

**Міністерство освіти і науки України**  
**Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя**  
**Академія наук вищої освіти України**  
**Академія інженерних наук України**  
**Механіко-машинобудівний інститут**  
**НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»**  
**Донбаська державна машинобудівна академія**  
**Національний університет «Львівська політехніка»**  
**Луцький національний технічний університет**  
**Кіровоградський національний технічний університет**  
**Чернігівський національний технологічний університет**  
**«ОСП Корпорація Ватра»**  
**Наукове товариство ім. Шевченка**  
**Тернопільська обласна організація Українського союзу науково-технічної інтелігенції**

## **МАТЕРІАЛИ**

**Всеукраїнської науково-практичної конференції**

## **ОБЛАДНАННЯ І ТЕХНОЛОГІЇ СУЧАСНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ**



**присвяченої пам'яті заслуженого винахідника України,  
академіка АН вищої школи України, доктора технічних наук, професора  
Нагорняка Степана Григоровича**

**11-12 ТРАВНЯ 2017 р.  
Тернопіль, Україна**

УДК 001:621.8:621.9  
О-16

Обладнання і технології сучасного машинобудування : матеріали  
О-16 Всеукраїнської науково-практичної конференції присвяченої пам'яті  
заслуженого винахідника України академіка АН вищої школи України,  
доктора технічних наук, професора Нагорняка Степана Григоровича  
(Україна, м.Тернопіль, 11-12 травня 2017 р.) / Відповідальний редактор :  
докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри «Конструювання верстатів,  
інструментів та машин» ТНТУ ім. І.Пулюя Луців І.В. – Тернопіль :  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,  
2017 – 188 с.

ISBN 978-966-305-082-9

В збірнику надруковані тези Всеукраїнської науково-практичної  
конференції «Обладнання і технології сучасного машинобудування»,  
присвяченої пам'яті заслуженого винахідника України, академіка АН вищої  
школи України, доктора технічних наук, професора Нагорняка Степана  
Григоровича за такими науковими напрямками:

1. Сучасні технології в машинобудуванні та металообробці.
2. Нові матеріали, міцність та довговічність конструкцій.
3. Напрямки сучасного розвитку процесів обробки різанням.
4. Синтез конструкцій елементів в сучасних верстатно-інструментальних системах.
5. CAD/CAM/CAE системи у машинобудівному комплексі.

**Відповідальний редактор:** докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри  
«Конструювання верстатів, інструментів та машин» Тернопільського  
національного технічного університету ім. І. Пулюя **Луців І.В.**

**Тези надруковані в авторській редакції**

**Вчений секретар конференції** к.т.н., доцент Кобельник В.Р.  
**Технічний секретар конференції** Кашуба Н.П.

Комп'ютерне складання *Кобельник В.Р.*  
Комп'ютерна верстка та оформлення *Кашуба Н.П.*  
Технічний редактор *Кашуба Н.П.*

Адреса конференції:  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
Вул.. Руська, 56, м. Тернопіль, Україна, 46001  
Email: [konf\\_otcm@ukr.net](mailto:konf_otcm@ukr.net)

ISBN 978-966-305-082-9

© Дизайн обкладинки Кашуба Н.П.,.....2017  
© Тернопільський національний  
технічний університет імені Івана Пулюя,..2017

**Мета конференції - створення, вдосконалення, модернізація і виготовлення  
сучасного обладнання машинобудівного комплексу,  
його розрахунок, дослідження та впровадження у виробництво**

**Програмний комітет конференції**

**Голова**

**Ясній П.В.**, д.т.н., проф., ректор ТНТУ

**Співголова**

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

**Заступники голови:**

**Луців І.В.**, д.т.н., проф., зав. каф. ТНТУ

**Рогатинський Р.М.**, д.т.н., проф., проректор ТНТУ

**Члени програмного комітету:**

**Бобир М.І.**, член-кореспондент НАН України, д.т.н., проф., директор ММІ НТУУ «КПІ»

**Внуков Ю.М.**, д.т.н., проф., проректор ЗНТУ

**Гевко Б.М.**, д.т.н., проф., ТНТУ

**Грабченко А.І.**, д.т.н., проф., зав. каф. НТУ «ХПІ»

**Грицай І.Є.**, д.т.н., проф., зав. каф. НУ «ЛП»

**Данильченко Ю.М.**, д.т.н., проф., зав. каф. «КПІ»

**Дмітрієв Д.О.**, д.т.н., проф. ХНТУ

**Залого В.О.**, д.т.н., проф., зав. каф. СумДУ

**Іскович-Лотоцький Р.Д.**, д.т.н., проф., зав. каф. ВНТУ

**Кальченко В.І.**, д.т.н., проф., зав. каф., ЧНТУ

**Кириченко А.М.**, д.т.н., проф., зав. каф., КНТУ

**Киричок П.О.**, д.т.н., проф., проректор НТУУ «КПІ»

**Клименко Г.П.**, д.т.н., проф., зав. каф., ДДМА

**Кузнецов Ю.М.**, д.т.н., проф., НТУУ «КПІ», академік-секретар АНВО України

**Мазур М.П.**, д.т.н., проф., декан ХНУ

**Малашенко В.О.**, д.т.н., проф., зав. каф. НУ «ЛП»

**Мельничук П.П.**, д.т.н., проф. ЖДТУ

**Оборський Г.О.**, д.т.н., проф., ректор ОНПУ

**Пальчевський Б.О.**, д.т.н., проф., зав. каф. ЛНТУ

**Павленко І.І.**, д.т.н., проф., зав. каф. КНТУ

**Панчук В.Г.**, д.т.н., проф., зав. каф. ІФНУНГ

**Пасічник В.А.**, д.т.н., проф., зав. каф. НТУУ «КПІ»

**Пермяков О.А.**, д.т.н., проф., професор НТУ «ХПІ»

**Петраков Ю.В.**, д.т.н., проф., зав. каф. НТУУ «КПІ»

**Пилипець М.І.**, д.т.н., проф., зав. каф. ТНТУ

**Равська Н.С.**, д.т.н., проф., НТУУ «КПІ»

**Рудь В.Д.**, д.т.н., проф., зав. каф. ЛНТУ

**Саленко О.Ф.**, д.т.н., проф., зав. каф. КрНУ

**Струтинський В.Б.**, д.т.н., проф., зав. каф. НТУУ «КПІ», перший віце-президент АІН України

**Тонконогий В.М.**, д.т.н., проф., дир. ІПТДМ ОНПУ

**Шевченко О.В.**, д.т.н., проф., «КПІ», зав. каф. ЖДТУ

**Щиренко В.В.**, ген. директор «ОСП Ватра»

**Організаційний комітет**

**Голова :** Луців І.В., д.т.н., проф.

**Заступник голови, вчений секретар**

Кобельник В.Р., к.т.н., доц.

**Технічний секретар** Кашуба Н.П., асистент

**Члени організаційного комітету:**

Лещук Р.Я, к.т.н., доц.; Нагорняк Г.С. к.т.н., доц.; Нагорняк І.С. ст. викл.; Гурей І.В. д.т.н., проф.; Гевко І.Б., д.т.н., проф.; Данилишин Г.М., к.т.н., доц.; Дзюра В.О. к.т.н., доц.; Кривий П.Д., к.т.н., доц.; Зеленський К.В., к.т.н., доц.; Зінь М.М., к.т.н., доц.; Волошин В.Н., к.т.н., доц.; Шанайда В.В, к.т.н., доц.; Дубецький І.Д, ст. викл.; Шарик М.В. ст. викл.



**Заслужений винахідник України,  
академік АН вищої школи України,  
доктор технічних наук, професор**

**НАГОРНЯК СТЕПАН ГРИГОРОВИЧ**

**(1947 – 2007)**

## **ЖИТТЄВИЙ ШЛЯХ ТА НАУКОВА СПАДЩИНА ПРОФЕСОРА С.Г.НАГОРНЯКА**

### **PROFESSOR S.G. NAGORNYAK: LIFE CARRIER AND SCIENTIFIC HERITAGE**

У 2017 році виповнюється 70 років від дня народження і 10 років з дня кончини Академіка Академії наук вищої школи України, Заслуженого винахідника України, доктора технічних наук, професора Нагорняка Степана Григоровича. Збіг цих двох дат у цьому році і покликав організацію науково-практичної конференції «Обладнання і технології сучасного машинобудування», яка має на меті дослідження і розкриття нових тенденцій у тих сферах виробництва, яким присвятив своє життя, наукову творчість і винахідницький талант професор С.Г. Нагорняк.

Він народився 8 липня 1947 року у звичайній сільській родині. Батько Степана Григоровича був учителем, що назавжди закарбувало в його душі любов до освіти і науки. Його малою батьківщиною було село Коржівці Деражнянського району Хмельницької області. Він з відзнакою закінчив середню школу. Тяга до знань, особливо ж до техніки, привела хлопця до Тернополя, де він вступив до Тернопільського філіалу Львівського політехнічного інституту. Отримані тут знання як з фундаментальних дисциплін, так і з наук прикладного характеру, а власне стосовно машинобудування, творення нових конструкцій, верстатів, інструментів, заклали у здібного і перспективного юнака основи його майбутніх успіхів і творчих здобутків. Закінчивши інститут за спеціальністю «Технологія машинобудування, металорізальні верстати та інструменти», отримав кваліфікацію інженера-механіка. Ще будучи студентом, він заявив і отримав перші авторські свідоцтва на винаходи.

Свій трудовий шлях Степан Григорович розпочав у серпні 1970 року інженером-технологом на Львівському заводі автотракторних запчастин, а трохи згодом починає працювати на посаді інженера науково-дослідного сектору нашого інституту. Після цього – служба у Збройних силах.

Ще однією дуже серйозною науковою школою стало навчання в аспірантурі. Навчався С.Г. Нагорняк у Києві з 1973 по 1977 рік. Здібного молодого науковця зараховано до аспірантури Української сільськогосподарської академії. Науковим керівником його був доктор технічних наук, професор В.М. Суторихін. Саме під його керівництвом Степан Григорович сформувався у справжнього науковця, вмілого експериментатора, допитливого теоретика. Незважаючи на передчасну кончину свого наукового керівника, йому все ж таки вдалось вчасно завершити дисертаційну роботу і у лютому 1978 року у раді Київського політехнічного інституту С.Г. Нагорняк успішно захищає кандидатську дисертацію на тему «Розробка і дослідження нових конструкцій кулачкових, зубчастих і фрикційних запобіжних муфт» за спеціальністю 05.02.02 «Машинознавство». Зрозуміло, що в ті роки, особливо для представників з периферії, такий швидкий за термінами захист дисертації у технічній сфері був рідкісною, неординарною подією. На той час Степан Григорович був уже автором десятків винаходів, а саме муфти і запобіжні механізми стали його найбільшою любов'ю на все життя. Він згадував також, що достойно оцінивши потенційні можливості молодого науковця значну допомогу йому надав член-кореспондент Академії наук УРСР професор С.М. Кожевников, 110 річницю з дня народження якого відзначали буквально недавно – у квітні 2017 року, зокрема на конференції «Механіка машин – основна складова прикладної механіки», присвяченій його пам'яті, яка відбулась у Дніпрі.

Після закінчення аспірантури і захисту кандидатської дисертації і до кінця свого життя С.Г. Нагорняк пропрацював у Тернополі у рідній Альма-матер на кафедрі

верстатів та інструментів. На посаду доцента кафедри він був переведений у листопаді 1979 року, а вчене звання доцента отримав у червні 1981р. З березня 1985р. по квітень 1990р. очолював кафедру. Це був дуже плідний час як для самого Степана Григоровича, так і для всієї кафедри. Спільна співпраця із першим завідувачем кафедри, пізніше деканом факультету і проректором, на жаль нині теж покійним, професором С.А. Дубиняком, завідувачем кафедри технології машинобудування професором Б.М. Гевком, директором Тернопільського філіалу ЛПІ, пізніше першим ректором нашого університету, доктором фізико-математичних наук, професором, світлої пам'яті О.М. Шаблієм давала свої серйозні плоди. Це були роки становлення, зростання і розвитку як нашого навчального закладу, так і Тернопільської технічної наукової школи. В цей же час встановлюються і розвиваються зв'язки кафедри і інституту із провідними науковими центрами України і взагалі Радянського Союзу. Особливо хотілося б відмітити наукові контакти і співпрацю з машинобудівними кафедрами Київського політехнічного інституту – зокрема з член-кореспондентом АН УРСР, доктором технічних наук, професором П.Р. Родіним, доктором технічних наук, професором А.П. Гавришем, завідувачем кафедри верстатів В.О. Федорцем, на жаль теж нині покійними, докторами технічних наук, професорами Ю.М. Кузнецовим, В.Б. Струтинським, Н.С. Равською, а також фахівцями академічних інститутів – Інституту надтвердих матеріалів ім. В. Бакуля АН України, Інституту проблем міцності АН України та інших. За істотні заслуги перед державою у галузі створення нових технічних систем у вересні 1987 року Президією Верховної Ради УРСР С.Г. Нагорняка було присвоєне почесне звання «Заслужений винахідник України».

Інтенсивний науковий пошук, напружена щоденна праця, поєднані із природним талантом винахідника, раціоналізатора, творця нової техніки, виразились у вагомому праці – дисертацію на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, яка була завершена і захищена у червні 1991 року в Інституті надтвердих матеріалів за спеціальністю 05.03.01 «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти». Тема докторської дисертації С.Г. Нагорняка – «Синтез інструментально-верстатного оснащення на основі аналізу кінематики лезової обробки». Офіційними опонентами дисертації були - член-кореспондент АН УРСР, доктор технічних наук, професор П.Р. Родін (Київ, КПІ); доктор технічних наук, професор О.І. Аверьянов (Москва, ЕНДІМВ-ЭНИМС); доктор технічних наук, професор В.І. Петров (Ленінград). Слід відмітити, що дисертація була захищена у формі наукової доповіді.

В докторській дисертаційній роботі С.Г. Нагорняка знайшли відображення результати його багаторічної науково-технічної діяльності. На захист були винесені такі основні положення: принципи структурно-схемного синтезу інструментально-верстатного оснащення; системний підхід до багатоваріантного пошуку структур регулювання формоутворюючими рухами на всіх етапах обробки; узагальнена модель поетапних кінематичних схем різання з врахуванням пружних властивостей системи верстат-приспособлення-інструмент-деталь при обробці; методики розрахунку основних характеристик і параметрів нового верстатно-інструментального оснащення; комплекс конструкцій оснащення для токарних, свердлильних, фрезерних і різнарізних операцій, розроблених на рівні винаходів, захищених майже сотнею (96) авторських свідоцтв на винаходи. Таким чином в роботі С.Г. Нагорняка була представлена і детально розглянута сукупність теоретичних, експериментальних і практично втілених результатів досліджень у вигляді узагальнення і розв'язку крупної народногосподарської проблеми – створення на основі поетапних кінематичних схем різання принципів синтезу інструментально-верстатного оснащення, яке розширює технологічні можливості обробки і підвищує техніко-економічні показники обладнання. Такий підхід безперечно свідчив про належність розробок С.Г. Нагорняка

до київської наукової школи академіка П.Р. Родіна, розвиток відомих робіт із синтезу технічних об'єктів професора Ю.М. Кузнєцова та інших вчених.

