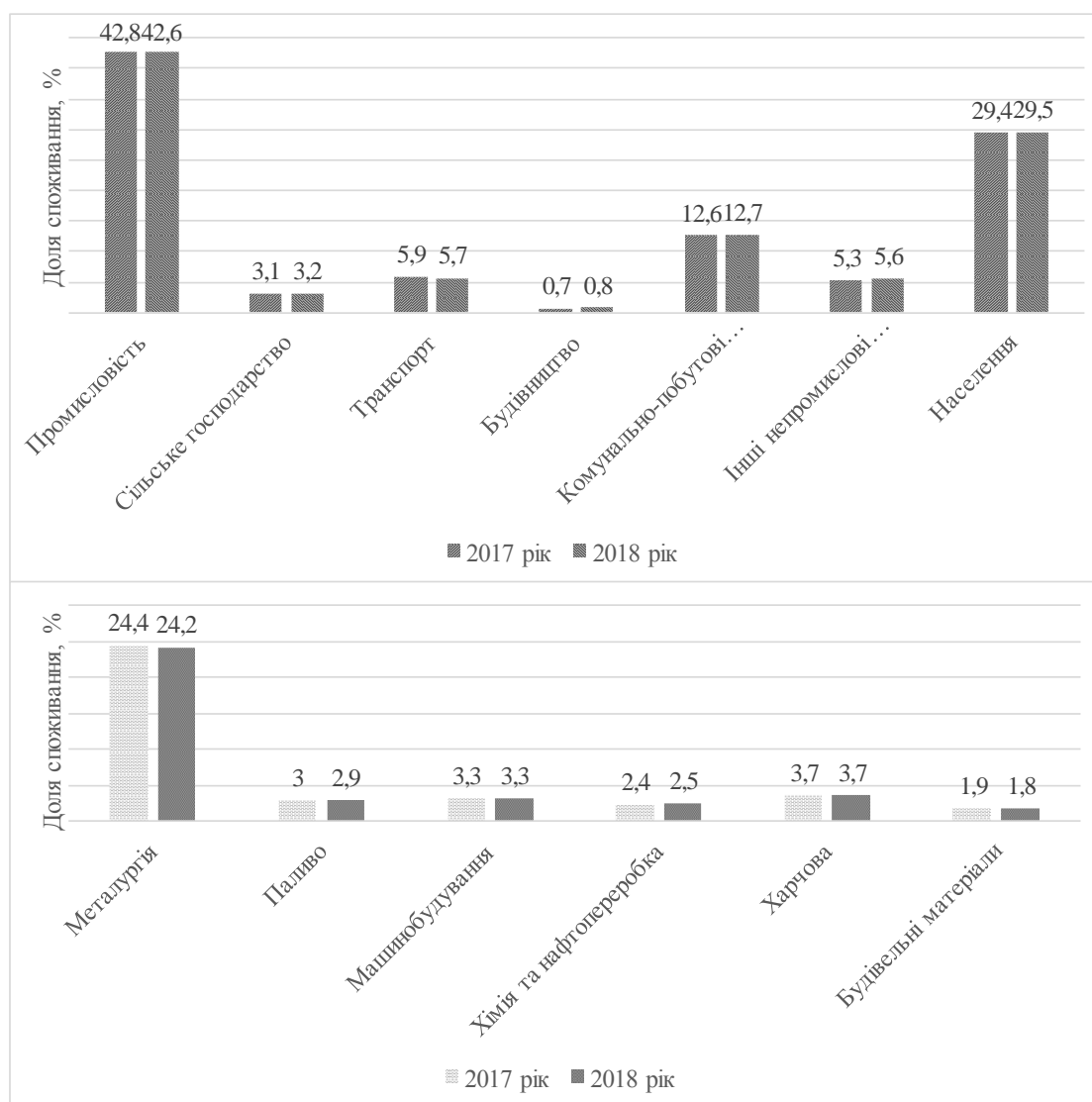


Рис. 1. Структура споживання електроенергії в Україні за 2017–2018 рр.:  
а) загальне споживання; б) за категоріями промисловості

Основними механізмами реалізації політики енергоефективності, в тому числі в промисловості, є: регулятивні норми, нормативно-правові акти, інформаційні, економічні, адміністративно-контрольні механізми, державний контроль та нагляд та ін. Досвід європейських країн свідчить, що впровадження політики енергоефективності вимагає змін на рівні управлінських рішень шляхом впровадження систем енергетичного менеджменту відповідно до стандарту ISO 50001. Прикладам може слугувати Чеська Республіка, в якій енергоаудит є обов'язковим до проведення кожні 4 роки для великих підприємств крім випадків коли вони мають існуючу і сертифіковану систему енергетичного або екологічного менеджменту (на основі стандартів ČSN EN ISO 50001, ČSN EN ISO 14001). В той же час у чеському законодавстві немає визначення терміну «великі підприємства», тому під ними розуміють підприємства, які не є МСП – відповідно до визначення ЄС 2003/361/ЄС (компанії, що мають більше 250 працівників і обіг понад 50 млн. євро та/або суму річного балансу більше 43 млн. євро).

Для реалізації програми енергозбереження та енергоефективності в Україні прийнятий ряд законодавчих актів, основною метою яких є досягнення максимально ефективного використання природних енергетичних ресурсів і потенціалу енергетичного сектора для стійкого росту економіки, підвищення якості життя населення країни та зміцненню її зовнішньоекономічних позицій. Нормативно-правову базу сфери енергоефективності складають 15 законів України та понад 150 нормативно-правових актів. Але на жаль на цей час досить не прийнято законодавство щодо реалізації програми енергозбереження та енергоефективності в промисловості України.

Висока питома енергоємність національної економіки знижує конкурентоспроможність товаровиробників, вимагає додаткових фінансових витрат на енергозабезпечення країни, обумовлює наявність значного обсягу викидів шкідливих речовин в навколишнє середовище, а також збільшує витрачання невідновлюваних природних паливних ресурсів, особливо вуглеводнів. Як показує досвід зарубіжних країн, одним із дієвих і малозатратних механізмів державного, корпоративного і громадського регулювання для зниження енергоємності економіки є введення стандартів енергоефективності та маркування різних видів товарів за показниками енергоспоживання (маркування енергоефективності). Енергетична ефективність – це ключовий пункт європейської стратегії «Європа 2020», спрямованої на створення умов для стійкого і всеосяжного зростання та розвитку. Це один з найбільш економічно ефективних способів підвищення енергетичної безпеки та скорочення викидів парникових газів та інших забруднюючих речовин. В рамках цієї стратегії Євросоюз ставить за мету скоротити на 20 % споживання первинних енергетичних ресурсів до 2020 року. [1]

**Література:** 1. Сеппанен О. «Повышение энергоэффективности. Законодательство ЕС [Електронний ресурс] // Здания высоких технологий. URL: [http://zvt.abok.ru/articles/80/Povishenie\\_energoeffektivnosti\\_Zakonodatelstvo\\_ES](http://zvt.abok.ru/articles/80/Povishenie_energoeffektivnosti_Zakonodatelstvo_ES) (Дата звернення: 20.02.2019).

## ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ І ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ З КРИХКИХ НЕМЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ

**Калафатова Л.П., Рева О.О.**  
(ДНТУ, м. Покровськ, Україна)

Використання тонкостінних складнопрофільних оболонок із важкооброблюваних крихких неметалевих матеріалів (КНМ) – ситалів, конструкційної кераміки, як елементів ракетної та авіатехніки, обумовлює ряд технічних вимог щодо точності їх профілю, якості оброблених поверхонь – рівня шорсткості і практично повної відсутності дефектного поверхневого шару, викликаного обробкою, який негативно впливає на експлуатаційні характеристики деталей.

Забезпечення заданих властивостей виробів закладено в технологічний процес виробництва на всіх його етапах від отримання заготовки до механічної обробки, яка здійснюється методом багатоступінчастого алмазного шліфування (чорнового і чистового з наступною доводкою алмазними брусками). Вхідні параметри технологічного процесу впливають на глибину і структуру поверхневого, порушеного обробкою шару виробів. В процесі досліджень удосконалені підходи щодо забезпечення високої якості виробів із КНМ при обґрунтуванні раціональних умов їх обробки: належного верстатного обладнання, схем і режимів шліфування, характеристик інструментів, які дають можливість комплексного технологічного керування точністю обробки і дефектністю сформованої поверхні за рахунок зміни рівня силового впливу на неї при різанні.

Встановлено, що при шліфуванні великогабаритних порожнистих деталей – оболонок із КНМ виникають коливання двох видів: вимушені і автоколивання. Причини появи вимушених коливань це зовнішні збурення системи ВПД, викликані дисбалансом елементів верстату, оброблюваної заготовки, інструменту, а також недостатньою жорсткістю пристосувань, в тому числі системи копіїв, що забезпечують переміщення алмазної шліфувальної головки поздовж заготовки згідно з профілем деталі, як це відбувається в умовах виробництва. Автоколивання – це вібрації, що викликані самозбудженням коливань усередині самої системи різання і відбиваються на якості поверхневого шару деталі внаслідок зміни умов контакту алмазних зерен інструменту, з поверхнею, що формується.

Було запропоновано змінити принцип обробки оболонок за рахунок використання сучасних верстатних систем з ЧПК, які дозволяють відмовитися від принципу використання копіїв для формоутворення виробу і підвищити жорсткість системи. При цьому можливо використати технологічні засоби зменшення коливань, вібрацій, динамічних навантажень у технологічній системі. Останнє дозволяє зменшити зусилля різання, направлені на поверхню, що формується, стабілізувати динаміку процесу і через це зменшити глибину і покращити структуру порушеного обробкою шару.

Автоматизація процесів механічної обробки деталей складного профілю з КНМ позитивно відіб'ється на їх загальній трудомісткості і дозволить повністю відмовитися від операції ручної доробки, яка в умовах виробництва займає значну частину технологічного процесу і залежить від кваліфікації верстатника.

## ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ВАЖКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

**Калініченко В. В.**

*(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)*

Токарна обробка деталей важкого машинобудування відрізняється високим рівнем енерговитрат. Разом з тим, раціональна експлуатація дорогих важких токарних верстатів вимагає високої енергоефективності обробки.

Підвищення енергоефективності механічної обробки деталей може здійснюватись за рахунок зниження енерговитрат у зоні різання або за рахунок зниження втрат енергії у приводі головного руху (ПГР) верстата [1].

У ПГР сучасних важких токарних верстатів здебільшого вже передбачені відповідні енергоефективні технічні рішення. Тож перспективнішим шляхом підвищення енергоефективності токарної обробки на важких верстатах буде зниження енерговитрат у зоні різання за рахунок використання енергоефективних умов обробки [1]. Забезпечити енергоефективні умови токарної обробки деталей важкого машинобудування можна за рахунок:

- оптимізації режимів різання за критеріями, пов'язаними з величиною питомих енерговитрат у зоні різання;
- зниження силового навантаження у зоні різання за рахунок використання різальних інструментів зі зносостійким покриттям;
- зниження силового навантаження у зоні різання за рахунок полегшення умов деформації оброблюваного матеріалу при введенні до матеріалу заготовки додаткової енергії.

При реалізації першого напряму енергетичні критерії можуть бути запропоновані у якості єдиного критерію оптимізації у моделі процесу обробки, або враховані при призначенні комплексного критерію оптимізації.

Проблемою реалізації другого напряму в умовах високоенергомісткої чорнової та напівчистої токарної обробки на важких верстатах є невисокі показники працездатності твердосплавного інструменту з покриттям, зумовлені значною часткою крихкого руйнування у структурі відмов інструменту. Відтак, постає проблема підвищення характеристик об'ємної міцності твердого сплаву.

Третій напрям може бути реалізований, зокрема, при обробці деталей важкого машинобудування за схемою електромеханічного точіння, що забезпечує зниження сил різання на 25–40 % [2].

**Література:** 1. Калініченко, В. В. Перспективні напрями забезпечення енергоефективності токарної обробки у важкому машинобудуванні / В. В. Калиниченко, А. О. Кравченко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ, вип. № 40, 2017. – С. 319–324. 2. Гавриш А. П. Технологическое обеспечение точности обработки деталей тяжелого машиностроения электротехнологическими методами / А. П. Гавриш, Т. В. Кухтик, С. Г. Онишук, И. А. Шевченко, Т. А. Соломко // Надежность режущего инструмента и оптимизация технологических систем. Сб. статей. В 2-х т. Т. 1 / Предс. редсовета Г. Л. Хаег. – Краматорск: ДГМА, 1997. – С. 245–249.

## ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ І ВИКОРИСТАННЯ ПОРОШКОВОГО ДРОТУ СКЛАДНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

**Кассов В.Д., Кабацький О.В., Бережна О.В., Малигіна С.В., Гончаров В.С.**  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

У практиці наплавних робіт з використанням порошкових дротів для збільшення показників продуктивності наплавлення можливе використання дротів, що мають діаметр до 5-6 мм. Однак при цьому значно знижується жорсткість дроту, підвищується можливість прокидання шихти, а також погіршуються характеристики горіння дуги і перенесення електродного металу.

Метою представлених досліджень є вдосконалення технології зносостійкого наплавлення порошковим дротом складної конструкції. Дріт запропонованої конструкції виготовляється шляхом згортання трубки із сталеві стрічки з введенням в неї легуючої шихти і зварювального дроту. Використання дроту сприяє збільшенню жорсткості і підвищенню якості наплавлення тим, що замінює залізний порошок в порошковому дроті. При цьому краплі електродного металу формуються на дроті, що також призводить до повного розплавлення шихти, кількість якої зменшено на 10% за рахунок виключення залізного порошку. Введення дроту також сприяє зменшенню вмісту в металі водню і неметалічних включень, підвищенню продуктивності наплавлення.

Розглянутий варіант конструкції дроту реалізований при розробці технології наплавлення робочих поверхонь деталей, що працюють в умовах інтенсивного зносу. Процес наплавлення здійснювався зазначеним дротом діаметром 5 мм під шаром флюсу. Для підвищення механічних властивостей металу і його стійкості проти тріщин здійснювалося модифікування наплавленого металу магнієм, який додавали у вигляді магнієво-алюмінієвого лігатури (в кількості 5-8%) для запобігання вигорання магнію, а також для полегшення дроблення і розмелювання. Обрана конструкція дозволяє підвищити якість, технологічність, продуктивність, як при виготовленні дроту, так і при виконанні наплавлення.

Застосування порошкового дроту обраної конструкції і складу при наплавленні зносостійкого поверхні дозволило отримати наплавлений метал зі сприятливою структурою, а також зниженим вмістом шкідливих домішок. Все це сприяє підвищенню пластичних властивостей і ударної в'язкості металу, стійкості до утворення гарячих тріщин. Підвищується також жароміцність металу за рахунок очищення меж зерен від легкоплавких шкідливих домішок сірки, свинцю, олова, оксидів та інших сполук. Випробування також показали, що досліджувані порошкові дроти мають також досить високі зварювально-технологічні характеристики: відмінне формування шва, добре відділення шлакової кірки.

Результати досліджень дозволяють рекомендувати використання розглянутого порошкового дроту на виробництві при наплавленні робочих поверхонь зношених деталей.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ МЕТЧИКОВ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ ИМПУЛЬСНОЙ МАГНИТНОЙ ОБРАБОТКОЙ

**Кинденко Н. И.**

*(ДГМА, г. Краматорск, Украина)*

Проблема износостойкости и долговечности металлообрабатывающего инструмента приобрела в машиностроении чрезвычайно большое значение.

Улучшение качества инструментов принципиально можно достичь легированием материала, а также применением всех известных механизмов объёмного упрочнения при термической обработке. Дорогостоящие методы объёмного упрочнения не могут быть оправданы в связи с тем, что причины отказов инструментов чаще всего связаны не с их поломкой, а с утратой ими своей первоначальной поверхностной конфигурации вследствие износа, сколов, смятия, растрескивания, т.е. в связи с разрушением или деформацией тонких поверхностных слоёв металла.

Одним из основных направлений физической технологии является магнитная обработка материалов. При магнитном воздействии вещество изменяет свои физические и механические свойства.

Первопричиной улучшения эксплуатационных характеристик осевого инструмента, подвергнутого магнитной обработке, является изменение свойств инструментального материала. Оно происходит за счёт магнитострикционного упрочнения быстрорежущей стали, что выражается в повышении её теплостойкости [1].

Установлено, что воздействие импульсных магнитных полей на осевой инструмент из быстрорежущих сталей является эффективным только при определённых (оптимальных) режимах магнитной обработки (напряженности магнитного поля, времени обработки инструмента и времени выдержки после обработки) [2].

Показано, что при надлежащей технологической культуре заточных операций они практически не снижают тот дополнительный резерв стойкости, который получен в результате магнитной обработки. Эффект магнитной обработки инструмента не связан с его магнитным состоянием. Режущий инструмент должен иметь после магнитной обработки остаточную намагниченность, близкую к нулю, т.к. в противном случае, интенсивно налипающая стружка обрабатываемого материала затрудняет процесс резания и снижает стойкость инструмента.

Установлено, что оптимальные режимы магнитной обработки, при которых достигается наибольшее повышение стойкости режущего инструмента и максимальное улучшение свойств инструментального материала совпадают.

В результате магнитной обработки быстрорежущая сталь претерпевает объёмное упрочнение, дисперсионное твердение, становится более однородной по структуре и улучшает свои физико-механические свойства.

**Литература:** 1. Кинденко Н. И. О физической сущности процесса магнитной обработки осевого инструмента из быстрорежущей стали // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. - Краматорськ, 2010. - Вип. 26. - С. 203-208. 2. Кинденко Н. И. Повышение надежности быстрорежущего инструмента, подвергнутого комплексному упрочнению // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. - Краматорськ, 2011. - № 2 (23). - С. 168-173.



## ЯКІСТЬ ПРОЦЕСУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗБІРНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Клименко Г.П., Курінний Д.С., Євдовський О.Д.

(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Оцінка рівня якості процесу – це відносна характеристика його якості, ґрунтована на порівнянні оцінюваних значень показників якості процесу з базовими. Оцінка рівня якості процесу експлуатації інструменту здійснюється за допомогою методів прикладної кваліметрії, завданнями якої є розробка конкретних методик оцінки якості об'єктів різного виду і призначення.

Нині основні принципи кваліметрії узаконені стандартами ISO 9000, відповідно до яких дані визначення показників якості.

**Якість процесу експлуатації** – це здатність сукупності властивостей процесу виконувати вимоги виробництва, що пред'являються до нього.

Оцінка рівня якості експлуатації інструменту може здійснюватися для окремих видів інструменту, для робочого місця, ділянки, цеху, для підприємства в цілому та інше.

При виборі властивостей, що характеризують процес експлуатації, необхідно аналізувати їх кількість, номенклатуру, взаємозв'язки і структуру.

Властивості, що становлять якість процесу експлуатації інструменту, мають складний взаємозв'язок і є системою. Зв'язки між властивостями настільки складні, що їх кількісний аналіз ускладнений. Структуру властивостей доцільно упорядкувати у вигляді ієрархічного дерева. Ієрархічне дерево будується за певними правилами.

Для оцінки якості експлуатації різального інструменту складалася структурна схема усіх найбільш важливих властивостей, що характеризують цей процес. Якість процесу експлуатації, як найбільш узагальнена комплексна властивість процесу, розглядається на найвищому рівні структурної схеми, а складові його – нижче.

Рівень якості експлуатації (розглянутий на рівні  $j+1$ ) дорівнює

$$R_e^{j+1} = \sum_{i=1}^n K_i^j \cdot B_i^j$$

де  $B_i^j$  – вагомість  $i$  властивості на  $j$ -му рівні аналізу;

де  $K_i^j$  – оцінка комплексної  $i$  властивості на  $j$ -му рівні аналізу;

Розроблено алгоритм комплексної оцінки рівня якості експлуатації різального інструмента, який дає змогу визначити рівень якості в 2 етапи.

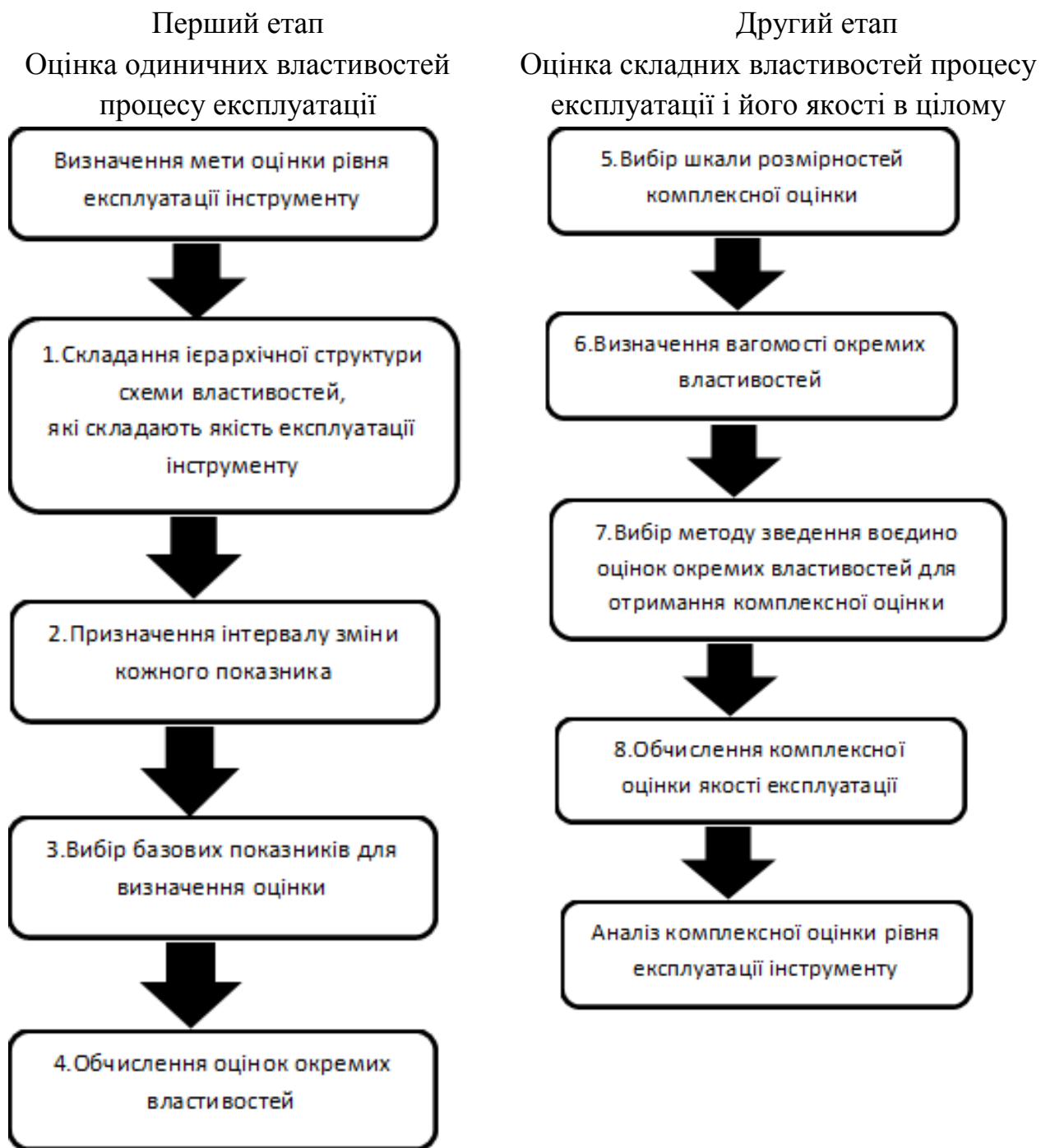


Рис. 1. Алгоритм комплексної оцінки рівня якості експлуатації різального інструмента

Розроблено алгоритм комплексної оцінки якості інструменту (рис 1.), використання якого для умов конкретного виробництва дозволяє знайти резерви підвищення якості інструментозабезпечення.

## ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

**Клименко С.А., Копейкина М.Ю.**

*(ІНМ імені В.М. Бакуля НАН України, м. Київ, Україна)*

Тенденція вдосконалення технічних систем полягає у намаганні досягти максимального результату за мінімальних витрат. У технологіях фінішної механічної обробки деталей максимальний результат пов'язаний не лише з продуктивністю знімання матеріалу припуску, а й з необхідністю формування в поверхневих шарах виробу стану, який би якнайкраще відповідав вимогам експлуатації виробу. Досягти максимального результату можна такими шляхами: – збільшенням зони взаємодії інструменту з виробом; – підвищенням інтенсивності взаємодії інструменту з виробом; – забезпеченням узгодженості дії параметрів технологічної системи «верстат-деталь-інструмент»; – максимальним використанням ресурсів системи. Це реалізується при обробці з високою швидкістю різання, що сприяє мінімізації технологічної собівартості процесу та отриманню виробів високої якості, та без застосування МОТС, що знижує екологічне навантаження і зменшує витрати на виробництво, обробці матеріалів у зміцненому стані з використанням різальних інструментів зі змінними різальними пластинами і захисними покриттями.

При цьому перспективи розвитку технологій механічної обробки, на наш погляд, пов'язані насамперед з такими напрямками: – вдосконалення теорії механічної обробки на основі уявлень про закономірності процесів у «цифровому» відображенні з використанням можливостей доповненої і віртуальної реальностей; – створення комп'ютеризованої системи вибору матеріалу інструменту для механічної обробки з урахуванням структурного стану матеріалу виробу; – розширення гами композитів і покриттів для оснащення інструментів, які здатні адаптуватися до умов навантаження в зоні обробки і мають функціонально-орієнтовані властивості, що відповідають різному експлуатаційному навантаженню в інструменті; – розроблення «інтелектуальних» інструментів, здатних до самодіагностики поточного стану з використанням предиктивної аналітики; – розширення номенклатури виробництва інструментів, у тому числі багатолезових з надтвердими композитами, різців з великих монокристалів синтетичного алмазу, правлячих інструментів з CVD-алмазами; – розроблення 3D-технологій формоутворення складнопрофільного інструменту.

Слід зазначити, що вже створені і перспективні інструменти, призначені для механічної обробки деталей, стимулюють розвиток ключових галузей промисловості. Вони відкривають можливості для використання в машинах найсучасніших конструкційних матеріалів з поліпшеними механічними властивостями, потребують створення верстатів принципово нових конструкцій зі значно вищою продуктивністю і точністю.

Перспективна мета – відповідність створюваних технологій механічної обробки концепції «Індустрія-4.0».

## МЕХАТРОННЕ ПРИСТОСУВАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС МЕТОДОМ ОБКОЧУВАННЯ НА УНІВЕРСАЛЬНИХ ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТАХ

**Клочко О. О.; Іванченко В. В.**  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Нарізання зубчастих коліс черв'ячними фрезами виконується на зубофрезерних верстатах, які дозволяють виготовляти циліндричні зубчасті колеса з прямими і косими зубцями, черв'ячні колеса, шліцові вали, храпові колеса, зірочки роликкових ланцюгових передач та інші деталі.

Зубофрезерні верстати є спеціалізованим обладнанням високої складності та вартості, не кожне підприємство може собі дозволити придбати зубофрезерний верстат у ремонтних цілях. У випадку серійного виробництва це буде раціонально, але в ремонтно-механічний цех з обмеженими фінансами та робочою зоною купувати зубофрезерний верстат економічно не доцільно, або неможливо фінансово. На універсальних верстатах можливо нарізати зубчасті колеса методом копіювання, але для метода копіювання потрібен інструмент котрий повторював би впадину зуба, проблема в тім що для коліс однакового модуля з різною кількістю зубів форма впадини різна. Для того, щоб нарізати зубчасті колеса одного модуля з кількістю зубів від 16 до 100 потрібен комплект дискових модульних фрез мінімум із 9 шт. ( по класам точності 3кл.- 9 фрез; 2кл.- 18 фрез; 1кл.- 27 фрез на один модуль, а модулів від 1 до 10 понад 30 штук, які у сумі складають 810 фрез.)ще одна проблема полягає у тому, що на ділильній головці кожен зуб потрібно повертати в ручну, що підвищує вірогідність браку в наслідок помилок оператора.

Спосіб вирішення проблеми: розробити мехатронне пристосування котре дозволить на звичайному вертикально- фрезерному верстаті або горизонтально-фрезерному верстаті оброблювати циліндричні, прямозубі, косозубі та черв'ячні зубчасті колеса, по методу обкату (черв'ячними модульними фрезами).

Пристосування представляє собою: ділильну головку з власним сервопривідом та з вимірювальним датчиком зворотного зв'язку. На шпindel верстата та на ходові гвинти поздовжньої та поперечної подачі також встановлюються датчики зворотного зв'язку, усі датчики зв'язуються з мікроконтролером котрий за певним алгоритмом оброблює сигнал з датчиків та керує приводом ділильної головки, він погоджує обертання шпинделя (черв'ячної фрези) с обертанням заготовки по методу обкату, якщо нарізуються косозубі колеса то додатково погоджується обертання заготовки з поздовжньою подачею. При нарізанні черв'ячних коліс методом тангенціальної подач – погоджується обертання шпинделя с обертанням заготовки та поперечною подачу. Перевагою даного приладу є по-перше технічна простота, низка вартість, універсальність і те що внутрішні кінематичні зв'язки при формоутворенні реалізуються програмним шляхом котрі легко змінювати та перебудовувати під більш складні завдання.

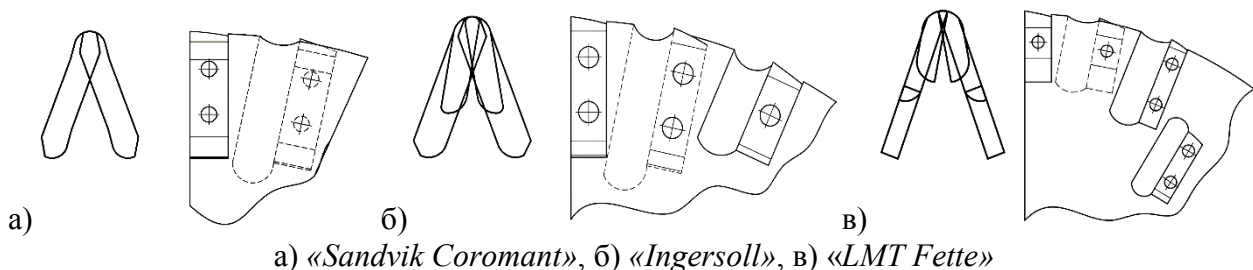
## ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ЧЕРВ'ЯЧНИХ ФРЕЗ ДЛЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ПІД ПОДАЛЬШЕ ЗУБОШЛІФУВАННЯ

<sup>1</sup>Клочко О.О., <sup>2</sup>Охріменко О.А.,

(<sup>1</sup>НТУ «ХП», м. Харків, Україна;

<sup>2</sup>НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна)

Зубошліфування зубчастих коліс на даний час, є найпоширенішою операцією фінішної обробки зубчастих коліс. Особливістю таких коліс, що попередньо профіль зубчастого колеса формується так, щоб забезпечити необхідний припуск матеріалу на операції зубошліфування, при чому за звичай обробляється шліфуванням тільки бічна сторона зуба, западина і перехідна крива не обробляються. Відповідно для цього формується профіль зубчастого колеса з так званою «викружкою», який на відміну від стандартного профілю зубчастого колеса, формується вихідною інструментальною рейкою з «протуберанцем», що унеможливує виготовлення таких зубчастих коліс інструментом в основу якого покладено стандартний вихідний контур, це значно ускладнює конструкцію такого інструмента. Особливо це стосується черв'ячних фрез для крумомодульних зубчастих коліс, які зазвичай обробляються збірним інструментом і відповідно при його проектуванні є необхідність відтворення вихідного інструментального контуру з «протуберанцем», що ускладнює цей інструмент та збільшує його вартість. Способи реалізації вихідного контуру з протуберанцем пластинами різної форми, від відомих виробників цього інструменту показано на рис.1.