С.Г. Нагорняком для пошуку можливих шляхів підвищення продуктивності і якості лезової обробки як основу для розв'язку даних проблем був запропонований аналіз основних технічних протиріч при такій обробці. Так, в процесі токарної обробки підвищення швидкості подачі призводить до збільшення величини радіальної складової сили різання, дія якої на оброблювану деталь призводить до зменшення точності макровідхилень. Поряд з тим при токарній обробці із збільшенням швидкості подачі зменшується точність мікровідхилень. При свердлінні наскрізних отворів збільшення швидкості подачі призводить до зменшення напрацювання на відмову, що пов'язано з особливостями динаміки процесу свердління. Окрім того, при свердлінні отворів виникає протиріччя між швидкістю подачі і точністю формування отворів по довжині. В процесі фрезерування і вихрового нарізання різі збільшення швидкості головного руху різання і відповідно намагання збільшити продуктивність фрезерування призводить до зниження напрацювання на відмову і стійкості інструментів. Для розв'язку цих протиріч був проведений аналіз кінематики лезової обробки і зроблено висновок про доцільність створення інструментально-верстатного оснащення з врахуванням особливостей врізання і виходу інструментів (зубів) із тіла заготовки, тобто на основі поетапних кінематичних схем різання. При цьому був запропонований принцип багатоваріантного структурного формування розмежування узгодженості між векторами швидкостей ведучого і веденого елементів інструментально-верстатного оснащення при поступальному і обертовому рухах. При цьому вектор швидкості веденого елемента є різницею між вектором швидкості ведучого елемента і вектором відносної швидкості відставання веденого елемента відносно ведучого. Такий принцип є основою векторного синтезу токарного, свердлильного, фрезерного і різенарізного оснащення, яке розширює технологічні можливості і підвищує техніко-економічні показники лезової обробки. Так, комплекс засобів регулювання процесів врізання і виходу свердла при обробці наскрізних отворів дозволив проводити обробку при подачах, які на 20-25% перевищують нормативні, виключити перенавантаження і руйнування інструментів, зменшити величини заусенців. Використання адаптивних між інструментальних зв'язків для дворізцевого токарного оснащення дало змогу значно підвищити точність макровідхилень і у 1,6-1,8 разів зменшити мікровідхилення порівняно із традиційною одно різцевою обробкою. Встановлено, що запровадження пружно-демпфуючих зв'язків між різальною частиною та іншими елементами збірних торцевих фрез і вихрових головок дозволяють знизити рівень динамічних навантажень в 1,5-1,7 разів і підвищити стійкість інструментів порядку на 20%. Застосування розробленого методу синтезу до створення запобіжного інструментально-верстатного оснащення забезпечило співвідношення між максимальним моментом пробуксовування і моментом на етапі усталеного процесу різання в межах 1,05-1,25. Такі основні результати дисертаційної роботи С.Г. Нагорняка сприяли успішному вирішенню певних задач верстатно-інструментальної промисловості. Результати його наукових досліджень впроваджені на багатьох машинобудівних підприємствах, зокрема у Тернополі, Волочиську та інших містах (Україна), Казані (Росія), Бишкеку (Киргизія).

З березня 1992р. С.Г. Нагорняк був переведений на посаду професора кафедри, а у червні 1996 року отримав вчене звання професора.

Професор С.Г. Нагорняк брав активну участь як у вирішенні проблем розвитку інституту, так і у створенні і становленні Тернопільського державного технічного університету. Був головою профкому інституту. А у 1995 році йому було доручено очолити новостворений факультет переробних і харчових виробництв і до самої своєї передчасної кончини у січні 2007 року він був незмінним деканом цього факультету,

внісши вагому лепту у створення нових спеціальностей і спеціалізацій, їх ліцензування і акредитацію, розвиток багатоступеневої освіти, зокрема магістерської підготовки, підготовку фахівців вищої кваліфікації. Він проявив себе як прекрасний педагог і професіонал у царині вищої освіти. Неодноразово брав участь у підготовці і проведенні науково-методичних конференцій і засідань Науково-методичної комісії міністерства освіти і науки з машинобудування і інженерної механіки. У 1992 році на загальних зборах Академії наук вищої школи України С.Г. Нагорняк був обраний академіком цієї академії.

Професор С.Г. Нагорняк був учасником і організатором ряду наукових та методичних конференцій, брав активну участь у громадській роботі, налагоджував і курував зв'язки з виробництвом. Так, діяльність обласного товариства винахідників і раціоналізаторів багато в чому була побудована в тому числі на його ініціативі і діяльності. У 1999 році разом з доцентом М.М. Медюхом вони опублікували наукову розвідку «Фізико-технічні ідеї Івана Пулюя» (українською та англійською мовами), яка є дуже оригінальним аналізом творчості відомого українського фізика, ім'я якого носить наш університет, з точки зору цінності для винахідницької діяльності.

Професор С.Г. Нагорняк постійно знаходився в науковому пошуці, проявив себе як вмільний організатор науки, неодноразово керував госпдоговір ними і держбюджетними темами, завжди досягаючи максимального ефекту. Був членом декількох спеціалізованих рад для захисту докторських та кандидатських дисертацій, а у 2005-2006 роках був головою спеціалізованої вченої ради К 58.052.03 при Тернопільському державному технічному університеті для захисту дисертацій за спеціальностями 05.02.08 «Технологія машинобудування» і 05.03.01 «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти». Його часто залучали як провідного фахівця до опонування докторських і кандидатських дисертаційних робіт у різних радах. Так професор С.Г. Нагорняк був офіційним опонентом докторських дисертацій ректора Донбаської державної машинобудівної академії професора В.Д. Ковальова, почесного ректора Житомирського державного технічного університету професора П.П. Мельничука, інших шанованих у нашій державі науковців.

І звичайно найважливішу наукову спадщину вченого складають його учні.

Вони є серед сотень студентів, які навчались у Степана Григоровича, десятків колег, які з ним разом працювали. Це також і його аспіранти і спів шукачі. Професор С.Г. Нагорняк підготував 5 кандидатів наук. Ось список тем їх дисертаційних робіт:

1. Зеленський К.В. Синтез збірних торцевих фрез з пружно-демпфуючими елементами. (05.03.01, КП, 1995р.). Зараз Костянтин Васильович – директор Гусятинського коледжу ТНТУ.

2. Шанайда В.В. Синтез інструментального оснащення для нарізання і відновлення різей мітчиками в деталях сільськогосподарських машин (05.03.01 і 05.20.04, ТП, 1995р.). Зараз Володимир Васильович – доцент кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин ТНТУ.

3. Зінь М.М. Синтез вихрових головок з пружно-демпфуючими елементами. (05.03.01, ТДТУ, 1999р.). Зараз Мирослав Михайлович – доцент кафедри енергозбереження та енергетичного менеджменту ТНТУ, заступник завідувача кафедри.

4. Гевко І.Б. Розробка і дослідження низькочастотних пристроїв для виконання технологічних процесів гнучкими гвинтовими конвеєрами. (05.05.05, ЛП, 1997р.). Зараз Іван Богданович – доктор технічних наук (05.02.02), професор кафедри менеджменту ТНТУ.

5. Данилишин Г.М. Розробка інерційних трансформаторів моменту на основі просторового планетарного імпульсного механізму. (05.02.02, ТУП, 2003р.).



Зараз Григорій Михайлович – доцент кафедри автоматизації технологічних процесів і виробництв.

Професор С.Г. Нагорняк був науковим консультантом і моєї докторської дисертації на тему: «Основи створення багатолезового оснащення з між інструментальними зв'язками для обробки поверхонь обертання» (05.03.01, НТУУ КП, 2006р.). Зараз Ігор Володимирович – завідувач кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин ТНТУ.

Свою любов до науки, винахідництва, до освіти Степан Григорович передав і своїм дітям. Так Галина Степанівна Нагорняк, закінчивши аспірантуру під керівництвом доктора технічних наук, професора Р.М. Рогатинського захистила кандидатську дисертацію на тему «Обґрунтування конструктивно-силових параметрів планетарних відцентрових муфт» (05.02.02, НУ ЛП, 2005р.) і зараз працює доцентом кафедри менеджменту інноваційної діяльності ТНТУ і займається питаннями інтелектуальної власності. Ірина Степанівна Нагорняк закінчила кафедру менеджменту, теж займається науковою роботою і працює старшим викладачем кафедри економіки та фінансів.

Загалом за час своєї науково-педагогічної діяльності професор С.Г. Нагорняк опублікував величезну кількість праць. Їх число значно перевищує 300. Серед цих робіт – 3 монографії, 174 авторські свідоцтва на винаходи і патенти України, більше 120 наукових статей і тез доповідей на міжнародних і всеукраїнських наукових та науково-технічних симпозиумах і конференціях. Серед його спадку – ціла гама навчальних і навчально-методичних посібників та методичних вказівок. Праці професора С.Г. Нагорняка і зараз є актуальними та корисними як для молодих науковців, так і студентів як джерело науково-технічних ідей та методологічних підходів.

Завідувач кафедри конструювання верстатів,  
інструментів та машин ТНТУ,  
заслужений працівник освіти України,  
доктор технічних наук, професор

Луців І.В.

## **СПОГАДИ ПРО ПРОФЕСОРА, ЗАСЛУЖЕНОГО ВІНАХІДНИКА СТЕПАНА ГРИГОРОВИЧА НАГОРНЯКА**

### **THE MEMORIES OF STEPAN GRIGOROVYCH NAGORNYK – PROFESSOR, HONORED INVENTOR OF UKRAINE**

Степан Григорович був моїм першим рецензентом і радником в галузі техніки і технології. Всі свої ідеї я давав на його суд із рецензуванням, після чого я робив відповідні висновки.

Провідна роль машинобудування серед інших галузей промисловості визначається тим, що всі процеси в матеріальному виробництві, транспорті, будівництві, сільському господарстві пов'язані з використанням машин. Конструкції машин неперервно вдосконалюються згідно вимог експлуатації та виробництва, а також на основі можливостей, що виготовляються з врахуванням розвитку науково-технічного процесу.

Запобіжні механізми металорізальних верстатів (МРВ), то була не найважливіша фантазія молодого, амбітного Нагорняка С.Г., а серйозна наукова праця, основні положення якої витримали випробування часом. Тернопільському молодому

науковцю, щоб стати на цей шлях, треба було мати особливу вдачу, піднесені думки, незалежність розуму, здатність передбачати. Його талантові, мов повноводній річці, було тісно в основному руслі. І не дивно, адже невтомний Нагорняк С.Г. завжди вражав нас глибиною знань з математики, динаміки, він твердо засвоїв основні принципи кожної науки і вільно ними оперував.

При його підходах до наукових проблем я зрозумів, що йому потрібний вихід на наукові проблеми великого масштабу. Тому я звернувся до другого нашого науковця Богдана Васильовича Гупки з ініціативою просити нашого старшого колегу, його наукового керівника Бориса Івановича Костецького, щоб його влаштувати в аспірантуру до професора Суторихіна Володимира Миколайовича, завідувача кафедри деталей машин сільськогосподарської академії. В 1975 році Степан Григорович став аспірантом, а через 3 роки захистив кандидатську дисертацію і перейшов працювати на роботу в наш Тернопільський технічний університет.

Наукову спадщину Степан Григорович нам нажаль залишив невелику. В нього є біля 300 авторських свідоцтв і патентів, ним виданий довідник “Запобіжні механізми металообробного обладнання” у співавторстві зі своїм науковим керівником докторської дисертації професором Ігорем Володимировичем Луцівом видавництво “Техніка” 1992р. -70стор. З якого взнаємо, що в 1997 послань 47 авторських свідоцтв, 17 наукових статей. Основні співавтори проф. Луців І.В і його науковий керівник по кандидатській дисертації Суторихін В.М. Основні його запобіжні механізми: до свердлильних, токарних верстатів, для неперервного різання, для дискретного оброблення, синтез механізмів дроблення стружки для фрезерування і вихрового нарізання різи, а також збірні торцеві фрези, вихрові головки з пружно-демпфуючими елементами, а також синтез запобіжних муфт і патронів, кулачкові, кулькові, зубчасті і фрикційні муфти.

Другу важливу проблему за яку він взявся це у співпраці з проф., д.т.н. Хайлісом Г.А. відкрили спеціалізовану вчену раду з захисту кандидатських дисертацій по сільськогосподарських машинах. На протязі 5 років у Луцьку захистилося порядку 6 молодих науковців, серед них наші викладачі Ткаченко І.Г., Капаціла Ю.Б., Пік А.І., Гевко І.Б., Павх І, Вітровий А та інші.

В 2002 р. в університеті існувала у спеціалізованій раді спеціальність 05.03.01 - процеси мехобробки, верстати і інструменти і в тому ж році було відкрито спеціалізовану вчену раду на захист трьох спеціальностей: 05.02.08 – технологія машинобудування, 05.03.01 – процеси мехобробки і 05.05.05 – піднімально-транспортні машини і головою спецради було призначено Степана Григоровича, який 6 років керував цією радою. Після цього з погіршеним станом здоров'я він передав раду мені, а через 6 років у 2015 році я спеціалізовану раду передав своєму вихованцю проф., д.т.н., Пилипцю М.І. яка працює успішно і сьогодні.

Степан Григорович приймав активну участь у підготовці своїх вихованців. Під його керівництвом захистили кандидатські дисертаційні роботи Гевко Ів.Б. д.т.н., проф. кафедри економіки, Данилишин Г.М. доц. кафедри автоматизації, Зеленський К.В. – директор Гусятинського коледжу ТНТУ, Зінь М.М. каф. менеджменту, Шанайда В.В. доц. кафедри верстатів та інструментів ТНТУ, він також був опонентом дисертаційної роботи проф. Пилипця М.І., нині голови спецради нашого університету і докторської дисертаційної роботи проф. Рогатинського Р.М., нашого проректора з наукової роботи.

Світла пам'ять про чудову, добру та талановиту людину Нагорняка Степана Григоровича назавжди залишиться в наших серцях.

Заслужений винахідник України,  
доктор технічних наук, професор

Гевко Б.М.

УДК 621.9.04

**Н.С. Равська, докт. техн. наук, проф., В.А. Пасічник, докт. техн. наук, проф.,  
О.А. Охріменко, докт. техн. наук, доц.**

НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## **РОЗВИТОК СИСТЕМ І ПРОЦЕСІВ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ**

**N. Ravska, Dr., Prof., V. Pasichnyk, Dr., Prof., O. Okhrimenko, Dr., Assoc. Prof.,  
DEVELOPMENT OF SYSTEMS AND PROCESSES OF FORMING OF SURFACES**

Витоки розвитку теорії формоутворення поверхонь деталей, як фундаментального наукового напрямку у вітчизняному (в широкому історичному аспекті) науковому просторі датуються 30-ми роками ХХ століття і містяться в наукових працях д.т.н., проф. І.І. Семенченка [1]. На той час базовою технологією формоутворення була технологія оброблення різанням, яка реалізовувалась технологічним оброблювальними системами «Верстат – пристрій – інструмент – деталь». Індустріальний розвиток промисловості, потреба у формоутворенні все більш різноманітних за формою конструкцій деталей, підвищення вимог до їх якості, розширення набору конструкційних матеріалів, сприяє створенню широкої гами металорізального обладнання та інструменту. Протягом 40-60-х років у працях таких вчених, як І.І. Семенченко, В.В. Шишков, С.С. Петрухін, П.Р. Родін, Ю.В. Цвіс, М.Н. Ларін, Н.А. Шевченко, В.Ф. Бобров закладаються загальні принципи проектування різальних інструментів [2-4].

Основою проектування різальних інструментів є кінематична схема, яка реалізує формоутворення. В роботі Г.І. Грановського [5] закладені і розглядалися загальні для всіх, наявних на той час видів інструментів, питання взаємних рухів (кінематики), яких було проаналізовано понад 250. Не високий рівень систематизації кінематичних схем певним чином стримував розвиток наукових основ проектування інструменту.

П.Р. Родін узагальнив і систематизував способи формоутворення при різанні, запропонував розглядати способи обробки як такі, що ґрунтуються на теоретично визначених кінематичних зв'язках системи «деталь–інструмент» [6]. Таке уявлення про кінематику утворення поверхонь забезпечило розробку ним нових схем формоутворення поверхонь, заснованих на поєднанні рівномірних, прямолінійно-поступального та обертового рухів, їх класифікацію, яка разом з умовами формоутворення склали основу теорії формоутворення поверхонь, інваріантну до способу, методу та інструменту, яка на десятиліття визначила подальший розвиток [7].

Фундаментальність теорії підкреслюється тим, що поява нових методів оброблення, наприклад лазерних методів розмірного оброблення, виконані проф. Коваленком В.С., дозволила визначати лазерний промінь як інструмент без зміни принципів формоутворення.

Поява і широке впровадження верстатів з ЧПК, розвиток інформаційних технологій та розробка нових принципів створення автоматизованих систем проектування поставили нові завдання з подальшого розвитку теорії формоутворення поверхонь, як теоретичної основи сучасних САПР інструменту та схем формоутворення [7, 8].

Сучасна теорія формоутворення поверхонь побудована на розгляді ідеалізованих процесів, і тому ще одним загальним напрямком розвитку є удосконалення з урахуванням реальних процесів та явищ, які є основою фізичних процесів утворення нових форм. Тут ефективним інструментарієм є і буде математичне моделювання (2D, 3D), розвиток методологій і методів. Розвиток процесів високошвидкісного та високоєфективного оброблення матеріалів потребує поглиблення розуміння специфіки перебігу процесів та розвитку різальних інструментів у напрямках, що забезпечують

високу працездатність в складних умовах експлуатації. Ускладнення форм поверхонь деталей та реалізації їх оброблення на верстатах з ЧПК в умовах, що постійно змінюються протягом усього технологічного процесу, потребує розвитку методів урахування динаміки процесів та розроблення інструменту підвищеної працездатності.

На даному етапі розвитку науки про формоутворення поверхонь, техніки і технології для їх реалізації перспективним напрямками подальших досліджень є:

- розвиток теорії синтезу поверхонь та теорії їх формоутворення;
- розвиток кінематики формоутворення складних фасонних поверхонь;
- розроблення кінематики мікроформоутворення поверхонь для підвищення експлуатаційних фізико-механічних властивостей таких поверхонь;
- удосконалення та підвищення ефективності процесів, що реалізуються сучасними багатокоординатними верстатів з ЧПК.

### **Література**

1. Семенченко И.И. Режущий инструмент [текст]/ И.И. Семенченко. – М.: Машгиз, 1944, в 4-х т.
2. Шишков В.А. Образование поверхностей резания по методу обкатки [текст] / В.А. Шишков. – М.: Машгиз, 1951. – 150 с.
3. Родин П.Р. Основы теории проектирования режущих инструментов [текст] / П.Р. Родин. – К.: Машгиз, 1960. – 160 с.
4. Семенченко И.И. Проектирование металлорежущих инструментов [текст] / И.И. Семенченко, В.М. Матюшин, Г.Н. Сахаров. – М.: Машгиз, 1963. – 952 с.
5. Грановский Г.И. Кинематика резания [текст] / Г.И. Грановский. – М.: Машгиз, 1948. – 200 с.
6. Родин П.Р. Основы формообразования поверхности резанием [текст] / П.Р. Родин. – К.: Вища школа, 1977. – 190 с.
7. Равська Н.С. Основы формоутворення поверхонь при механічній обробці [текст] / Н.С. Равська, П.П. Мельничук, О.В. Мамлюк, Т.П. Ніколаєнко, О.А. Охріменко. – К.: 2013, 215 с.
8. Гречишников В.А. Автоматизированное проектирование металлорежущих инструментов [текст] / В.А. Гречишников, Г.Н. Кирсанов, А.В. Катаев. – М.: Мосстанкин, 1984. – 109 с.

**УДК 621.91**

**В.Д. Ковальов, докт. техн. наук, проф.; Я.С. Антоненко**  
Донбаська державна машинобудівна академія, Україна

## **ПЕРЕХІД ВІД ПРОСТОРУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДО ТРАЕКТОРІЙ ФОРМОУТВОРЮЮЧИХ РУХІВ З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАДАНОЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ТОЧНОСТІ ВАЖКОГО ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА**

**V.Kovalev. Y. Antonenko.**

### **TRANSITION FROM SPACE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS TO TRAJECTORYS OF SHAPE-CREATING MOVEMENTS WITH THE PURPOSE OF PROVIDING ASSIGNED GEOMETRIC ACCURACY OF HEAVY LATHE**

Основна група верстатного парку машинобудівних підприємств України – це токарні верстати. На важких токарних верстатах з числовим програмним управлінням проводиться обробка більшості деталей, які входять до складу сучасних важких машин. Це прокатні валки, ротори турбін, колісні пари залізничного та гірничого транспорту,

корабельні гребні вали та багато іншого. Тому підвищення характеристик точності важких токарних верстатів є актуальною задачею для забезпечення конкурентоспроможності машинобудівної продукції.

Обробка деталей на металорізальному обладнанні на сьогоднішній день розглядається як процес, що складається з трьох етапів, які виконуються послідовно в часі. При виконанні кожного етапу виникають систематичні і випадкові похибки розмірів і поворотів, які в результаті підсумовування і часткового компенсування один одного дають результуючу похибку, що проявляє себе у вигляді відхилень різних характеристик якості деталей.

Слід також зазначити, що одним з необхідних і абсолютно природних напрямків на шляху розвитку підходу управління на основі зміни програми ЧПУ є вивчення існуючих статичних і динамічних характеристик всіх елементів технологічної системи верстата, в тому числі характеристик жорсткості окремих вузлів. В даному напрямку існує величезна кількість наукових праць, виконаних на різному рівні і на основі різних підходів. Різноманітність методів свідчить про те, що метод управління є векторним, наприклад, заснованим на одночасну зміну координат різального інструменту в просторових координатах металорізального верстата і одночасній зміні швидкості подачі. Методи ж введення цих корекцій швидше засновані на інтуїтивних уявленнях, або на проведенні пробних випробувань. Наведений огляд має значення і в зв'язку з тим, що він фактично вказує на існування таких траєкторій, які забезпечують задані показники якості. Іншими словами, побічно підтверджується наявність деякого інваріантного різноманіття формоутворюючих рухів, рух по яких гарантує задані показники якості.

Дуже важливим елементом досліджень є властивості рівноваги заданої динамічної системи різання на основі законів класичної механіки і шляхи вирішення двох практично важливих задач: аналізу і синтезу формоутворюючих рухів інструменту щодо деталі з урахуванням пружних деформацій оброблюваної заготовки та технологічної системи верстату.

Геометричний образ деталі, що є базовим для побудови програми ЧПУ металорізального верстата в кінцевому рахунку задає траєкторії формоутворюючих рухів. Такий підхід є в даний час традиційним для створення програм ЧПУ, однак внаслідок різноманітних чинників реальні траєкторії формоутворення відрізняються від заданих і ця відмінність призводить до значних змін геометричних параметрів готових виробів. Одним з факторів, що мають найбільше значення при формуванні похибки образу деталі, є фактор взаємного відхилення вершини інструменту і заготовки в процесі обробки. Траєкторія, що отримується з урахуванням відхилень вершини різального інструменту від траєкторії, заданої програмою ЧПУ, характеризує асимптотичні властивості формоутворюючих рухів.

На відміну від традиційного, розроблений в роботі підхід спирається на використання динамічних характеристик верстата і врахуванні їх зміни в процесі обробки на перетворення траєкторій формоутворюючих рухів, які враховують динаміку верстатної системи.

Сформульовані поняття інваріантних різноманіть технологічних режимів і відповідних їм формоутворюючих рухів, дозволили запропонувати новий підхід до створення програм ЧПУ для металорізальних верстатів. В основу цього підходу покладено обчислення безлічі технологічних режимів, при яких для всіх точок контакту інструменту з заготовкою забезпечується сталість положення динамічної системи різання. Саме на цьому різноманітті пропонується будувати програму ЧПУ, тим самим автоматично забезпечуючи компенсацію впливу зміни динамічної структури верстата в ході обробки.

**УДК 001.1+001.38.38:001.92**

**П.М. Таланчук<sup>1</sup>, докт. техн. наук, проф.; В.Б. Струтинський<sup>2</sup>, докт. техн. наук, проф.; М. М.Кірюхін<sup>3</sup>, канд. техн. наук, доц.**

<sup>1</sup>Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна», Україна

<sup>2</sup>НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. І.Сікорського», Україна

<sup>3</sup>Спілка наукових та інженерних об'єднань, Україна

## **ЗАХОДИ АКАДЕМІЇ ІНЖЕНЕРНИХ НАУК УКРАЇНИ ТА СПІЛКИ НАУКОВИХ І ІНЖЕНЕРНИХ ОБ'ЄДНАНЬ УКРАЇНИ ПО РЕАЛІЗАЦІЇ ВСЕУКРАЇНСЬКОГО ПРОЕКТУ ПРОГРАМИ «ЄВРОІНЖЕНЕР»**

### **P. Talanchuk Dr., Prof., V. Strutynsky, Dr., Prof., M. Kiryukhin, Ph.D., Assoc. Prof. ACTIVITIES OF THE ACADEMY OF ENGINEERING SCIENCES OF UKRAINE AND THE SCIENTIFIC AND ENGINEERING UNION OF UKRAINE IN IMPLEMENTATION OF UKRAINIAN PROJECT OF THE "EUROENGINEER" PROGRAM**

Академія інженерних наук України існує з 1991 року як громадська самоврядна організація.

Основними завданнями АІН України є підготовка необхідних кадрів, сприяння розвитку новітніх технологій, комерціалізація результатів наукових досліджень, що виконані ученими Академії, та ряд інших.

Академія інженерних наук України входить до Світової спілки академій інженерних і технологічних наук-CAETS (International Council of Academies of Engineering and Technological Sciences), яка об'єднує 27 Академії країн світу. В даний час Академія разом із Спілкою наукових і інженерних об'єднань України веде роботи в рамках всеукраїнського проекту «Євроінженер». Проект «Євроінженер» має європейський масштаб, започаткований і організовується європейською федерацією FEANI (European Federation of National Engineering Associations).

Фахівці, що мають EUR ING отримують відповідний диплом і вносяться в FEANI реєстрацію, яка ведеться в Брюсселі. Це допомагає їм в плані академічної мобільності та встановлення зв'язків з фахівцями і організаціями Європи.

Претенденти на отримання цього звання повинні мати якісну інженерну освіту, багаторічний досвід інженерних досліджень, аналізу та проектування, а також дотримуватися професійної етики.

Фахівці машинобудування: конструктори, технологи, організатори виробництва, науковці, працівники вищої школи є провідними представниками інженерного корпусу України. Тому їх участь в реалізації проекту «Євроінженер» повинна стати основною складовою всеукраїнського проекту.

Для участі в проекті подається пакетна заявка, яка включає матеріали міжнародної акредитації кафедри вищого навчального закладу та інформацію про випускників кафедри (не менше десяти) які успішно працюють в інженерній галузі.

Відбір претендентів при подачі пакетних заявок проводиться в дві стадії: спочатку на національному рівні, потім професійні якості претендента перевіряє Європейський Моніторинговий комітет FEANI.

Спільна робота Академії інженерних наук України та Спілки наукових та інженерних об'єднань України по реалізації програми «Євроінженер» включає підготовку пакетних заявок та направлення їх у відповідні структури FEANI.

В даний час накопичено певний досвід по підготовці пакетних заявок FEANI INDEX та EUR ING. Він допоможе в реалізації програми «Євроінженер».

УДК 621.9.06

**Ю.М. Кузнєцов, докт. техн. наук, проф.**  
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Україна

## **МАЙБУТНЄ ВЕРСТАТОБУДУВАННЯ УКРАЇНИ – СЕРЦЕВИНИ МАШИНОБУДУВАННЯ В УМОВАХ INDUSTRY-4.0**

**Yu. Kuznetsov, Dr., Prof.**

### **FUTURE OF UKRAINE'S MACHINE TOOL PRODUCTION AS A HEART OF MECHANICAL ENGINEERING IN INDUSTRY-4.0 CONDITIONS**

Основна риса сучасності – третя промислова революція і виклик перед людством четвертої промислової революції **INDUSTRY - 4.0** з орієнтацією на штучний інтелект і виробництва на ринок, що неможливо без інтеграції науки, освіти, виробництва і сфери обслуговування. Сьогодні людство опинилося перед глобальними проблемами соціально-економічного, екологічного і психологічного характеру (одна третина людства голодує і жебракує, накопичені мільйонами років земні надра руди, нафти, газу інтенсивно спустошуються, смертність зростає від стресів, серцево-судинних, ракових захворювань і постійних війн).

Це потребує в галузі виробництва досягнення наступних основних цілей [10]:  
1. Підвищення продуктивності. 2. Підвищення якості продукції. 3. Скорочення витрат на виробництво при заощадженні енергії і матеріальних ресурсів. 4. Поліпшення і зниження долі фізичної праці людини. 5. Полегшення і скорочення рутинної монотонної розумової праці людини. 6. Розширення технологічних і функціональних можливостей обладнання за рахунок модернізації існуючого обладнання.

Досягнення наступних цілей позначилося на світових тенденціях розвитку машинобудування і, зокрема, його серцевини – верстатобудування, основними з яких є наступні [10,11]: 1. Високошвидкісна (High Speed Cutting) та високопродуктивна (High Production Cutting) обробка. 2. Високопрецизійна (High Precision Cutting) обробка з точністю обробки до 0.01 мкм та шорсткістю поверхні Rz=0.001 мкм (нанотехнології). 3. Енерго-матеріалозберігаючі та екологічно чисті технології. 4. Створення багатофункціонального, багатоцільового обладнання, в тому числі з штучним інтелектом, паралельною кінематикою і мехатронними системами, які об'єднують засоби механіки, електроніки та електротехніки. 5. Агрегатно-модульний принцип конструювання, виготовлення і складання виробів з реалізацією принципу паралельного проектування (Concurrent Engineering) в короткі терміни з одночасною підготовкою виробництва (синхронізація). 6. Впровадження гнучких виробничих систем, модульних і інтегрованих технологій з використанням 3D – моделювання і лазерної техніки типу Rapid Prototyping. 7. Креативний підхід із застосуванням сучасних евристичних і комп'ютерних методів пошуку нових і нетрадиційних технічних рішень, що відповідає умовам інноваційної економіки (на зміну економіці речей приходить економіка знань)[2,4]. 8. Широке застосування нових прогресивних матеріалів: для нерухомих базових деталей – композиційні, верстатометал, синтегран, полімербетон, литво з гранітної крошки і екологічно чистими зв'язуючими матеріалами. 9. Моніторинг, діагностика, сервісна і технічна підтримка через інтернет-споживачів обладнання, глибока діагностика кожної одиниці обладнання і одиниць з ЧПК.

Досягнення указаних цілей в незалежній високо розвиненій державі неможливо без вітчизняного верстатобудування – серцевини машинобудування, де основна продукція – верстати розглядаються як машини, що створюють інші машини [6,9,11]. Без верстатів неможливо виготовлення іншого технологічного обладнання, інших

технічних систем (ТС) різного функціонального призначення, які відносяться до антропогенних систем [1], що змінюються у часі внаслідок цілеспрямованої діяльності Людини.

Верстатобудування з перших років радянської влади обрало стратегічно хибний курс під девізом «Догнати і перегнати!» (перші токарні верстати московського заводу «Красный пролетарий» назвали ДИП-200 (рос.-догнать и перегнать, висота центрів 200 мм, але вони, навіть з ЧПК, наприклад, мод.16К20Ф3С1, так і не перегнали подібні верстати провідних фірм). Нас завжди переконували в тому, що треба йти у фарватері провідних фірм і країн, дивлячись їм у зад і беручи за основу розробки, що побачили на міжнародних виставках. В кінці 80-х років минулого століття верстатобудування в Україні обрало інший курс і було на підйомі [10] (приклад – Київський завод верстатів-автоматів ім. Горького, який виготовив перші в світі важкі багатошпиндельні токарні автомати з ЧПК на модульному принципі). В той час Україна займала друге місце в СРСР після Російської федерації по виробництву і реалізації верстатів і була лідером по кількості винаходів та інших інновацій.

Але трапилося непередбачене і Україна втратила лідерство, а більшість верстатобудівних заводів втратила свої позиції і навіть припинила свою діяльність і існування, наприклад, з новою назвою Київське ВАТ «Веркон», яке було світовим лідером по виробництву багатошпиндельних токарних автоматів і напівавтоматів повної гами типорозмірів – від найлегших до найважчих [10]. Не втратив своїх позицій лише Одеський завод «Мікрон», відомий в світі завдяки кульково-гвинтовим передачам для верстатів з ЧПК. Україна сьогодні практично не виготовляє власні верстати, а купляє дуже дорогі чужі, що робить її залежною, перетворюючи в сировинний придаток. Для відновлення верстатобудування потрібні були дуже великі вкладення як в наукові дослідження для створення нової техніки і технологій, так і в модернізацію виробничих потужностей. Замість цього кошти пішли в іншому напрямку. Держава поквапилася позбавитися від збанкрутілих верстатобудівних заводів, які були корпоративізовані, а потім продані в ході ваучерної «прихватування» і на сертифікаційних аукціонах. Без аргументації було ліквідовано ряд конструкторських бюро, в тому числі спеціальне конструкторське бюро багатошпиндельних автоматів (СКББА).

Сьогодні ще є можливість при сприянні держави відродити вітчизняне верстатобудування та інші галузі машинобудування. Для цього необхідно обрати стратегічно вірний курс під девізом **«ВИПЕРЕДИТИ, НЕ ДОГОНЯЮЧИ!»** і здійснити інноваційний прорив у сфері науки, освіти і виробництва, використовуючи останні досягнення в різних науках (генетиці, кібернетиці, інформатиці, тощо), які об'єднані в міждисциплінарну галузь знань і побудовані на єдиному структурно-системному підході (приклад НБК-технології: НАНО, БІО, ІНФО, КОГНІ)[2-4,7] .