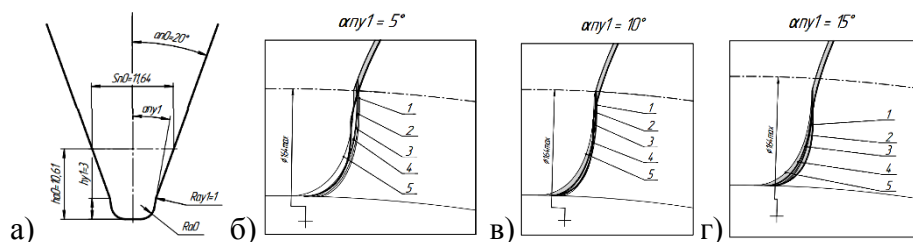


а) «Sandvik Coromant», б) «Ingersoll», в) «LMT Fette»

Рис. 1. Реалізація вихідного інструментального контуру з «протуберанцем» для збірних фрез світових виробників.

В роботі вирішено задачу використання в якості вихідних інструментальних поверхонь (ВП) черв'ячних збірних фрез стандартний профіль інструментальної рейки зі зменшеним кутом профілю, що дозволяє отримувати необхідний профіль зубчастого колеса з «викружкою» під подальше зубошліфування без використання профілю з «протуберанцем». Також така ВП може бути утворена різальною кромкою непереточуваних твердосплавних пластин (НТП) стандартної форми, що значно здешевлює таку конструкцію інструменту в порівнянні з (рис.1.) і забезпечує створення необхідної геометрії різальної частини. Для вирішення цього завдання було проаналізовано формоутворення профілю зубчастих коліс під зубошліфування

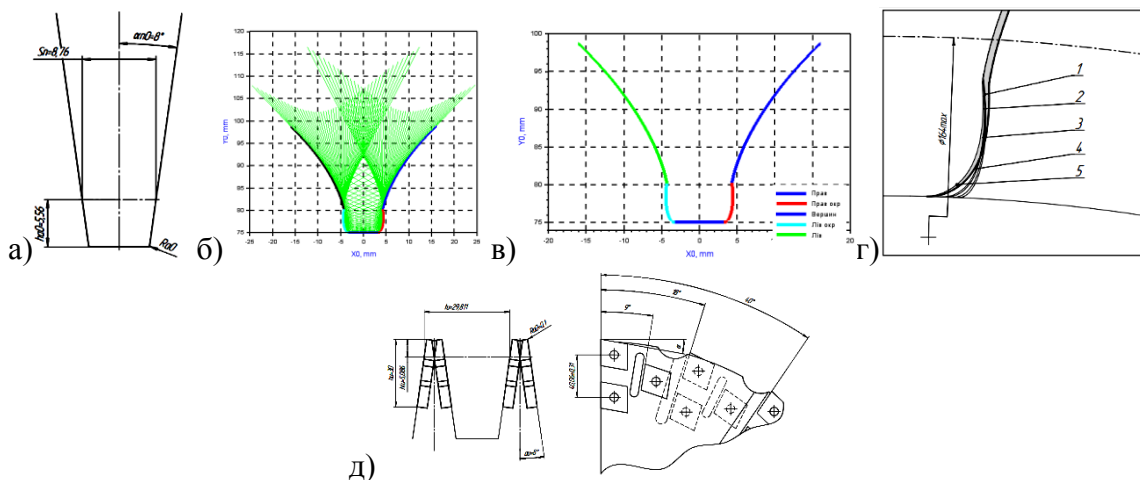
на прикладі зубчастого колеса маневрового тепловозу з наступними параметрами:  $m=10$ ,  $Zk=17$ ,  $x=0,505$  (рис.2).



а) профіль інструментальної рейки з протуберанцем, б), в), г) профіль перехідної кривої зубчастого колеса при різних кутах протуберанця:  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ .

Рис. 2. Формотуворення зубчастих коліс рейкою з протуберанцем: радіус округлення вершини протуберанця: 1-0,1мм; 2-0,4мм; 3-0,8мм, 4-1мм, 5-2мм.

Відповідно до результатів розрахунків формотуворення зубчастих коліс з «протуберанцем» кут протуберанця  $5^\circ$  (рис. 2,б) не зовсім придатний до використання, так як формує підрізання профілю вище активної частини зуба колеса. Результати моделювання формотуворення зубчастого колеса з кутом профілю  $0^\circ$ ,  $2^\circ$ ,  $8^\circ$  (рис 3) показали, що для отримання необхідної форми западини зубчастого к «викружкою» можна отримати стандартним профілем без «протуберанця».



а) профіль інструментальної рейки, б) послідовні положення рейки, в) профіль зубчастого колеса з «викружкою», г) профіль перехідної кривої зубчастого колеса при різних значеннях радіусу округлення вершини зуба рейки  $R_{a0}$ : 1-0,1мм; 2-0,4мм; 3-0,8мм, 4-1мм, 5-2мм., д) реалізація інструментальної рейки пластинами стандартної форми.

Рис. 3. Формотуворення зубчастих коліс рейкою з кутом профілю  $8^\circ$ .

Таким чином проаналізувавши результати розрахунків, для подальшого проектування збірної черв'ячної фрези за рекомендується обирати інструментальну рейку без протуберанця, яка має кут профілю зуба  $\alpha_{a0} = 8^\circ$ , та радіус округлення вершини зуба 0,1мм, який можна реалізувати пластинами стандартної ромбічної форми, що значно знижує вартість такого збірного інструменту і спрощує його експлуатацію.

## ОСОБЛИВОСТІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ДИНАМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

**Ковалевський С.В., Ковалевська О.С., Кошевой А.О.**

*(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)*

Проблемі забезпечення точності і адекватності математичних моделей присвячено безліч робіт [1,2,3 та ін.]. Однак, проблема формування безлічі прецедентів моделей динамічно змінюються об'єктів потребує подальшого обговорення і додаткових дослідженнях.

В роботі показано, що точність моделювання, зазвичай, знаходиться в зворотній залежності від періоду моделювання:

$$d(t) = D \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\alpha}}\right), \quad (1)$$

де  $t$  – час, необхідний для одноразового створення моделі,  $\alpha$  – показник інтенсивності досягнення точності математичної моделі;  $D$  – коефіцієнт точності динамічної моделі.

Однак, адекватність моделі, в загальному випадку, з часом знижується:

$$A(t) = A_1 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\beta_1}}\right) - A_2 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\beta_2}}\right), \quad (2)$$

де  $\beta_1$  і  $\beta_2$  показники інтенсивності забезпечення адекватності моделі;  $A_1$  і  $A_2$  – коефіцієнти адекватності динамічної моделі.

Можна припустити, що в кращому випадку і коректність та відповідність моделі повинні прагнути до максимального значення.

$$S(t) = k_1 \cdot A(t) + k_2 \cdot d(t) \rightarrow \max.$$

Аналітичний вираз для максимального значення  $S(t)$ :

$$\frac{dS(t)}{dt} = 0. \quad (3)$$

З рівнянь (1-3) випливає, що для динамічних моделей необхідно забезпечувати умова поновлення моделей, при якому:

$$S(t) = k_1 \cdot A_1 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\beta_1}}\right) - k_1 \cdot A_2 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\beta_2}}\right) + k_2 \cdot D \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\alpha}}\right) \quad (4)$$

Наведений підхід дозволяє забезпечити порівняльний аналіз динамічних моделей в загальному вигляді. Показано, що при створенні динамічних моделей адекватності моделей слід віддавати перевагу перед їх точністю. Адекватність моделі повинна оцінюватися за тестовими вибірками, які представляють собою 1/3 частина від усього обсягу безлічі прецедентів, доступних для моделювання. Як критерій вибору слід прийняти той, який буде найбільш віддалений від нового прецеденту. Такий відбір повинен бути реалізований програмно, що, безумовно, призведе до зниження динаміки поновлення математичної моделі.

**Література:** 1. Ковалевский С. В. Развитие методов акустической диагностики в машиностроении: монографія / С. В. Ковалевский, Е. С. Ковалевская, В. И. Тулупов. – Краматорск: ДГМА, 2014. – 91 с. 2. Диагностика технологічних систем і виробів машинобудування (з використанням нейромережевого підходу): монографія / С.В. Ковалевський, О.С. Ковалевська, Є.О. Коржов, А.О. Кошевой; за заг. ред. д.т.н., проф. С.В. Ковалевського. – Краматорськ : ДДМА, 2016. – 186 с. 3. Kovalevska O. S. Application of acoustic analysis in control systems of robotic machine tools / O. S. Kovalevska, S. V. Kovalevskyy // Науковий журнал «Радіоелектроніка, інформатика, управління», «Radio Electronics, Computer Science, Control». – 2018. – № 2 (45). – С. 51–59.

## **ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ РЕКОНФІГУРОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА**

**Ковалевський С.В., Ковалевська О.С., Борисенко Ю.Б., Ємець В.В.**  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

В роботі показано, що проектування спеціального технологічного обладнання та технологічного оснащення супроводжується вирішуванням наступних завдань: забезпечення необхідних рухів; забезпечення необхідного позиціонування виконавчих механізмів; забезпечення необхідних опорів зовнішніх впливів.

Проектування технологічного обладнання та оснащення передбачає пошук оптимального поєднання чинників, що забезпечують створення проектованого об'єкта. Це потребує виконувати моделювання об'єкта при наявності таблиці зразків-прецедентів з відповідними їм експертними оцінками. Такі оцінки дозволяють істотно скоротити пошук рішень на основі складання розрахункових схем і застосування чисельних методів, зокрема, метод кінцевих елементів і його модифікацій. Однак, проектування елементів технологічних систем має супроводжуватися цільовими умовами, які є визначальними для всієї множини можливих технічних рішень. Тому, вихідними умовами повинні стати функції технологічної системи, а похідними стануть структурні



особливості матеріальних об'єктів технічних систем. Системну взаємозв'язок варіантів технічних рішень можуть відображати інтелектуальні моделі-образи технологічних машин, що забезпечують необхідні технологічні функції.

Забезпечення точності виготовлення виробів пропонується групувати за наступними ознаками:

- за методами досягнення точності (метод пробних ходів і промірів, метод оброблення на заздалегідь налаштованому верстаті);

- за методами призначення допусків на розміри робочих поверхонь та забезпечення збирання виробу (метод повної взаємозамінності, метод неповної взаємозамінності, метод регулювання, метод пригону);

- за характером зміни розмірів робочих поверхонь деталей машин у процесі їх експлуатації (розмірне адгезійне або дифузійне зношення, втрата точності через вплив залишкових напружень в деталях машин);

- за факторами, які супроводжують технологічний процес (кінематичні фактори, міцності, температурні фактори, що впливають на розміри деталей у процесі їх створення);

- за методами контролю точності лінійних і кутових розмірів;

- за надійністю технологічних процесів (стабільність параметрів якості);

- за детермінованістю об'єктів і процесів (систематичні, випадкові, змішані);

- за витратами ресурсів – енергетичних і часових в процесі створення машин.

Це дозволяє виділити основні класифікаційні групи і їх інтелектуальні моделі, в межах яких можуть бути виявлені і враховані загальні для них особливості і закономірності. Основним призначенням спеціальних методів оброблення робочих поверхонь деталей машин є створення таких технологічних процесів, які дозволили б виготовляти вироби з необхідною якістю в заданій кількості за певний час. При цьому повинен бути досягнутий економічний результат у вигляді прибутку підприємства – виробника машини. Це характеризує цілісність і прагнення до динамічної рівноваги, які слід враховувати у виробничому процесі, зокрема – у технологічному процесі.

Оскільки створювана машина має своєю метою брати участь у системі економічних відносин і створювати передумови для формування товарних властивостей виробу. У цих умовах прагнення до отримання максимального прибутку виробника неодмінно має супроводжуватися досягненням оптимального рівня витрат на виробництво виробів.

## **НОВІ МЕТОДИ ПРОЕКТУВАННЯ ВАЖКИХ ВЕРСТАТІВ В КОНЦЕПЦІЇ «ІНДУСТРІЯ-4.0»**

**Ковальов В.Д., Васильченко Я.В., Саєнко М.О., Антоненко Я.С.**

*(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)*

Стратегія впровадження концепції «Індустрія 4.0» полягає в зміні промислового виробництва для завершення інтелектуальної автоматизації, що означає впровадження методів адаптивного управління, самоконфігурації, самодіагностики проблем і їх усунення, розумне прийняття рішень. Сучасні тенденції в концепції «Індустрія 4.0» це - розробка стратегії побудови інтегрованих систем і технологічних змін у виробничих процесах; застосування принципів агрегатно-модульного побудови конструкції обладнання нового покоління; використання штучного інтелекту та ін.

Основою для пошуку і впровадження нових рішень стали мехатронні технології. Мехатронні модулі та системи об'єднують силові (енергетичні) компоненти, механізми переміщення та інформаційні елементи. Проектування верстатів на основі мехатронних модулів і систем вимагає серйозної інформації та теоретичної підготовки процесу проектування при створенні мехатронних вузлів і інтеграції їх в конструкцію верстата. Створюються умови для отримання принципово нових конструкторських і дизайнерських рішень.

Вирішено проблему балансування експлуатаційних властивостей конструктивних елементів і забезпечення усвідомленого вибору компонентів (елементи несучої системи, приводи, опори і передачі, датчики і т. д.).

Розроблено основи проектування нових важких верстатів з адаптивним управлінням, орієнтованих на потреби підприємств важкого машинобудування. Кожен верстат повинен реалізовувати необхідну і достатню кількість функцій, мати раціональні технологічні можливості і споживчі властивості (вартість, розміри і т. д.).

Розроблено методіку оцінки та вибору технологічної насиченості важких токарних верстатів з ЧПУ. Споживчі властивості технологічного обладнання вибирають на основі аналізу виробничого і технологічного зовнішнього середовища. Досліджено залежності технологічної насиченості верстатів з ЧПУ від геометричних, технологічних і організаційно-планових показників деталей і технології їх обробки.

Розроблено метод поетапної угруповання деталей на основі згортки класифікаційних груп і кластерного аналізу в залежності від складності деталей за кількістю формотворчих рухів.

Створені системи адаптивного оптимального управління важкими токарними верстатами з використанням програмованих логічних контролерів і мехатронних елементів для реалізації багаторівневої системи прийняття рішень з елементами штучного інтелекту.

## ПЕРСПЕКТИВНА КОНСТРУКЦІЯ ТОКАРНОГО РІЗЦЯ З КРІПЛЕННЯМ РІЗАЛЬНОЇ ПЛАСТИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ КОЛИВНОГО ГВИНТА

Ковальов В. Д., Гузенко В. С., Гах В. М., Калініченко В. В., Корнілов Є. Д.  
(ДДМА, м Краматорськ, Україна)

Широкий вибір конструкцій збірних токарних різців зумовлює важливість дослідження впливу особливостей конструкції на характеристики, що безпосередньо визначають показники якості інструменту.

Серед конструкцій збірних токарних різців відомими є конструкції з кріпленням різальної та опорної пластин за допомогою коливного гвинта. Перспективна конструкція цього типу представлена у патенті [1] (рисунок 1).

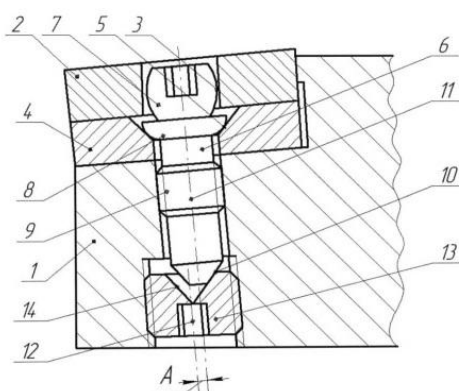


Рис. 1. Конструкція збірного токарного різця з кріпленням різальної пластини з центральним отвором за допомогою коливного гвинта [1]

Конструкція включає корпус 1, різальну пластину 2 з циліндричним отвором 3, опорну пластину 4 з конічною 5 ділянкою отвору, коливний гвинт 6 з голівкою 7, фасонним пояском 8, різовою 9 та конічною 10 ділянками. У основний різовий отвір корпусу з віссю 11 загвинчується коливний гвинт 6, у допоміжний різовий отвір з віссю 12 – натискна гайка 13 з конічною ділянкою 14. Вісь 12, паралельна до осі 11, зміщена від неї на відстань А. Опорну пластину 4 закріплюють, закручуючи коливний гвинт 6 у основний різовий отвір до дотику пояса 8 з ділянкою 5 отвору пластини. Після встановлення різальної пластини 2 на голівку 7 коливного гвинта 6 натискну гайку 13 закручують у допоміжний різовий отвір. Гайка 13 ділянкою 14 взаємодіє з ділянкою 10 гвинта 6, забезпечуючи поворот верхньої частини гвинта у бік опорних поверхонь гнізда корпусу 1. Голівка 7 та поясок 8 гвинта 6 при цьому притискають відповідно отвір 3 різальної пластини 2 та ділянку 5 отвору опорної пластини 4 до упорних поверхонь гнізда корпусу 1.

**Література:** 1. Збірний різальний інструмент: пат. 132605 Україна, МПК В23В 27/16 / В. Д. Ковальов, В. С. Гузенко, В. М. Гах, Я. К. Березовська. № u201804837; заявл. 03.05.2018; опубл. 11.03.2019, бюл. № 5. – 4 с., іл.

# СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОЇ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПОЛОЖЕННЯ ОСІ ОБЕРТАННЯ ШПИНДЕЛЯ ПРИ ЗМІНІ ЗНАЧЕННЯ І НАПРЯМКУ НАВАНТАЖЕННЯ ЗА РАХУНОК ЗАСТОСУВАННЯ РЕГУЛЬОВАНИХ ГІДРОСТАТИЧНИХ ОПОР

**Ковальов В.Д., Левченко М.М.**  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

У процесі різання шпindelний вузол піддається навантаженням і виявляє пружні деформації, які безпосередньо впливають на точність і якість обробки. Більш за все шпindel піддається деформації з боку заготовки, яка тисне на нього в напрямку сили тяжіння. Особливо це дається взнаки на важких токарних верстатах, де маса заготовки на порядок перевищує можливі сили різання.

На даний момент існує система управління, яка дозволяє управляти положенням шпинделя під дією навантажень. Принцип її дії полягає в тому, що відхилення осі шпинделя від нормального положення компенсується за рахунок зміни тиску в кишнях його гідростатичних опор [1].

Недоліком такої системи є те, що вона не враховує пружних деформацій шпинделя і корпусу передньої бабки, а лише зміну товщини мастильного шару в гідростатичних підшипниках. В результаті чого, шпindel, так чи інакше, прогинається під діючими на нього навантаженнями.

Завданням роботи є необхідність удосконалення даної системи управління, яке дозволить компенсувати пружні деформації шпинделя і корпусу шпindelної бабки.

Для вирішення цього завдання розроблена мехатронна система автоматичної стабілізації положення осі обертання шпинделя при зміні значення і напрямку навантаження за рахунок застосування регульованих гідростатичних опор.

Запропонована система складається з: мікроконтролерної системи керування [2]; датчиків зазору [3]; датчиків тиску [4]; клапанів пропорційних витрат [5].

Система управління, що розроблюється, допоможе підвищити точність обробки, жорсткість та отримати економічний ефект.

**Література:** 1. Бушуев В. В. Гидростатическая смазка в станках. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 176 с.: ил. 2. GreenChip – електронные компоненты для разработки и изготовления. [Електронний ресурс]. URL: <http://greenchip.com.ua/> (15.02.2019 р.). 3. ПРОМСИТЕХ – промышленные системы и технологии. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.promsytex.ru/> (15.02.2019 р.). 4. WIKA – производство средств измерения давления, температуры, уровня, силы и расхода, оборудование для калибровки. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.wika.ua/> (15.02.2019 р.). 5. МОТОРИМПЕКС – продажа гидравлического оборудования. [Електронний ресурс]. URL: <https://motorimpex.ua/> (15.02.2019 р.).

## СИСТЕМА АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ВБУДОВАННИМ ВІБРОГАСНИКОМ ВАЖКОГО ТОКАРНОГО ВЕРСТАТУ

**Ковалев В.Д., Мельник М.С., Дубина К. М., Коваленко А.В.**  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Процеси обробки матеріалів на металообробному обладнанні часто супроводжуються виникненням коливань, які обмежують допустимі режими різання при обробці (особливо швидкість і глибину різання), призводять до отримання у деталі хвилястої або подрібненої поверхні, підвищеного наклепу її поверхневих шарів, зниження точності обробки, стійкості різального інструменту, розладу з'єднань верстата і його прискореного зносу. При виникненні значних вібрацій роботу, як правило, доводиться припиняти.

Тому завдання зменшення рівня вібрації технологічної системи є актуальним. В даний час відомі різні методи підвищення вібростійкості технологічної системи «верстат - пристосування - інструмент - деталь»: зменшення величини виходу пінолі задньої бабки; зменшення вильоту різця; затування клинів супорта і затиск каретки; завантаження поперечного супорта; збільшення подачі, швидкості різання; вибір найбільш гідного різця і його правильної заточки; обробка металу різцями з противовібраційною фаскою; балансування додаткових пристосувань зі встановленою деталлю; балансування трикулачковим патроном з планшайбою; установка противаг при точінні несиметричних деталей; застосування різноманітних гасителів коливань. Зазвичай в системі «верстат - пристосування - інструмент - деталь» найбільш слабкою ланкою є інструмент.

На важких токарних верстатах часто виникає необхідність виконувати прорізання глибоких пазів або відрізання. При використанні ламельного різця, який є достатньо жорстким, слабким місцем при обробці на верстаті є супорт. Виникають коливання на власній частоті супорта. З цими коливаннями не дозволяє боротись жоден з вище вказаних методів. Саме тому пропонується зробити віброгасник гідравлічного типу, що вбудований в супорт. Також в деяких роботах було встановлено, що для віброгасника даного типу існує оптимальне співвідношення в'язкості, робочого зазору і маси, яке забезпечує максимум ефективності. В свою чергу в'язкість залежить від температури, яка при обробці постійно змінюється.

Пропонується зробити адаптивний віброгасник, який містить датчики прискорення (на частині, що коливається, і на тілі віброгасника), мікроконтролер, керований привід адаптації. Критерієм оптимальності слугує фазовий зсув між коливаннями супорта і коливаннями вантажу. Максимуму поглинання енергії коливань відповідає певний фазовий зсув. Контролер за допомогою АЦП і датчиків вимірює фазовий зсув, порівнює його з оптимальним і, якщо він відрізняється, у необхідному напрямку пересуває груз, який має клиноподібну форму, і тим самим змінюється величина зазору.

## УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ВАЖКИХ ВЕРСТАТІВ ДЛЯ ТВЕРДОГО ТОЧІННЯ

**Ковальов В.Д., Нестеренко В.М.**  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Актуальними завданнями, що стоять перед виробництвом, є зниження собівартості і підвищення продуктивності, технологічного рівня, конкурентоспроможності обладнання. Одним з основних напрямків зниження собівартості виробництва є підвищення продуктивності операцій металообробки за рахунок збільшення швидкості різання. Сучасні деталі важкого машинобудування виробляються з нових матеріалів, які мають підвищену твердість та міцність.

Важкі верстати внаслідок великих лінійних розмірів базових деталей мають значно меншу жорсткість порівняно з верстатами середніх розмірів, тому необхідно вживати спеціальних заходів для підвищення стійкості систем.

Особливу увагу необхідно приділяти вузлам, які визначають точність верстатів.

Для забезпечення технологічних процесів, які реалізують концепцію «твердого точіння» потрібна висока вібростійкість верстатних вузлів, здатність сприйняття підвищених сил різання. Найбільш ефективний шлях - це оснащення рухомих вузлів верстата гідростатичними опорами. Гідростатичні опори повинні бути керованими мехатронними системами за сигналами зворотного зв'язку від датчиків, які фіксують параметри робочого процесу.

Розроблені мехатронні системи управління роботою шпиндельних вузлів гідростатичних опор з урахуванням збурюючих впливів (вібрації, сили різання, пружні і температурні деформації та ін.) від процесу обробки твердим точінням.

Розроблені мехатронні системи для приводів подач з гідростатичними напрямними, які управляються за заданими алгоритмами, що забезпечують точність формоутворюючих рухів, компенсують збурюючі впливи.

На відміну від шліфування тверде точіння не потребує такої великої кількості затраченого часу для обробки деталей (велика швидкість з'єму металу забезпечує високу продуктивність), на зміну шліфувальних кругів втрачається значно більше часу ніж на зміну різальної пластини.

При шліфуванні форма зерен і їх положення у шліфувальному крузі різні, тому вплив їх на опрацьований матеріал неоднаковий: частина зерен зрізують метал гострими кромками, як різальними кромками інструмента, частина зерен скоблять або дряпають опрацьований матеріал, на відміну від різальної пластини, яка має чітку геометричну форму, та виключає притири та пригари на деталі.

При тонкому точінні можливо виконувати операції по зовнішній та внутрішній обробці, обробці конуса, прорізування канавок в одному затискному пристрої, зменшуючи тим самим кількість налагоджувань.

Під час твердого точіння не з'являється шлам, як під час шліфування, який потім потрібно утилізувати. Стружку після твердого різання можливо переплавляти, як і після звичайної обробки різанням.

## **РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЧОРНОВОЇ ОБРОБКИ З ВАЖКООБРОБЛЮВАНИХ МАТЕРІАЛІВ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНОЇ ТА ЕЛЕКТРОХІМІЧНОЇ ОБРОБКИ**

**Ковальов В.Д., Свічкарьов А.А.**  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Вироби з твердих матеріалів, таких як білий високолегований чавун, високомарганцовисті сталі, наплавлені зносостійкі композити та ін., обробляються шліфуванням як більш наближеним до оптимального методу обробки. Але у шліфування є свої недоліки при обробці важкооброблюваних матеріалів, а саме - висока енергозатратність при обробці, вартість експлуатації обладнання, - швидкий знос коштовного інструменту. Альтернативою обробки шліфуванням можуть виступати методи електрофізичної та електрохімічної обробки важкооброблюваних матеріалів, а саме: електроерозійна обробка; електроіскрова обробка; електроімпульсна обробка; електромеханічна; електроконтактна, променева; анодно-механічна; анодно-гідралічна.

Актуальною проблемою для металургійних підприємств є перехід на використання композитних прокатних валків з зовнішнім шаром з високохромистого білого чавуну, який дуже погано піддається чорновому шліфуванню. З переліку вказаних вище методів обробки для даної задачі найбільш ефективним може виявитися метод електроімпульсної обробки.

Електроімпульсна обробка заснована на використанні імпульсів дугового розряду. Дугового розряд має температуру плазми понад (4000-5000°C), що дозволяє збільшувати тривалість імпульсів, зменшувати проміжки між ними і вводити в зону обробки значні потужності (кілька десятків кВт), тобто збільшувати продуктивність обробки. Характерне для дугового розряду переважне руйнування катода приводить до того, що знос інструменту (в цьому випадку він є анодом) низький, а іноді інструмент взагалі не зношується. Як більш економічний цей метод використовується в основному для чорнкової та трикоординатної обробки фасонних поверхонь. Для обробки прокатних валків у класичному вигляді цей метод є неприйнятним, оскільки при великих габаритах деталі існують конструктивні складнощі занурення у робочу рідину.

Пропонується модифікація метода з заміною рідини на потужний потік повітря, з суттєвим збільшенням робочого зазору між електродами, приданням обертального руху електроду-інструменту з високою швидкістю і зміною параметрів технологічного струму. Для забезпечення стабільності процесу також необхідне адаптивне регулювання швидкості подачі і величини робочого зазору, але на відміну від класичного методу регулювання подачі на електроерозійних верстатах за середньою напругою на робочому зазорі, в даному випадку адекватним критерієм регулювання зазору може бути напруга на зазорі лише у момент пробою повітряного шару, тому у запропонованій системі напруга вимірюється періодично на початку дії імпульсу і далі запам'ятовується до закінчення чергового імпульсу.

# МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ОТРОСТКА РАЗЛИЧНОЙ КОНФИГУРАЦИИ НА ТОРЦЕ СТЕРЖНЯ БОКОВЫМ ВЫДАВЛИВАНИЕМ

Корденко М.Ю., Косарев В.С.  
(ДГМА, м. Краматорск, Украина)

В процессе штамповки в разъемных матрицах очень важным технологическим фактором является усилие, которое необходимо прикладывать для предотвращения раскрытия матрицы. Для определения значения сил раскрытия и его зависимости от других параметров процесса штамповки проводились различные исследования. [1].

Целью работы является исследование силового режима процесса бокового выдавливания и раскрытия матрицы с использованием метода конечных элементов (МКЭ) в среде DEFORM 2D/3D.

Схема процесса и график зависимости силы раскрытия разъемных матриц представлены на рис. 1.