Постулат нового наукового підходу – від живої Природи до створення антропогенних систем, до яких відносяться статичні і динамічні машинні, електричні, будівельні ТС, що створені завдяки інтелекту Людини. В Україні все ще є високий науковий потенціал і достатньо добрих спеціалістів і інженерних кадрів. Верстатобудуванню потрібна нова цільова стратегічна програма розвитку і модернізації існуючого обладнання. Особливо перспективним є виробництво токарних, свердлильно-фрезерних, шліфувальних верстатів нових компоновок, що може знову стати візитною карткою України, як міцної індустріально-аграрної, а не сировинно-споживчої держави.

Створення нових ТС неможливо без аналізу і врахування людського досвіду, який як генетична інформація на різних носіях переноситься з покоління в покоління. Історія розвитку людства і еволюція техніки завжди була пов'язана з механікою [5,8]. З



відкриттям електричного струму стала неможлива сьогодні життєдіяльність Людини і розвиток ТС без нього. Електрика стала основним джерелом енергії ТС і первинним перетворювачем її альтернативних джерел (води, вітру і сонця), конкуруючи з бензином і газом. Ця тенденція визначила особливу роль електромеханічної науки, яка зв'язана з дослідженням і створенням електромеханічних перетворювачів енергії, що безпосередньо використовується в процесах виробництва, транспортування, розподілу і споживання електричної енергії. По аналогії з відкритою проф. Шинкаренко В.Ф. періодичною системою первинних джерел електромагнітного поля – електромагнітним геном [12] і завдяки принципам самоорганізації і генетичному принципу «від простого до складного» запропонований новий погляд на матеріальну точку, як носія генетичної інформації при створенні ТС типу «об'єкт» і «процес» [8]. Ця матеріальна точка на генетичному рівні умовна названа механічним геном і несе інформацію про поступальні і обертові рухи, навантаження та їх напрямки. Вона може бути нерухомою, як інформація про антропогенні системи статичні типу «об'єкт» і динамічні типу «процес». Рухому матеріальну точку з нарощуванням генетичної інформації і ускладненням структури використовують як для переносу інформації від однієї точки до другої, так і для взаємодії точок [6,8].

Завдяки плідному співробітництву механіків і електромеханіків з використанням підходів в генетичній електромеханіці і універсальних генетичних операторів синтезу (реплікації, інверсії, схрещування, кросинговера, мутації) [6,9-12] створені принципово нові механізми, вузли і верстати, в яких механічні твердотільні передачі замінені електромагнітними: мотор-головки багатошпindelьні (патент України №110074); мотор-головки револьверні (патент України №109191); шпindelьний вузол верстата (патент №112234); мотор-барабан шпindelьний; пристрій для осцилюючого свердління композиційних матеріалів (патент України №113101); багатокоординатний мобільний свердлильно-фрезерний верстат пірамідальної компоновки (патент України №101447); механізм повороту і фіксації шпindelьного барабана (патент України №113751); багатошпindelьний токарний автомат (патент України №113767).

Говорячи про майбутнє верстатобудування, необхідно звернутися до відомих і нових методів прогнозування і передбачення на 50-100 і більше років вперед, серед яких наукове (інженерне) прогнозування, наукове передбачення і генетичне передбачення [2,7,11,13].

Довгострокові прогнози і передбачення з вірогідністю звершення 100% показали, що для верстатів майбутніх нових поколінь з переходом на каркасні і оболонкові несучі системи відпадає необхідність у фундаментах, а з підвищенням розміру (ваги) деталі і верстата змінюється їх співвідношення і вид верстата:

1. Для мікро(нано)деталей – швидко складальні інтелектуальні, прецизійні і ультрапрецизійні міні-верстати з модулів в кейсі з вбудованою системою керування.
2. Для малих деталей – настільні (малогабаритні) верстати або 3D – принтери з штучним інтелектом, керовані від комп'ютера, смартфона або чипа в голові людини.
3. Для середніх деталей – напольні (наземні) мобільні багатокоординатні верстати – робокари з каркасно – оболонковою несучою системою (переважно без механічних передач), які переміщуються по цеху і одночасно обробляють деталі.
4. Для крупних деталей – споруда (цех) з встановленою на підлозі заготовкою (деталлю), а по стінах і стелі переміщуються інтелектуальні верстати - роботи.
5. Для унікальних деталей – відкрита площадка (ангар) під навісом, на підлозі якої встановлена заготовка (деталь), а навколо неї і по ній переміщуються

верстати – роботи з інструментом різного призначення.

Стає очевидним, що Людина не є одноосібним творцем науково – технічного прогресу, як вважалося раніше, а залишається учнем Природи та одним з неперевершених її творинь і творцем за своєю подібністю. Все, що винайдено багатьма поколіннями спеціалістів, Природа давно передбачила в своїх програмах.

Природа встановлює закони структурної організації, створює генетичні програми розвитку складних систем і диктує строгі правила їх побудови. Сьогодні **завдання науки** – відкрити природню гармонію систем в певній галузі знань і оволодіти стратегією наукового і генетичного передбачення для забезпечення свого майбутнього і нащадків; **завдання освіти** – сформулювати системний, креативний стиль мислення у студентів, здібність творити і розв'язувати складні міждисциплінарні завдання в стислі строки, володіючи генетичною інформацією (К.Скрябін: **«Хто володіє генетичною інформацією, буде володіти світом!»**).

### **Література:**

1. Балашов Е.П. Эволюционный синтез систем /Е.П.Балашов.-М.: Радио и связь, 1985.-328с.
2. Брюхович Е.И. К вопросу информатизации общества.-//Математические машины и системы.-1997, №2.-с.122-132.
3. Вавилов Н.И. Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости /Н.И.Вавилов.-Л.: Наука, 1987.-267с.
4. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера /В.И.Вернадский.-М.: Айрис-пресс,2007.-576с.
5. Ишлинский А.Ю. Механика: идеи и задачи, приложения /А.Ю.Ишлинский.-М.: Наука,1985.-624с.
6. Кузнецов Ю.Н. Эволюционный и генетический синтез технологического оборудования нового поколения //Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб.-Харьков: НТУ «ХПИ»,2008.-Вып.85.-с.149-162.
7. Кузнецов Ю.Н. Теория технических систем: Учебник /Ю.Н.Кузнецов, Ю.К.Новоселов, И.В.Луцив.-Севастополь: изд-во СевНТУ, 2010.-252с.;2011.-254с.(укр); 2012.-256с.(англ).
8. Кузнецов Ю.Н. Новый взгляд на материальную точку как носителя генетической информации при создании технических систем //Материалы Междунар. науч.-практ. конференции «Фундаментальные основы механики», Новокузнецк: НИЦ МС,2016.-№1.-с.26-40.
9. Кузнецов Ю.Н. Создание станков нового поколения с применением генетико-морфологического подхода (часть 1,2) //Междунар. науч. Конференция «УНИТЕХ-10».-Габрово,т.2; 2010.-с.П-79 – П-91.
10. Кузнецов Ю.М. Сучасний стан, перспективи розвитку і виробництва металорізальних верстатів в Україні //Вісті Академії інженерних наук України, «1(41),2011.-с.2-10.
11. Кузнецов Ю.М., Дмитрієв Д.О., Діневич Г.Ю. Компоновки верстатів з механізмами паралельної структури. – Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2009. – 456с.
12. Шинкаренко В.Ф. Основи теорії еволюції електромеханічних систем. – К.: Наукова думка, 2002. – 288с.
13. Шинкаренко В.Ф.Генетическое предвидение как системная основа в стратегии управления инновационным развитием технических систем //Праці Таврійського держ. агротехн. Університета.-Вип.11.-Том 4, 2011.-с.3-19.

УДК 621.91.01

**В.О. Залога, докт. техн. наук, проф.; О.В. Івченко, канд. техн. наук; О.О. Залога;  
Р.В. Процай**

Сумський державний університет, Україна

**СУЧАСНИЙ СТАН ТА ШЛЯХИ РОЗВИТКУ ПИТАННЯ ПРИЙНЯТТЯ  
РІШЕННЯ ЩОДО ВИБОРУ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ  
ДЛЯ ЧИСТОВОГО ТОЧІННЯ**

**V. Zaloga, Dr., Prof.; O. Ivchenko, Ph.D., Assoc. Prof.; O. Zaloga; R. Protsay  
THE CURRENT STATE AND THE DEVELOPMENT ISSUE A DECISION ON THE  
CHOICE OF CUTTING TOOLS FOR FINISH TURNING**

Відомо, що на сучасному етапі розвитку промислового виробництва у зв'язку з суттєвим збільшенням номенклатури виробів та зменшенням їх у кількості у партіях, що замовляються, стає нераціональним виготовлення різальних інструментів й інструментального оснащення «своїми» силами, у результаті чого у теперішній час суттєво зросла питома вага покупних інструментів та оснащення, виготовлених спеціалізованими виробництвами (фірмами). Створення і виготовлення новітніх конкурентоспроможних зразків продукції машинобудівного виробництва, у тому числі оборонного комплексу України, постійно вимагає вирішення проблеми вибору як інструментів, так і їх постачальників, оскільки на цьому ринку представлені десятки торговельних марок, а також постійно розробляються і все більше застосовуються різні покриття виробів та інструментів, що дозволяють значно поліпшити якість поверхонь і їх працездатність. Крім того, відомо, що внаслідок свого специфічного складу і технології виготовлення (порошкова металургія) твердосплавні пластини мають досить великий розкид фізико-хімічних характеристик, що призводить до великого розкиду зносостійкості, який, наприклад, для пластинок збірного інструменту однієї марки, але різних партій виготовлення може відрізнятись в десятки разів, і навіть в межах однієї партії виготовлення – в кілька разів.

Все це часто призводить до неможливості використання існуючих рекомендацій щодо вибору різального інструменту, в першу чергу інструментального матеріалу, та режимів різання для виконання конкретного (заданого) технічного завдання. Тому на даний момент актуальною є задача створення надійного методу оцінювання різальних властивостей інструменту у відповідності з заданим технічним завданням, і прийняття управлінського рішення щодо придбання найкращого (раціонального) із можливих (запропонованих на ринку) варіантів, такого різального інструменту, який би задовольняв на відповідному машинобудівному підприємстві всім умовам виготовлення конкурентоспроможної продукції: її якість, висока продуктивність, економічність тощо.

Таким чином, успішне вирішення завдання підвищення ефективності машинобудівного підприємства у сучасних умовах, поряд з пошуком нових технічних рішень, вимагає створення комплексної системи забезпечення його якісними інструментами, у т.ч. різальними, шляхом оптимізації їхніх показників якості як при проектуванні і виготовленні інструментів своїми силами (у випадку, якщо це на даному виробництві має місце), так і надійного оцінювання рівня працездатності покупних інструментів та ступеня забезпечення ними найкращих (високопродуктивних) технологічних і експлуатаційних параметрів при механічній обробці в умовах конкретного виробництва машинобудівної продукції.

У роботі основна увага приділяється показникам якості при виборі інструмента

для фінішних (чистових (напівчистових)) процесів механічного оброблення, тобто саме тих технологічних операцій, на яких формуються основні техніко економічні показники конкурентоздатної продукції. Відомо, що на чистових етапах механічної обробки, коли основними вимогами до неї є необхідність отримання поверхонь з відносно високими ступенями щодо точності та шорсткості, мають місце відповідні специфічні умови, наприклад, чистове точіння характеризується відносно малими глибинами різання (0,1–0,5 мм) і подачами, тобто товщинами зрізів, як правило, не більше 0,1 мм. Очевидно, що при таких параметрах режиму різання інструмент не буде відчувати високих навантажень. Разом з тим, для чистових етапів обробки характерні великі швидкості різання, в результаті чого, як правило, особливо при обробці найпоширеніших груп оброблюваних матеріалів – сталей та чавунів – мають місце відносно високі температури різання – 900° і більше, що суттєво впливає на зносостійкість інструменту і його надійність. В результаті вказаних специфічних властивостей фінішних операцій оброблення різанням, наприклад, для лезових інструментів, головними чинниками забезпечення їхнього працездатного стану та високої зносостійкості в першу чергу становляться такі параметри інструменту, як коефіцієнт тертя (у парі з оброблюваним матеріалом) та гострота (радіус округлення  $\rho$ ) різальних лез. Таким чином, саме ці параметри є тими параметрами, що забезпечують якість різальних інструментів, які призначені для використання на чистових операціях

Якість – це ступінь, з якою вся сукупність власних характеристик задовольняється вимогами (ДСТУ ISO 9000). Відповідно якість різального інструменту характеризується сукупністю властивостей, що обумовлюють придатність інструменту до процесу різання із забезпеченням заданих форм, розмірів і якості поверхонь деталі при певних продуктивності праці та трудових, матеріальних і фінансових витратах.

У роботі представлені нові методологічні підходи до оцінювання якості твердосплавних пластин збірного різального інструменту (різців) для чистового точіння з метою прийняття управлінського рішення щодо найкращого (раціонального) варіанту вибору та придбання при наявності декількох (дві і більше) пропозицій на відповідному ринку в залежності від конкретних вимог і умов виробництва. Проведені маркетингові, теоретичні та експериментальні дослідження дозволили розробити і запропонувати надійний експрес метод оцінювання якості твердосплавних пластин збірного різального інструменту без їх руйнування та довготривалих і відносно дорогих стійкісних експериментів. У відповідності з запропонованим експрес – методом розроблені методики вимірювання радіусу округлення різальної кромки за допомогою електронного мікроскопу, а також розроблена методологія визначення середнього коефіцієнту тертя за допомогою запатентованого методу вимірювання деформаційної та адгезійної складових коефіцієнту тертя  $i$ , відповідно, за цими показниками визначення якісних показників різального інструменту для чистового точіння, достатніх для порівняльного аналізу працездатних можливостей декількох інструментів та прийняття рішення щодо оснащення виробництвом робочих місць різальним інструментом в залежності від заданих умов оброблення.

Враховуючи ту обставину, що обробка різанням серед інших видів формообразуючих процесів є переважаючою (наприклад, у загальній структурі обладнання машинобудівного підприємства близько 90 % займають металорізальні верстати, з яких біля 85 % – для лезової обробки), стає актуальним вирішення науково-прикладної проблеми стосовно розробки основних принципів організації інструментального забезпечення виробництв в частині купівлі лезового металорізального інструменту, що дозволить забезпечити не тільки запланований обсяг прибутку, що отримує організація, але й виконання взятих зобов'язань.

УДК 62-50:658.564:621.923:924

Ю.В. Петраков, докт. техн. наук, проф.; О.С. Мацківський

НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», Україна

## АДАПТИВНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ВЕРСТАТАМИ З ЧПК

Y. Petrakov Dr., Prof., O. Matskiivsky

### ADAPTIVE CONTROL SYSTEM FOR CNC MACHINE TOOLS

На кафедрі технології машинобудування вирішена важлива науково-технічна проблема стабілізації процесу різання за потужністю на верстатах з ЧПК при обробленні деталей складної форми шляхом створення системи адаптивного управління (САУ). Розроблена структура системи адаптивного управління процесом фрезерування на верстаті з ЧПК, яка здійснює автоматичне керування подачею через стійку верстата [1].



Рис.1. Структура САУ

Зв'язок реалізований за допомогою спеціально створеного апаратного блоку, який з одного боку підключений до персонального комп'ютера, а з іншого до клем енкодера ручної корекції подачі. Для забезпечення необхідної якості регулювання в систему введений ПІД-регулятор, що здійснює регулювання за пропорційним, диференціальним та інтегральним законами. Розроблене програмне забезпечення системи адаптивного управління (програмна частина на рис.1) було реалізоване в персональному комп'ютері.

Для визначення оптимальних (за якістю регулювання) параметрів ПІД-регулятора були проведені експериментальні дослідження при яких створена САУ була з'єднана з реальною стійкою ЧПК фірми HAAS, а процес фрезерування (з міркувань безпеки) представлявся його цифровою моделлю [2]. Розроблена математична модель і алгоритм моделювання фрезерування контуру кінцевими фрезами урахує повну геометричну конфігурацію інструмента, а саме, забезпечує можливість зміни кута нахилу спіральної канавки, кількості зубів, можливість використання довільних контурів деталі і заготовки. Створене програмне забезпечення дозволяє не тільки моделювати процес фрезерування, а й визначати управління подачею для стабілізації сили різання. Адекватність розробленої моделі процесу фрезерування підтверджені експериментами на верстаті VF-3 фірми HAAS [3].