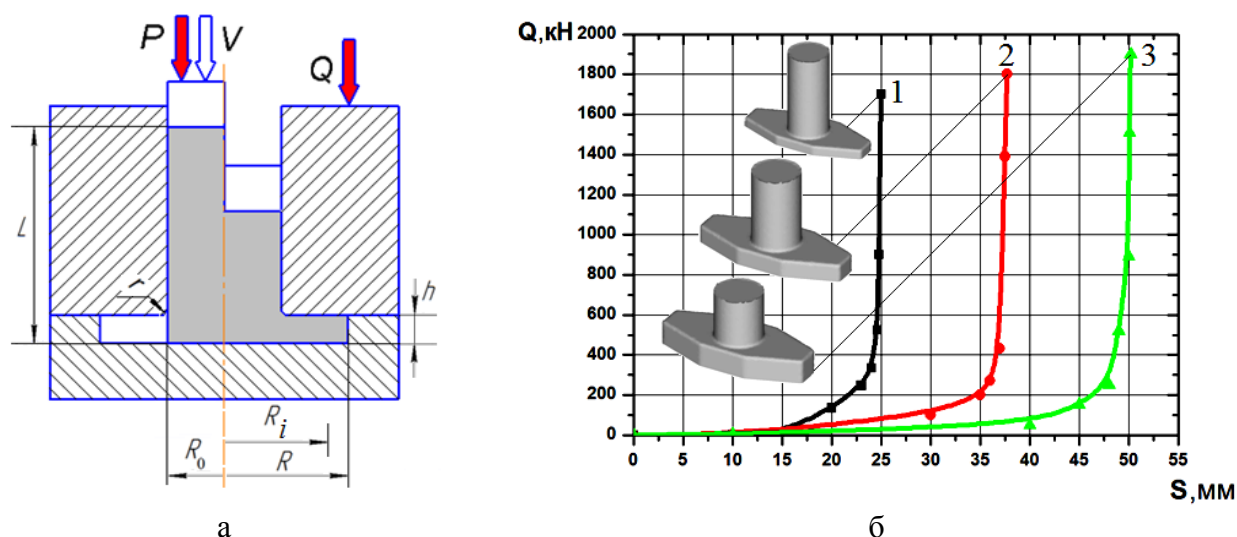


Рис. 1. Схема процесса бокового выдавливания отростка (а) и график зависимости усилия раскрытия матриц (б) при выдавливании фасонного отростка по ходу процесса:

1 –  $h/R_0=0,5$ ; 2 –  $h/R_0=0,75$ ; 3 –  $h/R_0=1,0$ ;  $\alpha=20^\circ$

При рассмотрении влияния конфигурации детали на силовые параметры выдавливания и раскрытие матрицы установлено, что изменение угла  $\alpha$  в большую сторону способствует увеличению силы выдавливания вследствие увеличения очага деформации и контактного трения с инструментом. Однако изменение угла образования фланца  $\alpha$  в меньшую сторону способствует уменьшению сил раскрытия матрицы.

**Литература:** 1. Алиев И.С. Технологические процессы холодного поперечного выдавливания / И.С. Алиев // Кузнечно-штамповочное производство. – 1988. - №6. - С. 1-4.



## РОЗВИТОК МЕТОДІВ КОНСТРУЮВАННЯ ГІДРОЛІНІЙ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ОБЛАДНАННЯМ ВАЖКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

**Корчак О.С.**

*(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)*

У важкому машинобудуванні проблему підвищення енергоефективності обладнання та автоматизованих комплексів, що працюють на його базі, доцільно вирішувати шляхом збільшення коефіцієнта щільності потужності – відношення потужності машини до загальної її маси. Враховуючи те, що машини з гідроприводом мають розвинену систему гідроліній, заповнених рідиною під тиском, необхідно звернути особливу увагу на розвиток методів конструювання цих гідроліній та їх розведень в системах керування обладнанням.

Зведені маси рідини в гідросистемах машин та автоматизованих комплексів на декілька порядків перевищують зведені маси рухомих металевих частин, що суттєво позначається на величині коефіцієнта щільності потужності, а отже і на загальному рівні енергоефективності технологічного обладнання.

Важливо при конструюванні системи гідроліній робочих циліндрів дотримуватися наступних основних рекомендацій:

- клапанні розподільники гідравлічних циліндрів різного функціонального призначення (груп циліндрів) слід виділяти в окремі корпуси та розміщувати в безпосередній близькості до технологічного обладнання;
- регулювальні клапани (особливо дросельні) необхідно оснащати засобами керування й контролю, електронно взаємопов'язаними, як між собою, так і з іншими елементами системи керування машиною в межах загальної автоматизованої системи керування;
- підведення рідини високого тиску від насосної та (або) акумуляторної станцій до розподільників груп циліндрів повинне здійснюватися окремою гідролінією, яку прокладено безпосередньо від клапана-автомата;
- розгалуження гідроліній повинно виконуватися максимально близько до груп циліндрів і рівновіддалено від входів в ці циліндри, щоб уникнути перекосів рухомих частин при здійсненні технологічного процесу.

Проектування системи гідроліній групи циліндрів починають з визначення наступних параметрів: сумарної активної площі циліндрів; активних площ циліндрів відповідно до різних ступенів зусиль; максимальної швидкості переміщення рухомих частин при здійсненні технологічного процесу; максимальної швидкості робочої рідини високого тиску в регулювальних клапанах.

Раціональне проектування системи силових циліндрів передбачає диференціацію гідроліній, які входять до її складу, так як кожна з них відповідає за досягнення необхідних параметрів переміщення рухомих частин на різних ступенях зусиль машини – різні гідролінії:

- здійснюють підведення рідини високого тиску в об'ємі, достатньому для роботи обладнання на відповідному ступені зусиль;
- відповідають за досягнення необхідних параметрів переміщення рухомих частин на різних етапах машинного циклу.

## КОНСТРУЮВАННЯ ТРУБНИХ З'ЄДНАНЬ В ГІДРОСИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ОБЛАДНАННЯМ ВАЖКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

**Корчак О.С., Бочковой Д.О.**  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Ресурс безвідмовної роботи гідросистем керування обладнанням важкого машинобудування залежить від застосованих конструкцій трубних з'єднань, які сполучають виконавчі механізми з джерелами високого та низького тисків. Низька довговічність й надійність трубних з'єднань внаслідок підвищеного зношення ущільнювальних елементів, їх ненадійної фіксації та виникнення витоків внаслідок перепадів тисків в трубопроводі, коливальних та гідроударних явищ призводять до передчасних відмов елементів гідросистем керування. Тому при конструюванні трубних з'єднань намагаються зменшити ступень їх кавітаційного зносу та подовжити термін експлуатації.

Найбільш розповсюджена конструкція трубного з'єднання вміщує фланці, які взаємодіють з виконаними на трубах буртами, між якими розміщена ущільнювальна втулка, що взаємодіє з еластичними прокладками, встановленими на кінцях з'єднуваних труб. Головним недоліком такого з'єднання є те, що величина ущільнення залежить від величини затягування болтів і перепадів тиску, а також неможливість заміни прокладок без пересування труб в поздовжній осі. Тому при вдосконаленні конструкцій гідросистем керування обладнанням намагаються створити надійне та просте в обслуговуванні трубне з'єднання, за рахунок технічного результату, що полягає в гарантованому притисненні ущільнюючих елементів, що знаходяться на кінцях труб до ущільнювальної втулки незалежно від величини затягування болтів і перепадів тиску.

З цією метою трубне з'єднання:

- повинно вміщувати фланці, які взаємодіють з виконаними на трубах буртами, між якими розміщена ущільнювальна втулка, та кільце;
- фланці виконані з радіальними проточками, на зовнішній поверхні труб біля торців виконані радіальні канавки, в яких розміщені еластичні прокладки;
- кільце виконано рознімним та охоплює ущільнювальну втулку, еластичні прокладки оснащені елементами фіксації, радіальні канавки на поверхнях труб суміщено з радіальними канавками, виконаними на елементах рознімного кільця, торцеві поверхні якого мають західні конуси, кут конусності яких співпадає з кутом конусності західних поверхонь фланців.

Таким чином:

- виконання кільця рознімним та охоплюючим ущільнювальну втулку;
  - постачання еластичних прокладок елементами фіксації;
  - суміщення радіальних канавок на поверхнях труб з радіальними канавками, виконаними на елементах рознімного кільця, торцеві поверхні якою мають західні конуси,
- забезпечується зменшення ступеня кавітаційного зносу трубного з'єднання та подовження терміну його експлуатації, гарантуючи надійну фіксацію ущільнювальної втулки та відсутність витоків при гідроударних і коливальних явищах.

## ЗАХОДИ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ БЕЗВІДМОВНОЇ РОБОТИ ГІДРОЦИЛІНДРІВ ОБЛАДНАННЯ ВАЖКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

**Корчак О.С., Біленець К.Є.**  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Аналіз умов експлуатації обладнання з гідроприводом показує, що на даний час перепади тисків та швидкості рідини в гідросистемах такі, що елементи гідроприводу в початкові моменти подачі тиску працюють в закритичній кавітаційній зоні. Для збільшення ресурсу безвідмовної роботи силових гідроциліндрів необхідно забезпечити раціональне проектування проточних частин, ділянок їх переходу у внутрішні порожнини циліндрів та інших елементів гідроприводу таким чином, щоб виконувалося умова створення докавітаційної зони роботи елементів гідроприводу при збереженні заданих рівнів тиску в гідросистемі. Це може бути досягнуто за допомогою спеціального профілювання елементів силових гідроциліндрів наступним чином:

- кут конусності проточки циліндра визначають із умови відсутності перетискання робочої рідини у найвужчій частині проточки по мірі течії потоку в напрямку її переходу у внутрішню порожнину корпусу;
- отвір для підводу рідини високого тиску сполучають з цією проточкою з можливістю його мінімального розширення в об'ємі проточки та наступним плавним розширенням в зоні переходу проточки у внутрішню порожнину корпусу гідроциліндра;
- в проточці та на ділянці її переходу у внутрішню порожнину силового гідроциліндра повинна виконуватися умова створення докавітаційної зони роботи елементів гідроприводу;
- отвір для підводу рідини високого тиску сполучають з проточкою з можливістю його мінімального розширення в об'ємі проточки та наступним плавним розширенням в зоні переходу проточки у внутрішню порожнину корпусу гідроциліндра.

Зазор між плунжером та внутрішньою порожниною корпусу силового гідроциліндра встановлюється, виходячи з умов його вільного переміщення в корпусі та відсутності перетискання робочої рідини в цьому зазорі. Внутрішня порожнина корпусу схильна кавітаційно зношуватися. Однак інтенсивність цього зношення набагато нижча, ніж на ділянці переходу проточки та отвору, що підводить рідину під тиском, у внутрішню порожнину корпусу циліндра. Крім того в зазначеному зазорі розміщено напрямну втулку, яка запобігає перекосу плунжера при переміщенні рухомих частин. Антифрикційні властивості втулки та можливість підведення до неї системи змащення дозволяють значно подовжити строк експлуатації плунжера, особливо, коли до складу матеріалу втулки входить мідь. В цьому випадку окрім зниження тертя створюються умови для виникнення вибіркового переносу. Експлуатаційні умови сполучення «плунжер – напрямна втулка» порушуються, як правило, з причини виникнення корозійного та абразивного зношення. Перший вид зношення розвивається внаслідок старіння робочих рідин, а другий – внаслідок їх недостатньої фільтрації, що має вирішальне значення при запобіганні зношенню пар тертя у циліндрах.

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕМОНТУ ВИЛИВНИЦЬ

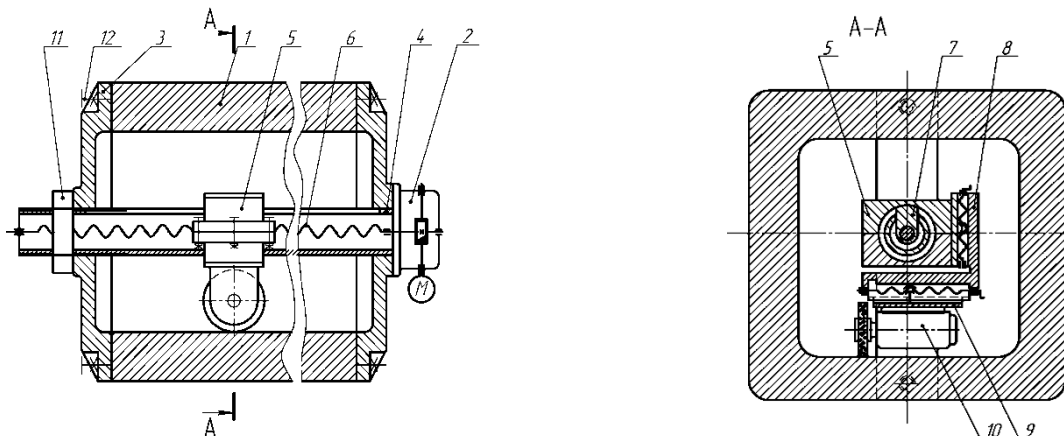
Красовський С.С., Хорошайло В.В., Кабацький О.В.

(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

В процесі експлуатації виливниць для розливання сталі виникають різні дефекти, основними з яких є тріщини. При ремонті виливниць широке застосування знаходить електрошлакове зварювання, після якого з внутрішньої поверхні необхідно прибрати частини наплавленого металу із зварних швів. Для цього застосовується остаточна обробка дефектних місць за допомогою шліфувального круга.

Підвищити ефективність шліфування поверхні дозволяє використання переносних шліфувальних установок. Існує ряд конструкцій таких установок, на основі аналізу яких була розроблена вдосконалена конструкція, яка дозволяє шліфувати зварні шви в різних площинах виливниці без її демонтажу.

Кріплення установки у виливниці здійснюється при допомозі траверс, які за допомогою гайки кріплення і гвинтів забезпечують їх притиск до торцевих поверхонь виливниці. Повзун з шліфувальною голівкою і механізмом притиску переміщується по циліндричній напрямній за допомогою передачі гвинт-гайка. Гайка базується у напрямному пазу, а гвинт отримує обертання від черв'ячного редуктора. Особливістю повзуна є те, що він складається з двох частин, в яких виконана кільцева канавка, що забезпечує поворот повзуна разом з шліфувальною голівкою відносно осі напрямної. Це дозволяє встановлювати шліфувальний круг для обробки зварних швів на будь-якій площині виливниці.



- 1 – виливниця; 2 – черв'ячний редуктор; 3 – траверси; 4 – циліндрична напрямна;  
5 – повзун; 6 – гвинт; 7 – гайка; 8 – механізм притиску шліфувального круга;  
9 – механізм поперечного переміщення шліфувального круга; 10 – шліфувальна голівка;  
11 – Напрямна гайка кріплення; 12 – гвинти кріплення траверси.

Рис. 1. Схема вдосконаленої переносної шліфувальної установки

Запропонована конструкція шліфувальної установки дозволяє підвищити ефективність шліфувальної обробки зварних швів на внутрішніх поверхнях великогабаритних виробів машинобудування, зокрема у виливницях для розливання сталі.

# ІМОВІРНІСНО-СТАТИСТИЧНИЙ МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ЗУСИЛЛЯ ОБКОЧУВАННЯ КУЛЬКОЮ НА МІКРОТВЕРДІСТЬ СФОРМОВАНИХ ПОВЕРХОНЬ

<sup>1</sup>Кривий П.Д., <sup>1</sup>Коваль І.В., <sup>1</sup>Сеник А.А., <sup>2</sup>Тимошенко Н.М.  
(<sup>1</sup>ТНТУ, м. Тернопіль, Україна; <sup>2</sup>НУ «ЛП», м. Львів, Україна)

Проаналізовано зміцнення поверхонь методами поверхнево-пластичного деформування шляхом вібраційного обкочування [4] і дорнування [2].

Встановлено, що при дослідженнях ступеня зміцнення таких поверхонь використовували детерміністський підхід, не враховуючи при цьому стохастичності фізико-механічних властивостей оброблюваних матеріалів, що, безперечно, негативно впливає на достовірність отриманих результатів.

Запропоновано імовірно-статистичний метод оцінювання впливу зусилля обкочування кулькою плоских поверхонь на зміцнення сформованої при цьому поверхні за критерієм мікротвердості, суть якого полягає у наступному. Використано закріплений на вертикальній головці фрезерного верстата моделі 6A75B пристрій, кінематична схема якого подана на рис.1. Заготовка 2 у вигляді карточки закріплена на столі 1 верстата. Кулька 3, що контактує з оброблюваною плоскою поверхнею заготовки 2, спряжена з рухомим підпружиненим пружиною 6 штоком 4, розміщеним у корпусі 5. Задане зусилля  $F$  обкочування забезпечено стисканням тарованої пружини 6 за допомогою регульованого гвинта 7, положення якого зафіксовано контргайкою 8.

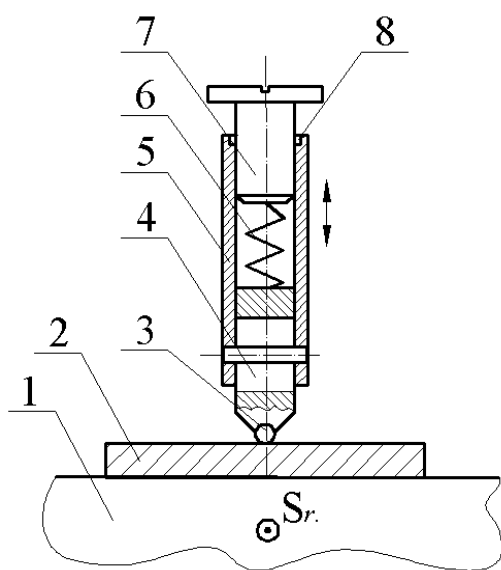


Рис. 1. Кінематична схема пристрою для вібраційного обкочування плоских поверхонь

Забезпечували задане зусилля  $F_i$ : 0; 200; 250; 300; 350 Н. При кожному  $F_i$ : включали поздовжню подачу і на плоскій верхній поверхні заготовки формували мікротвердість на дні канавки у 12 точка, рівномірно розміщених по її довжині.

Отримані результати перевіряли на однорідність за критерієм Греббса. У випадку появи значення, що різко відрізняється, його відкидали і використовували інше.

Використавши [3], за критерієм узгодження експериментального розсіювання із теоретичним  $W$ , який є потужнішим у випадку малої вибірки, ніж критерій Пірсона  $\chi^2$ , встановлено нормальність закону розподілу значень мікротвердості. Для малої вибірки обсягом  $N=10$  за методом ітерацій [1] визначені математичні сподівання  $M(H)$  і дисперсії  $D(H)$ .

Таблиця 1 – Значення мікротвердості, характеристики та критерії розсіювання

№, № пп	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Хар-ки		Критерії						
											$M(H)$	$D(H)$	$W$	$W_{кр}$	$t_k$	$F$			
Зусилля обкочування, Н	0	10,27	11,32	11,54	11,65	12,11	12,33	13,42	13,65	13,70	14,77	12,47	1,695	0,962	0,938				
	200	15,20	15,70	16,00	16,14	16,66	16,92	17,20	17,40	17,49	17,55	16,63	0,614	0,995				8,21	2,76
	250	16,56	17,17	17,60	17,63	18,06	18,21	18,54	18,79	19,01	19,40	18,10	0,691	0,985				6,16	1,12
	300	17,90	18,65	18,80	18,92	19,50	19,50	19,67	20,19	20,53	21,30	19,50	0,891	0,971				3,36	1,19
	350	18,24	19,31	19,68	19,85	20,49	20,81	21,16	21,37	21,50	22,02	20,44	1,219	0,961				4,3	1,36

Знайшовши значення критеріїв Стюдента  $t_k$  і Фішера  $F$  [5], встановлено наступні значення мікротвердості обкочених поверхонь за  $M(H)$  і  $D(H)$ , які суттєво відрізняється від значень мікротвердості заготовки.

Збільшення зусилля обкочування на 50 Н суттєво впливає на  $M(H)$  і не суттєво – на  $D(H)$  розсіювання значень мікротвердості.

**Література:** 1. Кривий П. Статистичне оцінювання міцності пресових з'єднань приводних роликових ланцюгів закордонних фірм на основі теорії малих вибірок / П.Кривий, Н.Тимошенко В.Коломієць, Р.Чорний // Вісник ТНТУ. – 2013. – Том 70. - №2. – С.121-129. 2. Проскураков Ю.Г. Технология упрочняюще-калибрующей и формообразующей обработки металлов / Ю.Г.Проскураков. –М. : Машиностроение, 1971. – 208 с. 3. Хан Г. Статистические методы в инженерных задачах. Пер. с англ. / Г.Хан, С. Шапиро. - М. : Мир, 1962. – 395 с. 4. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом (2-е изд. перераб. и доп.) / Ю.Г.Шнейдер. – М. : Машиностроение, Ленинградское отделение, 1982. – 248 с. 5. Колкер Я.Д. Математический анализ точности механической обработки деталей / Я.Д. Колкер. – Київ : «Техніка», 1976. – 200 с.

## ОСНОВИ РАЦІОНАЛЬНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ЕНЕРГОАКУМУЛЮЮЧИХ СИСТЕМ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИНАХ

**Крупко В.Г. Єлетенко В.В.**  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

У сучасному машинобудуванні однією з основних вимог до конструкцій технологічних машин є застосування енергозберігаючих та енергоакумулюючих технологій, що викликано подорожанням енергоресурсів в усіх сферах господарського комплексу в Україні. Під технологічними машинами розглядаються комплекси машин, що забезпечують усі види трудоемких робіт від видобутку корисних копалин (наприклад землерійні машини) до отримання промислової продукції (наприклад кранів). Усі машини які входять до технологічних потребляють значну кількість енергії, від декількох до кількохсот кіловат, тому питання економії енергозбереження є досить актуальним.

Усі енергозберігаючі та енергоакумулюючі системи можна класифікувати за типом трансформації енергії : механічні, гідравлічні, пневматичні, електричні або їх комбінації. В даній роботі розглядається принцип дії і особливості конструкції і застосування електро-гідравлічних систем, що працюють на принципі акумуляції енергії під дією стиснутих газів і рідини. Перевагою таких систем є компактність, відсутність вимог до їх установки , а до недоліків можна віднести порівняльно малий ккд.

Акумулюючі системи можна встановити в механічних системах технологічних машин де велика кількість енергії витрачається на процеси гальмування механізмів, під'єм і опускання машин і вантажів (наприклад в механізмах обертання кранів, екскаваторів). Загальну схему енергозбереження при гальмуванні поворотної платформи можна представити у наступному вигляді (рис. 1.)

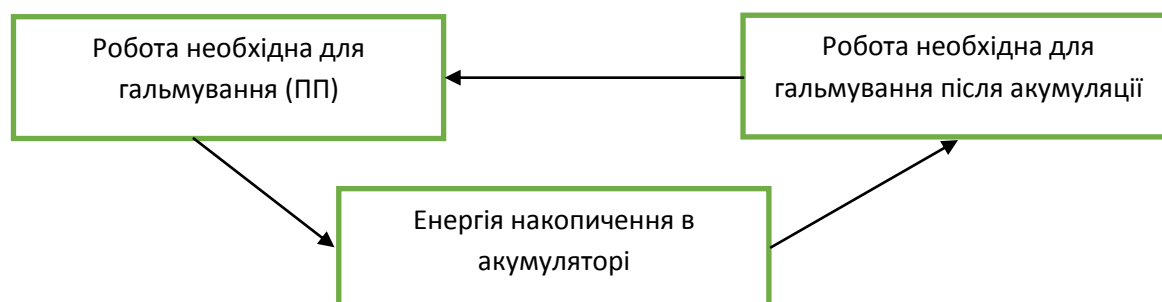


Рис. 1. Схема енергозберігаючої технології механічної системи

Розробка механічних систем по наведеній схемі дала можливість обґрунтувати параметри енергозберігаючого пристрою з акумуляцією енергії на механізмі обертання екскаватора драглайна.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ПОТУЖНІСТЬ МЕХАНІЗМ ПЕРЕСУВАННЯ БАШТОВОГО КРАНУ

**Крупко І.В., Кравченко В.В.**  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Будівництво промислових і цивільних об'єктів пов'язано з застосуванням стрілових самохідних і баштових кранів. Безпека експлуатації таких кранів забезпечується правильним і обґрунтованим вибором основних параметрів виконавчих механізмів з урахуванням можливих вітрових і динамічних навантажень, що виникають в процесі роботи. Так при роботі механізму пересування баштового крана можлива комбінування динамічних навантажень викликаних вітровим натиском на металоконструкцію та розгойдуванням вантажу.

Для визначення величини сумарних ( $W_{\Sigma}$ ) і додаткових навантажень ( $F_{bc}$  і  $W_p$ ) скористуємося відомими залежностями [1].

$$W_{\Sigma} = W_{ct} + W_{bc} + W_{p2},$$

де  $W_{ct}$  – сумарний опір пересування крана від сил тертя в механізмі, кН.

Статистична складова, відповідна сталої швидкості вітру, визначається за формулою:

$$F_{bc} = q \cdot k \cdot c \cdot n \cdot A,$$

де  $q$  – динамічний тиск вітру, Па;

$k$  – коефіцієнт, що враховує вплив висоти конструкції;

$c$  – коефіцієнт аеродинамічного опору;

$n$  – коефіцієнт перевантаження;

$A$  – розрахункова підвітряна площа, м<sup>2</sup>.

Опір пересуванню крана від розгойдування вантажу ( $W_p$ ) визначається по формулі при відомій силі тягіння крана ( $G_{кр}$ ) і вантажа ( $G_{гр}$ ).

$$W_p = (G_{кр} + G_{гр}) \cdot tgy,$$

де  $y$  – кут відхилення вантажу від вертикалі.

Взаємодія наведених додаткових навантажень в значній мірі залежить від можливого коливання вітрових навантажень, які діють на металоконструкцію крана так і на вантаж, а сумарна величина від цих динамічних навантажень на механізм пересування може досягати до 25% від загального опору пересування крана.

**Література:** 1. Гайдамака В.Ф. Грузоподъемные машины: Учебник.- К: Вища школа. Головное издательство, 1989-328с.



## ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТОКАРНОГО ПАТРОННО- ЦЕНТРОВОГО ВЕРСТАТА

**Кузьменко Д.О., Суботін О.В.**  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

В даний час в промисловості використовують застаріле обладнання, що пов'язано з рядом причин економічного характеру. Застарілі системи знижують продуктивність, вимагають періодичного кваліфікованого ремонту і технічного обслуговування. Крім того, виникає проблема інтеграції верстатів з ЧПК в сучасні автоматизовані системи управління виробництвом. Підвищення продуктивності верстатів досягається удосконаленням режимів різання та модернізацією верстатного електрообладнання [1].

Проведений аналіз існуючої системи керування і її недоліків, а також вибір варіантів їх усунення вказали на необхідність модернізації існуючої системи управління верстата моделі РТ724Ф301. З метою підвищення продуктивності верстата, економії енергоресурсів, а також збільшення міжремонтних термінів обладнання, пропонується замінити: тиристорний перетворювач, двигун постійного струму типу МР160L 30 кВт виробництва Болгарії, систему ЧПК, датчик виміру кутової швидкості, більшість аналогових модулів управління, силових модулів. Відомо, що трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором має істотні переваги в порівнянні з двигунами постійного струму [2].

Модернізація системи керування електроприводом механізму головного руху токарного патронно-центрового верстата з ЧПК моделі РТ724Ф301 повинна та здатна забезпечити всі необхідні вимоги надійності і бути рентабельною за рахунок підвищення продуктивності верстата.

Для модернізації використовується програмований контролер SIMATIC S7-300 виробництва фірми SIEMENS. Обрана система ЧПК SINUMERIK 840D у комбінації з лінійкою приводів SIMODRIVE 611 digital утворює повну цифрову систему, яка підходить для складних завдань обробки і характеризується максимальною динамікою і точністю [3].

Проведено конфігурування модернізованої системи управління, а для перевірки якості роботи електроприводу головного руху і оцінки якості перехідних процесів складено його модель в середовищі MATLAB. Аналіз роботи системи керування електроприводом в перехідних режимах довів адекватність проведених досліджень.

Таким чином, модернізація системи управління верстата за рахунок розробки модуля керування приводу головного руху є доцільною.

**Література:** 1. Клименко Г.П. Управління процесом експлуатації інструменту при обробці деталей на важких верстатах / Г.П. Клименко, О.В. Суботін // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ, вип. №37, 2015. С. 88 – 92. 2. Суботін О.В. Розробка та дослідження логіко-динамічної моделі процесу фрезерування / О.В. Суботін, С.П. Сус // Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Обчислювальна техніка та автоматизація». №1 (31). – 2018. - С.6-13. 3. Каталог СА01. Редакція 01/01, Версія 11.0.134. © Siemens Номер: E86060-Д4001-А110-В3-7600.

## ПУТИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ХОЛОДНОЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ ВЫДАВЛИВАНИЕМ

**Левченко В.М.**

*(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)*

Технологические способы штамповки холодным выдавливанием отличаются многообразием возможностей и высокой эффективностью в сравнении с другими процессами формообразования деталей [1].

Целью настоящей работы является поиск путей интенсификации технологий выдавливания с целью обеспечения требований развития конкурентоспособного производства в современных условиях.

Поиск и анализ выполненных исследований и технических решений проблемы интенсификации технологий вели по методам и предварительно определенным путям совершенствования процессов выдавливания [1, 2].

Анализ рассмотренных публикаций со сведением их на граф целей и направлений совершенствования показал, что в большинстве случаев эффективными способами формообразования являются такие новые способы выдавливания, как поперечное и комбинированное выдавливание [3].

Перевод на точную штамповку сложнопрофилированных деталей весьма эффективно из-за большего числа формируемых поверхностей. Для производства таких деталей необходимо использовать новые способы комбинированного продольно-поперечного выдавливания, такие, как радиально-прямое выдавливание с раздачей или на плавающей оправке, радиально-обратное выдавливание, выдавливание-прошивка и др.

Программирование свойств изделия связано с управлением дополнительными кинематическими и силовыми воздействиями на заготовку. Новые возможности проработки структуры открывают процессы комбинированного воздействия: осадки со сдвигом, штамповки с кручением, знакопеременного деформирования, винтовой экструзии, позволяющие достичь качественного скачка результатов холодной деформации. Вследствие этого в обрабатываемых заготовках формируется ультрамелкозернистая (нано-) структура и они приобретают уникальные свойства.

Успешное освоение новых возможностей штамповки связано также с применением схем деформирования, снижающих рабочие нагрузки: локальные методы, с активным трением, с натяжением, в режиме сверхпластичности, с оптимизацией параметров деформирующего инструмента и т.д.

**Література:** 1. Алиева Л. И. Перспективы развития процессов точной объемной штамповки / Л. И. Алиева, Я. Г. Жбанков // Вісник ДДМА. Краматорськ. 2008. – № 1 (11). – С. 13–19.  
2. Алиев И.С. Эвристические приемы поиска новых технологических решений в области штамповки. // Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в машиностроении: сб-к научн. трудов – Краматорск: ДГМА, 2001. – С. 217-221.  
3. Алиева Л. И. Совершенствование процессов комбинированного выдавливания: монография / Л. И. Алиева. – Краматорск: ООО «Тираж - 51». 2018. – 352 с. ISBN 978-966-379-846-2.

## ПОВЫШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НИОБИЕВЫХ СПЛАВОВ УПРОЧНЯЮЩИМИ ЗАЩИТНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

<sup>1</sup>Ляшенко Б.А., <sup>1</sup>Рутковский А.В., <sup>2</sup>Антонюк В.С.  
(<sup>1</sup>ИПП им Писаренко Г.С. НАН Украины, м. Киев, Украина,  
<sup>2</sup>НТУУ КПИ им. Игоря Сикорского, м. Киев, Украина)

Надежность работы технических средств, детали которых работают в условиях взаимодействия с активными газами и высокочистыми теплоносителями во многом зависят от состояния их поверхностного слоя. Высокая жаропрочность и плотность позволяют рассматривать ниобиевые сплавы как замену никелевым сплавам в авиационном газотурбостроении.

Недостаток ниобиевых сплавов является окисляемость при высоких температурах, где ниобий образует твердые растворы с газами (кислородом, азотом, водородом), при этом растворенные газы снижают их пластичность.

Поэтому практическое применение ниобиевых сплавов возможно только при создании защитных многофункциональных покрытий [1].

Широкое распространение получили методы химико-термической обработки ниобиевых сплавов традиционным алитированием, силицированием борированием. Эффективность защиты и механические свойства силицидных покрытий повышают путем введения модифицирующих элементов В, Fe, Be, Cr, Ti, V, Ta, W, Mo. При этом существенным недостатком защитных покрытий является снижение прочности и пластичности основного материала.

Новые возможности упрочнения ниобиевых сплавов открывает технология термоциклического ионного азотирования. Эта технология заключается в том, что термоциклический режим создает в поверхностном слое термические напряжения, которые ускоряют диффузию. Циклический режим нагрева тлеющим разрядом обеспечивает необходимую температуру только в поверхностном слое детали без прогрева сердцевины. Термоциклический режим с нагревом только поверхностного слоя обеспечивает снижение энергоемкости до 10 раз в сравнении с классическим изотермическим режимом [2].

Обработку в тлеющем разряде применяют также для силицирования ниобия в безводородной среде  $\text{Si}+\text{SiCl}_4$  с замкнутым рабочим объемом при давлении 10 мм рт.ст. в течение 1 часа при температуре до 1400 °С.

**Цель работы** – определить термоциклическую ползучесть и длительную прочность ниобиевого сплава НЦУ с двухслойным комбинированным покрытием при температурах 1400 °С на воздухе, сравнить эти характеристики с диффузионными силицидными покрытиями и установить различия в разрушении этих покрытий при ползучести.

Для исследований механических характеристик ниобиевых сплавов применяли методику ускоренных испытаний материалов с жаростойкими покрытиями на воздухе в условиях термоциклической ползучести. Непрерывная запись кривой ползучести от влияния резких циклических

теплосмен характеризует изменения в покрытии и в зоне адгезионного контакта с основой вплоть до разрушения образца.

При термоциклических испытаниях скорость окисления на воздухе существенно выше, чем при изотермических, что позволяет значительно сократить длительность испытаний и служит основой для создания ускоренных методов испытания покрытий.

Методика ускоренных испытаний имитирует одновременное действие эксплуатационных факторов: механической нагрузки, высоких температур, резких теплосмен, окислительной среды.

Отличительная особенность методики заключается в нагреве и охлаждении образца фокусированием лучистой энергии в замкнутой полости с холодными зеркальными стенками. Лучистый нагрев в отличие от методов нагрева непосредственным пропусканием электрического тока через образец и нагрева токами высокой частоты исключает действие электропластического и магнитопластического эффектов.

Ускоренное охлаждение образца осуществляется фокусированием его собственного теплового излучения на поглотителе. Преимущества охлаждения фокусированием собственного излучения заключается в отсутствии непосредственного контакта образца с охлаждающей средой, что обеспечивает равномерность охлаждения по периметру и высоте образца, а также увеличивает скорость охлаждения за счет отсутствия пленочного и пузырькового кипения. Бесконтактное охлаждение полностью исключает эрозионное, коррозионное и адсорбционное влияние охлаждающей среды.

Холодные зеркальные стенки оптической камеры обеспечивают минимальную тепловую инерционность. Этим создается возможность достижения высоких скоростей нагрева и охлаждения. Отличительной способностью является возможность непрерывного визуального контроля за состоянием образца и его фиксация в процессе испытаний.

В качестве критериев приняты характеристики изотермической и термоциклической ползучести при растяжении листовых пятикратных образцов ниобиевого сплава ТЦУ с толщиной 1...2 мм.

В результате испытаний строилась кривая ползучести в виде огибающей максимальных пиков деформаций за цикл. По кривым ползучести определяли относительную деформацию при разрушении ( $\epsilon_p$ ) и время до разрушения образца ( $\tau_p$ ), а также минимальную скорость ползучести ( $\dot{\epsilon}_{\min}$ ). По кривой ползучести определяли деформации при появлении дефектов в покрытии.

Измерение и контроль температуры на образце производили при помощи платино-родиевой термопары (ТТР-0,6). Градиент температур по длине рабочей части не превышал 1%. Для регистрации параметров использовали компьютерную систему контроля.

Испытывали три варианта покрытий: I – силицидное состава Si-Fe-Cr-Ti полученное шликерным методом; II – боросилицидное состава Si-B-Ti – шликерным методом; III – комплексное покрытие с плазменным подслоем из дисилицида молибдена ( $\text{MoSi}_2$ ) с наружным, полученным диффузионным насыщением поверхностного слоя элементами в основном кремнием и бором.

Диффузионное насыщение всех трех вариантов проводили в вакууме. Влияние уровня напряжения в процессе ползучести изучали в диапазоне напряжений 40...70 МПа. Это дало возможность получить кривые длительной прочности, зависимости минимальной скорости ползучести от напряжений, а также пределы ползучести и пределы длительной прочности.

Сравнение ползучести и повреждаемости варианта с покрытием III с другими силицидными покрытиями: I (Si-Fe-Cr-Ti) и II (Si-B-Ti) проводилось для изотермического (1) и термоциклического (3) режимов испытаний при уровне напряжений 50 МПа показало значительное увеличение деформации при разрушении у образцов с покрытием (III) по сравнению с покрытиями (I) и (II) – в 1,7...1,75 и 1,9...2,0 раза, соответственно.

Так как температурные процессы диффузионного насыщения при нанесении всех трех систем покрытий практически не отличаются, можно заключить, что пластические свойства материала основы и рассматриваемых композиций одинаковы. Следовательно, общее повышение пластичности композиции обеспечивается за счет повышения пластичности самого покрытия (III) по сравнению с двумя другими покрытиями.

При нагрузке 50 МПа у композиции с покрытием (III) время до разрушения при термоциклическом режиме испытаний выше, чем при изотермическом. При наличии циклически изменяющихся деформаций, долговечность материала является параметром особо чувствительным к состоянию и дефектам на поверхности. Поэтому, указанное разупрочнение во многом объясняется различием в характере развития трещин в сравниваемых покрытиях что, кстати, отражается в почти 1,5 кратном повышении долговечности у композиции с покрытием (II) Nb-B-Si(Ti) по сравнению с (I).

**Выводы:** Методика ускоренных испытаний при одновременном действии нагрузок, высоких температура, резких теплосмен и окислительной среды позволили определить характеристики изотермической и термоциклической ползучести и длительной прочности ниобиевого сплава с покрытий при температурах 1400...250 °С на воздухе.

Сравнение предельных деформаций, скорости ползучести и долговечности при изотермическом и термоциклическом режиме покрытий показало преимущество комбинированного плазменно-диффузионного покрытия перед силицидным и боросилицидным покрытиями.

Сочетание этих свойств позволило обеспечить повышение долговечности по сравнению с силицидными и боросилицидными покрытиями в условиях изотермической ползучести на воздухе (1400°С, 50 МПа) в 1,9...3,7 раза и в условиях термоциклической ползучести (1400–250°С, 50 МПа) в 6,8...8,5 раз.

**Литература:** 1. Антонюк В.С. Новое в формировании упрочняющих покрытий фрикционных поверхностей / В.С. Антонюк, М.С. Дигам // Сучасне машинобудування. - Київ: № 1. – 1999 – С. 105 - 110. 2. Ляшенко Б.А. Застосування йонно-плазмового термоциклічного азотування для підвищення зносостійкості високолегованої сталі / Б.А. Ляшенко, А.В. Рутковський, А.Ю. Кумуржі, В.С. Антонюк, Д.О. Качинський, В.С. Томашук // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Вип № 3(74) – 2015 - С. 28 – 33.

## ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА КРУГЛОШЛИФОВАЛЬНОМ СТАНКЕ ПУТЕМ РАЗРАБОТКИ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

**Макшанцев В.Г., Калимулин А.М.**  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Важным требованием современной механической обработки на металлорежущих станках является повышение точности выпускаемых изделий.

Модернизированный в условиях НКМЗ круглошлифовальный станок модели 3А172 предназначен для наружного шлифования цилиндрических, конических и торцовых поверхностей тел вращения. В станке с помощью гидравлического привода осуществляются в том числе следующие подачи: продольное возвратно-поступательное движение станка; периодическая поперечная подача круга за один двойной ход стола; непрерывная поперечная подача шлифовального круга (врезное шлифование). На точность обработки влияют следующие факторы: отклонение от прямолинейности перемещения стола, упругие деформации станка и изменение свойств масла в гидравлической системе при колебании температуры, а также износ шлифовального круга в процессе шлифования [1,2].

Целью данной работы является повышение точности шлифования за счет модернизации системы управления, замены ее на более точную и гибко реагирующую на изменения технологических параметров в процессе обработки.

Для обеспечения заданной точности шлифования предлагается адаптивное управление, гибко изменяющееся в зависимости от технологических параметров процесса. Задачей такого управления является преобразование по определенному алгоритму поступающей информации об изменении технологических параметров и внесение определенных корректив в программу действий исполнительных органов станка. Это достигается применением микропроцессорной системы управления, высокоточных датчиков обратной связи, а также гидрооборудования с пропорциональным электрическим управлением. Кроме того, выполнено ужесточение требований к гидроприводу по значению погрешностей в установившихся и переходных режимах при различных возмущающих воздействиях.

В результате обеспечивается повышение точности и качества обработки, а также увеличивается надежность и производительность шлифовального станка.

**Литература:** 1. Степанов М.С. Повышение точности обработки шлифованием за счет снижения температурных деформаций станка/ Степанов М.С., Иванова М.С., Иванова Л.П.// Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Тези доповідей XXV Міжнародної наук.-практ. конф. MicroCAD-2017, Харків: ХПІ, 2017. –Ч. I.-С.149. 2. Сайт БЭНГ [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ngpedia.ru/id504782p1.html>

## ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА ГОРИЗОНТАЛЬНО-РАСТОЧНОМ СТАНКЕ С ЧПУ МЕТОДОМ ПРОГРАММНОГО БАЗИРОВАНИЯ ЗАГОТОВКИ

**Макшанцев В.Г., Худолей М.Г.**  
(ДГМА, м. Краматорск, Украина)

Важным требованием современной механической обработки на металлорежущих станках является повышение точности изготовления деталей, в том числе за счет точной размерной привязки заготовки при изготовлении сложных изделий машиностроения.

Рассмотрим модернизированный в условиях НКМЗ горизонтально-расточной станок модели 2627МФ4, оснащенный системой ЧПУ. Он предназначен для обработки трудоемких корпусных деталей. Заготовки сложной геометрии, полученные литьем или ковкой, не имеют точных установочных баз и их измерение на станке занимает значительное время, требует специальных установочных приспособлений.

Целью данной работы является повышение точности обработки деталей на горизонтально-расточном станке методом программного базирования заготовки [1].

Для программного базирования заготовки необходимо оснащения станка программно-управляемыми электронными средствами измерения. Для этого предлагается оптическая линейка с точностью измерений до долей мкм. Результаты измерений преобразуются в цифровую информацию, которая заводится в ЧПУ. Здесь решается обратная задача - коррекции положения основных осей обработки станка относительно координат базовых точек, измеренных на поверхности заготовки, закрепленной на станке. Совмещение механической обработки и измерений в одной программе позволяет существенно сократить общую длительность цикла изготовления, и, что самое важное, резко повысить точность и безошибочность выдерживания размеров и допусков [2].

Предлагаемая система позволяет применить автоматизацию запрограммированных циклов измерений, для обеспечения распознавания точной установки заготовки, определить параметры смещения и поворота осей обработки по отношению к истинному положению заготовки.

**Литература:** 1. Кольцов А.Г. Методы автоматизированного обеспечения точности изготовления сложных деталей на станках с ЧПУ / Динамика систем, механизмов и машин: сб. науч. тр. VIII Международной науч.-техн. конф., Омск: ОмГТУ, 2012. – С.241-244.  
2. Комплексная автоматизация машиностроительного проектирования и производства при программном базировании деталей на станках с ЧПУ / [Носов Н.В, Черепашков А.А., Горяинов Д.С., Хрустицкий К.В.]; Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 18, № 4(2), 2016. – С.316-320.

## ЗАСТОСУВАННЯ ЗНАКОЗМІННОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ СТРИЖНЕВИХ ДЕТАЛЕЙ

Малій Х.В., Чепеленко О.Ю.

(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Неоднорідність напружено-деформованого стану за перерізом може призвести до швидкої появи зародків тріщин в тілі деталі та подальшої її руйнації. Це є небажаним явищем для деталей відповідального призначення. Для вирішення завдання підвищення рівномірності розподілу деформацій, структури продеформованого металу і відповідно експлуатаційних властивостей виробів, отриманих способами холодного видавлювання, розроблена гамма технологічних способів видавлювання, заснованих на комбінації прийомів силового і кінематичного впливу на оброблювану заготовку [1, 2]. Застосування знакозмінної деформації забезпечує добре пропрацювання зон деталі, що при стандартному комбінованому видавлюванні є жорсткими (не деформованими). У процесі дослідження напружено-деформованого стану комбінованого радіально-прямого видавлювання небезпечними зонами є центральна частина стрижня і жорстка зона під пуансоном – корпус деталі. Для вирішення цієї проблеми запропоновано спосіб отримання деталей поздовжнім видавлюванням, який забезпечує хороше пропрацювання проблемних зон [3]. За рахунок знакозмінної деформації забезпечується підвищення рівномірності розподілу ступеня деформування за перерізом деталі. Для підтвердження необхідного ефекту, проведено моделювання (рис. 1).

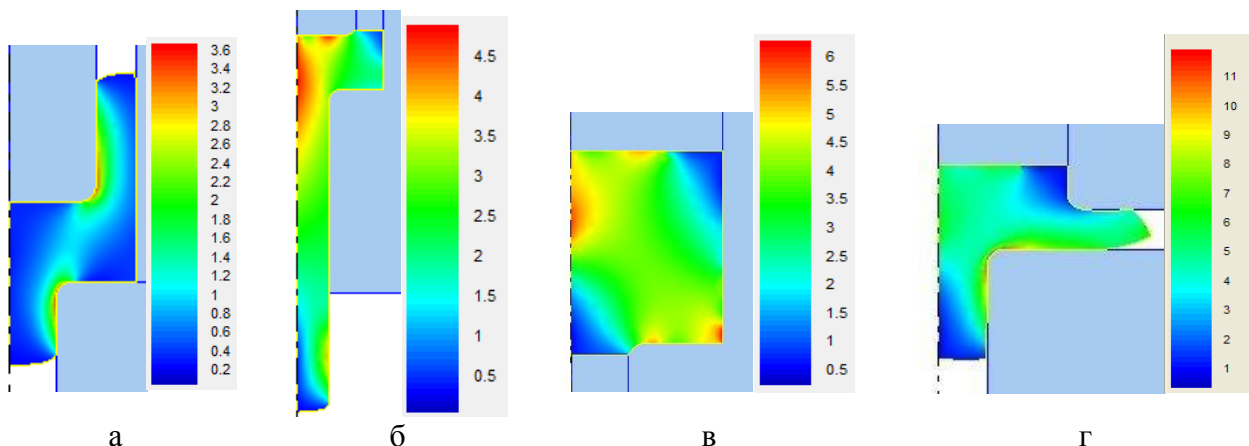


Рис. 1. Розподіл напружень в тілі заготовки з урахуванням повторної проробки заготовки: а - етап поздовжнього видавлювання, б - етап повернення стінки стакану в тіло заготовки, в- етап повернення стрижня в тіло заготовки, г - радіально-пряме видавлювання

**Література:** 1 Алиева Л. И. Перспективы развития процессов точной объемной штамповки / Л. И. Алиева, Я. Г. Жбанков // Вісник ДДМА : збірник наукових праць. – Краматорськ : ДДМА, 2008. – № 1 (11). – С. 13–19. 2. Алиева Л.И. Снижение неравномерности деформирования заготовок при холодном выдавливании / Л.И. Алиева, Л.В. Таган, К.В. Гончарук // Всеукраїнська науково-технічна конференція «Сучасні тенденції розвитку машинобудування та транспорту». Матеріали конференції. – Кременчук: КрНУ, 2016. – с. 30 – 32. 3. Пат. 107950 Україна, В 21 J 5/12, В 21 K 21/00. Спосіб виготовлення порожнистих виробів типу стакану / Алієва Л. І., Гончарук Х. В., Шкіра О.В., Сивак Р.І.; заявник і патентовласник Донбаська державна машинобудівна академія. – № u 2015 13100; заявл. 30.12.2015 ; опубл. 24.06.2016, Бюл. № 12.



## **АДАПТИВНЕ ШВИДКІСНЕ ФРЕЗОТОЧІННЯ ПРИ ОБРОБЦІ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ТІЛ ОБЕРТАННЯ**

**Мельник М. С., Бобринський В. С.**

*(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)*

Швидкісне фрезоточіння можливе при неперевищенні допустимої температури різальних кромок інструменту. Ця температура залежить від ширини фрезерування і збільшується при її збільшенні. Крім ширини фрезерування температура також залежить від матеріалу, стану заготовки, стану різальних кромок інструменту та інших факторів. Заздалегідь розрахувати її складно. Тому доцільно створити систему автоматичного управління, яка буде регулювати швидкість поздовжньої подачі таким чином, щоб не перевищувати температуру різальних кромок, допустиму для даного інструменту. Якщо утримувати температуру близько до оптимальної, то забезпечується максимальна продуктивність.

Особливістю модернізованого токарного верстата є супорт, на якому розташована фрезерна головка для швидкісного фрезоточіння деталі. Система автоматичного управління стежить за тим, щоб різальні кромки фрези не перегрівалися. Система працює в такий спосіб: із заданими режимами різання відбувається врізання інструмента в заготовку. Між фрезою та заготовкою утворюється природня термопара. Температура різальних кромок вимірюється методом природньої термопари завдяки вимірюванню термо-ЕРС. Встановлюється межі допустимої температури для обраного інструментального матеріалу. Якщо температура різання виходить за встановлені межі, то подачу змінюємо за пропорційно-інтегральним законом до тих пір поки температура не повернеться у встановлені межі. Причому для верхньої і нижньої межі температури постійна часу інтегрування встановлюється різною. Виходячи зі швидкості нагріву-охолодження ріжучої кромки температуру треба вимірювати 4-5 разів за час перебування одного зуба в контакті з заготовкою.

Швидкісне фрезерування забезпечує збільшення продуктивності на 25 - 30% з відповідним зниженням питомої витрати електричної енергії. Значне збільшення продуктивності верстата досягається при поєднанні елементів силової та швидкісної обробки.

Застосування швидкісного фрезоточіння на важких токарних верстатах за запропонованою схемою дозволить суттєво підвищити продуктивність чистових операцій на таких великогабаритних виробках як прокатні валки, і головне, вирішити проблему недостатньої стійкості різального інструменту, оскільки при класичній чистовій обробці великогабаритних тіл обертання часто на один прохід припадає декілька замін різальної пластини, що суттєво погіршує точність оброблених виробів. Застосування адаптивної подачі дозволить суттєво підвищити надійність роботи одного інструменту і виключити його передчасні відмови, дозволивши виконувати один прохід одним інструментом.

## **ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ТА ВИМІРУ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ В ЗВАРНИХ СТАНИНАХ ВАЖКИХ ВЕРСТАТІВ**

**Мельник М.С., Гримайло Р.Є.**  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Зварні станини важких верстатів мають суттєві недоліки. Один з них полягає у тому, що після виконання зварних з'єднань у виробі утворюються значні залишкові механічні напруження. Просторовий розподіл цих напружень по об'єму виробу для зварних станин носить складний характер, що призводить до викривлення геометричної форми напрямних станини з плином часу, зі зміною температури, під впливом вібрацій та значних навантажень. Через що втрачається і точність при обробці деталей на даному верстаті. Під дією внутрішніх напружень стінки станини часто втрачають статичну стійкість, що призводить до біфуркації геометричної форми і унеможливує забезпечення точності класичною механічною обробкою.

Для боротьби з розглянутим явищем необхідно вирішити дві задачі: діагностичну, тобто створити методику і обладнання для виявлення і локалізації елементів, що втратили стійкість та практичну – розробити методику зменшення залишкових напружень (повернення стійкості елементу).

Експериментально визначити наявність декількох деформаційних або стійких станів рівноваги найпростіше шляхом статичних випробувань, але це не є універсальним способом для усіх важких верстатів, а звідси виходить його економічна не вигідність.

Для виміру та виявлення місця знаходження елементів станини, що втратили стійкість було розроблено метод дослідження на основі динамічних випробувань. Суть цього метода полягає у тому, що: якщо розглядати станину верстата як балку без внутрішніх напружень у вільному стані, то ця балка при збудженні зовнішньою періодичною силою на одній з власних частот являє собою гармонічний осцилятор. Синусоїдальні коливання подібної балки легко визначаються датчиками переміщення або прискорення (акселерометром). При наявності внутрішніх напружень вимушені коливання станини будуть нелінійними і будуть мати суттєві відхилення від синусоїдального закону, що легко визначається за допомогою осцилоскопа.

Факт наявності у спектрі вимушених коливань станини складових вищих порядків можна використовувати як критерій для виявлення значних залишкових внутрішніх напружень.

У разі виявлення таких місць станину не можна вважати придатною для застосування у верстаті і вона спрямовується на доопрацювання, яке полягає у вирізанні технологічних прорізів наприклад за допомогою газокисневого різача, у стиснених зонах стінок та перегородок, з наступним їх заварюванням. Після чого здійснюється повторний контроль.

Розроблений пристрій та методика дозволять збільшити обсяг використання зварних станин у важких верстатах підвищеної і високої точності.

## СИСТЕМА КЕРУВАННЯ КУТОМ ПОВОРОТУ СЕКЦІЇ ЛОПАТИ СУЧАСНОГО ВІТРОГЕНЕРАТОРА

**Мельник М. С., Железняк Д. С.**  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Сучасні вітрогенератори мають суттєвий недолік, це низька ефективність використання енергії вітру (КПД вітроколеса), близько 0,33...0,4. Такий КПД обумовлений тим що, геометрична кривка лопаті вітротурбіни розрахована оптимальним чином лише для одного фіксованого значення швидкості вітру і швидкості обертання вітроколеса. При інших значеннях швидкості вітру фактичний кут атаки по довжині лопаті буде змінним, що призводить до зниження ефективності і підвищення шуму.

Для стабілізації швидкості обертання вітроколеса при зміні швидкості вітру на потужних вітрогенераторах застосовують керований поворот кожної лопаті навколо їх поздовжніх осей, що здійснюється системою керування залежно від швидкості вітру і навантаження на генератор. Це лише частково вирішує проблему підтримання оптимального кута атаки, оскільки при швидкостях вітру відмінних від розрахункового значення і фіксованій геометрії лопаті оптимальне значення кута атаки можна забезпечити лише для одного певного поперечного перетину лопаті. Для інших перетинів в цьому випадку буде або перевищення оптимального значення зі зривом повітряного потоку, або перехід на негативні кути атаки – зі створенням тормозного крутного моменту на певних ділянках лопаті. В обох випадках відбувається зниження ККД вітротурбіни. Також, враховуючи розміри сучасних потужних вітрогенераторів (діаметр вітроколеса 100...140м) і той факт, що швидкість вітру суттєво змінюється зі зміною висоти, окремі лопаті працюють в різних умовах: лопать, що знаходиться знизу, де швидкість вітру менше може переходити з турбінного у насосний режим, створюючи тормозний момент.

Для вирішення цієї проблеми запропоновано розробити лопать яка буде розділена на декілька частин незалежних одна від одної, які будуть керуватися автоматичною системою управління в залежності від швидкості вітру та частоти обертання вітроколеса і корегувати фактичний кут атаки по довжині всієї лопаті для запобігання зриву потоку і підвищення шуму та збільшення ефективності використання енергії вітру.

Також ефективність роботи збільшується зі збільшенням числа Рейнольдса. Тому для підвищення ефективності вітротурбіни на малих швидкостях вітру, які є переважними продовж більшої частини року, можна запропонувати збільшення хорди за рахунок висувних аеродинамічних поверхонь аналогічно до висувних закрилків і передкрилків на крилах літаків.

**Література:** 1. Загордан А.М. Элементарная теория вертолета, М.: Военное издательство министерства обороны союза ССР, 1955. – 239 с.  
2. <https://sam-stroy.info/vetryak/vetrocoleso.htm>

## ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОЇ ОБРОБКИ

**Мельник М. С., Омельченко А. О.**  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Електроерозійна обробка дозволяє виготовляти деталі з матеріалів високої твердості, таких як тверді сплави, загартовані сталі, жаростійкі, жароміцні і магнітотверді сплави. Вона є незамінною у певних випадках, особливо при виготовленні фасонних деталей складної форми з твердих матеріалів (прес-форми, штампи об'ємного штампування, фасонні отвори і т. п.) Але цей вид обробки має суттєвий недолік – значний відносний знос електрода-інструмента, що значно знижує продуктивність і точність обробки. Тому актуальною задачею є розробка способів зниження зносу електрода-інструмента до прийнятних величин у першу чергу для забезпечення можливості електроерозійної непрофільним інструментом (наприклад циліндричної або сферичної форми) за програмою ЧПК подібно до вертикально-фрезерних верстатів з ЧПК.

Особливості процесу електричної ерозії дозволяють запропонувати знизити знос електрода-інструмента за рахунок надання електроду-інструменту обертального руху і використанню імпульсів струму зворотної полярності, а також використання меншої області електрода, що взаємодіє з заготовкою. Цією особливістю є неодночасне розігрівання катоду і аноду після запалювання розряду. В першу чергу виникає автоелектронна емісія з певної ділянки катоду, яка викликає пробій діелектричної рідини і початковий незначний розігрів аноду. Наступною фазою є виникнення іонного потоку в зворотному напрямку, який інтенсивно розігріває катод на малій площині. Після цього на катоді виникає катодна пляма з термоелектронною емісією, яка завдяки тепловій інерції «фіксується» на одному місці поверхні катоду і не може рухатися до закінчення розряду. Якщо в такому режимі поверхню аноду переміщувати відносно поверхні катоду то можна забезпечити «заміну» активної поверхні аноду і виключення його розігріву до температури плавлення і відповідно виключити його знос.

Принцип запропонованої технології полягає в тому, що спочатку подається короткочасна велика напруга при обмеженому струмі для запалювання розряду і утворення катодної плями, потім струм збільшується і не змінюється деякий час. В цей час відбувається горіння розряду, яке викликає розплавлення певної зони деталі (катоду). Завдяки швидкому обертанню електрода-інструмента, який є анодом, його поверхня, що контактує зі стволем розряду постійно змінюється і не встигає розігрітися до температури розплавлення. Наприкінці дії основного імпульсу подається короткочасний імпульс підвищеного струму внаслідок якого за рахунок магнітно-динамічної сили розплавлений матеріал заготовки видаляється з лунки в робочу рідину.

Проблемами для впровадження цього рішення може бути зовнішня необхідна швидкість руху електрода (за попередніми розрахунками 300 м/с) і, відповідно, складність підведення робочої рідини та значні гідродинамічні зусилля.

# ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА СЛИТКОРОЗРІЗНИХ ВЕРСТАТАХ ЗА РАХУНОК ВДОСКОНАЛЕННЯ ЗБІРНИХ КОНСТРУКЦІЙ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

**Міранцов С.Л., Стешенко В.О., Городецький О.В.**

*(ДДМА м. Краматорськ, Україна)*

steschenko.v@gmail.com

*The paper addresses the issues of improving the efficiency of the processing of parts on ingot-cutting machines by improving the design of the cutting tool and the use of an adaptive system for damping torsional vibrations in the technological system of the machine*

Підвищення продуктивності обробки на важких станках обмежується деякими технологічними операціями, однією з яких є відрізка великих діаметрів на токарних верстатах або розрізання злитків на злиткорозрізних верстатах. Вказані технологічні операції представляють собою невідільне різання, яке характеризується низкою особливостей. Так, наприклад, при розрізанні злитків інструмент працює зі значними питомими навантаженнями на леза, в умовах утрудненого відведення стружки, крім того в технологічній системі виникають інтенсивні крутильні коливання, що призводить до зниження продуктивності обробки та великої кількості відмов різального інструменту.

Поставлена задача з підвищення продуктивності механічної обробки на злиткорозрізних верстатах вирішується шляхом вдосконалення конструкцій різального інструменту, що зволить при заданому рівні продуктивності і точності скоротити час обробки за рахунок інтенсифікації режимів обробки.

У якості методів досліджень використовувалося моделювання напружено-деформованого стану збірних конструкцій інструменту і гармонійний аналіз конструкції з метою отримання амплітудно-частотних характеристик коливань інструменту.

На основі аналітичних досліджень визначені раціональні конструктивні параметри різальної частини інструменту, конструктивні параметри вузлу закріплення, які дозволяють підвищити жорсткість закріплення та розроблені конструкції збірних різців для поперечного різання на важких токарних та злиткорозрізних верстатах, зокрема для операцій відрізки та розрізання злитків.

Розроблені конструкції збірні інструментів, в порівнянні з аналогами, характеризуються більшою міцністю різальної частини і жорсткістю вузла механічного закріплення ріжучого елемента за рахунок застосування криволінійних опорних і притискних поверхонь корпусу інструменту.

Застосування розроблених конструкцій збірних інструментів дозволяє скоротити номенклатуру різців, скоротити допоміжний час заміни інструменту на 50% і збільшити подачу в середньому на 20% за рахунок підвищення жорсткості і вібростійкості конструкції.