На рис.2 представлений інтерфейс програмної частини створеної системи при її моделюванні. В програму завантажується цифровий файл у форматі \*.txt, що визначає траєкторію центра фрези для оброблення заданого контуру. Під час моделювання (кнопка «Процес») на осцилографі з'являються наступні характеристики: лінія 1 – дуга різання, лінія 2 – подача за еквідистантою, лінія 3 – потужність різання. Видно, що, не зважаючи на суттєву зміну дуги різання і очікувану (без регулювання) зміну потужності, система автоматично забезпечує зміну подачі і стабілізацію потужності

різання на заданому рівні (600Вт). Знайдені оптимальні величини параметрів ПІД-регулятора: коефіцієнт передачі  $k=100$ , постійна часу диференціювання  $T_d=0,025$ с і постійна часу інтегрування  $T_i=0,04$ с. Таким чином, підтверджена можливість стабілізації потужності різання за рахунок автоматичного управління подачею.

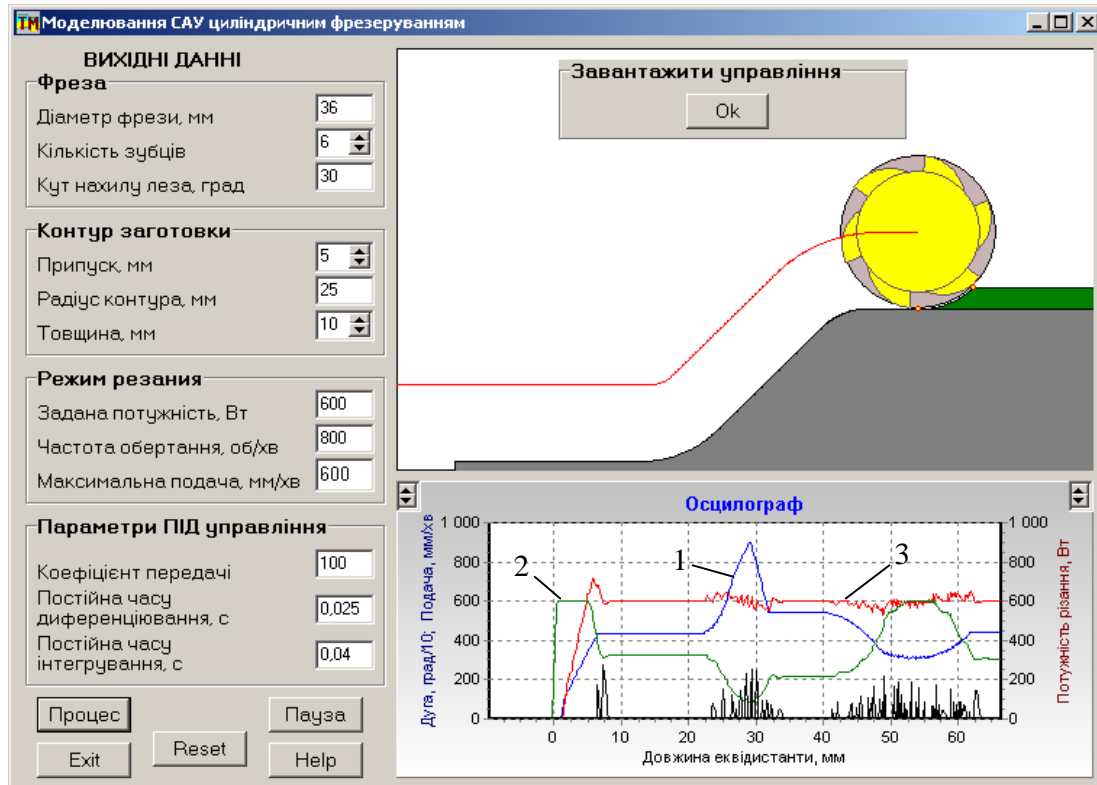


Рис. 2. Результати функціонування САУ

Визначення заданої потужності різання виконується за розробленою математичною моделлю для оптимізації процесу периферійного фрезерування, яка містить чисельний метод визначення сили різання, а також рівняння, що зв'язують обмеження з керованими параметрами режиму різання: частотою обертання шпинделя і подачею [4]. Оптимальний режим різання формується в області допустимих значень фазового простору «частота обертання – подача» в основному двома обмеженнями: за стійкістю інструменту і за шорсткістю. Створена прикладна програма для автоматизованого визначення оптимального режиму різання при периферійному фрезеруванні сталей, чавунів та легких сплавів на основі алюмінію.

### Література

1. Петраков Ю.В., Мацківський О.С. Моделювання системи адаптивного управління фрезеруванням на верстаті з ЧПК // Вісник НТУУ «КПІ», серія машинобудування №74, Київ, 2015, С.146-152.

2. Петраков Ю.В., Мацківський О.С. Забезпечення якості регулювання системи адаптивного управління фрезеруванням на верстаті з ЧПК // Вісник ЖДТУ № 2 (73), Житомир, 2015, С. 81 – 85.

3. Петраков Ю.В., Мацківський О.С. Моделювання фрезерування кінцевими фрезами // Вісник НТУУ «КПІ», серія машинобудування, № 73, Київ, 2015, С.78 – 83.

4. Петраков Ю.В., Мацківський О.С. Оптимізація периферійного фрезерування кінцевими фрезами // Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування, № 76, Київ 2016 С. 88 – 94.

УДК 621.9.06 -229.33

**Ю.М. Данильченко, докт. техн. наук, проф.**  
НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», Україна

## **МОДЕЛЮВАННЯ ПРУЖНИХ ДЕФОРМАЦІЙ СИСТЕМИ «ШПИНДЕЛЬНИЙ ВУЗОЛ» ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ПЕРЕХІДНИХ МАТРИЦЬ**

**Yu. Danylchenko, Dr., Prof.**

### **SIMULATION OF “SPINDLE UNIT” SYSTEM ELASTIC DEFORMATIONS USING TRANSFER MATRICES METHOD**

Точність обробки на металорізальних верстатах визначається взаємним положенням інструмента і заготовки в процесі різання і в першу чергу залежить від величини їх пружних зміщень. Тому питання, пов'язані з визначенням пружних зміщень інструмента і заготовки в зоні різання, зокрема і шляхом їх моделювання, є актуальними.

На даний час в пружно-деформаційних моделях шпindelних вузлів враховують наявність шпинделя на опорах, корпусу та закріпленого в шпинделі інструменту (заготовки). Для побудови таких моделей найчастіше використовують метод скінченних елементів (МСЕ). Використання МСЕ дозволяє отримати найбільш точні результати моделювання статичних і динамічних характеристик пружної системи «шпindelний вузол», але процедура створення таких моделей характеризується значною складністю і трудомісткістю.

Серед інших способів опису пружної системи шпindelного вузла слід відмітити використання методу початкових параметрів в матричному формулюванні, більш відомого як метод перехідних матриць (МПМ). В основі цього методу лежить розв'язок задачі про власні згинальні коливання балкового елемента постійного перетину з рівномірно розподіленою масою. Основною перевагою МПМ порівняно з МСЕ є простота розрахункової моделі при забезпеченні достатньо високої точності обчислення.

Найпростіша розрахункова модель шпindelного вузла, складена з використанням МПМ, являє собою пружну ступінчасту балку, встановлену на нерухомій основі на пружно-дисипативних опорах. Ця модель використовується для обчислення як динамічних, так і статичних характеристик шпindelного вузла.

Використання МПМ для обчислення динамічних характеристик шпindelного вузла як пружної системи, що складається з декількох взаємопов'язаних підсистем, передбачає проведення декомпозиції (рис.1,а) і розв'язок системи рівнянь сумісності деформацій в точках відокремлення підсистем. В результаті розв'язку цієї системи рівнянь визначаються реакції відкинутих зв'язків. Потім, для характерних точок підсистем складаються канонічні рівняння методу сил. За результатом розв'язку цих рівнянь (з урахуванням значень реакцій відкинутих зв'язків) визначаються переміщення в характерних точках підсистем. За значеннями цих переміщень обчислюються частотні характеристики системи, форми коливань підсистем на власних частотах і пружні лінії підсистем при дії на систему зовнішнього навантаження. Для складання рівнянь рівноваги в точках відокремлення підсистем використовується метод динамічних податливостей. Гармонічні коефіцієнти впливу, що входять в рівняння рівноваги визначаються окремо для кожної з підсистем із використанням МПМ. Тут необхідно зауважити, що при проведенні декомпозиції за вище описаною методикою, перехідні матриці відокремлених підсистем в динаміці і статиці мають різну форму. Так в статиці ці матриці мають верхньотрикутну форму, що виключає можливість їх

використання для обчислення статичних коефіцієнтів податливості підсистем, а, відповідно, і проведення статичного розрахунку загалом.

Таким чином, метод декомпозиції пружної системи «шпindelний вузол», прийнятий для обчислення динамічних характеристик, не може використовуватись для обчислення статичних характеристик. Але така можливість з'являється при представленні всіх підсистем у вигляді балок, пружно закріплених на нерухомій основі.

Це можливо забезпечити при декомпозиції пружної системи «шпindelний вузол» з застосуванням змішаного методу обчислення статично невизначених стержневих систем. Для цього в точках відокремлення підсистем до однієї з підсистем прикладаються реакції відкинутих зв'язків, а в іншу підсистему вводяться додаткові зв'язки, до яких прикладаються додаткові переміщення (рис.1,б).

Дієвість запропонованого методу декомпозиції перевірено на прикладі моделювання статичних і динамічних характеристик шліфувальної головки із закріпленою в шпинделі оправкою.

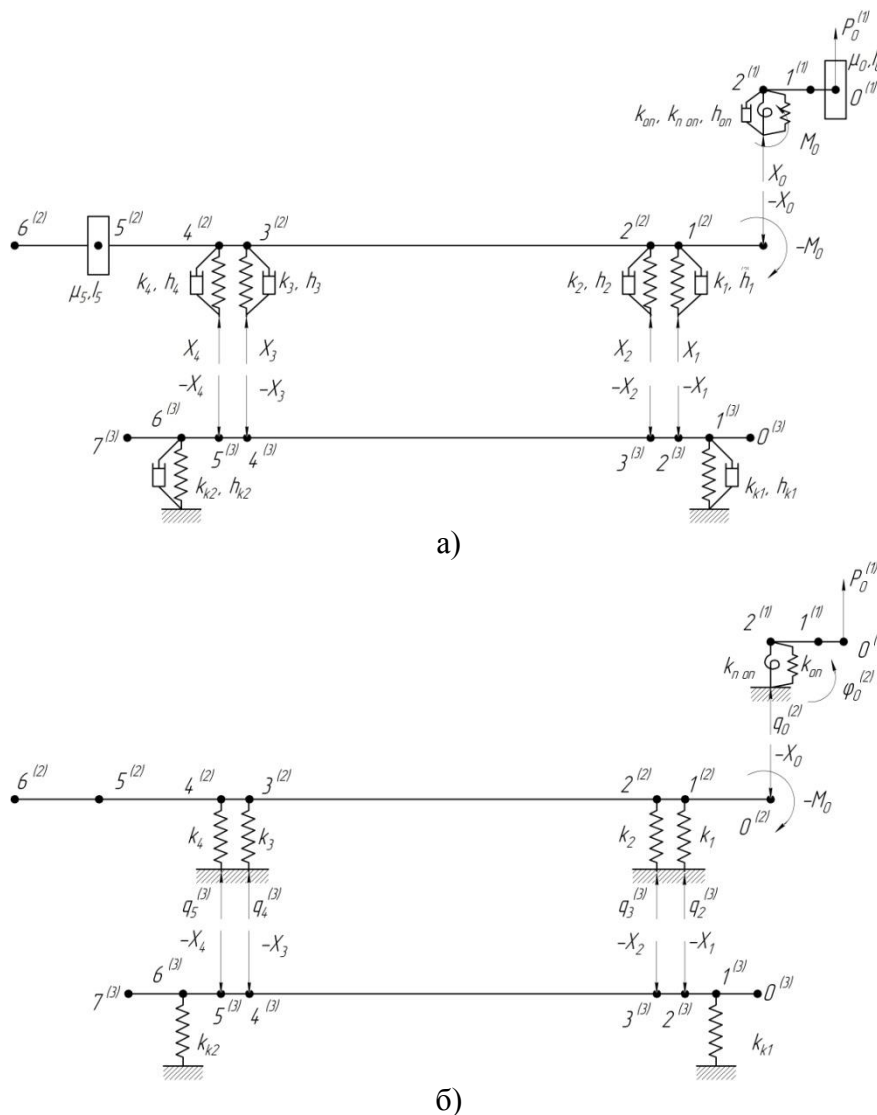


Рис. 1 – Схема декомпозиції пружної системи шпindelний вузол: а) для обчислення динамічних характеристик; б) для обчислення статичних характеристик



УДК 621.9

**А.А. Пермяков<sup>1</sup>, докт. техн. наук, проф.; М.Г. Ищенко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> НТУ «Харьковский политехнический институт», Украина

<sup>2</sup> ПАО «Турбоатом», Украина

## **ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА СОЗДАНИЯ СТАНКОВ И СИСТЕМ АГРЕГАТНО-МОДУЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ**

**A. Permyakov, Dr., Prof.; M. Ishchenko**

### **ELEMENT BASE OF CREATION OF MACHINE-TOOLS AND SYSTEMS OF AGGREGATE-MODULE CONSTRUCTION**

Современные агрегатные технологические системы механической обработки (АТСМ) существенно отличаются от своих предшественников, хотя главные идеи этих станков и систем остались прежними: высокие показатели производительности и как следствие низкая технологическая себестоимость обработки деталей; высокий уровень автоматизации; агрегатно-модульный принцип построения; кратчайшие сроки проектирования и изготовления; невысокая стоимость оборудования и быстрая его окупаемость.

Главным отличием и преимуществом современных агрегатных технологических систем механической обработки от их предшественников (агрегатных станков) является технологическая гибкость, переналаживаемость и перекомпоновка. Принципиальное отличие состоит в том, что перекомпоновка в отличие от переналадки меняет структуру станка. Проблему повышения гибкости разрешила практически не использовавшаяся ранее идея принципа агрегатирования – обратимость унифицированной элементной базы.

Современные АТСМ применяются в разных отраслях промышленности: общего машиностроения, авиационной промышленности, в производстве различного электрооборудования, медицинской техники, в приборостроении, в оборонной промышленности и др. Поэтому к современным агрегатным технологическим системам предъявляются требования высокой производительности и точности в сочетании с широкой универсальностью и высокой мобильностью (гибкостью), позволяющих производить быстрый переход с изготовления одних деталей на изготовление других, часто в широком диапазоне их разновидностей.

Очевидно, что все эти условия требуют, чтобы технологические системы проектировались с учетом возможности их разной компоновки, конструкции, состава узлов и механизмов с целью получения требуемых заказчиком технических и технологических характеристик этих станков. Желательно также чтобы эти системы имели много единых комплектующих узлов и механизмов и по возможности аналогичных им с одинаковыми конструктивными решениями в виде отдельных модулей, что позволяло бы производить их централизованно как самими станкостроительными фирмами, так и специализированными. Это позволило бы сократить сроки разработки и стоимость разных типов и модификаций АТСМ с максимальным учетом требований заказчика, повысить их точность и надежность, облегчить их эксплуатацию и ремонт.

Агрегатно-модульный принцип разработки и производства металлорежущих станков, применяемый в настоящее время, основан на использовании унифицированных или нормализованных функционально и конструктивно законченных узлов и механизмов (модулей), выпускаемых либо станкостроительными фирмами (ограничено для своих моделей станков), либо производимых

спеціалізованими фірмами, випускаючими достатньо широкий ряд різних вузлів і механізмів для різних типорозмірів станків.

На сьогоднішній день можна виділити два способи реалізації модульного принципу побудови АТСМ: 1) Кожна станкостроительна фірма самостійно розробляє обмежену номенклатуру модулів основних вузлів випускаемого типорозміра станка, використовуючи які потім розробляються конкретні модифікації за замовленням користувача; 2) Станкостроительні фірми проектує необхідні модифікації станків на основі застосування широкого номенклатури різних готових вузлів і механізмів (у вигляді модулів) розробляються і виготовляються спеціалізованими фірмами.

По мірі збільшення централізованої розробки і виготовлення різноманітних уніфікованих і нормалізованих вузлів і механізмів для різних технологічних систем спеціалізованими фірмами більш перспективним, на наш погляд, є другий спосіб реалізації модульного принципу побудови вказаних технологічних систем. В цьому випадку станкостроительна фірма практично розробляє тільки компоновки пропонує АТСМ і конструкції їх базових деталей і вузлів (основання, станину, колонну корпусу окремих вузлів). Необхідні комплектуючі вузли і механізми, що визначають їх технічні і технологічні характеристики, фірма купує на ринку готових модулів, виходячи з побажань і вимог замовника.

Аналіз типажу і техніко-технологічних характеристик силових агрегатів дозволяє зробити висновок як про різноманітність вибору уніфікованої елементної бази для створення станків і систем агрегатно-модульної конструкції, так і про перспективність даного технологічного обладнання.

#### **Література:**

1. Аверьянов О.И. Модульный принцип построения станков с ЧПУ. – М: Машиностроение, 1987. – 232 с.
2. Агрегатные станки средних и малых размеров /Ю.В.Тимофеев, В.Д. Хицан и др. // Под общ. ред. Ю.В.Тимофеева. - М.: Машиностроение, 1985. - 248 с.
3. Врагов Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков: (Основы компюнетики). – М.: Машиностроение, 1978. – 208 с.
4. Гёбель Х. Компоновка агрегатных станков и автоматических линий. //Пер. с нем. – М.: ГНТИМЛ, 1959. – 189 с.
5. «Webco/Kingsbury» //http://www.webcoindustrial.com, 11.05.2015 г.
6. «SOMEX» //http://www.somex.fr, 08.01.2015 г.
7. «SUGINO MACHINE LIMITED» //www.sugino.com, 20.05.2015 г.
8. «EUROMA» //http://www.euromagroup.com, 08.01.2015 г.
9. «Fanji Industrial Co.» //http://www.drilling-tapping.com, 20.05.2015 г.
10. «CTR NORTE GmbH & Co. KG» //http://www.ctr-norte.de, 01.06.2015 г.
11. «Piffner» // http://www.piffner.com, 20.01.2014 г.
12. «ALMAC SA» // www.almac.ch, 25.01.2014 г.
13. «WE FUN INDUSTRIAL CO., LTD» // http://www.we-fun.com, 02.02.2014 г.
14. «Italian Machine Tools Technologies» // http://www.imasgroup.it, 14.02.2014 г.
15. «VARIOMATIC» // http://www.variomatic.de, 23.02.2014 г.
16. «VIGNOTTO» // http://www.vignotto.it, 28.02.2014 г.
17. «WINEMA» // www.winema.de, 04.03.2014 г.
18. «Picchi» // http://www.picchimachines.it, 10.03.2014 г.
19. «Porta Solutions» // http://www.porta-solutions.com, 15.03.2014 г.
20. «BTB TRO» // ww2.btb.it, 20.03.2014 г.
21. «TTM Makine San ve Tic.Ltd.Şti» // http://www.cnctransfer.com, 28.03.2014 г.

UDC 621.001 2(7)

**M. Pylypec, Dr., Prof.; V. Vasykiv, Dr., Prof.; M. Radyk**

Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ukraine

**PERSPECTIVE DIRECTIONS IMPROVEMENT OF TECHNOLOGICAL  
METHODS MANUFACTURING WORM AND SCREWS BLANKS IN THE  
PRODUCTION OF SCREWS TYPE DETAILS**

**М.І. Пилипець, докт. техн. наук, проф.; В.В. Васильків, докт. техн. наук, проф.;  
М.Д. Радик**

**ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ  
МЕТОДІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ГВИНТОВИХ ТА ШНЕКОВИХ ЗАГОТОВОК У  
ВИРОБНИЦТВІ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ ШНЕКИ**

In modern mechanical engineering widely used screw type details, which include solid or hollow shafts with screw continuous or discrete screw elements welded or made in one piece with the shaft, spiral products - in the form of flexible spirals. The main common constitutive and technological features of such products are the presence of windings located along the helical surface in the longitudinal direction with a large pitch. At the same time, a common part of technological processes for manufacturing all kinds of screw type details is the production of a worm (WB) or screw blanks (SB), which allows us to systematically consider the varieties of technological methods for shaping the products under consideration. The concepts "Worm" and "Screw" blanks are applied to semi-finished products, which are characterized by screw fibers and the presence of a screw body, i.e. screw surfaces and screw external and internal ribs of different configurations and direction of winding. According to the constitutive feature, the WB are integral when the winding of screws are made in one piece with the shaft, and combined, in which the SB, made in the form of a helically-formed tape, is welded to a solid or hollow shaft (tube).

To date, the developed in the mechanical engineering the varieties of methods for shaping WB and SB by methods of casting metals and alloys, cutting, assembling and metal forming. However, in modern fast-changing production, in some cases, the use of existing methods is economically and technologically inexpedient.

An important direction in the development of the manufacturing technology WB and SB by the method of metalcutting is improvement of the methods of high-speed vortex milling, which make it possible to prevent crushing and breakage of the helical surface due to the low stiffness the turns of screw.

One of the innovative methods of fabrication WB and SB is layer-by-layer synthesis technology, also known as "layer-by-layer build-up", "direct digital production", "additive production", "rapid prototyping and manufacturing processes", "building of metal", "AF- or AM-technologies (additive technologies)".

In existing technical solutions, the contours of the layers are delineated in the XY plane perpendicular or parallel to the longitudinal axis of the blanks, and the third dimension in the Z-coordinate is realized due to the joining of the layers (the Z-coordinate is not continuous). Along with the constantly increasing volume of application of such technologies, their improvement should be aimed at providing the possibility of obtaining combined blanks by way the layer-by-layer build-up of material on the semi-finished products (supporting elements of a spiral or WB and SB manufactured by other methods).

In this case, the contours of the layers are delineated on the helical surface as a result of suitably specified rotational velocities and longitudinal movement of the blanks, while the third dimension along the radial coordinate and shaping is realized due to the longitudinal-

vertical displacement of the material feed device and the connection of the screw layers located on screw surfaces.

The main directions of the development of the manufacturing technology WB and SB is method of molding from polymeric materials, ceramics and rubber are:

- introduction of technologies for quick changeover of injection molds on the profile of other sizes of WB castings by using magnetorheological and electrorheological fluids as filling materials. They have the properties of changing the aggregate state under the influence of magnetic or electric fields;
- creation of highly productive combined methods for forming polymeric materials, ceramics and rubber on the basis of the borrowing of the principles of shaping SB and WB from the metal forming (winding on a mandrel, rolling a polymer strip);
- use of the new types of initial blanks in the form of continuously-sectional strips of polymeric materials.

A promising direction in the development of the manufacturing technology SB and WB by welding is the use of air-plasma cutting technology in spirals of thick-walled tubular and piece hollow (smooth or shaped) blanks of metallic and polymer materials, processing which is metal forming (winding, rolling, molding) and cutting has difficulty (high-alloyed, corrosion-resistant, heat-resistant and high-temperature resistant steels).

Important directions in the development of the manufacturing technology SB and WB by the method of metal forming are:

- creation of technological methods for controlled change in the curvature of the obtained blanks in the process of the production of SB. An example is the use of equipment for cold rolling long-length blanks of different cross sections with the possibility of automatically changing the compression of the strip during the shaping of the spiral. This will allow us to manufacture spirals with vary in length winding radii of the outer and inner edges winding;
- for the shaping operation, the use of special rotating or composite punches and matrices with axially movable sector helical surfaces, allowing centering and fixing of the ring section blank and preventing distortion of the shape and dimensions of the winding during its stretching on a significant step. In the first case, there is a need to use rotary dies;
- use on the rolling, winding and forging operations of special initial blanks in the form of continuous strip-section blanks, which allow to obtain wide-band SB and WB with a reduction in the volume of subsequent assembly operations.

Effective production of combined WB by assembly method is possible on the basis of the use of casting technique in molds with functional embedded helical spirals.

For all the mentioned methods, it is important to use secondary raw materials as the initial piece blanks for the general direction of improving the manufacturing technology SB and WB. Examples can be the use of worn transmission belts with friction with flexible coupling (mylar spacer or polyurethane belts) in the technology of single or multilayer winding on the supporting elements of the helical spiral (with simultaneous layer-by-layer joining).

The introduction of technology for processing polymeric containers for the use of semi-finished products in technologies of layer-by-layer synthesis, use of worn disc-shaped work tool (discs of seeding machines, cultivators) to obtain annular circular section blanks for subsequent production of them section SB way of molding.

УДК 614.8.084:621.436.013.43.038:629.5

Акімов О.В., канд. техн. наук., доц.

Херсонська державна морська академія

## **ЕКСПЛУАТАЦІЯ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК В ЗОНАХ СПЕЦІАЛЬНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ**

**Akimov A.V. PhD, Assoc. Prof.**

### **EXPLOITATION SHIP POWER PLANTS IN SPECIAL ENVIRONMENTAL CONTROL AREAS**

Введення зон спеціального екологічного контролю змусило судновласників шукати найбільш вигідні для себе альтернативи для бункерування. У більшості країн Європи, а також в США і Канаді пріоритетним паливом вибрали скраплений природний газ (СПГ). Японія і Філіппіни зупинили свій вибір на метанолі і диметилефірі. Крім того, у судновласників є можливість встановити на борт судна скрубери, які здатні знизити вміст сірки. Кожен з цих методів має свої плюси і мінуси. Експерти відзначають, що при всій можливій вигоді СПГ-бункерування може стати найпопулярнішою альтернативою сьогоdnішньому паливу.

Комітет Міжнародної морської організації (ІМО) з охорони морського навколишнього середовища з 1 січня 2020 обмежує з 3,5% до 0,5% максимальний вміст сірки в судовому паливі поза зонами особливого контролю за викидами сірки з суден SECA (Sulphur Emission Control Area), в яку входять Балтійське і Північне моря, в тому числі протока Ла-Манш, а також Західне і Східне узбережжя Північної Америки, Мексиканська затока і Карибський басейн, які відносяться до США.

Таким чином, судновласникам доведеться відмовитися від використання традиційного мазуту в якості палива. Раніше з 1 січня 2015 року Міжнародна конвенція з запобігання забруднення з суден (МАРПОЛ) посилила вимоги щодо вмісту сірки в судовому паливі – 0,1% по масі в SECA зонах. Фактично вимоги ввели заборону на використання мазуту і традиційного дизельного палива. Коли приймалося це рішення щодо обмеження вмісту сірки в бункерному паливі, учасники галузі відзначали, що наслідки від них недостатньо прораховані. Зокрема, йшлося про те, що на судновласників покладають додатковий фінансовий тягар, не виправданий з точки зору реальних екологічних загроз і доступності технологічних рішень. Представники галузі відзначали, що нові типи двигунів, конструкції і вдалі рішення з'являються один-два рази на десятиліття, у зв'язку з цим промисловість просто не в змозі швидко адаптуватися до нових вимог, що пред'являються судноплавству. До того ж судновласники підкреслювали, що обмеження викидів сірки і майбутні матеріальні витрати неперівнянні з незначним екологічним ефектом.

Розмови про те, що обмеження поза SECA зон з максимального вмісту сірки в судовому паливі в 0,5% можуть бути введені в 2020 році, почалися ще дев'ять років тому. Тоді ж представники галузі сподівалися, що за підсумками аналізу в 2018 році достатності низькосірчастих видів палива вступ в силу цього заходу перенесеться до 2025 року. Але оцінка була проведена в 2016 році, в висновках значилося, що дефіциту відповідних видів палива не очікується.

**Скрубери.** Для плавання в SECA зонах компанії можуть обладнати судно фільтрами тонкого очищення мазутного палива – скруберами, зводять до мінімуму викидів сірки. Їх установка є дорогою сама по собі. Усередині системи знаходяться абсорбенти, оксид цинку, вони поглинають вихлопи, і на виході утворюються сульфіти і сульфати цинку. Це отруйні речовини, які порти зараз відмовляються приймати на

зберігання, що створює ще одну екологічну проблему, так як механізми утилізації відходів скрубєрів до кінця не опрацьовані. Крім того, ефективність абсорбентів на поглинання сірковмісних елементів безпосередньо залежить від їх об'єму, в зв'язку з цим на середніх суднах скрубєри можуть займати чверть корисної площі, що також знижує вантажопідйомність судна і значно зменшує вигоду судновласників.

**Низькосірчастий мазут.** В якості альтернативи для переміщення в SECA зонах може бути обраний низькосірчастий мазут. Таке паливо може бути отримано або з низькосірчастої нафти, або за допомогою процесу десульфуризації. Висока вартість цього процесу, а також його складність безпосередньо позначаються на кінцевій ціні такого палива. При цьому деякі компанії відзначають, що мазут з наднизьким вмістом сірки має складний хімічний склад, а це може викликати додаткові ризики при експлуатації судових енергетичних установок на ньому.

**Метанол і диметилефір.** Сам метанол може використовуватися безпосередньо як паливо, так і для вироблення диметилового ефіру. Перевагою такого виду палива є екологічність, так як в ньому немає сірки, а вміст оксидів азоту у вихлопних газах значно менше, ніж при спалюванні мазуту або дизельного палива. Однак при отриманні метанолу хімічним шляхом все одно відбувається викид в атмосферу чадного і вуглекислого газів. При кімнатній температурі метанол являє собою рідину і може заправлятися і перевозитися як мазут і дизельне паливо. Але самі пари метанолу більш отруйні, ніж дизельні або мазутні, і їх вдихання може призводити до сліпоті і смерті. Ємності для його розміщення на судні, а також необхідне обладнання займають набагато менше простору, ніж для інших альтернативних видів палива, придатних для використання в SECA зонах. Але обсяги виробництва метанолу незначні, зокрема, на Балтиці вони зосереджені в Швеції. Шведська компанія Stena Line вибрала для себе саме метанол основним видом палива для використання у судових енергетичних установках в зоні SECA. Компанія розглядала можливість будівництва серії суден на метанолі до 2018 року, а в довгостроковій перспективі обговорювалося переведення на цей вид палива ще 25 суден. Навесні 2015 року Stena Line почала експлуатацію порома Stena Germanica, пропульсивні установки якого працюють на метанолі. Судно курсує між німецьким Кілем і шведським Гетеборгом. Переобладнана пропульсивна установка може споживати не тільки метиловий спирт, а й використовувати в якості допоміжного палива газойль. Модернізація її тривала три місяці. На реалізацію проекту в рамках програми розвитку морського транспорту Євросоюзу було виділено € 22 млн.

**Скrapлений природний газ (СПГ).** При використанні СПГ в якості палива можна заощадити до 90% викидів. При цьому при зріджуванні (відбувається при температурі "мінус" 162 °C) не відбувається ніяких додаткових викидів в атмосферу. За ціною СПГ можна порівняти з метанолом, фінансової вигоди між цими двома видами палива немає. Використання такого виду палива дає можливість компаніям в меншій мірі не залежати від коливань цін на нафту. При цьому основні недоліки СПГ – потреба в значному просторі на судні під установку необхідних ємностей і невизначеність з ціноутворенням.

Зберігається СПГ може виключно в спеціальних кріотанках. Євросоюз прийняв для Балтики СПГ як стратегічний вид палива. Зокрема, в 2013 році була прийнята спеціальна програма, націлена на фінансування FEED (Front End Engineering Design) в портах для стимулювання СПГ-бункерування.

Передбачається, що до 2025-2030 років 139 портів і портопунктів в районі Балтики і Північного моря, включаючи річкові порти, будуть мати власні бункерувальними базами СПГ. При цьому кожному порту не обов'язково мати своє сховище СПГ, досить буде установки судна з вакуумним обладнанням, яке буде забирати СПГ в найближчому порту і бункерувати судна.

Ряд фахівців також заявляють про можливе зростання викидів парникових газів в атмосферу при використанні СПГ в якості палива, однак, щоб нівелювати цей ефект, звучать пропозиції щодо зниження швидкості судна.

За даними PortNews, з посиланням на директора департаменту аналітики BRS Brokers Ендрю Вілсона, до 2020 року портфель замовлень на морські танкери з перевезення СПГ становить 130 суден при існуючих 441.

Працюючі натеper танкери-газовози, які, можна сказати, використовують СПГ в якості палива, однак це не той СПГ, який використовується в паливній системі. Це спеціалізовані судна, у яких немає паливних танків СПГ, але їхні двигуни працюють на випарному газі. Тобто при перевезенні СПГ в інші країни частково випаровується 0,22% на добу, цього достатньо, щоб приводити в рух судно.

Популярність СПГ-бункерування у судновласників зараз нижче, ніж очікувалося. Планувалося, що в 2016 році буде вже багато суден на СПГ, поки це не так, але їх кількості достатньо, щоб бачити серйозні перспективи. Більшість судновласників використовують сьогодні двопаливними судновими енергетичними установками, що дозволяють працювати як на СПГ, так і на марінгазойлі (MGO), в зв'язку з цим перевагу газу віддається лише тоді, коли маржа (різниця між ціною і собівартістю) при заправці СПГ не менш 10%.