# СИСТЕМА АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ ШВИДКІСТЮ ПОПЕРЕЧНОЇ ПОДАЧІ НА ПРОРІЗНИХ ОПЕРАЦІЯХ З КОНТРОЛЕМ СТАНУ ІНСТРУМЕНТУ

**Міранцов С.Л., Хатітовський М.О., Арутюнян А.Е.**

*(ДДМА м. Краматорськ, Україна)*

hatitowskcy@gmail.com

*The paper deals with the study of dynamic phenomena during cutting on heavy lathes and rotary machines. For research offers a model of the technological system. Based on the results of the research, the structure of the adaptive control system of the transverse feed rate for the suppression of self-oscillations has been developed.*

Сучасна тенденція розвитку машинобудування спрямована на підвищення точності, продуктивності, зниження вартості металообробки. Важливе значення в реалізації даної тенденції має дослідження закономірностей процесу різання з метою оптимізації процесів механічної обробки матеріалів. Однак наявність коливань і деформацій пружних систем, зміна припуску, нерівномірності характеристик матеріалу заготовок, температури, зносу інструменту та інших неконтрольованих впливів, що обурюють призводить до зниження точності і продуктивності процесів різання. Ефективним шляхом підвищення ефективності різання в даних умовах є створення автоматизованих систем управління, що дозволяють шляхом коригування режимних різання компенсувати вплив силових і інших збурень на процес різання і забезпечити роботу на більш високих силах різання і продуктивності.

Метою роботи є розробка адаптивної системи для гасіння автоколивань, що виникають при обробці в технологічній системі важких токарних верстатів.

Для аналітичних досліджень динамічних явищ, що виникають у процесі різання на важких токарних і карусельних верстатах, запропонована структурна і математична модель технологічної системи. Дана модель заснована на результатах аналізу конструкцій і конструктивних особливостей ряду важких карусельних верстатів з діаметрами планшайби  $D = (6300 \dots 12000)$  мм. Зокрема для побудови моделі були розглянуті верстати моделей 1А660Ф3, 1532, 1565, 1570, 1580Л, які використовуються в умовах ПАТ «ЕМСС» і ПрАТ «НКМЗ» для обробки великогабаритних корпусних деталей масою до 20 т.

На підставі аналітичних досліджень запропонована структура та принципова схема системи адаптивного керування швидкістю поперечної подачі для важких токарних верстатів для операцій поперечного точіння з контролем стану інструменту, яка призначена для гасіння автоколивань. Особливістю запропонованої системи є використання розробленого «активного гасника коливань», який встановлюється на супорті верстата.

## АНАЛІЗ МЕХАНІЗМУ ВИНИКНЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО РІВЕНЯ АВТОКОЛИВАНЬ

**Мироненко Є. В., Міранцов С. Л., Гузенко Д.Є.**  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Залежність стійкості інструмента від амплітуди автоколивань для різних різальних процесів лезовим інструментом має екстремальний характер і добре апроксимується аналітичним виразом [1]. Це означає, що для кожного конкретного процесу є певна оптимальна (за критерієм стійкості) амплітуда автоколивань, при яких має місце найбільша стійкість інструмента. Контролюючи інтенсивність автоколивань, можна домогтися підвищення працездатності по машинному часу до двох...п'ять разів.

У цілому розглянутий широкий діапазон частот можна розділити на три зони.

Перша зона коливання (низької частоти) з частотою коливань  $f=20...150$ Гц. При цих частотах оптимальні амплітуди коливань мають значення  $A_{\text{опт}}=30...50$ мкм. Поліпшення механообробки в цій зоні забезпечується за рахунок дроблення стружки і полегшенню її видалення. Коливання цієї інтенсивності полегшують процес пластичної деформації, не викликаючи руйнування і зниження стійкості інструмента.

Друга зона коливання з частотами  $f=150...2000$ Гц покриває переважно область автоколивань. В цій зоні оптимальними є автоколивання з амплітудою  $A_{\text{опт}}=10...20$ мкм. Поліпшення обробки в цій зоні досягається шляхом сприянню пластичній деформації, зниженні сили різання і тертя, зменшуючи явища адгезії на контактних ділянках інструмента з заготовленням та стружкою.

Третя зона включає в себе примусові коливання з частотами  $f=10...20$ кГц. В цій зоні оптимальними коливаннями з амплітудами  $A_{\text{опт}}=5...10$ мкм. Такі коливання призводять до зменшення зони пластичної деформації, зменшенню усадки стружки та зменшення інтенсивності автоколивань, усунення явища наростів на інструменті. Найменш дослідженою є зона коливань с частотами  $f=2...10$ кГц.

Для кожного з частотних зон коливань є рівень амплітуд, при яких значно полегшується процес різання. Цей рівень амплітуд коливань по критерію стійкості є оптимальним.

Як збільшення, так і зниження амплітуд по порівнянню з цим рівнем приводить до значного погіршення процесу обробки різанням. Цим пояснюється екстремальний характер залежності стійкості інструменту від амплітуди автоколивань для всіх досліджених процесів різання.

**Література:** 1. Кудинов В.А. Схема стружкообразования (динамическая модель процесса резания) // Станки и инструмент. - 1992. - № 10. - С. 26 - 29.

## АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ЗБІРНОГО ТОКАРНОГО РІЗЦЯ З КРІПЛЕННЯМ РІЗАЛЬНОЇ ПЛАСТИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ КЛИНОВОГО ЕЛЕМЕНТА ТА ПРИТИСКНОГО ГВИНТА

Мироненко Є. В., Васильченко Я. В., Гузенко Д. Є., Калініченко В. В.,  
Луговий А. А.

(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Працездатність збірних різців залежить від надійності закріплення різальної пластини, що визначається конструкцією вузла її кріплення.

Відомими є конструкції збірних токарних різців з кріпленням різальної пластини за допомогою клинового елемента та притискного гвинта. Одна з цих конструкцій представлена у патенті [1] (рисунок 1). До неї входить тримач 1, опорна пластина 2, різальна пластина 3 з центральним отвором 4, яка кріпиться клиновим елементом 6 та притискним гвинтом 7. Встановлений у гнізді 8 тримача клиновий елемент 6 контактує притискним виступом 9 з бічною поверхнею різальної пластини 3, поверхнею 10 – з похилою ділянкою гнізда 8, поверхнею 11 опорного виступу 13 – з ділянкою 12 гнізда 8. Розрізна шайба 14 закріплюється у пазу гвинта 7, при затягуванні якого клиновий елемент 6 повертається за стрілкою годинника у гнізді 8. Надійне закріплення різальної пластини 2 забезпечується за рахунок стабілізації положення точки контакту її бічної поверхні з притискним виступом 9 клинового елемента 6. Для цього поверхня 11 опорного виступу 13 клинового елемента 6, що взаємодіє зі скошеною ділянкою 12 гнізда 8, виконана циліндричною, з радіусом, що дорівнює відстані між виступами клинового елемента 6.

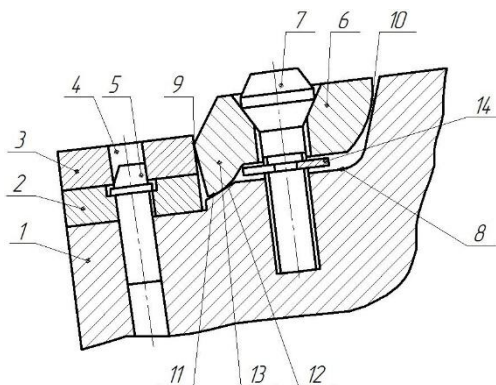


Рис. 1. Конструкція збірного токарного різця з кріпленням різальної пластини за допомогою клинового елемента та притискного гвинта [1]

Результати досліджень підтверджують позитивний вплив особливостей конструкції вузла кріплення на надійність закріплення різальної пластини, що вигідно відрізняє проаналізовану конструкцію від конструкцій-аналогів.

**Література:** 1. Збірний різальний інструмент: пат. 114465 Україна, МПК В23В 27/16 / Є. В. Мироненко, Я. В. Васильченко, О. М. Ліщенко, Д. Є. Гузенко. № u201609272; заявл. 05.09.2016; опубл. 10.03.2017, бюл. № 5. – 4 с., іл.



## ДОСЛІДЖЕННЯ І ВДОСКОНАЛЕННЯ ВІДРІЗНИХ ДИСКОВИХ ФРЕЗ З МЕХАНІЧНИМ КРІПЛЕННЯМ ТАНГЕНЦІАЛЬНО РОЗТАШОВАНИХ ПЛАСТИН

**Мироненко Е.В., Кравченко Т.С.**  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Сучасний розвиток машинобудівного виробництва орієнтоване на підвищення якості машинобудівної продукції, скорочення часу обробки.

Для досягнення даних критеріїв використовуються нові інструменти що мають кращі властивості, і покращуються умови їх експлуатації.

Проблема використання збірних дискових фрез полягає у наявності радіального і торцевого биття зубів, що призводить до нерівномірного навантаження різальних пластин, їх нерівномірного зносу, зниження надійності роботи фрез на чорнових режимах, а також до збільшення пульсацій сил різання і, як наслідок, погіршення точності і якості поверхні на чистових режимах. Наявність биття зубів обумовлено накопиченням похибок виготовлення окремих поверхонь корпусу фрези та окремих різальних пластин. При економічно обґрунтованій точності виготовлення деталей фрези отримане биття зубів є співрозмірним з величиною подачі на зуб на чистових режимах, що не забезпечує належних умов роботи фрези на цих режимах.

Для вирішення цієї проблеми часто застосовують збірні фрези з регульованими різальними пластинами, але такий підхід по перше підвищує складність і вартість самої фрези, і по друге суттєво збільшує витрати на експлуатацію, оскільки через кожен період стійкості однієї різальної кромки необхідно включати відповідальну і трудомістку ручну операцію налаштування пластин. Ця операція також містить людський фактор, що знову ж таки знижує надійність експлуатації фрез на відповідальних чистових режимах.

Тому для підвищення надійності операції налаштування пластин і зниження експлуатаційних витрат на неї було запропоновано розробити автоматичне пристосування для контролю і налаштування радіального биття пластин збірних дискових фрез.

Налаштування відбувається у автоматичному режимі з цифровим щупом з дозволеною здатністю 1 мкм. Для розкріплення і закріплення та змінення положень пластини використовуються спеціальні сервоприводи що керуються від мікроконтролера. Ці сервоприводи переміщують регульовані клини під пластинами фрези. Після встановлення потрібної висоти зуба відбувається закріплення пластини і касети.

Завдяки розробленню цього пристосування з'явилися такі переваги використання збірних дискових фрез як:

- налаштування фрези з точністю, яка визначається роздільною здатністю датчиків, тобто до 1 мкм;
- включення необхідності залучення висококваліфікованого персоналу;
- скорочення часу на налаштування і підвищення надійності процесу налаштування.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ ЗБІРНИХ РІЗЦІВ З L-ПОДІБНИМ ВАЖИЛЕМ ДЛЯ ЗАКРІПЛЕННЯ РІЗАЛЬНОЇ ПЛАСТИНИ

**Мироненко Є.В., Міранцов С.Л., Гузенко Д.Є.**

*(ДДМА м. Краматорськ, Україна)*

evgeny.mironenko@dgma.donetsk.ua

*The paper deals with the research and improvement of designs of prefabricated tools for heavy lathes. Based on the frequency analysis of tools, the attachment points of the cutting plates are improved, which makes it possible to increase the vibration resistance of the process system*

Підвищення продуктивності механічної обробки на важких токарних верстатах визначається значною мірою параметрами інструменту, що використовується. До таких параметрах в першу чергу відноситься міцність різальної частини, жорсткість збірної конструкції, вібростійкість, а також показники надійності, що визначають можливість заміни або відновлення інструменту.

На важких верстатах для зовнішнього поздовжнього точіння використовуються велика різноманітність конструкцій збірних різців, що володіють своїми достоїнствами і недоліками. В даний час проведені великі дослідження міцності токарного інструменту для важких верстатів, проте деякі нові конструкції збірних різців розглянуті недостатньо, при їх аналізі не розглядалися сили контактної взаємодії між елементами збірної конструкції, а також зазори і сили тертя.

Метою роботи є вдосконалення конструкцій збірних різців для важких верстатів за рахунок підвищення жорсткості механічного закріплення різальних пластин, підвищення вібростійкості технологічної системи, що дасть змогу підвищити продуктивність обробки деталей.

У якості методів досліджень використовувалося моделювання напружено-деформованого стану збірних конструкцій інструменту за частотний аналіз за допомогою системи ANSYS Workbench.

Аналіз отриманих в результаті частотного аналізу амплітудно-частотних характеристик різців з L-подібним важелем показує, що при зміні конструктивних параметрів елементів механічного закріплення різальної пластини, а також способу закріплення впливає на власні частоти та амплітуду коливань збірної конструкції.

На основі аналітичних досліджень визначені раціональні конструктивні параметри вузлу закріплення, які дозволяють підвищити жорсткість закріплення та розроблені конструкції збірних різців для важких токарних та карусельних верстатів, які у порівнянні за аналогами забезпечують зростання продуктивності обробки деталей на 10-15%.

## ПОСТАНОВКА ГРАНИЧНОЙ ЗАДАЧИ ФИЛЬТРАЦИИ ЖИДКОСТЕЙ В ПЕРЕМЕННОЙ ПОРИСТОЙ СРЕДЕ

**Молчанов В. Ф.**

(ДГТУ МОН Украины, г. Каменское, Днепропетровской обл., Украина)

**Анализ публикаций.** Использование фильтрации для очистки технологических жидкостей наиболее эффективно, так как при фильтрации через слой пористых материалов можно достигнуть полного извлечения твердых частиц из жидкостей [1]. Однако особенности строения порового пространства обуславливают ряд специфических явлений, возникающих при движении жидкостей в каналах пористой среды.

**Цель и постановка задачи.** Целью исследования является установления закономерности процесса фильтрации технологических жидкостей через пористые материалы. При фильтрации технологических жидкостей через слой пористых материалов пористая среда фильтрующей перегородки изменяется с изменением ее пористости. Изменение пористости происходит за счет уменьшения объема пор порового пространства, так как твердые частицы вместе с жидкостью проникают в поры каналов порового пространства и застревают в них.

**Решение граничной задачи.** В рассматриваемой модели, процесс фильтрации шламовой суспензии протекает с постоянным закупориванием пор фильтрующей перегородки. При фильтрации с постепенным закупориванием пор на фильтрующую перегородку объемом  $W_{\phi}$ , м<sup>3</sup>, в которой содержится слой сыпучего пористого материала пористостью  $\Pi$ , непрерывно поступает технологическая жидкость со скоростью  $W_{ж}$ , м<sup>3</sup> в минуту, в которой содержатся твердые частицы массой  $k_3$ , кг. Поступающие с жидкостью в поры каналов фильтрующей перегородки твердые частицы застревают и задерживаются в ней, а отфильтрованная жидкость продолжает двигаться с той же скоростью. Твердые частицы, застрявшие в порах каналов фильтрующей перегородки, изменяют ее пористость и оказывают влияние на длительность процесса фильтрации.

Предполагая, что изменение пористости пропорционально приросту массы твердых частиц в пористом слое фильтрующей перегородки объемом  $W_{\phi}$ , м<sup>3</sup>, получим

$$d\Pi = \frac{dm_T}{\rho \cdot W_{\phi}} \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность пористой среды, кг/м<sup>3</sup>.

Так как при фильтрации шламовых суспензий через слой твердых частиц шлама пористая среда непрерывно деформируется, то уравнение неразрывности принимает вид

$$\frac{\partial(\rho_0 u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho_0 v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho_0 w)}{\partial z} + \Pi \frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \frac{\partial \Pi}{\partial t} = 0. \quad (2)$$

Подставляя в уравнение неразрывности значения

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{d\rho}{dP} \cdot \frac{\partial P}{\partial t}, \text{ и} \quad \frac{\partial \Pi}{\partial t} = \frac{d\Pi}{dm_T} \cdot \frac{\partial m_T}{\partial t},$$

получаем

$$\frac{\partial(\rho_0 u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho_0 v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho_0 w)}{\partial z} + \Pi \frac{d\rho}{dP} \frac{\partial P}{\partial t} + \rho \frac{d\Pi}{dm_T} \frac{\partial m_T}{\partial t} = 0$$

Реальная жидкость слабо сжимаема, поэтому с достаточной степенью точности можно записать

$$\rho - \rho_0 = \frac{\rho}{\alpha} (P - P_0), \quad (3)$$

где  $\alpha$  – модуль упругости жидкости, кг/м<sup>2</sup>.

Определяя по приведенным выше формулам значения величин

$$\frac{\partial m_T}{\partial t} = W_{жс} \cdot \kappa_3 \cdot e^{-W_{жс} \cdot t}; \quad \frac{d\Pi}{dm_T} = \frac{1}{\rho_T \cdot W_\phi}; \quad \frac{d\rho}{dP} = \frac{\rho}{\alpha},$$

уравнение неразрывности для переменной пористой среды окончательно принимает следующий вид

$$\frac{\partial(\rho_0 u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho_0 v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho_0 w)}{\partial z} + \Pi \frac{\rho}{\alpha} \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\kappa_3 \cdot W_{жс} \cdot e^{-W_{жс} \cdot t}}{\rho \cdot W_\phi} = 0.$$

Из уравнения неразрывности выводим уравнение движения жидкости в переменной пористой среде

$$\frac{\partial^2 P}{\partial z^2} + \Pi \frac{\rho \cdot g}{\alpha \cdot k_\phi} \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\kappa_3 \cdot g \cdot W_{жс} \cdot e^{-W_{жс} \cdot t}}{k_\phi \cdot \rho \cdot W_\phi} = 0. \quad (4)$$

Так как при фильтрации суспензии через слой твердых частиц движение протекает в одном направлении, то уравнение (4) принимает вид

$$\frac{\partial^2 P}{\partial z^2} + \Pi \frac{\rho \cdot g}{\alpha \cdot k_\phi} \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\kappa_3 \cdot g \cdot W_{жс} \cdot e^{-W_{жс} \cdot t}}{k_\phi \cdot \rho \cdot W_\phi} = 0. \quad (5)$$

Уравнение (5) при заданных начальных и граничных условиях (6) позволяет получить постановку задачи фильтрации жидкости через слой твердых частиц переменной пористой среды фильтрующей перегородки в области значений  $0 \leq t \leq T$ ,  $0 \leq z \leq L$ .

$$P(z, 0) = P_1; \quad P(0, t) = P_1; \quad P(L, t) = P_2. \quad (6)$$

### Выводы.

1. Проведенные исследования позволили выявить закономерности процесса фильтрации технологических жидкостей через пористые материалы.

2. Выявленные закономерности позволили установить закон изменения пористости фильтрующей перегородки.

**Література:** 1. Молчанов В.Ф. Постановка нестационарной задачи фильтрации жидкостей в пористой среде / В.Ф.Молчанов // Математичне моделювання. Науковий журнал №1 – 2014. – С 28-30.

# АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ШТАМПІВ ДЛЯ ВИТЯГУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ХОЛОДНО-ЛИСТОВИМ ШТАМПУВАННЯМ

<sup>1</sup>Панчук В. Г., <sup>1</sup>Карпик Р. Т., <sup>2</sup>Костюк Н. О.

(<sup>1</sup>ІФНТУНГ м. Івано-Франківськ, Україна; <sup>2</sup>ХНУ м. Хмельницький, Україна)

У виробничому процесі холодне листове штампування (ХЛШ) один з найбільш прогресивних і розповсюджених технологічних процесів, що дозволяє виготовляти з листового матеріалу найрізноманітніші за формою та розмірами деталі в короткий термін з мінімальними витратами та відходами. Таким чином штампи ХЛШ та їх вироби потрібні усім галузям виробництва від важкого машинобудування до галузей легкої та харчової промисловості.

Деталі з листового матеріалу проектуються в спеціалізованих САД-системах (або САД-пакетах). У більшості САПР ці пакети становлять самостійні додатки, які базуються на функціональному ядрі системи та використовують математичні припущення, пов'язані з особливостями отримання деталей листовим штампуванням [1].

Для підприємства є проблемою питання економії в процесах проектування штамів, що тісно пов'язане з витратами на виготовлення. Це визиває необхідність заміни загально прийнятих методів вирішення задач при проектуванні штамів і створює необхідність застосування комп'ютерних різнохарактерних середовищ для розробки інтегрованих систем конструкторсько-технологічного автоматизованого проектування.

В нашому випадку розроблено програмне забезпечення з використанням середовища Borland Delphi, що являє собою засіб розробки додатків для Microsoft Windows. Delphi є потужним і простим у використанні інструментом для створення автономних програм, що володіють графічним інтерфейсом (GUI).

Структура розробленого програмного забезпечення відповідає технологічним машинобудівним стандартам і працює в послідовності відповідно до блок-схеми (рис.1), а також оснащено бібліотекою фізичних, хімічних властивостей матеріалів з можливістю додавання, редагування, сортування, і при бажанні здійснювати пошук за назвою потрібного матеріалу під час проектування.

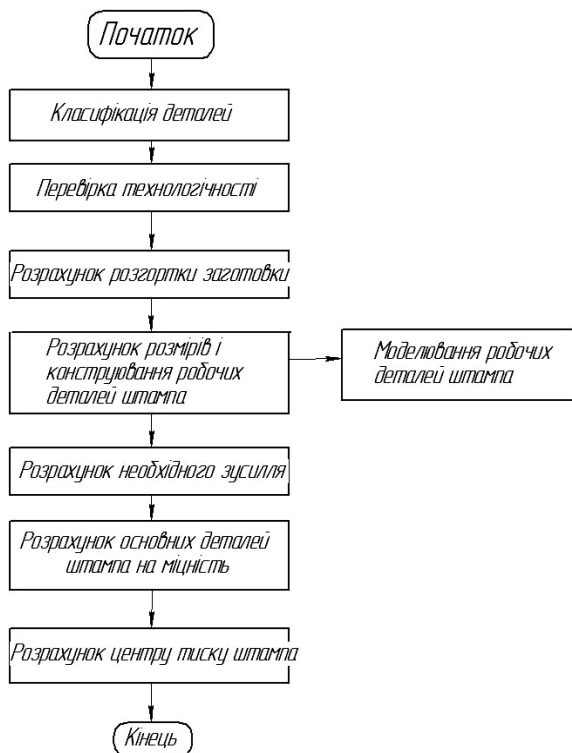


Рис.1. Блок-схема

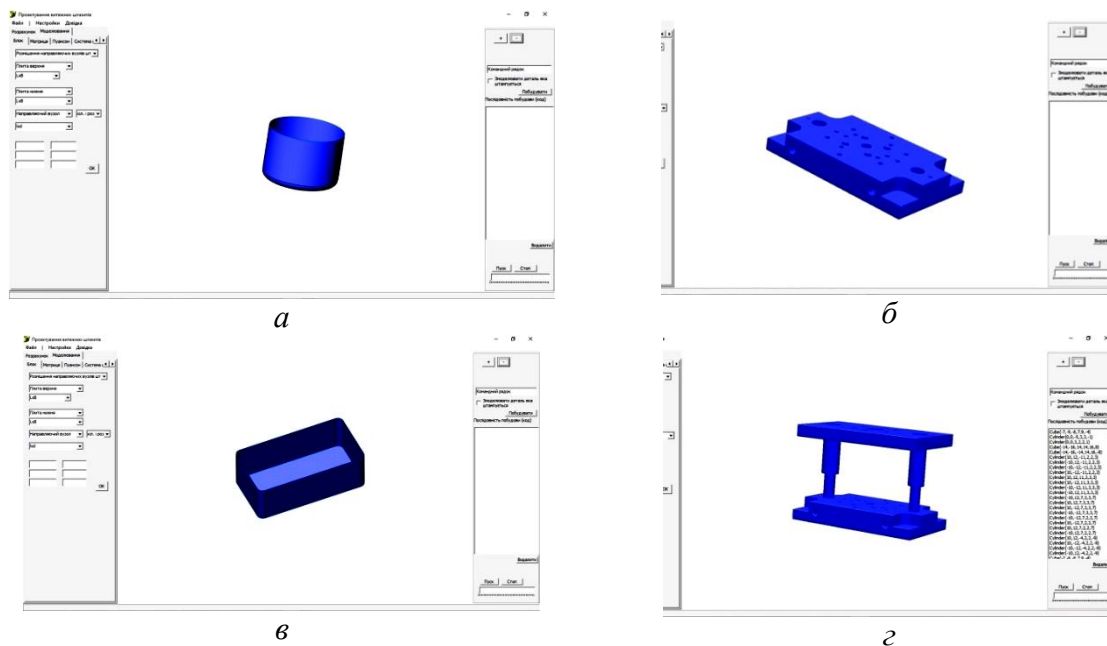


Рис. 2. Реалізація САПР в 3D

а – моделювання циліндричної деталі; б – моделювання нижньої плити штампа;  
в – моделювання призматичної деталі; г – реалізація зборки штампа

Проектування розпочинається з моделювання деталі (рис.2.а,в), що штампується, яку користувач моделює в 3D, після чого програма автоматично проводить необхідні математичні розрахунки та проектує матрицю і пуансон з врахуванням відповідних зазорів, припусків також при необхідності проектує системи фіксації, виштовхування, притискання, знімання і є можливість проектування додаткових деталей типу плит (рис.2.б), підкладки, пуансонотримачі, хвостовики, і створювати бібліотеку деталей з можливістю сортування і пошуку необхідних деталей [2]. Також користувач за бажанням має можливість сам скласти збірку штампа (рис.2.г), або за допомогою програмного забезпечення.

Отже з використанням середовища Borland Delphi розроблено програмне забезпечення з написаним власним 3D модулем та оптимізованим інтерфейсом, що не потребує висококваліфікованих користувачів і дозволяє економічно заощадити на дороговартісних спеціалізованих програмних продуктах, а також дозволяє зменшити час на проектування штампа.

В подальшому розробка САПР буде вдосконалюватись в напрямку збільшення бібліотек і покращення 3D модуля. А також планується можливість автоматичного виконання креслення з нанесенням розмірів та технічних вимог, експорт та імпорт як моделі так і креслення для зв'язку із іншими САД-системами.

**Література:** 1. Автоматизированное проектирование штампов: учеб. пособие / А. Г. Схиртладзе [и др.]; под ред. проф. В. В. Морозова; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007. – 284 с. 2. Боков В. М. Конструювання та виготовлення штамтів. Штмп як об'єкт проектування. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий ТОВ «Імекс ЛТД», 2005. – 216 с.

# ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІБРАЦІЙНОЇ ОЗДОБЛЮВАЛЬНО-ЗАЧИЩУВАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОБУДІВНИХ ВИРОБНИЦТВ

<sup>1</sup>Міцик А.В., <sup>2</sup>Федорович В.О.

(<sup>1</sup>СНУ ім. В. Даля, м. Сєвєродонецьк, Україна; <sup>2</sup>НТУ «ХП», м. Харків, Україна)

Сучасні високопродуктивні процеси формоутворення дозволяють наблизити форму і розміри заготовки до форми та розмірів деталі. Тому в даний час істотно знижується обсяг лезвійної обробки і зростає роль оздоблювальних процесів. У зв'язку з цим розробка нових технологій для фінішної обробки є одним із актуальних завдань машинобудування і приладобудування.

Розвиток вібраційної техніки та технологи, яка реалізується при виконанні оздоблювально-зачищувальних операцій широкої номенклатури деталей загальномашинобудівного застосування, передбачає подальше використання найрізноманітніших ефектів енергетичних впливів на робоче середовище і оброблювані деталі, а також множинні варіанти їх комбінування, що підвищує інтенсивність і якість процесу оздоблювально-зачищувальної обробки при досягненні необхідного технологічного результату у виготовленні деталей.

Відомо, що в номенклатурі деталей загальномашинобудівного застосування має місце достатня кількість як дрібно-, так і великогабаритних корпусних деталей приводних і розподільних механізмів, а також деталей типу тіла обертання, таких як диски, втулки, котушки, шківни, зубчасті колеса та ін. Їх форма класифікується як складна, об'ємна, утворена поєднаннями циліндричних, конічних і інших криволінійних поверхонь. Конструкції деталей мають ніші, кишені, уступи, лекальні переходи елементів поверхні з малими 1 ... 3 мм радіусами сполучення, а також глухі і наскрізні отвори різного діаметру. Формоутворення таких конструктивних особливостей пов'язане з операціями лезвійної обробки на металорізальних верстатах, а саме: точіння; фрезерування; свердлінням, що тягне за собою появу дефектів поверхні у вигляді задирок, гострих кромки, підвищеної шорсткості, видалення яких необхідно відповідно до вимог подальшого складання та експлуатації [1].

Постійний розвиток наук технологія машинобудування та різання металів привело до створення, вивчення і промислового впровадження численних способів оздоблювально-зачищувальної обробки вільним абразивним середовищем, пов'язаних з видаленням перерахованих вище дефектів. Серед них способи, в основу яких для досягнення необхідного технологічного результату покладено вібраційний, відцентровий і гідродинамічний вплив на робоче середовище і оброблювані деталі з різними фізико-механічними властивостями і характеристиками.

Необхідно відзначити, що незважаючи на ефективність відомих способів, вони за деякими технологічних причин не дають бажаних результатів при обробці вищезазначених деталей. А саме, при використанні вібраційних і відцентрових технологій з'ясувалося, що вільне завантаження партії деталей в

резервуар виброверстата призводить до їх взаємного зіткнення в ході циркуляційного руху спільно з робочим середовищем, що викликає появу до 25 % браку у вигляді вибоїн, вм'ятин і подряпин на оброблюваних поверхнях деталей.

Також при спільній обробці великих партій деталей не виключається організація їх склепінь і заклинювання резервуара. Усунення браку за рахунок збільшення машинного часу обробки або ж обробки деталей не партіями, а окремо, незрівнянно знижує продуктивність праці та підвищує собівартість виготовлення деталей, що економічно недоцільно.

Крім того, неприйнятність вібраційних технологій в їх класичному вигляді очевидна з огляду на те, що в них використовується робоче середовище з розміром гранул 5 ... 35 мм, а така грануляція не забезпечує видалення наявних дефектів в нішах, кишнях, сполученнях малого радіусу, отворах малого діаметра та ін., якими рясніє конструкція деталей складної форми, і які за своїми розмірами можуть бути значно менше грануляції застосовуваного робочого середовища.

Зі сказаного вище, щодо виділеної номенклатури деталей зрозуміло, що технологічна ситуація диктує для них можливе виключення з промислового впровадження схеми обробки «внасіп» і перехід до схеми обробки «з закріпленням» при розміщенні деталей у резервуарі виброверстата. Однозначна думка про переваги тієї чи іншої схеми обробки не є абсолютним твердженням, так як можна припустити, що при обробці «з закріпленням» в силу демпфуючих властивостей робочого середовища інтенсивність обробки на різному видаленні від робочих поверхонь резервуара буде неоднакова. А це при організації процесу віброобробки має певне значення для показників зйому металу і шорсткості поверхні, так як оброблювані деталі будуть базуватися і закріплюватися групами на настановних пальцях пристосування розташованого в вертикальній площині резервуара, тобто кожна з груп деталей під час обробки буде перебувати в різній зоні динамічної активності робочого середовища у напрямку від днища, де активність максимальна, до верху резервуара, де активність коливного середовища порівняно невелика.

Якщо говорити про комбіновані мультіенергетичні технології віброобробки [2], в яких використовуються різні схеми енергетичного впливу, то зазначені тенденції зберігаються, а перелік режимних факторів, пов'язаних з динамікою та кінематикою процесу, раніше властивих тільки дії віброзбуджувача, значно розширюється за рахунок дії додатково використовуваних шпindelних, імперних, а також гідродинамічних пристроїв, які в певних комбінаціях надають одночасний енергетичний вплив на робоче середовище і оброблювані деталі, створюючи необхідний ефект процесу мультіенергетичної обробки.

**Література:** 1. Мицьк А.В. Пути интенсификации вибрационной отделочно-зачистной обработки комбинированием схем энергетических воздействий на рабочую среду и детали / А.В. Мицьк, В.А. Федорович // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2011. – № 6 (83). – С. 26 – 34. 2. Мицьк А.В., Федорович В.О. Возможности мультіенергетической технологии отделочно-зачистной обработки и гибридного станка вибрационного и двойного центробежного динамического воздействия // Високі технології в машинобудуванні: Міжнар. наук.-техн. сб. – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – Вип. 1 (26). – С. 62 – 68.



# СОКРАЩЕНИЕ СРОКОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НА БАЗЕ КОМПЬЮТЕРНО- ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ

**Пасечник В.А., Воронцов Б.С.**

*(НТУУ «КПИ им. Игоря Сикорского», г. Киев, Украина)*

Сокращение сроков технологической подготовки производства (ТПП) зубчатых колес (ЗК) – результат комплексного воздействия теоретического формообразования, которое включает проектирование самого изделия, проектирование процесса его формообразования (кинематическая схема формообразования, исходная инструментальная поверхность, режущий инструмент) и реализации процесса формообразования.

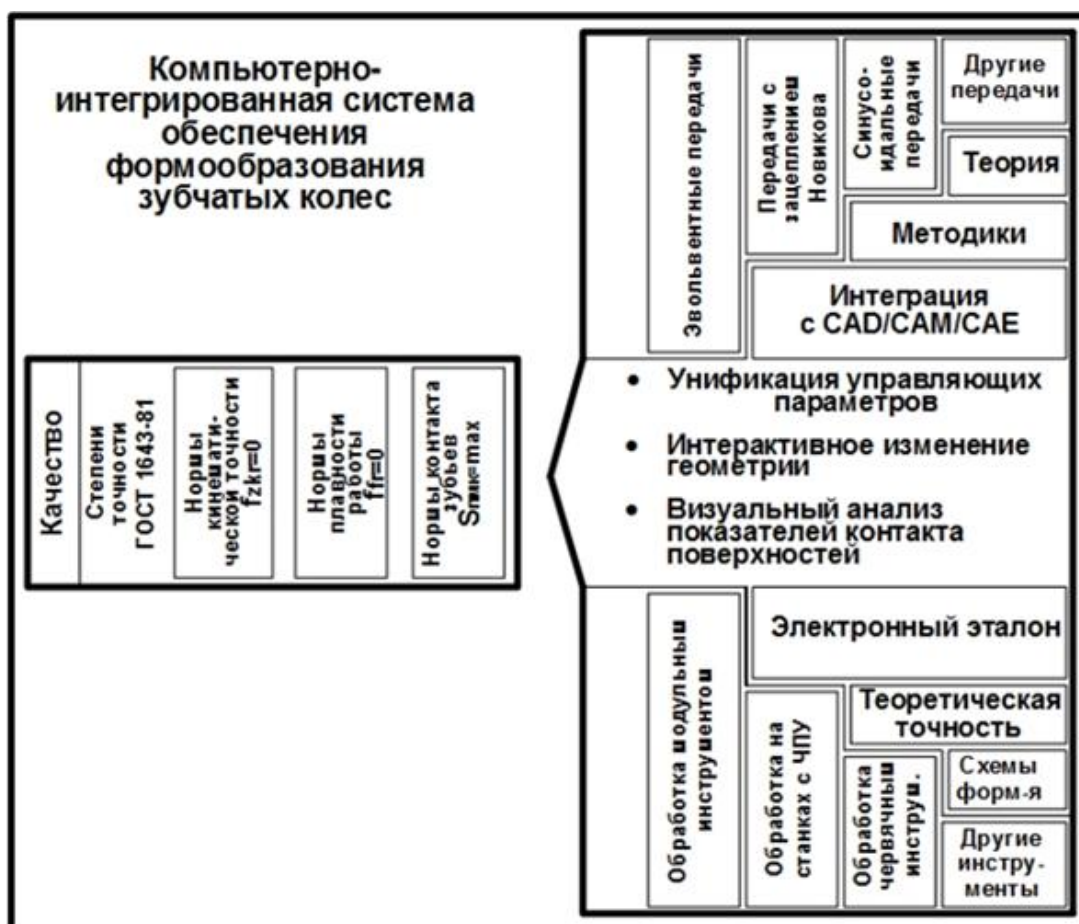


Рис. 1. Компьютерно-интегрированная система

Для определения перспективных направлений развития задач ТПП ЗК выполнен анализ требований к системам обеспечения качества ЗК, определено современное состояние теории формообразования ЗК, систематизированы геометрические и кинематические показатели качества процесса формообразования, а также возможности применения компьютерных технологий в задачах синтеза и анализа процесса формообразования функциональных поверхностей ЗК (рис. 1).

## АБРАЗИВНІ КРУГИ ДЛЯ ІМПУЛЬСНОГО ЗУБОШЛІФУВАННЯ НА ОРГАНІЧНИХ МАТРИЦЯХ

<sup>1</sup>Пермяков О.А., <sup>1</sup>Гасанов М.І., <sup>1</sup>Пермінов Є.В. <sup>1</sup>Стрелець О.С.,  
<sup>2</sup>Поварніцин Д.А.  
(<sup>1</sup>НТУ «ХПІ», м. Харків, Україн; <sup>2</sup>ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Абразивні круги для імпульсного зубошліфування на органічних матрицях забезпечують високі якісні показники при обробленні зубчастих коліс та сприяють підвищенню продуктивності обробки. Органічна матриця (зв'язка) набуває особливі термічні і пластичні властивості за рахунок додавання в матеріал наповнювачів і пластифікаторів. В якості сполучного компонента виступає порошково - або рідкоподібний бакеліт з відповідними зволожувачами і наповнювачами. Бакелітова зв'язка буває трьох видів: - пульвербакеліт (Б1, Б), - рідкий бакеліт (Б2), - спеціальна (БЭ).

На відміну від абразивних кругів на керамічній матриці такі інструменти на бакелітовій основі більш стійкі до перевантажень і ударів при промисловому застосуванні. Завдяки такій властивості вони затребувані при здійсненні робіт з вирівнювання нерівностей, а також як леза. Для однакових умов імпульсного зубошліфування кола з бакелітовою зв'язкою в кілька разів твердіше кругів на керамічній.

У разі пред'явлення до міцності абразивного крута високих вимог, наприклад при здійсненні високошвидкісних операцій до 60 м/с і більше, він може армуватися додатково скловолоконом. Для зниження шорсткості шліфувальної поверхні зубів коліс, шліфувальні круги на бакелітовій зв'язці виконують іноді з графітовим наповненням.

Застосування абразивних кругів для імпульсного зубошліфування на органічних матрицях забезпечують підвищення стійкості до перевантажень і ударів при промисловому застосуванні, забезпечують ефект поліруючої дії. Виходжуючи проходи колами з бакелітовою матрицею можуть виконуватися без охолодження рідиною. Органічні матриці викликають незначний нагрів оброблюваних зубчастих коліс, сприяють формуванню поверхні високого класу шорсткості. Абразивні круги для імпульсного зубошліфування на органічних матрицях можуть бути рекомендовані для чорнових проходів.

Термін зберігання абразивних шліфувальних кругів (виробів) залежить, в першу чергу, не від абразивного зерна, а від органічних матриць.

Наповнювачі з шліфзерно в шліфувальних кругах зазвичай мають різні терміни зберігання, що надає остаточний вплив на фізико-механічні характеристики виробів: коефіцієнт шліфування швидкість, зносостійкість.

Абразивний інструмент на бакелітовій зв'язці випускається, переважно, з матеріалів марок 14А, 54С, зернистістю № 16-160 типом 1 (ПП), 11 (ЧК), 2 (К), 36 (ПН) швидкістю до 60 м/с і з зміцнюючими елементами швидкістю до 50 м/с, твердістю МЗ-Т (зі 31-41).

Бакелізація шліфкруга здійснюється в камерних електробакелах і заторах, обладнаних приладами для контролю і автоматичного ведення режиму бакелізації. Температура в камерах бакелізаторів, в момент завантаження виробів, перевищує 60°C, коливання показників температури на регулюючих приладах вирішуються в межах  $\pm 10^\circ\text{C}$  від заданого режиму.

## ПРОЕКТУВАННЯ ТРАЄКТОРІЙ ХОЛОСТИХ ХОДІВ СИСТЕМ ЧПК

**Петраков Ю.В., Тур І.М.**

*(НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна)*

Технологічні цикли систем з CNC управлінням призначені для реалізації функціональних рухів, які складаються з тих, що визначаються умовами оброблення деталі (верстати з ЧПУ) чи переміщення робочого органу у просторі (промислові роботи) і холостих рухів, що з'єднують ці функціональні рухи в єдину управляючу програму. Тоді як закону функціонального руху задається умовами виготовлення, закон холостого руху не обмежується технологічними вимогами і часто проектується у самому спрощеному вигляді – у формі прямих, чи дуг кола [1,2,3] (рис.1).

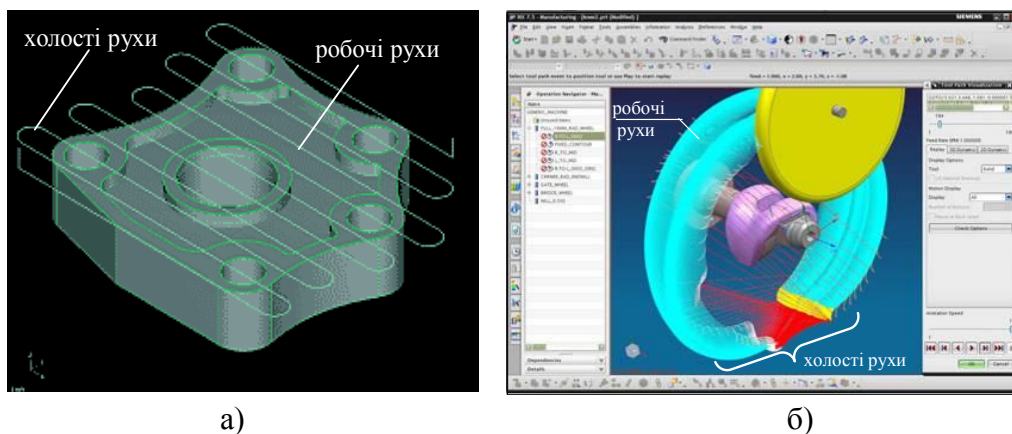


Рис. 1. Траєкторії холостих рухів: а) – у вигляді дуг кола, б) у вигляді прямих

Практика і теоретичний аналіз таких процесів показує їх недосконалість, яка проявляється у миттєвих зупинках в місцях переходу від траєкторій формоутворення до холостих рухів, виникненню імпульсних навантажень на приводи і вузли передачі рухів тощо. Такі негативні явища обумовлюються відсутністю необхідної плавності загальних траєкторій за їх другою похідною (прискоренням), які суттєво зростають при збільшенні швидкості виконання операцій. Крім того, при виконанні операцій шліфування перехід від траєкторії формоутворення до холостого руху з зупинкою приводить до припалу в кінці і на початку оброблюваної поверхні, що неприпустимо [4]. Тому забезпечення необхідної плавності загального руху при виконанні технологічних операцій є актуальною науково-технічною задачею. В роботі [5] запропоновано нова технологія проектування, заснована на використанні відомих найкращих (за мінімізацією прискорення) законів руху при спряженні різних траєкторій робочих рухів. Проте, такий підхід хоч і дозволяє спроектувати траєкторію

холостого руху, яка зшиває траєкторії робочих рухів, проте вимагає використання спеціального математичного апарату, що стримує застосування такої технології.

В роботі пропонується розробити методику проектування траєкторій холостих рухів, що використовує відомі сплайни, а саме Ермітові кубічні сплайни [6].

Представлена математична модель утворення сплайнів, що зшиваються за першими і другими похідними в місцях реперних точок і точок переходу від траєкторії формоутворення до холостого руху. Гладкість другої похідної забезпечується спеціальною додатковою операцією згладжування таблично заданої функції за п'ятьма точками. Математична модель покладена в основу розробленої прикладної програми інтерактивного проектування траєкторій з одночасним виведенням графіків першої і другої похідних. При роботі з програмою положення точок сплайну, яким апроксимується траєкторія холостого руху підбирається технологом-програмістом, виходячи з мінімізації прискорень руху.

Представлені результати моделювання траєкторій холостих рухів при фрезеруванні між двома сусідніми рядками і для роботів між двома технологічними рухами. Результати проектування можуть бути збережені у файлі, за яким створюється управляюча програма.

Попередні теоретичні дослідження показали можливість суттєвого зменшення величин прискорення в місцях зшивання траєкторій руху з одночасним забезпеченням необхідної плавності. Файл управління зберігається у форматі \*.txt, який може бути використаний при формуванні G-кодів з певним кроком. Збільшення кількості кадрів управляючої програми в такому випадку не потягне за собою уповільнення руху в цілому, оскільки всі сучасні верстати з ЧПК обладнуються системами регулювання подачі Look Ahead and feed rate adjustment function

**Література:** 1. Степанов А. Высокоскоростное фрезерование в современном производстве. CAD/CAM/CAE Observer №4, 2003, с. 2-8. 2. Липсте И. Средства HSM в Mastercam`e. CAD/CAM/CAE Observer, №4, 2004. с.2-12. 3. ANCA CNC Machines/ Application <https://machines.anca.com/Applications /Medical-Miscellaneous>. 4. Сорокин В.Ф., Комбаров В.В. Сравнение кинематических параметров движения при моделировании траекторий высокоскоростной ЧПУ обработки сплайнами третьей и пятой степени // ISSN 1727-7337. АВИАЦИОННО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ, 2012, № 8 (95), с. 11-17. 5. Петраков Ю.В. Урахування динамічних характеристик формоутворюючих рухів при проектуванні програми управління для верстатів з ЧПУ // Вісник ЖДТУ, Вип.5, том 2, Житомир, 2007, с.142-150. 6. Василенко В.А. Сплайн-функции: теория, алгоритмы, программы // Новосибирск: Наука, 1983, 215 с.

## МАТЕРІАЛИ ПРОТЯЖОК

**Посвятенко Е.К., Посвятенко Н.І.**

*(НТУ, м. Київ, Україна)*

Найважливішою складовою протягування є інструмент – протяжка деформуюча, різальна, комбінована. Найважливішою складовою протяжного інструменту є матеріал деформуючих елементів і зубців, робоча поверхня яких перебуває під дією силових навантажень і високих температур, а також адгезії з оброблюваним матеріалом. Тому до інструментальних матеріалів висувалися ряд вимог, які були перевірені в лабораторних та виробничих умовах, і є перспективними.

Універсальним комплексом фізико-механічних та експлуатаційних характеристик для деформуючих елементів відзначається твердий сплав ВК15. Цей сплав має: густину  $(13,9 - 14,1) \cdot 10^{-3}$ , кг/м<sup>3</sup>; границю міцності на згин, не менше 1,8 ГПа; твердість, не менше 86,0 НРА. Найбільш поширеним і надійним моношаровим покриттям твердого сплаву цієї марки є плівочне покриття золотистого кольору із нітриду титану (TiN). Товщина цього покриття знаходиться в межах 2 – 10 мкм, а твердість сягає 21 – 36 ГПа. Твердосплавні деформуючі елементи після втрати розміру в результаті зношування потребують перешліфовування у менший розмір і повторного нанесення покриття.

Найважливішим інструментальним матеріалом для виготовлення цілісних різальних протяжок та зубців комбінованих протяжок є швидкорізальна сталь марки Р6М5. Це обумовлюється поєднанням високих значень твердості (до 68 HRC) і теплостійкості (до 550 – 600 °С) при високому рівні міцності на згин (2,9 – 3,4 ГПа) і в'язкості (2,7 – 4,8 Дж/м<sup>2</sup>), що значно перевищують відповідні значення для твердих сплавів. Крім того, ця сталь технологічна, оскільки добре обробляється тиском і різанням у відпаленому стані. Сталь Р6М5 можна також зміцнювати і підвищувати її зносостійкість плівочними покриттями типу TiN. При переточках зубців з покриттями останні зберігаються оскільки протяжки шліфуються по передній поверхні.

Допоміжними деталями протяжок є стержні (оправки), хвостовики, передня і задня напрямні, гайки і контргайки, дистанційні втулки. Ці деталі, за виключенням дистанційних втулок, виготовляють із сталі 40Х і зміцнюють за допомогою термообробки до різної твердості оправки. Найчастіше виготовляють разом із заднім хвостовиком і приєднують до переднього за допомогою різьби. Діаметр циліндричної (посадочної) поверхні оправки

вибирають після визначення діаметра отвору деформуючого елемента чи зуба таким чином, щоб зазор між деталями у з'єднанні не перевищував 0,005 – 0,010 мм. Це дозволяє частково розвантажити робочі елементи протяжки. Посадочна поверхня оправки повинна мати твердість 40 – 45 HRC. Міцність оправки визначається по різьбі, що повинна мати дещо меншу твердість (35 – 40 HRC). Оправки протяжок, що працюють в особливо важких умовах, виготовляють із сталі 40ХНМА, що має високу міцність та незначну крихкість після відпускання.

Напрямні поверхні хвостовиків повинні мати твердість 55 – 60 HRC. Гайки протяжок та прошивок підлягають термообробці до твердості 35 – 40 HRC.

Напрямні втулки прошивок також виготовляють із сталей 40Х чи 40ХНМА, садять на оправку із мінімальним зазором (0,005 – 0,010 мм) та попередньо піддають термообробці до твердості 55 – 60 HRC.

Роль дистанційних втулок у протяжках полягає у наступному. Протягування є циклічним процесом, оскільки інструмент оснащено циліндричними робочими елементами з певним кроком, що викликає збільшення-зменшення осьової сили при вході-виході кожного з них у трубчасту деталь. При цьому частина енергії трансформується у вібрації, автоколивання, шумові та інші шкідливі явища. Найбільш ефективним засобом боротьби з цими явищами є вплив на ті властивості матеріалу протяжки, що відповідають за розсіювання цієї частини енергії.

Щодо аналізу елементів конструкції протяжок, то тут слід відзначити наступне. Деформуючі елементи та зубці протяжок, а також стержень, хвостовики та різьбові елементи не можуть бути виготовлені із матеріалів, що гасять коливання, оскільки повинні мати високу зносостійкість та міцність. Тому єдиним, однак, достатньо ефективним елементом щодо демпфування осьових коливань, які генеруються при протягуванні, можуть стати дистанційні втулки.

Наші дослідження показали, що декримент коливань, а, отже, і демпфуюча здатність сірих чавунів, найвища серед чорних металів. Сірі чавуни групи СЧ є типовими феритними чавунами з пластинчатою будовою вільного графіту. Завдяки цьому у даних матеріалах добре гасяться вібрації. Проте, за комплексом характеристик (міцність, коефіцієнт коливання, технологічність, рідиннотекучість, вартість та інш.) чавун СЧ20 є найліпшим конструкційним матеріалом. Отже, як матеріал для виготовлення дистанційних втулок протяжок найкращим є сірий чавун СЧ20.

## ВИЗНАЧЕННЯ РАДІУСА ОКРУГЛЕННЯ СТРУЖКОВИХ КАНАВОК ВІДРІЗНИХ ПИЛ ПРИ ЇХ ОБРОБЦІ ОБКАТНИМИ ФРЕЗАМИ

**Равська Н.С., Родін Р.П., Івановський О.А., Парненко В.В.**

*(НТУУ КПІ ім. І. Сікорського м. Київ, Україна)*

Відрізнi пили знайшли широке застосування в машинобудуванні. Вони виготовляються за стандартом ГОСТ 2679-93, який являє собою повну аутентичність з ІСО2696-72 "Пилы дисковые с мелким и крупным зубом".

Дослідження Р. Лороха, О.О. Боронко, В.Г. Панчука показали, що дискові відрізнi пили із-за знижених коливань, виникаючих в процесі експлуатації мають низькі динамічну стійкість, що приводить для уникнення поломок підвищувати їх за рахунок збільшення товщини їх диска, зниження режимів різання продуктивності та працездатності.

На основі цих досліджень [1,2,3,4] були розроблені пили підвищеної динамічної стійкості, а саме – пили з нерівномірним кроком, теорія їх проектування та технологія їх виготовлення вишліфовкою загартованих заготовок на спеціальних верстатах з ЧПК викладена в роботі [Лороха]. Із-за відсутності обладнання та великих витрат на його придбання в Україні такі конструкції пил не знайшлися широкого використання.

Для забезпечення ефективності та точності виготовлення таких пил з нерівномірними кромками на існуючому в Україні обладнанні (зубофрезних та багатокоординатних верстатах з ЧПК). Запропоновано авторами обточувальна фрези для нарізування дискових пил з нерівномірним кроком зубів (Патент на корисну модель ІА106173, 25.04.2016) і спосіб нарізання дискових пил з нерівномірним кроком зубів (Патент на корисну модель ІА104229, 25.01.2016). В їх основу покладені розробка способу та інструменту для нарізання зубчастих виробів методом обкочування. Такий інструмент (дискові обкатки фрези) проектується на базі "глобoidного" черв'яка, що має лінійний контакт з поверхнею нарізаємого зуба пили. На кожному його витку формується тільки один зуб фрези, за різальні кромки яких приймається характеристика, тобто лінія контакту інструментальної поверхні з оброблюваною.

В роботах авторів на основі загальної теорії формоутворення поверхонь викладена теорія проектування обкочувальних фрез. Визначенні конструктивні параметри фрез та їх вплив на радіус перехідних кривих при перпендикулярній установці осі фрези .

При нарізанні зубів відрізних пил обкатними фрезами радіуси перехідних кривих відповідають радіусам западини стружкових канавок оброблених пил. Показано, що обкатними фрезами можна обробляти як встановленими перпендикулярно до осі пили, так і нахилено.

При перпендикулярній установці вершина зуба фрези в процесі нарізання пили знаходилась на лінії симетрії й саме в цій точці не спостерігається перехідних кривих. Зі збільшенням товщини пили при заданому діаметрі вони збільшуються, досягаючи найбільших значень на торцях пили, пояснюється розривом характеристики в точках, віддалених від лінії симетрії.

Умовою обробки зубів пил без перехідних кривих є відсутність розриву їх характеристик, які прийняті за різальні кромки обкатної фрези, при обробці передньої ( $A_iB_i$ ). Відсутність розриву досягається за рахунок нахиленої установки пили під кутом  $\beta$ . Прямолінійний профіль кожного зуба пили обробляється двома різальними кромками обкатної фрези, які визначаються своїми характеристиками ( $A_iB_i$  та  $C_iB_i$ ), що які стикаються в точці  $B_i$  і залежать від конструктивних параметрів пили кутового кроку, радіусів зубів обкатної фрези, та кута  $\beta$ , тобто від координат зуба пили  $XUZ$ . Знаючи координати зуба пили та кут  $\beta$  визначають для кожного зуба обкатної фрези використовуючи перетворення координат за формулами  $X_{cp}$ ,  $Y_{cp}$  та  $Z_{cp}$  координати фрез

$$X_{cp} = X \cos \beta - Z \sin \beta$$

$$Y_{cp} = Y - a$$

$$Z_{cp} = Z \cos \beta - X \sin \beta$$

Кут нахилу  $\beta$  визначається за формулою:

$$\sin \beta = \frac{\omega}{\omega_{cp}} \frac{Y_{Bi}}{(Y_{Bi} - a)},$$

де  $\omega$  – кутова швидкість обертання заготовки;

$\omega_{cp}$  – кутова швидкість дискової обкатної фрези.

За цими формулами змінюючи кут нахилу можна одержувати різкі перехідні криві тобто задані радіуси заціплені стружкових канавок для будь якого типу та розміру в зрізних пил.

**Література:** 1. Лорох Р. Повышение работоспособности дисковых пил при отрезке круглых заготовок: дис. ... канд. Техн. Наук: 05.03.01. Киев, 1998. 180 с. 2. Боронко О.О. Метод розрахунку вібраційних процесів машинобудівних конструкцій: дис. ... докт. Техн. Наук: 05.03.09. Киев, 2003. 267 с. 3. Парненко В.С. Расчет параметров впадин обкаточных дисковых фрез для изготовления пил с неравномерным шагом. Вестник Национального Технического Университета Украины "КПИ". 2014. №72. 4. Бабенко А. Е., Равська Н.С., Боронко О.О. Продольные колебания дисковой фрезы. Вестник НТУУ "КПИ". Машиностроение. 2001. № 40. С. 347–353.



## ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФАСОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗ ПОРОЛОНА АЛМАЗНО-АБРАЗИВНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

**Рябченко С.В., Сильченко Я.Л., Федоренко В.Т.,**

**Гржибовский Б.Б., Шепелев А.А.**

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

Обработка изделий из поролон представляет значительные трудности. Поролон мягкий упругий материал. В тоже время он обладает большой абразивной способностью. Эти факторы затрудняют его обработку, особенно шлифование.

Для исследования процесса шлифования изделий из поролон нами разработаны и изготовлены специальные шлифовальные круги фасонного профиля формы 2FF6 диаметром 150 мм. В качестве абразивного материала для шлифования поролон нами были использованы следующие абразивные материалы: нормальный электрокорунд (НК), кубический нитрид бора (КНБ) и смеси абразивов. Использовался нормальный электрокорунд зернистостью по FEPA F30 (710–600 мкм) и F80 (212–180 мкм). Кубический нитрид бора (КНБ) выбирался зернистостью 200/160 и 63/50. Применялись два типа смеси абразивных порошков. Она смесь содержала 80% абразивного порошка НК зернистостью F30 (710–600 мкм) и 20% порошка КНБ 200/160. Другая содержала 80% абразивного порошка НК F30 (710–600 мкм) и 20% порошка КНБ 63/50.

Анализ результатов испытаний показал, что шлифовальные круги, содержащие в качестве абразива чистый НК, позволяют обработать не более 250 шт. изделий при зернистости абразива F30 и не более 350 шт. при зернистости абразива F80. По количеству обработанных изделий (стойкость инструмента), круги из НК не обладают необходимой стойкостью. Исследования обработки изделий из поролон кругами из КНБ показали высокую стойкость инструмента (до 600 шт. обработанных изделий), но очень низкую производительность обработки (до 1,5 м/мин), особенно при использовании мелкой зернистости 63/50 (до 1 м/мин). Использование кругов из КНБ обеспечивает необходимое качество обработки изделий. Одной из проблем использования КНБ при шлифовании изделий из поролон является его цена, которая на порядок дороже НК. Это резко снижает эффективность использования шлифовальных кругов из КНБ для обработки поролон.

Обработка профильных изделий из поролон кругами из смеси НК и КНБ, позволяет значительно повысить эффективность обработки изделий. Так стойкость инструмента составляет 500 шт. изделий, что соответствует

требованиям обработки изделий из поролона. Вместе с тем шероховатость обработанной поверхности составляет  $Ra\ 2,0$  при зернистости смеси абразива F30 и КНБ 200/160 и  $Ra\ 1,6$  при зернистости смеси абразива F30 и КНБ 63/50. Полученная шероховатость, соответствует необходимому качеству обработки изделий. При этом сохраняется высокая производительность обработки (до 3 м/мин), однако при использовании смеси абразива F30 и КНБ 63/50, производительность несколько снижается (до 2,5 м/мин).

В результате проведенных исследований нами разработана технология и специальный шлифовальный инструмент для обработки профильных поверхностей из поролона. Изделие из поролона – абразивные щетки для чистки посуды, представляет изделия со сложным профилем разных радиусов ( $r = 10, 11$  и 20 мм). Была изготовлена партия фасонных шлифовальных кругов диаметром 150 мм формы 2FF6 (рис. 1). Испытания инструмента показали высокую эффективность шлифования изделий из поролона и позволили организовать производство данного инструмента.



*a* – круги формы 2FF6; *б* – круги формы 1F1W  
Рис. 1. Инструмент для шлифования изделий из поролона

Так же была разработана технология и специальный шлифовальный инструмент для обработки сферических изделий из поролона, которые представляет собой шары с разными радиусами от 20 до 70 мм. Для осуществления процесса шлифования изделий из поролона разработаны специальные шлифовальные круги-головки фасонного профиля формы 1F1W. Инструменты работают в паре и осуществляют вращение в противоположную сторону друг против друга. Два шлифовальных круга располагаются на двух шпинделях вертикально-сверлильного станка. Заготовка шара из поролона размещается между двумя инструментами и вращается внутри, за счет контакта между заготовкой и рабочей поверхностью инструмента Шлифование производится на протяжении 15–20 с. Точность обработки поролонового шара диаметром 40 мм составляет 0,1 мм.

## ВДОСКОНАЛЕННЯ РОЗТОЧУВАЛЬНИХ ЗБІРНИХ РІЗЦІВ З ВБУДОВАНИМИ ВІБРОГАСНИКАМИ

**Савченко О.С., Мельник М.С., Гузенко В.С.**  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Причина низької продуктивності полягає в особливостях конструкції розточувальних різців, які мають велику довжину консольної частини корпусу при малому поперечному перетині, і в наслідок цього низьку жорсткість і вібростійкість.

Коливання на розточувальних різцях є актуальною проблемою яка змушує обмежувати режими різання і відповідно втрачати продуктивність, особливо на важких токарних верстатах, оскільки розточування отворів виконують різцями з конструктивно-обумовленою низькою жорсткістю, при цьому знижується точність та продуктивність обробки, та у більшості випадків виникають автоколивання різця, які додатково знижують точність обробки і стійкість інструмента, а також погіршують умови праці. Для боротьби з автоколиваннями застосовують віброгасники. Існує два основних типи віброгасників: ударного типу та гідравлічні в'язкого тертя. У останні роки декілька фірм виробників різального інструменту освоїли випуск інструментів з вбудованими гідравлічними віброгасниками, наприклад серія інструментів Silent tools фірми Sandvik Coromant. Це насамперед інструмент для легких і середніх фрезерно-розточувальних і токарних верстатів.