Переобладнати судно під СПГ-бункерування коштує недешево – від € 7,5 млн до € 25 млн, і доцільність таких заходах безпосередньо залежить від його розміру. Так, обладнання для малих і середніх суден може обійтися дорожче, ніж саме судно, при цьому рухову систему на великому судні простіше переобладнати, ніж будувати все заново. Однак при будівництві нового судна паливні танки можна робити всередині судна, що дає судновласнику додаткову вигоду, так як при модернізації це затратно, тому танки ставлять на палубі, що займає додаткове місце.

Активно переобладнанням суден на СПГ сьогодні займаються шведи, норвежці та німці, які модернізують систему двигунів великих суховантажів, балкерів, контейнеровозів, нафтових танкерів та ін.

У найближчому майбутньому будуть введені досить серйозні штрафи за заходи суден на недозволеному вигляді палива в порти – приблизно € 60 тис., а неодноразові порушення будуть приводити до заборони на судноплавство конкретного судна. У Європі до 2025 року сектор бункерування морського і річкового транспорту може пред'явити додатковий попит на природний газ в обсязі 25 млрд м<sup>3</sup>.

Якщо судновласник замислюється про глобальне оновлення флоту і будівництво суден в найближчі 10 років, то йому вигідніше будувати більшу частину з розрахунком на СПГ-бункерування. Не виключено, що в найближчі роки міжнародна морська організація може посилити вимоги і ввести екологічні зони і в інших регіонах.

Основна проблема СПГ-бункерування – відсутність інфраструктури, в майбутньому при її створенні, ймовірно, цей вид палива для судновласників стане вигідніше, а ставки фрахту судна з паливною системою на СПГ конкурентоздатною. У зв'язку з цим деякі компанії вже зараз будують судна на традиційному паливі, але з розрахунком на СПГ, тобто в майбутньому вони зможуть швидко і з меншими витратами переобладнати свій флот.

УДК 666.96...123(124):691.175.5/8-036.6

**В.Л. Алексенко<sup>1</sup>; С.О. Сметанкін<sup>1</sup>; Д.О. Зінченко<sup>1</sup>; В.М. Яцюк<sup>2</sup>, канд. хім. наук;  
О.В. Акімов<sup>1</sup> канд.техн. наук, доц.; П.Є. Тарасов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Херсонська державна морська академія

<sup>2</sup>Тернопільський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр при УМВС України

<sup>3</sup>ТОВ «ПРОВІТЕРМ-ЗАПОРІЖЖЯ»

## **КВАРЦОВІ НАПОВНЮВАЧІ ДЛЯ ПОЛІМЕРНИХ ВІНІЛЕФІРНИХ КОМПОЗИТІВ**

**V. Aleksenko; S. Smetankin; D. Zinchenko; V. Yatsyuk, PhD;**

**O. Akimov, PhD, Assoc. Prof.; P. Tarasov**

### **QUARTZ FILLERS FOR POLYMER INYLESTER COMPOSITES**

Одним з найбільш ефективних способів регулювання експлуатаційних властивостей композитів з полімерною матрицею в широкому діапазоні фізико-механічних, триботехнічних, теплофізичних, електротехнічних, реологічних та інших характеристик композитного виробу, є наповнення їх дисперсними частками різної природи: мінеральними, органічними, керамічними, металевими та іншими добавками, з підібраним для кожного конкретного випадку, гранулометричним складом та об'ємним співвідношенням фракцій.

При виборі того чи іншого виду дисперсного наповнювача необхідне дотримання умов, а саме:

- наповнювач повинен поєднуватися з полімерною матрицею або диспергувати в ній з утворенням однорідної композиції;
- поверхня часток повинна добре змочуватися зв'язувачем (матрицею) композиту;
- дисперсний наповнювач не повинен мати схильності до агломерації часток;
- різні фракції часток повинні мати однорідний склад, як за видом матеріалу, так і за гранулометриєю, передбаченою нормативною документацією;
- дисперсний наповнювач повинен мати стабільні властивості при зберіганні, переробці та експлуатації композитного виробу;
- наповнювачі не повинні розчинятися в матриці, виділяти летючі (в тому числі – токсичні) продукти і розкладатися за температури переробки і експлуатації композитного виробу;
- дисперсні наповнювачі повинні мати хімічну і термічну (в особливих випадках – біологічну, радіаційну та ін.) стійкість, а також схильність до зміни несанкціонованого забарвлення композиту;
- бажана низька вартість і доступність дисперсних наповнювачів в умовах як дрібносерійного, так і масового виробництва.

Дисперсні наповнювачі є порошками мінералів, що мають вищі значення меж міцності та модулів пружності, ніж зв'язувач. На властивості полімеркомпозитних матеріалів (ПКМ) впливають якісні показники самого наповнювача (міцність, зносостійкість, розмір і форма часток) і характер його взаємодії із зв'язувачем.

На поверхні частки при зшиванні матеріалів утворюється примежовий шар зв'язувача, який можна розглядати як окрему фазу. Характеристики міжфазного примежового шару забезпечують підсилюючий ефект наповнювача. Підвищення конструкційних властивостей композиту залежить від співвідношення

$$\alpha = A_{\text{ч}} / V_{\text{ч}},$$

де  $A_{\text{ч}}$  – площа поверхні;  $V_{\text{ч}}$  – об'єм частки.



Значення співвідношення  $\alpha$  визначає підсилюючий ефект наповнювача за рахунок поліпшення його «сумісності та граничної адгезії з хімічно неспорідненою полімерною матрицею». З даного положення можна зробити висновок про безумовне підвищення показників міцності композиту із зменшенням зернистості часток наповнювача.

Однак, практика показала, що у випадку використання дрібнодисперсних наповнювачів – конструкційні вимоги вступають в протиріччя з вимогами технологічними.

По-перше, зі зменшенням середньої зернистості порошку підвищується в'язкість композиції «зв'язувач-наповнювач». Спроби підвищити у композиції об'ємний вміст наповнювача з розміром  $d < 10$  мкм спричиняють труднощі приготування суміші і наступною появою дислокацій у композитах.

По-друге, в порошках з середньою зернистістю ( $10^{-1} \dots 10^{-3}$  мкм) проявляються сили молекулярного притягання між частками. Частки «злипаються», що перешкоджає змочуванню їх зв'язувачем.

Зазначені фактори зумовлюють ускладнення технології приготування ПКМ, неприпустимі для промислових композитів.

При дослідженні експериментально перевіряли значущість впливу зміцнюючого наповнювача на властивості промислових композитів, шляхом визначення меж міцності при згинанні  $\sigma_{zg}$  згідно ГОСТ 4648 і при розтягу  $\sigma_p$  згідно ГОСТ 11262, модуля пружності при згинанні  $E$  згідно ГОСТ 9550.

З мінеральних наповнювачів, як об'єкт дослідження, був обраний кварц. Вибір зумовлений такими фізико-хімічними властивостями кварцу, як: високі показники міцності; твердість у межах 7 одиниць за шкалою Мооса і, отже, висока абразивна стійкість; хімічна інертність до більшості агресивних рідин; добра адгезія до зв'язувача.

Зразки кварцового порошку надані ТОВ «Оріхівський піщаний кар'єр» (Україна, Запорізька обл., м. Оріхів). Кварц хімічно чистий, колотий, частки ромбовидної форми. Середня зернистість порошоків складає ряд: 0,010; 0,025; 0,065; 0,085; 0,100; 0,300; 1,0; 2,0 та 3,0 мм.

Дослідження проводили на виробничо-експериментальній базі ТОВ «ПРОВІТЕРМ-ЗАПОРІЖЖЯ» (м. Запоріжжя) та у науково-дослідній лабораторії «Полімерні композитні матеріали у суднобудуванні» при Херсонській державній морській академії. Виконано експериментальне дослідження композитів на основі суміші вінілефірної смоли з кварцовим порошком. Вивчали вплив на міцність і жорсткість композитів двох факторів – середньої зернистості і об'ємного вмісту наповнювача.

При обробці результатів взято до уваги, що реальні механічні характеристики зв'язувача варіюються в широкому діапазоні. Для підвищення коректності висновків обчислювали не абсолютні, а відносні величини:  $\sigma_{zg} / \sigma_{zg0}$ ;  $\sigma_p / \sigma_{p0}$ ;  $E / E_0$ ; где  $\sigma_{и0}$ ,  $\sigma_{p0}$ ,  $E_0$  – межа міцності на згин, межа міцності на розтяг і модуль пружності при згині матриці без наповнювача (базові значення параметрів).

Завданням першої серії дослідів було виявлення впливу середньої зернистості наповнювача при фіксованій об'ємній долі, яка була прийнята рівною 10 %, на межу міцності і модуль пружності при згині.

Найвищі показники міцності і жорсткості демонструє наповнювач зі значеннями середньої зернистості 25 і 65 мкм. Зі збільшенням зернистості часток понад 100 мкм спостерігали зниження межі міцності. Модуль пружності також знижується, однак навіть для зернистості 2 мм він залишається в 1,15 рази вище базового.

Друга серія дослідів була присвячена виявленню впливу незначних змін об'ємного вмісту кварцу, причому контролювали межу міцності не тільки на згин, а й

на розтяг. Результати досліджень першої серії враховані при виборі зернистості наповнювача, яка дорівнювала 25 мкм.

Межа міцності і модуль пружності при згині підвищуються зі збільшенням об'ємного вмісту часток, а межа міцності на розтягнення спочатку знижується, а потім знову зростає.

Було зроблено припущення про те, що  $\sigma_p$  не суттєво залежить від зміни об'ємного вмісту кварцу, і наступні випробування це підтвердили. Надалі випробування зразків проводили тільки при згинанні.

Дуже цікавими і важливими є результати дослідження впливу часток кварцу значної зернистості на міцність і жорсткість композитів.

Найкращими показниками відзначається композит, що містить 30 % кварцового порошку з розміром 100 мкм. Його міцність при згинанні в 1,3 рази, а модуль пружності в 1,4 рази є вищими від базових значень. Підвищеною міцністю відзначаються також композити з високим вмістом наповнювача (50 %) з розміром 25 і 100 мкм. Введення в композит наповнювача з розміром 10 мкм призвело до різкого зниження міцності. Найбільший модуль пружності (майже в три рази вище базового) встановлено для композиту, наповненого частками кварцу з наповнювачем зернистістю 25 мкм за вмісту 50%.

#### **Висновки**

- Наповнювачі, у вигляді кварцу різного гранулометричного складу та об'ємного вмісту в полімерній матриці, істотно впливають на показники міцності ПКМ.
- Експериментально встановлено, що при об'ємному вмісті кварцового наповнювача 10 % найвищу межу міцності і жорсткості (до 1,3 від базового рівня) досягають введенням у зв'язувач фракцій з розмірами часток 25...65 мкм; властивості самого зв'язувача (в'язкість, питома вага, характеристики затвердіння) практично не змінилися, що може бути враховано при модифікації вінілефірних смол.
- Межа міцності і модуль пружності ПКМ на розтяг і згин не суттєво залежать від об'ємної частки кварцового наповнювача;
- При об'ємному вмісті наповнювача 30 % найвищі значення межі міцності при згині (1,3 від базового) і модуля пружності (1,4 від базового) досягнуто для композиту, наповненого частками із фракцією 100 мкм. При об'ємному вмісті наповнювача 50 % високі характеристики міцності ПКМ досягнуті з фракціями 25...100 мкм.
- Застосування наповнювача з фракцією 10 мкм знижує міцнісні характеристики ПКМ, однак при цьому досягається ефект отримання тиксотропного зв'язувача, що розширює технологічні можливості виготовлення виробів.

УДК 631.352.2

**А.В. Бабій, канд. техн. наук, доцент**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РІЗАННЯ СТЕБЕЛЬНИХ КУЛЬТУР**

**A. Babiy, Ph.D, Assoc. prof.**

### **EFFICIENCY INCREASE OF STALK CROPS CUTTING**

Процес різання при виробництві сільськогосподарської продукції є дуже поширеним. Розділення різанням зустрічається чи не в кожній технології вирощування продуктів рослинництва. Найбільш наглядно цю операцію виконують різальними апаратами машин для заготівлі кормів, зерно- та кукурудзозбиральних комбайнів. За класичним визначенням розрізняють безпідпорне та підпорне зрізування. Щодо безпідпорного зрізування, то цей спосіб має ряд переваг та недоліків. Він не підходить для зрізування хлібостою зернових та зернобобових культур, оскільки не можливо забезпечити «лагідного» зрізування вказаних культур. На противагу цьому способу зрізування застосовують апарати підпорного зрізу – сегментно-пальцеві, без пальцеві (двоножові) тощо. Такі апарати вимагають значно нижчих швидкостей різання. Якщо для сегментно-пальцевого різального апарата достатньою є відносна швидкість різання в межах 2 м/с, то для апаратів безпідпорного зрізування – від 20 м/с для грубостебельних рослин і від 40-50 м/с для тонкостебельних рослин. Ці кінематичні параметри мають безпосередній вплив на енергоспоживання різальними апаратами [1] та сам процес зрізування рослини і збудження в її стеблі коливань.

В проведених дослідженнях акцентується увага на сегментно-пальцевих різальних апаратах, де досліджуються умови защемлення рослини в розхилі різальної пари. І якщо розглядати такий типовий різальний апарат (різальна пара – сегмент-протиризальна пластина), то умова защемлення стебел в розхилі різальної пари матиме вигляд [2]

$$\gamma = \alpha_1 + \alpha_2 \leq \varphi_1 + \varphi_2,$$

де  $\gamma$  – кут, що утворюється розхилом різальної пари;  $\alpha_1, \alpha_2$  – кути встановлення ріжучих кромки сегмента та протиризальної пластини;  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$  – кути тертя стебла рослини об леза сегмента та протиризальної пластини.

Залежно від вологості рослин сума кутів їх тертя об гладкі леза різальної пари знаходиться в досить широких межах: 20...35° для пшениці та жита і 25...60° для трав. Цей факт свідчить, що непростою задачею є вибір кута розхилу різальної пари. Крім того, при мінливості фізико-механічних властивостей стебел рослин, сталий (конструктивно встановлений) кут розхилу різальної пари є не оптимальним. В роботі пропонується змінити геометрію елементів різальної пари, виконуючи різальні кромки криволінійними за встановленим законом зміни. Під час робочого ходу ножа це дозволить забезпечити варіацію кута защемлення стебла різальною парою в необхідних межах. Завдяки цьому покращиться процес зрізування: вирівнюються умови перерізання рослин з відмінними властивостями, унеможливиться висковзування рослини з розхилу різальної пари, можливе зменшення відносної швидкості ходу ножа.

#### **Література.**

1. Бабій А.В. Обґрунтування конструктивних особливостей енергозберігаючого приводного механізму косарки / Бабій А.В., Рибак Т.І., Бабій М.В. // Вісник ХНТУСГ. – Випуск 134 “Технічний сервіс машин для рослинництва”. – Харків, 2013. – С.116–122.

2. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины [Текст] / Под ред. Г.Е. Листопада.– М.: Агропромиздат, 1986.– 688с.

УДК 621.9.025.14

М.В. Бабій, канд. техн. наук

Херсонська державна морська академія, Україна

## СИЛОВІ ПАРАМЕТРИ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ ВІДРІЗНИМ РІЗЦЕМ З БІЧНОЮ УСТАНОВКОЮ БАГАТОГРАННОЇ НЕПЕРЕТОЧУВАНОЇ ПЛАСТИНИ

M. Babii, Ph.D

### POWER PARAMETERS OF THE CUTTING PROCESS FOR CUTTING WITH SIDE CUTTERS MULTIFACED INSTALLING PLATE

У сучасному машинобудуванні до найбільш прогресивних відносяться металорізальні інструменти, оснащені багатограними непереточуваними пластинами (БНП) з механічним кріпленням їх до корпусу, що забезпечує можливість їх повороту і швидкої заміни без зняття інструменту з верстата. Серед відрізних різців найбільш доцільним є застосування збірного відрізного різця з бічної установкою БНП за патентом РФ №2366542 (рис. 1). Перевагою даної конструкції інструменту є максимальна простота при високій надійності і міцності кріплення БНП і достатньої жорсткості різця. З метою визначення раціональних силових параметрів процесу різання даного інструменту проводили експериментальні дослідження. За експериментальними даними виводили рівняння вертикальної (головної)  $P_z$  і радіальної  $P_y$  складових сил різання для кожного фіксованого значення переднього кута  $\gamma$ . Оскільки вимірювання складових сил різання виконувалися для двох значень подачі  $S$  (мм / об), то поверхня відгуку відновлена як лінійчаста.