Проблема для важких верстатів лишається невирішеною. Для проектування інструментів з вбудованими віброгасниками власної конструкції було зроблено спробу розробки математичної моделі для інженерних розрахунків вбудованих гідравлічних віброгасників. В роботі було показано що параметри віброгасника, а саме коефіцієнт демпфування мають оптимальні значення при яких ефективність демпфування найбільша. При цьому навіть наявність такої моделі не вирішує проблему, оскільки при роботі різця змінюється температура різальної частини і віброгасника у широких межах що в свою чергу змінює в'язкість мастила і суттєве відхилення від оптимального значення.

Регулювання відбувається за допомогою мікроконтролера та датчиків, тому в роботі було прийнято рішення застосувати автоматичне регулювання параметрів віброгасника для утримання коефіцієнта демпфування на оптимальному рівні при зміні температури та інших параметрів різця. У якості критерія оптимальності необхідно обрати такий параметр який може бути безпосередньо виміряний доступними видами датчиків. Оптимальне значення фазового зсуву можна отримати теоретично з вище розглянутої моделі або експериментально. Фазовий зсув може бути виміряний за допомогою двох акселерометрів один з яких встановлений на корпусі різця поблизу різальної частини а інший на вантажі віброгасника.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ПОЛЫХ КОНИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Самоглядюв А.Д., Панибратченко Ю. А.  
(ДГМА, м. Краматорск, Украина)

Для получения полых конических деталей можно применять три основных способа: прямое выдавливание с раздачей, обратное и комбинированное выдавливание [1, 2]. Комбинированное обратное-прямое выдавливание конических стаканов из подготовленных конических заготовок (рис. 1) позволяет получить детали с высокой точностью размеров, и с качественной проработкой структуры за счет сдвиговых деформаций. Применение данного метода может также позволить снизить требуемую силу и работу деформирования.

Целью данной работы является изучения влияния угла наклона пуансона на процесс выдавливания полый конической детали. В данном случае углы наклона пуансона составили  $\alpha_{\text{п}} = 8^\circ, 10^\circ, 12^\circ$  соответственно.

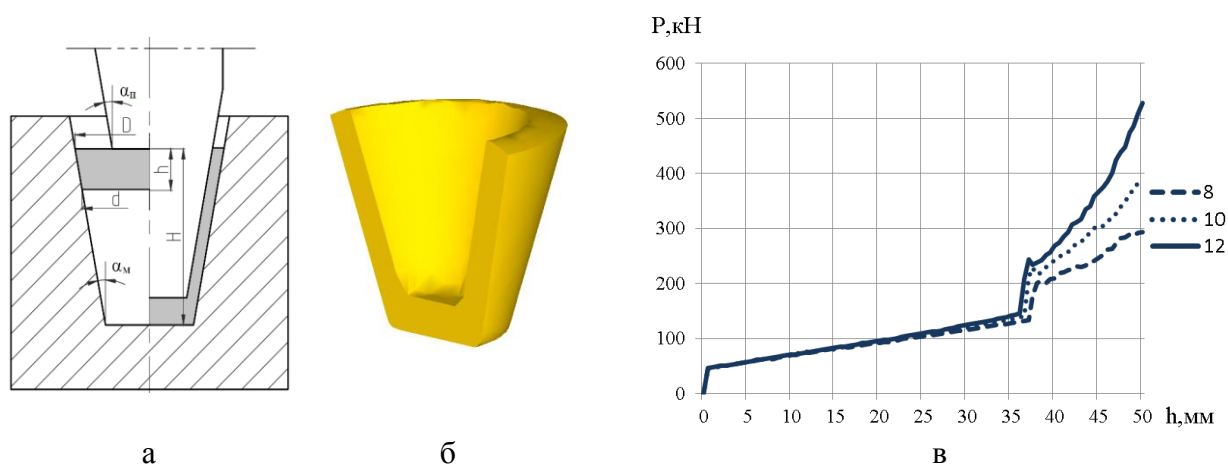


Рис. 1. Схема процесса комбинированного выдавливания полый конической детали (а) и полученный стакан (б), характер изменения силовых параметров при углах наклона пуансона  $\alpha_{\text{п}}=8^\circ, 10^\circ, 12^\circ$  (в)

Проведено КЭ-моделирование процесса выдавливания полый конической детали при помощи программного комплекса DeForm 3D. Установлено, что увеличение значения угла наклона пуансона и матрицы сопровождается повышением энергосиловых параметров процесса выдавливания (рис 1в).

**Литература:** 1. Алиев И. С. Анализ энергосиловых параметров при выдавливании полых конических деталей / И. С. Алиев, П. В. Гнездилов // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали тринадцятої Міжнародної науково-технічної конференції. – Краматорськ: ДДМА, 2015. – С. 10–11. 2. Овчинников А. Г. Прямое выдавливание конических стаканов // А. Г. Овчинников, А. В. Хабаров – В кн. Совершенствование процессов объемной штамповки. М: МДНТП, 1980. – С. 103–108.

## ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ МОСТОВОГО КРАНА КМ63 / 12,5

**Сидоров Ю.М., Суботін О.В.**

*(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)*

Особливу роль в підйомно-транспортних операціях належить крановому устаткуванню. Основна маса кранів безпосередньо не бере участь у виготовленні продукції, але представляють дуже важливу ланку того або іншого процесу, що не зрідка визначає продуктивність основного технологічного процесу.

На сьогоднішній день велика кількість мостових кранів оснащена релейною системою управління, а також електроприводами з використанням асинхронних двигунів з фазним ротором з реостатним методом регулювання швидкості. Для управління головними електроприводами механізмів використовуються громіздкі, незручні командо-апарати, а швидкість регулюється ступінчасто. Надзвичайно важливою є модернізація електроустаткування крану.

Заміна релейно-контактної системи управління на аналогову або цифрову з частотними перетворювачами дозволяє істотно полегшити режим роботи двигуна, забезпечуючи його плавний розгін і гальмування. При цьому також зменшуються динамічні навантаження на металоконструкції крана. [1].

Аналіз базової системи керування електроприводом підйому мостового крана показав, що він не може забезпечити бажаний діапазон при безступінчастому регулювання швидкості, а сама система управління морально застаріла і досить енергозатратна.

З метою підвищення продуктивності мостового крана, економії енергоресурсів, а також збільшення міжремонтних термінів обладнання, пропонується замінити базові асинхронний двигун з фазним ротором і релейно-контакторну систему управління на систему електроприводу з перетворювачем частоти. Дана система електроприводу дає можливість регулювати швидкість у всьому діапазоні, а також здійснювати сповільнене опускання вантажу і його переміщення в горизонтальній площині.

Для модернізації вибрані: програмований контролер SIMATIC S7-300 виробництва фірми SIEMENS; силові і виконавчі елементи системи автоматичного керування приводом механізму підйому; комплектний частотний електропривод фірми SIMEMENS типу SIMOVERT MASTERDRIVES [2]. Для забезпечення заданого алгоритму роботи приводу проведена параметризація частотного перетворювача і розроблено програмне забезпечення для контролерного модулю Simatic S7-300, розроблені захисні функції і блокування. Проведено дослідження статичних і динамічних режимів роботи розробленої системи управління на ПЕОМ в пакетах MatCad і Matlab відповідно.

Таким чином, спроектована система здатна забезпечити підвищення продуктивності крану в цілому, а модернізація є доцільною.

**Література:** 1. Кран мостовой КМ 20/10. Электрооборудование. Руководство по эксплуатации. Краматорск, НКМЗ. 2004 – 92 с. 2. Каталог СА01. Редакция 01/01, Версия 11.0.134. © Siemens Номер: E86060-Д4001-А110-В3-7600.

## КОРРОЗИОННОСТОЙКИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ СПЛАВА Fe–В–С

**Сухова Е.В.**

*(ДНУ ім. О. Гончара, м. Дніпро, Україна)*

Сплавы Fe–В–С считаются перспективными материалами для нанесения композиционных покрытий методом печной наплавки. Эти покрытия сочетают высокую твердость, крипоустойчивость, окислостойкость. Это позволяет использовать их для упрочнения и восстановления деталей металлургического, горнорудного, машиностроительного оборудования, работающих в условиях абразивного и газо-абразивного износов, в том числе при повышенных температурах.

Однако для расширения ассортимента упрочняемых деталей возникает необходимость в обеспечении стойкости покрытий, упрочненных сплавами-наполнителями Fe–В–С, в кислых и нейтральных средах. Учитывая то, что основной структурной составляющей сплавов в области составов (по массе) 5,0–9,0 % В, 0,1–0,7 % С, Fe – остальное является гемиборид железа  $Fe_2B$ , в работе изучали влияние легирующих элементов на закономерности формирования структуры и свойств твердых растворов на основе этой фазы.

Исследования проводили методами количественного металлографического, рентгеноструктурного и микрорентгеноспектрального анализов. Коррозионные испытания выполняли гравиметрическим методом при температуре 295 К в течение 4 часов в кислых средах и до 5 суток в нейтральных средах.

Проведенные исследования показывают, что в структуре сплавов-наполнителей Fe–В–С первичные твердые растворы на основе бориды  $Fe_2B$  кристаллизуются в виде прямых призм с большой степенью анизотропии. При введении в сплавы, охлажденные со скоростью 10 К/с, до 5 % одного из следующих элементов: Cr, V, Nb или Mo – наблюдается полная растворимость Cr и V и пренебрежительно малая растворимость Nb и Mo в гемибориде железа. Последние два элемента образуют в структуре самостоятельные фазы  $Mo_2B$ ,  $Mo_2(B,C)$  или  $NbB_2$ . Анализ полученных результатов указывает на образование твердых растворов замещения Cr и V в бориде  $Fe_2B$ . Закономерно наибольшие изменения микромеханических свойств гемиборида железа наблюдаются при легировании хромом или ванадием. При введении 5% Cr или 5 % V средняя микротвердость фазы  $Fe_2B$  снижается соответственно с 15,8 до 15,0 или 15,5 ГПа. При этом коэффициент трещиностойкости  $K_{IC}$  растет в 2,5 и 2,3 раза соответственно при легировании Cr и V.

Описанные изменения механических свойств можно объяснить появлением упругих искажений решетки гемиборида железа  $Fe_2B$  при растворении в ней легирующих элементов. Их величина зависит от отношения радиусов замещенного атома железа и замещающего атома примеси. Это отношение увеличивается в направлении Cr→V→Mo→Nb. Соответственно уменьшается вероятность замещения атомов железа атомами примесей в

твердых растворах. Это объясняет установленную экспериментально растворимость Cr и V в гембориде железа и отсутствие последней для Nb и Mo. Тем не менее, введение этих двух элементов, образующих в структуре самостоятельные фазы, повышает общую микротвердость сплавов Fe–B–C.

С учетом полученных результатов для проведения коррозионных испытаний был выбран состав сплава-наполнителя Fe–B–C, содержащего до  $95\pm 2\%$  гемборида железа, легированного 0,1 % C, 3,0 % Mo, 3,0 % Nb, 1,0 % V, 1,5 % Cr. Он характеризуется твердостью  $85\pm 2$  HRA и прочностью на сжатие  $2120\pm 10$  МПа. Скорость коррозии этого сплава в кислых и нейтральных средах значительно ниже, чем эта характеристика для эталона, изготовленного из стали 40ХЛ (табл. 1). За счет этого достигается высокая коррозионная стойкость композиционного материала на его основе (рис. 1).

Таблица 1 – Результаты определения скорости коррозии ( $\text{г/м}^2\cdot\text{ч}$ ) в кислых и нейтральных средах

Образец	$0,5\text{н}\cdot\text{H}_2\text{SO}_4$	$5\text{н}\cdot\text{H}_3\text{PO}_4$	$5\%\text{HNO}_3$	$1\text{н}\cdot\text{HCl}$	$3\text{н}\cdot\text{NaCl}$	$3\%\text{Na}_2\text{SO}_4$
Эталон	$140,53\pm 0,22$	$151,41\pm 0,07$	$172,96\pm 0,53$	$18,90\pm 0,05$	$0,12\pm 0,01$	$0,30\pm 0,02$
Fe–B–C–V–Cr–Nb–Mo	$4,57\pm 0,12$	$1,41\pm 0,02$	$48,34\pm 0,11$	$1,39\pm 0,07$	$0,07\pm 0,03$	$0,09\pm 0,01$

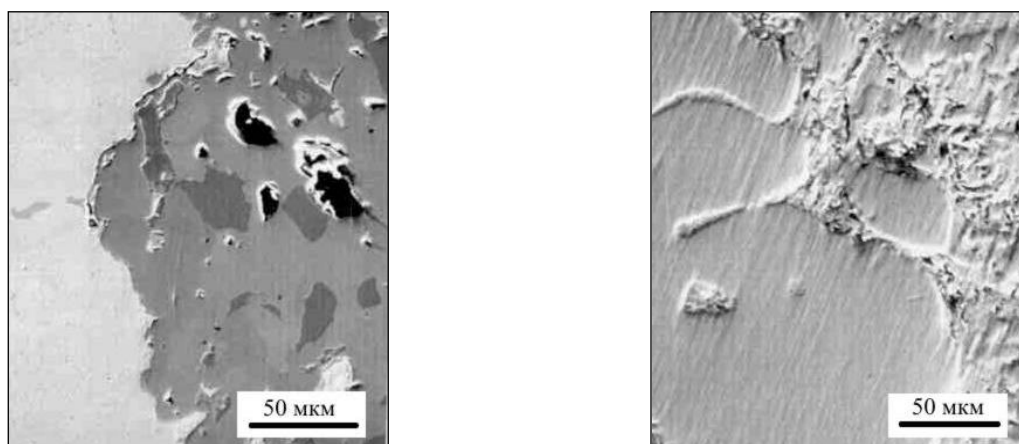


Рис. 1. Микроструктура, композиционных покрытий, упрочненных сплавом-наполнителем Fe–B–C–V–Cr–Nb–Mo

Таким образом, комплексное легирование Cr, V, Nb или Mo обеспечивает повышение твердости, прочности на сжатие и коррозионной стойкости сплавов Fe–B–C. Это позволяет рекомендовать эти сплавы в качестве наполнителей композиционных покрытий на деталях быстроизнашивающегося оборудования, таких как футеровочные плиты доменных печей, детали гидронасосов и др. Эксплуатационная стойкость таких покрытий, полученных методом печной наплавки, в условиях газо-абразивного износа и действия коррозионных сред не уступает, а в некоторых случаях превышает стойкость деталей, наплавленных вольфрамсодержащими композиционными материалами.

## РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ КУВАННЯ ВАЛУ БЕЗ ВИКОРИСТАННЯ ОПЕРАЦІЇ ОСАДЖЕННЯ

**Таган Л.В., Маркова М. О., Малакан О. В.**

*(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)*

Розробка і освоєння нових ресурсозберігаючих технологій, що дозволяють отримувати вироби більш складної конфігурації і високої якості при мінімальних трудових, матеріальних і енергетичних витратах на їх виробництво, являється актуальним питанням на сьогоднішній день. Технологія кування крупних поковок займає особливе місце серед найбільш ефективних ресурсозберігаючих методів обробки металів тиском.

Метою роботи є вивчення технологічного процесу кування валу з укорочених злитків без застосування операції осадження.

Із застосуванням програми на основі МСЕ [1] досліджено деформований стан заготовки в процесі кування і спроектований новий енергозберігаючий технологічний процес кування великих опорних валів (рис. 1, а) без осадження з укорочених злитків [2, 3].

Після внесення коригувань в технологічний процес і його моделювання отримали результати розподілу коефіцієнта укову за перетином поковки (рис. 1, б). Отримані результати якісно повторюють попередні (рис. 1, б), за винятком меншого рівня накопиченого коефіцієнта укову за рахунок виключення операції осадження. При цьому в шийках валу забезпечується коефіцієнт укову близько 5,5...6,0, а в бочці близько 3,0. Таким чином, виключення операції осадження злитка дозволить протягуванням забезпечити з вихідних розмірів укороченого злитка коефіцієнт укову необхідної величини (рис. 1, в).

Для виготовлення поковки замість осадження схема кування була замінена протягуванням укороченого злитка профільованими опуклими бойками із залишковим протягуванням комбінованими асиметричними бойками, що забезпечило в осьовій зоні зливка НДС всебічного нерівномірного стиснення для заварювання осьової рихлості злитка. За результатами УЗК в об'ємі поковки внутрішніх дефектів, що перевищують вимоги стандарту SEP 1921, не виявлено.

Таким чином, забезпечити рівномірний розподіл деформацій, достатніх для отримання заданого коефіцієнта укову, можливо без осадження за рахунок протягування опуклими бойками укорочених злитків. В результаті, приблизно на 25% підвищилася продуктивність процесу кування крупних валів, кількість нагрівань знизилась з 8 до 6.



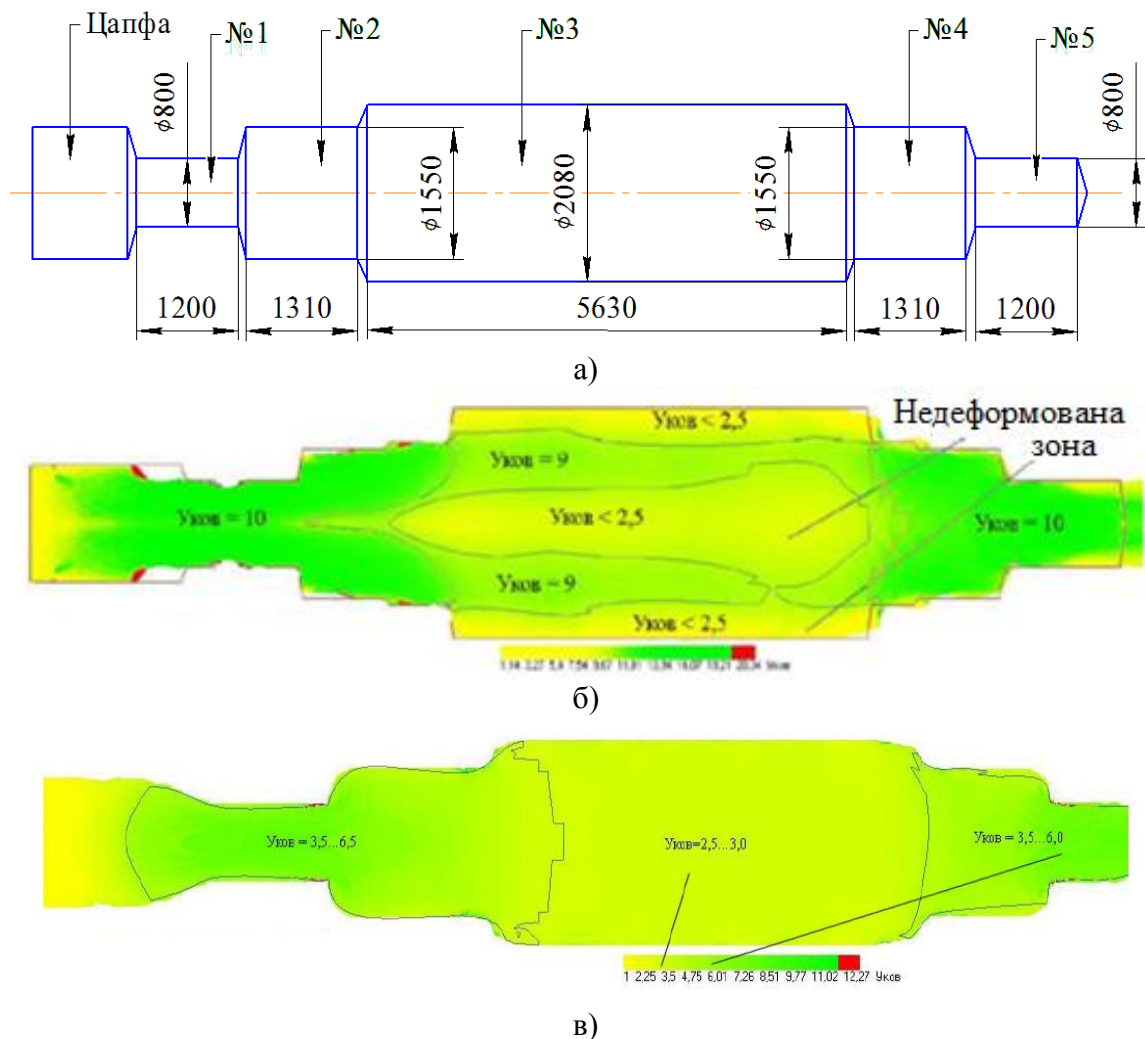


Рис. 1. Креслення поковки «Вал опорний» (а) та розподіл коефіцієнту укову за перетином поковки за базовою (б) та за новою (в) технологією

**Висновки:** Таким чином, було розроблено технологічні процеси отримання поковок типу валів, що сприяють розширенню можливостей процесів кування за рахунок підвищення якості опрацювання структури і зниження трудомісткості процесу. Ефективність нової технології забезпечується за рахунок підвищення якості виробів, зниження трудомісткості і матеріаломісткості виробництва, а також розширення номенклатури поковок, які випускаються.

**Література:** 1. Марков О. Е. Ресурсосберегающие технологические процессыковки крупных валов и плит : монография / О. Е. Марков, И. С. Алиев. – Краматорск: ДГМА, 2012. – 324 с. – ISBN 978-966-379-583-6. 2. Маркова М. О. Дослідження технологічного процесу кування крупних опорних валів без осадження / М. О. Маркова, В. М. Семенов, Л. В. Таган // Научный вестник ДГМА. – Краматорск: ДГМА, 2013. – № 2 (12Е). – С. 79–85. – Режим доступа: [http://www.dgma.donetsk.ua/science\\_public/science\\_vesnik/%E2%84%962\(12%D0%95\)\\_2013/%E2%84%962\(12%D0%95\)\\_2013/article/13.pdf](http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/%E2%84%962(12%D0%95)_2013/%E2%84%962(12%D0%95)_2013/article/13.pdf) 3. Повышение качества крупных поковок способом предварительного профилирования / О. Е. Марков, Я. Г. Жбанков, А. А. Швец, Л. В. Таган // Обработка материалов давлением : сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2013. – № 3 (36). – С. 97–103.

## ВПЛИВ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОГО ОБРОБЛЕННЯ НА ТОЧНІСТЬ МІТЧИКІВ М12 ЗІ ШВИДКОРІЗАЛЬНОЇ СТАЛІ

**Тарган Д.В., Майборода В.С., Слободянюк І.В., Джулій Д.Ю.**  
(НТУУ КПІ ім. І. Сікорського м. Київ, Україна)

Магнітно-абразивне оброблення (МАО) мітчиків зі швидкорізальної сталі позитивно впливає на якість їх робочих поверхонь та різальних кромek, фізико-механічні властивості матеріалу і призводить до підвищення роботоздатності різального інструменту (РІ) [1]. Але при тривалому процесі МАО мітчиків можлива втрата їх точності та вихід розмірів за межі допуску. Тому велику увагу потрібно приділяти зміні точності робочої частини мітчиків після МАО.

Метою роботи є дослідження впливу магнітно-абразивного оброблення на точність мітчиків М12 зі швидкорізальної сталі.

Дослідження проводили на мітчиках М12-6Н марки Walter Prototyp PARADUR Н. Для формування магнітно-абразивного інструменту використовували осколковий рівновісний порошок Полімам-Т різної фракції. Оброблення виконували на верстаті з кільцевим розташуванням робочої зони [2], змінюючи час від 3 до 7,5 хв для різних мітчиків. Вимірювання точності проводили на оптичному приладі ZOLLER (ZOM Oberflächenbearbeitung GmbH, Магдебург, Німеччина). Результати вимірювань точності мітчиків М12 до та після МАО представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати вимірювання точності мітчиків

№ мітчика	Клас точності мітчика	Загальний час оброблення, хв	Зовнішній діаметр $d$ , найменший, мм			
			ГОСТ 16925-93	До МАО	Після МАО	МАП
1	6Н	3	12 <sub>+0,064</sub>	12,151	12,129	Полімам-Т 400/315 мкм
2	6Н	4,5		12,150	12,130	Полімам-Т 400/315 мкм
3	6Н	6		12,137	12,128	Полімам-Т 400/315 мкм
4	6Н	7,5		12,153	12,121	Полімам-Т 400/315 мкм
5	6Н	7,5		12,144	12,120	Полімам-Т 630/400 мкм

Встановлено, що зовнішній діаметр мітчиків після МАО зменшився в залежності від часу оброблення та фракції порошку на 10-25 мкм, що пов'язано із видаленням завусенок та заокругленням РК на вершинах зубців.

**Література:** 1. Майборода В.С. Вплив магнітно-абразивного оброблення на мікрогеометрію та експлуатаційні показники мітчиків зі швидкорізальної сталі / В.С.Майборода, Д.В.Тарган // Процеси механічної обробки в машинобудуванні: збірник наукових праць . - Житомир: ЖДТУ, 2015. - Вип.15.- С. 59-65. 2. Майборода В.С. Магнітно-абразивная обработка деталей сложной формы / В.С. Майборода, И.В. Слободянюк, Д.Ю. Джулий. – Житомир: ПП "Рута", 2017. – 272 с.

## **РАЗВИТИЕ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЧУГУННЫХ ОТЛИВОК С ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ**

**<sup>1</sup>Фесенко М.А., <sup>1</sup>Могилатенко В.Г., <sup>2</sup>Фесенко А.Н., <sup>2</sup>Корсун В. А.**

*(<sup>1</sup>НТУУ «КПИ им. Игоря Сикорского», г. Киев, Украина;*

*<sup>2</sup>ДГМА, г. Краматорск, Украина)*

При эксплуатации оборудования, машин и механизмов их отдельные детали испытывают различные механические и другие нагрузки.

В зависимости от назначения деталей, часто к отдельным их частям предъявляются противоположные требования по служебным характеристикам. Так, например, детали, работающие в условиях ударно-абразивного износа, должны обладать высокой твердостью и износостойкостью в рабочей, подвергающейся износу части, в то время как монтажная (крепёжная) часть должна обладать достаточной вязкостью и пластичностью и иметь улучшенную обрабатываемость резанием.

Изготовление таких деталей монолитными требует использования материалов, обеспечивающих заданный комплекс свойств, что зачастую вызывает необходимость применения сложнелегированных сплавов, усложняет технологию их изготовления, а также влечет за собой увеличение себестоимости.

Существенно снизить себестоимость деталей позволяет использование в конструкциях машин, механизмов и оборудования вместо монометаллических изделий с однородной структурой деталей с дифференцированной структурой и свойствами.

В настоящее время одним из широко используемых способов получения деталей с дифференцированной структурой и свойствами в разных частях или слоях является литье, для чего разработано целый ряд технологических процессов, большинство из которых базируется на последовательной заливке в литейную форму сплавов разного химического состава. Необходимость подготовки и использования сплавов разного химического состава в таких технологических процессах является существенным их недостатком.

В работе предложены и исследованы новые способы изготовления отливок с дифференцированной структурой и свойствами в различных частях, слоях или зонах из базового расплава чугуна, выплавленного в одном плавильном агрегате. Способы базируются на применении метода внутриформенного модифицирования расплава различными по функциональному назначению и воздействию на расплав твердыми

зернистыми, порошкообразными или брикетированными добавками (модификаторами или ферросплавами).

При этом исследованы три группы технологических процессов получения отливок с дифференцированными структурой и свойствами.

Первая группа предполагает получение двухсторонних отливок (например, горизонтальная плита или брусок) путем последовательной или одновременной заливки базового расплава чугуна в литейную форму с предварительно установленной твердой перегородкой в полость формы и модифицированием потоков в реакционных камерах разных ветвей (каналов) общей литниковой системы или автономных (отдельных) литниковых систем модифицирующими добавками для получения в одной части отливки структуры и свойств белого чугуна, а во второй части – высокопрочного чугуна с шаровидным или вермикулярным графитом.

Во второй группе процессов предусматривается получение дифференцированных структуры и свойств в верхней и нижней по положению при заливке частях отливки (например, вертикальная плита) за счет последовательной заливки с определенной временной выдержкой базового расплава чугуна через автономные (отдельные) литниковые системы, в состав каналов которых входят проточные реакционные камеры с размещенными в них добавками для модифицирования с целью получения в нижнем слое отливки структуры и свойств белого чугуна, а в верхней части – высокопрочного чугуна с шаровидным или вермикулярным графитом.

Третья группа процессов предполагает получение дифференцированной структуры и свойств белого чугуна в наружном слое и высокопрочного чугуна с шаровидным или вермикулярным графитом во внутреннем слое отливки за счет заливки формы расплавом без модифицирования или с модифицированием через первую литниковую систему с последующей после определенной временной паузы промывкой незатвердевшей сердцевины отливки тем же базовым расплавом с модифицированием его в реакционной камере второй литниковой системы другой добавкой.

В результате проведения экспериментов изучены и установлены закономерности по влиянию основных технологических факторов на процессы формирования отливок с дифференцированной структурой и свойствами, включая особенности структурообразования их переходных зон. Полученные результаты позволяют разработать технологические рекомендации по изготовлению промышленных отливок с дифференцированными структурой и свойствами в разных частях, слоях или зонах для работы в конкретных условиях эксплуатации.

## **ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЧУГУНА В ОТЛИВКАХ, ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДОМ ВНУТРИФОРМЕННОЙ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА**

<sup>1</sup>Фесенко А.Н., <sup>1</sup>Корсун В.А., <sup>1</sup>Дворниченко А.А., <sup>1</sup>Махмудов Р.Р.,

<sup>2</sup>Фесенко М.А.

(<sup>1</sup>ДГМА, г. Краматорск, Украина,

<sup>2</sup>НТУУ «КПИ им.Игоря Сикорского», г. Киев, Украина)

Несмотря на дальнейшее развитие различных заготовительных производств и появление новых современных методов получения заготовок и деталей из металлических и неметаллических материалов, основной заготовительной базой в машиностроении, станкостроении, строительстве и других отраслях остается литейное производство, как одна из наиболее универсальных, экономичных и ресурсосберегающих технологий с весьма широкими техническими возможностями.

В последние годы наблюдается дальнейший рост выпуска литья в мире. По данным мировой переписи, проводимой ежегодно журналом «Modern Casting», производство отливок в 2017 году увеличилось более чем на 5,3% по сравнению с 2016 годом, и находится сегодня на уровне 109,9 млн. тонн [1]. Учитывая мировые тенденции и состояние литейного производства в ведущих странах-лидерах можно прогнозировать, что литейная отрасль на ближайшую перспективу сохранит устоявшиеся тенденции роста и будет основной среди заготовительных производств.

Распространенным конструкционным материалом для изделий сложной конфигурации, получаемых методом литья, по-прежнему остается чугун, доля которого в общей структуре литых сплавов в 2017 году составляет более 69%, а мировое производство отливок из чугуна находится на уровне 76,235 млн. тонн. При этом сохраняется тенденция уменьшения выпуска литья из серых чугунов низких марок и увеличения выпуска отливок из высококачественных чугунов, в первую очередь из высокопрочных чугунов с шаровидным и вермикулярным графитом.

Сегодня при изготовлении чугунных отливок с улучшенной структурой и высокими показателями механических и эксплуатационных свойств широко используется модифицирующая обработка расплава, а получение отливок из высокопрочного чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом без нее вообще не представляется возможным. Поэтому в настоящее время разработаны и находят практическое применение множество способов модифицирования расплава чугуна [2].

Современное развитие процессов модифицирования чугуна характеризуется тенденцией перехода от печных или ковшевых к более эффективным, экологичным и экономичным методам позднего (внековшевого)

модифицирования расплава. Среди известных способов модифицирования в условиях серийного и массового производства мелкого чугуна литья заслуживает особого внимания метод обработки жидкого чугуна твердыми модификаторами или лигатурами непосредственно в литейной форме - «Инмолд-процесс» [3].

Внутриформенное модифицирование расплава чугуна обеспечивает оптимальное структурообразование в отливках, устраняет характерную для ковшевых методов проблему демодифицирования и является безопасным и сравнительно экологически чистым процессом. Кроме того, при переходе от печных или ковшевых методов модифицирования к Инмолд-процессу, упрощается технология обработки расплава, не требуется установка дополнительного оборудования или использования специальных сложных приспособлений или устройств, а также для достижения заданного эффекта существенно уменьшается расход сравнительно дорогостоящих модифицирующих добавок.

Несмотря на целый ряд преимуществ, технология внутриформенной обработки расплава требует тщательной отработки и оптимизации процесса, а также строгого соблюдения режимов литья и модифицирования. Особенности этой технологии достаточно неплохо изучены при сфероидизирующей обработке расплава с целью получения отливок из высокопрочных чугунов. В то же время имеются весьма ограниченные данные по графитизирующей обработке и практически отсутствует информация по карбидообразующей и карбидостабилизирующей внутриформенной обработке расплава.

В представленной работе приведены результаты экспериментальных исследований по влиянию графитизирующих (ферросилиция марки ФС75 и силикобария марки СБ20), карбидостабилизирующих (ферробора марки ФБ12, никель-магниевого лигатуры NiMg19, карбида вольфрама WC и цериевого мишметалла марки МЦ50Ж6), а также сфероидизирующих (ферросилиций-магниевых сплавов ФСМг7 и VL63M) модифицирующих добавок при обработке расплава чугуна определенного химического состава в реакционных камерах разной конструкции литейной формы на степень усвоения элементов-модификаторов, макро- и микроструктуру, а также твердость чугуна в отливках. Данные, полученные в результате экспериментальных исследований, позволяют разработать практические рекомендации по получению чугунных отливок с заданной структурой и требуемыми эксплуатационными свойствами.

**Литература:** 1. Census of World Casting Production: Global Casting Production Expands / Modern Casting. – December 2018. – pp. 23-26. 2 J.O. Olawale, S.A. Ibitoye, R.M. Oluwasegun. Processing Techniques and Productions of Ductile Iron: A Review / International Journal of Scientific & Engineering Research. – Vol.7. – Issue 9, September-2016. - pp. 397-423. 3. J.L. McCaulay. Production of Nodular-graphite Iron Castings by the Inmold Process / Foundry Trade Journal. – April 1971. – p. 327.

## КОНТРОЛЬ ТОЧНОСТІ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ ПРИ ПОЛІРУВАННІ НЕМЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ

<sup>1</sup>Філатов Ю.Д., <sup>1</sup>Ковальов С.В., <sup>2</sup>Ковальов В.А.  
(<sup>1</sup>ІНМ ім. В.М. Бакуля НАНУ, м. Київ, Україна,  
<sup>2</sup>НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сикорського», м. Київ, Україна)

*A new method was developed to control the deviation of the shape of a flat surface directly in the process of polishing nonmetallic materials using a confocal chromatic visualization sensor.*

Підвищення точності формоутворення прецизійних деталей при поліруванні досягається шляхом керування кінематичними і режимними параметрами процесу обробки, а також вибору конструкції притиру і характеристик полірувальної суспензії. Традиційний метод контролю точності формоутворення оброблених поверхонь здійснюється шляхом вимірювань в статичних умовах після завершення процесу полірування.

Метою роботи була розробка методу контролю величини відхилення форми поверхні за допомогою датчика конфокальної хроматичної візуалізації безпосередньо в процесі обробки.

При поліруванні деталі із кварцу діаметром 36 мм на експериментальній установці з датчиком мод. OP300VM (Франція) величина відхилення форми сигналу від прямокутної складала +3,0 мкм, за якою визначалась неплоскостність поверхні деталі 10 мкм, значення якої узгоджується з експериментальними даними, які спостерігались за допомогою оптичної вимірювальної системи ALICONA в статичних умовах.

При поліруванні деталей діаметром 60 мм, закріплених на блоці діаметром 300 мм (16 штук), вплив неплоскостності поверхні блоку деталей на величину відхилення сигналу від прямокутної форми описується лінійною залежністю, а експериментально визначені значення відхилення форми сигналів дозволили розрахувати величину відхилення від площинності блоку та окремої деталі.

Таким чином, в результаті аналізу відповідності між геометричними параметрами поверхні оброблюваної деталі та циліндричної поверхні, на твірній якої знаходиться датчик, встановлено зв'язок між стрілкою кривини і максимальним значенням відхилення сигналу датчика від прямокутної форми. Показано, що ця залежність є лінійною, що дозволяє за величиною відхилення сигналу від прямокутної форми для опуклої («горб») та увігнутої («яма») поверхонь оброблюваних деталей контролювати відхилення від площинності блоку деталей та кожної окремої деталі. Аналіз результатів експериментальної перевірки відповідності між розрахунковими даними і реальною величиною неплоскостності оброблених поверхонь показав доцільність застосування такого методу контролю їх форми.

## МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ СТІЙКОСТІ ТВЕРДОСПЛАВНИХ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ, ЯКІ ЗМІЦНЕНІ ОІМП, ПРИ ФОРСОВАНИХ МЕТОДАХ ВИПРОБУВАНЬ

**Шаповалов М.В., Митрохіна К.М., Жеребят'єва Л.І.**  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Для попередньої оцінки впливу обробки імпульсним магнітним полем на зносостійкість твердосплавних інструментів були проведені їх форсовані випробування [1]. На відміну від повних стійкісних випробувань, форсовані випробування дозволяють скоротити час випробувань, витрати інструментального і матеріалу, який обробляється. В основі форсованих методів лежать фізичні принципи теорії надійності [2]. Основний фізичний принцип надійності виходить з того, що реальна система втрачає працездатність через різного роду впливи, в той же час, кожен елемент системи і система в цілому до початку експлуатації має деякий запас надійності – ресурс. Під час експлуатації цей ресурс витрачається з деякою швидкістю, обумовленою режимами і умовами експлуатації. Принцип екстраполяції за навантаженням, стосовно твердосплавних інструментів, може бути реалізований шляхом ступінчастого (поступового) збільшення подачі та методами ступінчастого та безступінчастого (торцевого точіння) збільшення швидкості різання. У першому випадку досліджується вплив поступового збільшення навантаження на характеристики міцності інструментального матеріалу, а в другому – інтенсивність зношування матеріалу при різному діапазоні швидкостей різання.

Метод ступеневої збільшення режимів різання (подачі і швидкості різання) дозволяє реалізувати принцип екстраполяції по навантаженню, тобто поступового збільшення навантаження по міцності і швидкості зношування інструментального матеріалу. Випробування на зносостійкість за умови використання методу ступінчасто-зростаючої швидкості різання полягали у визначенні швидкості різання, при якій знос досягав нормативного критерію затуплення за час, менший часу роботи на ступені [3]. Встановлено, що при більш низьких швидкостях різання швидкості зносу для інструментів після зміцнення ОІМП, нижче в 2–2,3 рази в порівнянні з незміцненими інструментами. При подальшому підвищенні швидкості різання швидкість зносу збільшується. Випробування інструментів методом ступеневого збільшення подачі полягали у визначенні подачі, досягнення якої викликає руйнування різальної частини різця. Ці випробування показали зростання граничного значення подачі в 1,5–2,2 рази для інструментів після ОІМП [4,5].

Випробування інструментів методом безперервного збільшення швидкості різання (метод торцевого точіння) [6] виявили, що при більш



високих швидкостях різання ефективність зміцнення значно нижче, а в деяких випадках навіть відсутня. Підвищення інтенсивності зношування незміцнених твердосплавних пластин при більш низьких швидкостях різання пов'язано з перевагою крихкого зношування. При підвищенні швидкості різання частка крихкого зносу зменшується, натомість зростає частка дифузійного і окисного видів зносу і інтенсивність зношування пластин після ОІМП зростає.

Розглянута методика оцінки несучої здатності інструменту методом руйнуючої подачі. Методика встановлює організаційні й методичні принципи збору й обробки інформації про надійність різців в умовах експлуатації [7]. Встановлено залежності руйнуючої подачі й імовірності руйнування інструмента від параметрів умов їх експлуатації. Зі збільшенням подач росте ймовірність поломок різців, яка кількісно визначається як відношення числа поломок до спостережуваних періодів стійкості. При деякій величині подач імовірність поломок стане рівною 1,0; тобто всі різці будуть руйнуватися в перший же період стійкості.

Отже, під час проведення форсованих випробувань повинно виконуватися: однаковість матеріалу, який обробляється; повне управління процесом різання; забезпечення форсованих режимів різання; чітке дотримання критеріїв заміни інструменту.

**Висновок:** результати форсованих випробувань дозволяють зробити важливий висновок про те, що ОІМП підвищує зносостійкість твердосплавного різального інструменту в зоні низьких швидкостей різання і високих подач, тобто працюючі при попередній обробці виробів на важких верстатах.

**Література:** 1. Башков В. М., Кацев П. Г. Испытания режущего инструмента на стойкость. – М: Машиностроение, 1985. – 136 с. 2. Надежность и эффективность в технике: справочник в 10т./ Ред. совет: В.С. Авдеевский (пред.). М.: Машиностроение, 1990. 3. Vosough M. A method for identification of geometrical tool changes during machining of titanium alloy Ti6Al4V / Manouchehr Vosough, Fredrik Schultheiss, Mathias Agmell, Jan-Eric Ståhl // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, July 2013. – Vol. 67. – Issue 1-4. – pp. 339-348. 4. Increase the productivity of hard-alloy tools for heavy machine tools by processing impulse magnetic field (Підвищення продуктивності твердосплавних інструментів для важких верстатів шляхом обробки імпульсним магнітним полем) / Maksym Sharovalov, Viktor Kovalov, Yana Vasylchenko // Вісник ТНТУ. – Тернопіль. – № 4 (92), 2018– С. 52-59. – ISSN 2522-4433. 5. Прискорені випробування різальних пластин при інтенсивному контактному навантаженні / Родічев Ю. М., Сорока О. Б.; Ковальов В.Д., Васильченко Я. В., Шаповалов М. В. // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – Краматорськ, 2018. – № 1 (43). – С. 181-187. 6. Lalbondre R. Machinability studies of low alloy steels by face turning method: An experimental investigation / Rajshekhhar Lalbondre, Prasad Krishna, G. C. Mohankumar // International conference on design and manufacturing, IConDM 2013. – Vol. 64. – pp. 632-641. 7. Вплив результатів виробничих випробувань твердосплавних різальних інструментів, зміцнених ОІМП на підвищення ефективності технологічного процесу різання / Шаповалов М.В., Ковальов В. Д., Васильченко Я.В. // Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. – Харків, 2018. Вип.4 (6) – С.84-92.

## МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТВЕРДОСПЛАВНИХ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

**Шаповалов М.В., Юткін Д.І.**  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

У зв'язку з інтенсифікацією виробництва виникла одна з найгостріших проблем в розробці і застосуванні більш ефективних методів зміцнення металообробного інструменту.

Вибір того чи іншого методу зміцнення залежить від багатьох факторів, які обумовлюють його ефективність і витрати на здійснення в певних виробничих умовах. Ці методи не приводять до збільшення виробничих витрат, але ефективність їх залежить від певних умов експлуатації (матеріал, що оброблюється, режим різання, характеристика обладнання, пристосувань та ін.).

Перевагою методів зміцнення є те, що через зміни хімічного складу поверхні матеріалу, виходить збагачений шар однакової товщини з певними фізико-механічними властивостями. До недоліків цих методів можна віднести:

- низьку продуктивність;
- неможливість застосування для інструментів невеликого діаметра (до 5 мм) або з тонкою кромкою (викривлення, крихкість і т.п.);
- всі переваги після переточування губляться.

Відомі способи підвищення фізико-механічних властивостей інструментальних матеріалів хоча і дозволяють домогтися збільшення зносостійкості інструменту, проте витрати в порівнянні з ефективністю використання таких методів залишаються значними, а в багатьох випадках неекономічними і недоцільними через втрату інших цінних властивостей, зокрема, наприклад, міцності інструменту в цілому. Тому розробка нових прогресивних методів зміцнення різального інструменту є найпершим і важливим завданням для збільшення терміну служби металообробного інструменту.

Напрямами в розв'язанні проблеми подовження ресурсу інструментів для важкого машинобудування є забезпечення поверхневої та об'ємної міцності. Шляхами отримання інструментальних матеріалів з комплексом необхідних в умовах обробки на важких верстатах характеристик є технологія обробки імпульсним магнітним полем (ОІМП).

Імпульсний характер магнітного поля при ОІМП дозволяє легко здійснити інтенсивний енергетичний вплив на матеріал за допомогою електромагнітних хвиль. Своєрідне імпульсне електромагнітне струшування конденсованих систем з безліччю реальних дефектів прискорює темпи релаксації й структурної перебудови в них. Вибір імпульсного магнітного поля також дозволив спростити вимоги до джерел живлення й зробити установки компактними й портативними. При цьому устаткування для ОІМП може бути встановлено в механічних цехах підприємства, а параметри режимів обробки варіюються в залежності від інструментального матеріалу з метою оптимізації характеристик твердосплавних пластин.

## ЗМІСТ

<i>Ковалев В.Д., Клименко С.А., Антонюк В.С., Васильченко Я.В., Клочко А.А., Рябченко С.В., Волошин О.І., Статкевич О.В., Иванов С.О.</i> Створення та впровадження інноваційних технологій виготовлення крупногабаритних редукторів важкого машинобудування .....	5
<i>Абхарі П.Б., Кузенко О.А., Онищенко К.О.</i> Аналіз силового режиму видавлювання порожнистих деталей з перемінною товщиною стінки .....	7
<i>Авдеенко А.П., Коновалова С.А.</i> Стружкодробление при резании вязких труднообрабатываемых сплавов .....	8
<i>Алієва Л.І., Сивак Р.І., Картамишев Д.О.</i> Удосконалення комбінованих процесів видавлювання-розділення на основі аналізу напружено_деформованого стану заготовки.....	9
<i>Алієв І.С., Левченко В.М., Абхарі П.Б., Корденко М.Ю.</i> Використання сил тертя для усунення фестонів при холодному видавлюванні деталей з боковими відростками.....	10
<i>Аносов В. Л., Богданова Л. М., Літовка В. Д.</i> Структурна оптимізація конструкції фрези на основі мультиагентного підходу.....	11
<i>Бесарабець С.Ю., Майборода В.С., Слободянюк І.В., Джулій Д.Ю.</i> Вплив магнітно-абразивного оброблення на працездатність твердосплавних пластин.....	12
<i>Васильченко Я.В., Ковальов В.Д., Сукова Т.О., Глущенко К.О.</i> Мехатронні головки для багатоопераційних оброблювальних центрів на базі важких токарних верстаті.....	14
<i>Вовк В.В., Плівак О.А., Яцук С.О.</i> Застосування вимірювального комплексу радіуса округлення різального інструменту.....	15
<i>Волошко О.В., Вислоух С.П.</i> Комп'ютерне забезпечення експлуатаційних властивостей деталей.....	16
<i>Гавриш П.А.</i> Руїнування мідносталевих зварних швів.....	18
<i>Гавриш П.А., Ворошков К.</i> Навантаженість вузла підкосу жорсткої опори рудно-грейферного перевантажувача TAKRAF.....	19

<i>Герасименко О. В., Марков О. Є., Хващинський А. С.</i> Рекомендації для проектування інструменту для профільовання крупногабаритних заготовок.....	20
<i>Гузенко В. С., Гах В. М., Калініченко В. В., Хорошайло В. В., Рибкін В. А.</i> Прогресивна конструкція токарного різця з кріпленням різальної пластини з центральним отвором за допомогою коливного та натискного елементів.....	21
<i>Гузенко В.С., Соколов Є.П., Шевцов О.О.</i> Автоматизована система контролю процесу глибокого свердління.....	22
<i>Гузенко В.С., Федоров В.М., Ліфанов А.В.</i> Вдосконалення торцевих фрез для чорнової обробки з тангенціальним кріпленням пластин.....	23
<i>Данильченко М.А., Петришин А.І.</i> Передумови прогнозуванні стійкості процесу різання у виробничих умовах.....	24
<i>Дичковський М. Г., Кобельник В. Р., Кривий П. Д., Петречко І. Р.</i> Токарний різець для формування гвинтових поверхонь.....	25
<i>Дорохов М.Ю., Єрмакова С.О.</i> Зниження динамічних навантажень у механізмах ПТМ застосуванням пружинно-хвильового редуктора.....	27
<i>Дорохов М.Ю., Шевцов Є.О.</i> Моделювання вібраційних процесів в підйомно-транспортних машинах.....	28
<i>Емалетдинов А.К.</i> Синергетика, термодинамика и кинетика дефектов при трении и изнашивании поверхностей.....	29
<i>Емалетдинов А.К., Галактионова А.В.</i> Микромеханизмы термоактивации кинетических процессов при механоактивации поверхности.....	30
<i>Єнікєєв О.Ф., Захаренков Д.Ю., Абрамська І.Б.</i> Двохступенева система покоординатного керування параметрами алмазного шліфування.....	31
<i>Єрмакова С.О.</i> Напрямки підвищення терміну служби елементів футеровки барабанного кулькового млина.....	32
<i>Єрмакова С.О., Єгорова А.В.</i> Дослідження динамічних навантажень на механізм обертання баштового крану.....	33

<b>Єрмакова С.О.</b> Шляхи забезпечення надійної та безпечної роботи стрілових самохідних кранів.....	34
<b>Жуков П.Р., Суботін О.В.</b> Модернізація системи управління верстата моделі 1512.....	35
<b>Заковоротний О.Ю., Клочко О.О., Старченко Е.П., Камчатна-Степанова К.В. Анциферова О.А.</b> Підвищення точності, якості та продуктивності обробки крупногабаритних евольвентних шліцьових поверхонь....	36
<b>Залога В. О., Залога О. О., Веселов А. В., Сивоконь М. Л.</b> Переваги використання САД/САМ технологій для виготовленні індивідуальних ортезів стопи (ортопедичних устілок).....	38
<b>Іванова Ю.О., Маркова М. О., Житніков Р. Ю.</b> Розробка інструменту для виготовлення заготовок товстостінних труб без оправки	40
<b>Іванов Д.Є., Барандич К.С.</b> Генеративний дизайн та адитивні технології.....	41
<b>Івченко О.В., Дмитрієва Н.В., Залога О.О., Чучук Т.Є., Дегтяренко О.Г.</b> Дослідження національного законодавства щодо реалізації програми енергозбереження та енергоефективності в промисловості України.....	43
<b>Калафатова Л.П., Рева О.О.</b> Шляхи підвищення якості і точності обробки деталей з крихких неметалевих матеріалів.....	45
<b>Калініченко В. В.</b> Шляхи вирішення проблеми енергоефективності токарної обробки деталей важкого машинобудування.....	46
<b>Кассов В.Д., Кабацький О.В., Бережна О.В., Малигіна С.В., Гончаров В.С.</b> Особливості виготовлення і використання порошкового дроту складної конструкції.....	47
<b>Кинденко Н. И.</b> Повышение эксплуатационных свойств метчиков из быстрорежущей стали импульсной магнитной обработкой.....	48
<b>Клименко Г.П., Курінний Д.С., Євдовський О.Д.</b> Якість процесу експлуатації збірного інструменту.....	49

<i>Клименко С.А., Копейкина М.Ю.</i> Тенденції та перспективи вдосконалення технологій механічної обробки.....	51
<i>Клочко О. О.; Іванченко В. В.</i> Мехатронне пристосування для обробки зубчастих коліс методом обкочування на універсальних фрезерних верстатах.....	52
<i>Клочко О.О., Охріменко О.А.,</i> Особливості проектування черв'ячних фрез для зубчастих коліс під подальше зубошліфування.....	53
<i>Ковалевський С.В., Ковалевська О.С., Кошевой А.О.</i> Особливості ідентифікації динамічних об'єктів.....	55
<i>Ковалевський С.В., Ковалевська О.С., Борисенко Ю.Б., Ємець В.В.</i> Використання інтелектуальних моделей для створення технологічного оснащення реконфігурованого виробництва.....	56
<i>Ковальов В.Д., Васильченко Я.В., Саєнко М.О., Антоненко Я.С.</i> Нові методи проектування важких верстатів в концепції «Індустрія-4.0» .....	58
<i>Ковальов В. Д., Гузенко В. С., Гах В. М., Калініченко В. В., Корнілов Є. Д.</i> Перспективна конструкція токарного різця з кріпленням різальної пластини за допомогою коливного гвинта .....	59
<i>Ковальов В.Д., Левченко М.М.</i> Система автоматичної стабілізації положення осі обертання шпинделя при зміні значення і напрямку навантаження за рахунок застосування регульованих гідростатичних опор .....	60
<i>Ковалев В.Д., Мельник М.С., Дубина К. М., Коваленко А.В.</i> Система адаптивного управління вбудованим віброгасником важкого токарного верстату.....	61
<i>Ковальов В.Д., Нестеренко В.М.</i> Удосконалення конструкцій важких верстатів для твердого точіння.....	62
<i>Ковальов В.Д., Свічкарьов А.А.</i> Розробка технології та обладнання для чорнової обробки з важкооброблюваних матеріалів методом електрофізичної та електрохімічної обробки .....	63
<i>Корденко М.Ю., Косарев В.С.</i> Моделирования процесса формообразования отростка различной конфигурации на торце стержня боковым выдавливанием.....	64

<b>Корчак О.С.</b> Розвиток методів конструювання гідроліній в системах керування обладнанням важкого машинобудування.....	65
<b>Корчак О.С., Бочковой Д.О.</b> Конструювання трубних з'єднань в гідросистемах керування обладнанням важкого машинобудування.....	66
<b>Корчак О.С., Біленець К.Є.</b> Заходи підвищення ресурсу безвідмовної роботи гідроциліндрів обладнання важкого машинобудування.....	67
<b>Красовський С.С., Хорошайло В.В., Кабацький О.В.</b> Підвищення ефективності ремонту виливниць.....	68
<b>Кривий П.Д., Коваль І.В., Сенік А.А., Тимошенко Н.М.</b> Імовірно-статистичний метод оцінювання впливу зусилля обкочування кулькою на мікротвердість сформованих поверхонь.....	69
<b>Крупко В.Г. Єлєтенко В.В.</b> основи раціонального застосування енергоакумуляуючих систем в технологічних машинах.....	71
<b>Крупко І.В., Кравченко В.В.</b> Дослідження впливу динамічних навантажень на потужність механізм пересування баштового крану.....	72
<b>Кузьменко Д.О., Суботін О.В.</b> Підвищення продуктивності токарного патронно- центрового верстата.....	73
<b>Левченко В.М.</b> Пути интенсификации процессов холодной объемной штамповки выдавливанием.....	74
<b>Ляшенко Б.А., Рутковский А.В., Антонюк В.С.</b> Повышение механических характеристик ниобиевых сплавов упрочняющими защитными покрытиями.....	75
<b>Макшанцев В.Г., Калимулин А.М.</b> Повышение точности обработки деталей на круглошлифовальном станке путем разработки адаптивной системы управления.....	78
<b>Макшанцев В.Г., Худолей М.Г.</b> Повышение точности обработки деталей на горизонтально-расточном станке с ЧПУ методом программного базирования заготовки.....	79

<i>Малій Х.В., Чепеленко О.Ю.</i> Застосування знакозмінної деформації для підвищення якості стрижневих деталей.....	80
<i>Мельник М. С., Бобринський В. С.</i> Адаптивне швидкісне фрезоточіння при обробці великогабаритних тіл обертання.....	81
<i>Мельник М.С., Гримайло Р.Є.</i> Пристрій для виявлення та виміру залишкових напружень в зварних станинах важких верстатів.....	82
<i>Мельник М. С., Железняк Д. С.</i> Система керування кутом повороту секції лопаті сучасного вітрогенератора.....	83
<i>Мельник М. С., Омельченко А. О.</i> Вдосконалення процесу електроерозійної обробки.....	84
<i>Міранцов С.Л., Стещенко В.О., Городецький О.В.</i> Підвищення продуктивності обробки деталей на слиткорозрізних верстатах за рахунок вдосконалення збірних конструкцій різального інструменту.....	85
<i>Міранцов С.Л., Хатітовський М.О., Арутюнян А.Е.</i> Система адаптивного керування швидкістю поперечної подачі на прорізних операціях з контролем стану інструменту.....	86
<i>Мироненко Є. В., Міранцов С. Л., Гузенко Д.Є.</i> Аналіз механізму виникнення оптимального рівня автоколивань.....	87
<i>Мироненко Є. В., Васильченко Я. В., Гузенко Д. Є., Калініченко В. В., Луговий А. А.</i> Аналіз конструкції збірного токарного різця з кріпленням різальної пластини за допомогою клинового елемента та притискного гвинта.....	88
<i>Мироненко Е.В., Кравченко Т.С.</i> дослідження і вдосконалення відрізних дискових фрез з механічним кріпленням тангенціально розташованих пластин.....	89
<i>Мироненко Є.В., Міранцов С.Л., Гузенко Д.Є.</i> Дослідження та вдосконалення збірних різців з L-подібним важилем для закріплення різальної пластини.....	90
<i>Молчанов В. Ф.</i> Постановка граничної задачі фільтрації жидкостей в перемінній пористій среде.....	91



<b>Панчук В. Г., Карник Р. Т., Костюк Н. О.</b> Автоматизація проектування штампів для витягування деталей холодно-листовим штампуванням.....	93
<b>Міцик А.В., Федорович В.О.</b> Підвищення ефективності вібраційної оздоблювально-зачищувальної обробки деталей машинобудівних виробництв.....	95
<b>Пасечник В.А., Воронцов Б.С.</b> Сокращение сроков технологической подготовки производства зубчатых колес на базе компьютерно-интегрированной системы.....	97
<b>Пермяков О.А., Гасанов М.І., Пермінов Є.В. Стрелець О.С., Поварніцин Д.А.</b> Абразивні круги для імпульсного зубошліфування на органічних матрицях.....	98
<b>Петраков Ю.В., Тур І.М.</b> Проектування траєкторій холостих ходів систем ЧПК.....	99
<b>Посвятенко Е.К., Посвятенко Н.І.</b> Матеріали протязок.....	101
<b>Равська Н.С., Родін Р.П., Івановський О.А., Парненко В.В.</b> Визначення радіуса округлення стружкових канавок відрізних пил при їх обробці обкатними фрезами.....	103
<b>Рябченко С.В., Сильченко Я.Л., Федоренко В.Т., Гржибовский Б.Б., Шепелев А.А.</b> Технология изготовления фасонных поверхностей из поролон алмазно-абразивным инструментом.....	105
<b>Савченко О.С., Мельник М.С., Гузенко В.С.</b> Вдосконалення розточувальних збірних різців з вбудованими віброгасниками.....	107
<b>Самоглядов А.Д., Панибратченко Ю. А.</b> Определение параметров комбинированного выдавливания полых конических деталей.....	108
<b>Сидоров Ю.М., Суботін О.В.</b> підвищення продуктивності мостового крана КМ63 / 12,5.....	109
<b>Суховая Е.В.</b> Коррозионностойкие композиционные покрытия на основе сплава Fe–В–С.....	110

<b>Таган Л.В., Маркова М. О., Малакан О. В.</b> Розробка технологічного процесу кування валу без використання операції осадження.....	112
<b>Тарган Д.В., Майборода В.С., Слободянюк І.В., Джулій Д.Ю.</b> Вплив магнітно-абразивного оброблення на точність мітчиків М12 зі швидкорізальної сталі.....	114
<b>Фесенко М.А., Могилатенко В.Г., Фесенко А.Н., Корсун В. А.</b> Развитие процессов изготовления чугунных отливок с дифференцированной структурой и свойствами.....	115
<b>Фесенко А.Н., Корсун В.А., Дворниченко А.А., Махмудов Р.Р., Фесенко М.А.</b> Влияние модифицирующих добавок на структуру и свойства чугуна в отливках, получаемых методом внутриформенной обработки расплава.....	117
<b>Філатов Ю.Д., Ковальов С.В., Ковальов В.А.</b> Контроль точності формоутворення плоских поверхонь при поліруванні неметалевих матеріалів.....	119
<b>Шаповалов М.В., Митрохіна К.М., Жеребят'єва Л.І.</b> Методики досліджень стійкості твердосплавних різальних інструментів, які зміцнені ОІМП, при форсованих методах випробувань.....	120
<b>Шаповалов М.В., Юткін Д.І.</b> Метод підвищення фізико-механічних властивостей твердосплавних інструментальних матеріалів	122

Scientific publication

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

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

Recommended for publication by the Scientific Council of DSEA,  
minutes № 12 dated May 30, 2019

Signed print 30.05.2019  
Conv.-printed sheets 5,81.  
Circulation of 100 copies

Paper size 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Accont.-publ. sheets 5,42.  
Order № 24

---

Publisher and manufacturer  
Donbas state engineering academy  
Ukraine, 84313, Kramatorsk, Academichna 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  
XVII Міжнародної  
науково-технічної конференції**

Рекомендовано до друку вченою радою ДДМА,  
протокол № 12 від 30.05.2019

Підп. до друку 30.05.2019

Ум. друк. арк. 5,81.

Тираж 100 пр.

Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Обл.-вид. арк. 5,42.

Зам. № 24

---

Видавець і виготівник  
Донбаська державна машинобудівна академія  
84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72  
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру  
ДК №1633 від 24.12.2003