Рис. 1. Відрізний різець з бічною установкою БНП

Як відомо, лінійчаста поверхня має рівняння:

$$P(S; V) = f(0; V) \cdot (1 - w) + f(1; V) \cdot w, \quad (1)$$

де  $w$  – нормалізована змінна ( $0 \leq w \leq 1$ ), яка відповідає змінній  $S$ , з якою зв'язана формулою:

$$w = \frac{S - S_1}{S_k - S_1}, \quad (2)$$

де  $S_1$  – перше, а  $S_k$  – останнє експериментальне значення подачі  $S$ .

Формула (2) переводить відрізок  $[S_1 S_k]$  в одиничний відрізок  $[0; 1]$ . Функціональні залежності  $f(0; V)$  і  $f(1; V)$  при фіксованих значеннях подачі  $S$  отримували за методом найменших квадратів (МНК), встановлюючи невідомі значення коефіцієнтів  $a$  і  $b$  у формулах:

$$f(0; V) = a_0 V^{b_0}; \quad f(1; V) = a_1 V^{b_1} \quad (3)$$

Для реалізації МНК використовували СКМ Maple 15, а саме команду *NonlinearFit* із пакету *Statistics*, яка виконує нелінійну апроксимацію експериментальних даних. Застосовуючи її до експериментальних залежностей  $(V_i; P_i)$  для всіх випадків фіксованих значень переднього кута  $\gamma$  та подачі  $S$ , отримали аналітичні залежності виду (3). Обчислювали за формулою (2) значення виразів  $w$  та  $(1-w)$  для кожного фіксованого значення переднього кута  $\gamma$ . Підставляючи знайдені вирази у формулу (1), отримали апроксимуючі рівняння для вертикальної (головної)  $P_z$  (табл. 1) та радіальної  $P_y$  (табл. 2) складових сил різання.

Таблиця 1. Апроксимуюче рівняння вертикальної (головної) складової сили різання  $P_z$

$\gamma$ , град	Рівняння	Відносна похибка, %
-5	$(386,094 \cdot V^{0,476})(2,400 - 20,000S) + (358,601 \cdot V^{0,493})(20,000S - 1,400)$	3,4
-6	$(260,391 \cdot V^{0,575})(4,217 - 43,478S) + (985,635 \cdot V^{0,195})(43,478S - 3,217)$	6,5
-8	$(1139,79 \cdot V^{0,221})(4,217 - 43,478S) + (1579,32 \cdot V^{0,174})(43,478S - 3,217)$	5,8
-10	$(788,17 \cdot V^{0,367})(2,400 - 20,000S) + (2273,029 \cdot V^{0,117})(20,000S - 1,400)$	3,3

Таблиця 2. Апроксимуюче рівняння радіальної складової сили різання  $P_y$

$\gamma$ , град	Рівняння	Відносна похибка, %
-5	$(141,908 \cdot V^{0,503})(2,400 - 20,000S) + (127,914 \cdot V^{0,536})(20,000S - 1,400)$	3,9
-6	$(87,988 \cdot V^{0,628})(4,217 - 43,478S) + (299,075 \cdot V^{0,248})(43,478S - 3,217)$	8,2
-8	$(429,294 \cdot V^{0,246})(4,217 - 43,478S) + (768,142 \cdot V^{0,138})(43,478S - 3,217)$	6,5
-10	$(217,02 \cdot V^{0,480})(2,400 - 20,000S) + (1242,151 \cdot V^{0,035})(20,000S - 1,400)$	5,3

Графіки лінійчастих поверхонь  $P_z(s; \nu)$  і  $P_y(s; \nu)$  наведено на рис. 2, 3.

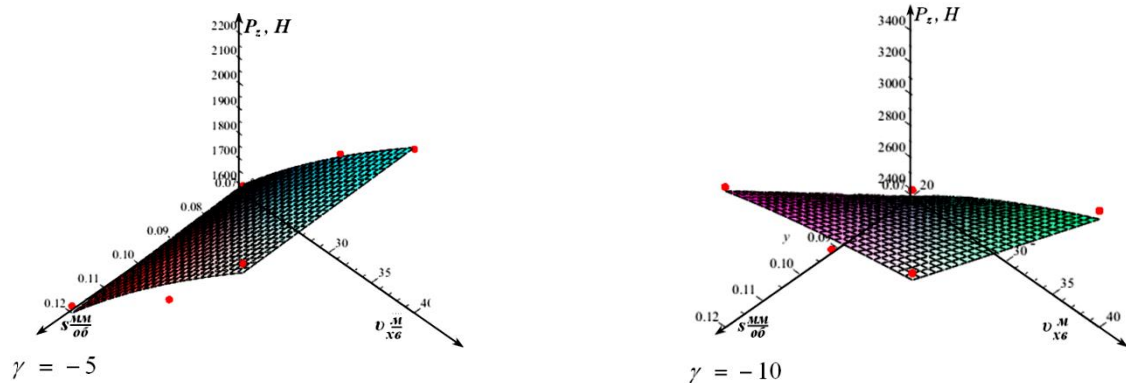


Рис. 2. Графіки лінійчастих поверхонь для залежностей  $P_z(s; \nu)$

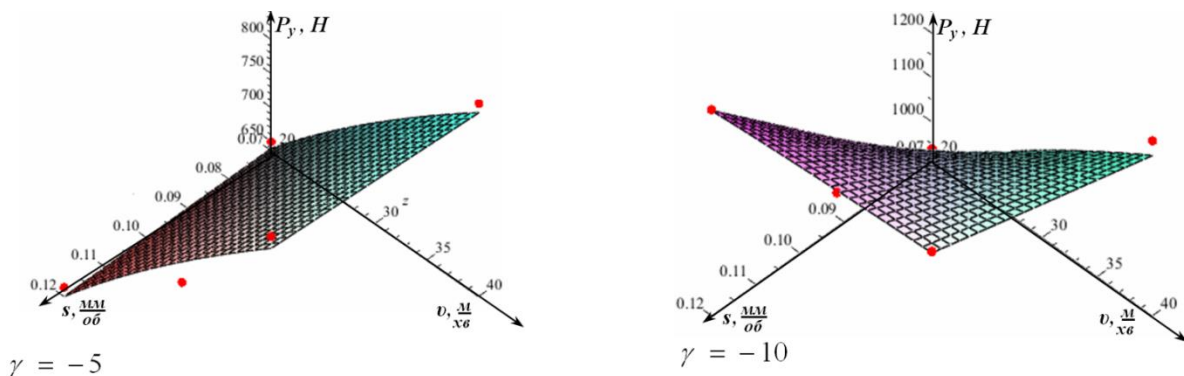


Рис. 3. Графіки лінійчастих поверхонь для залежностей  $P_y(s; \nu)$

В результаті виконаних досліджень і обробки експериментальних даних вперше отримані апроксимуючі рівняння, які адекватно описують силові параметри ( $P_z$  і  $P_y$ ) процесу різання пропонованими різцями.

УДК 621.762.4:546.261

Л.Г. Бодрова, канд. техн. наук, доц., Г.М. Крамар, канд. техн. наук, доц.  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## ЕКСПЛУАТАЦІЙНА СТІЙКІСТЬ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ, ЛЕГОВАНИХ НАНОНІКЕЛЕМ

**L. Bodrova, PhD, Assoc. Prof, H. Kramar, PhD, Assoc. Prof.**  
**OPERATIONAL CUTTING LIFE OF NANONICKEL ALLOYED HARD ALLOYS**

Розширення областей застосування твердих сплавів на основі карбіду титану є актуальною задачею сучасної металообробки. Ці сплави мають вищу твердість, зносо- та жаростійкість, стійкість проти наростоутворення порівняно із вольфрамокобальтовими твердими сплавами, однак стримуючим фактором їх використання при обробці різанням є недостатньо висока міцність. Основними шляхами її підвищення, окрім технологічних аспектів, є легування карбідної основи або цементуючої зв'язки, а також використання в якості вихідних компонентів порошків нанорозмірів.

Метою даної роботи є дослідження експлуатаційної стійкості твердих сплавів на основі карбіду титану, легованого карбідом ніобію (5% (мас.)), карбідом вольфраму (5% (мас.)) з нікель - хромовою зв'язкою (18% (мас.)) при різанні. У цементуючу зв'язку додавали 13,5% (мас.) дрібнодисперсного нікелю із середнім розміром порошку 1...2 мкм або нанонікель із середнім розміром порошку 70...90 нм.

Проводили обробку конструкційних вуглецевих і легованих сталей та дюралюмінію при повздовжньому точінні чотиригранними неперточуваними пластинами, виготовленими із розроблених сплавів на наступних режимах різання:  $v = 90...120$  м/хв,  $s = 0,25$  мм/об,  $t = 0,5... 1,5$  мм. Для порівняння досліджували період стійкості стандартних сплавів Т15К6 і ТН 20 в аналогічних умовах. Критерієм зношування було прийнято зношування по задній поверхні не більше 0,7 мм. Аналіз особливостей зношування сплавів, легованих нанонікелем, вивчали методами електронної мікроскопії та хімічного аналізу.

Встановлено, що використання нанонікелю, порівняно з дрібнодисперсним, підвищує зносостійкість ріжучого інструменту на 15...20%, період стійкості сплавів з нанонікелем складає 125...140 хв і перевищує стійкість стандартних твердих сплавів на основі карбіду вольфраму, безвольфрамових твердих сплавів та сплавів на полікарбідній основі, легованих дрібнодисперсним нікелем. Показано, що зона зношування складається з трибошару, який містить кисень та елементи інструментального і оброблюваного матеріалів і зони абразивного стирання. У сплавах, легованих дрібнодисперсним нікелем, розмір карбідних зерен складає 0,8...2 мкм, тоді як у легованих нанонікелем він зменшується до 0,5...1,5 мкм, а товщина прошарків зв'язки – до 0,1...0,3 мкм. Однак, в обох випадках, величина абразивних частинок суттєво перевищує товщину прошарків зв'язки і в процесі різання в першу чергу руйнуються карбіди за крихким або втомним механізмом руйнування. Встановлено, що основним механізмом локального зношування досліджуваних сплавів є абразивне стирання, яке супроводжується розтріскуванням крупних карбідних зерен, видаленням їх частин та викришування дрібних карбідних зерен.

УДК 621.922

Т.Є. Божко, канд. техн. наук, доц.; Т.Н. Гальчук, канд. техн. наук, доц.;

Редько Р.Г, канд. техн. наук, доц.

Луцький національний технічний університет, Україна

### **ЗМІНА РОЗМІРУ ЧАСТОК ОТРИМАНИХ ПРИ ШЛІФУВАННІ ШХ15 ЗАЛЕЖНО ВІД РЕЖИМІВ РІЗАННЯ**

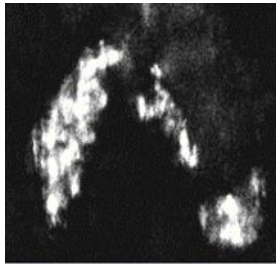
**T. Bozhko, Ph.D., As. Prof.; T. Halchyk, Ph.D., As. Prof.; R. Redko, Ph.D., Assoc. Prof.**

### **PARTICLE SIZE CHANGE OBTAINED IN THE SHH15 STEEL GRINDING DEPENDING ON CUTTING CONDITIONS**

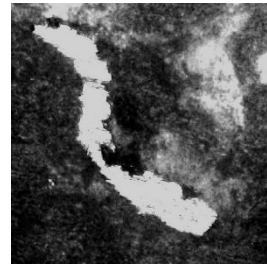
Відомо, що при будь-якому процесі різання матеріалів утворюються стружки, форма, розміри і фізико механічні властивості яких залежить від великої кількості факторів: марки матеріалу, режимів різання, складу змазуючо-охолоджувальної рідини, стану технологічної системи і т. п. З практичної точки зору постає питання прогнозування розміру та форми часток стружки з метою подальшої утилізації та переробки промислових відходів машинобудівного виробництва.

В літературі описано декілька технологічних схем утилізації шліфувальних шламів підшипникового виробництва [1,2] з метою отримання з них порошків сталі ШХ15. Безпосереднє використання таких порошків неможливо у зв'язку з їх незадовільними фізико-механічними та технологічними властивостями: форма часток має дендрідну, розгалужену структуру, підвищену твердість. Тому, доцільно розглянути вплив режимів різання при плоскому та круглому шліфуванні на форму і розмір часток.

На рис. 1 наведена форма часток порошку сталі ШХ15, що отримані при шліфуванні підшипникових кілець на АТ "СКФ Україна". Форма часток визначалася методом оптичної мікроскопії. Видно, що у першому наближенні форму часток можна моделювати паралелопідедом.



а)



б)

Рис. 1.- Форма часток сталі ШХ15 після магнітної сепарації: а – шліфування загартованих заготовок, б – шліфування "сирих" заготовок.

Було досліджено, що із збільшенням припуску збільшуються діаметр часток як при плоскому, так і при круглому шліфуванні. При збільшенні подачі також спостерігається зростання розміру часток при плоскому та круглому шліфуванні.

#### **Література:**

1. Спосіб отримання металевого порошку зі шламових відходів підшипникового виробництва: Деклараційний патент 63558. Україна. 7 В22F9/04/ В.Д. Рудь, Т.Н. Гальчук, О.Ю. Повстяною – № 2003054065; Заявл. 06.05.2003; Опубл. 15.01.2004, Бюл. № 1. – 4 с.

2. Рудь В.Д., Гальчук Т.Н., Повстяной О.Ю. Использование отходов подшипникового производства в порошковой металлургии // Порошковая металлургия, – 2005. – № 1/2 – с. 106 – 112.

УДК 621.825.5

А. Борис; В.О. Малащенко, докт. техн. наук, проф.

Національний університет „Львівська політехніка”, Україна

## БУДОВА ТА ЧАС ВКЛЮЧЕННЯ КУЛЬКОВОЇ МУФТИ ВІЛЬНОГО ХОДУ ОСЬОВОЇ ДІЇ

A. Boris; V. Malashchenko, Dr., Prof.

### DESIGN AND ACTIVATION TIME OF BALL FREE RUNNING COUPLING OF AXIS OPERATION

Розроблено конструкцію принципово нової кулькової муфти вільного ходу, яка передає обертальний момент не за рахунок сил тертя, а за рахунок зачеплення кульок з пазами півмуфт. На основі проведених досліджень встановлено та науково обгрунтовано, що у порівнянні з традиційною роликвою запропонована муфта володіє кращими експлуатаційними характеристиками, спрощеною конструкцією, та не вимагає високої точності при її виготовленні і монтажі.

Запропонована муфта рис.1 подібно до існуючої складається з: 1 – ведучої півмуфти, що має фланець 2 з пазами 3; 4 – веденої півмуфти, що має циліндричну поверхню 5 з пазами 6; 7 – кульок, що розміщені в цих пазах; 8 – натискного кільця, яке спирається на пружину 9; 10 – корпусу зі стопорним кільцем 11. Ведена півмуфта включає в себе привідну шестірню 12.

Основною перевагою нової кулькової обгінної муфти перед вже існуючими пристроями цього типу є істотне спрощення технології виготовлення веденої півмуфти шляхом нарізування на циліндричній поверхні прямих робочих пазів. Більш суттєвими є її переваги у порівнянні з роликowymi обгінними муфтами, які є складніші у виготовленні та вимагають високої точності при складанні.

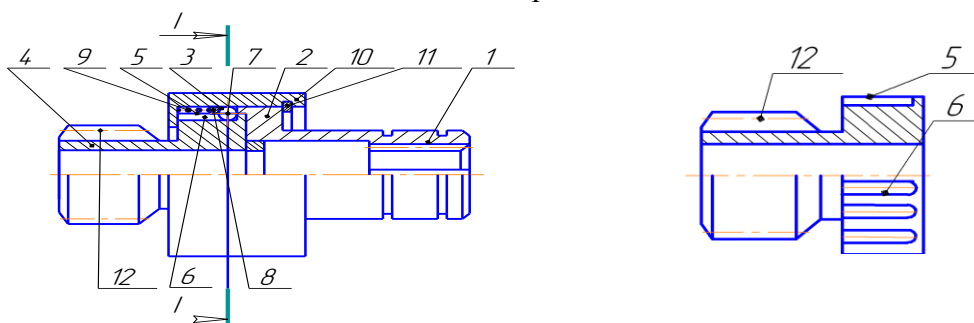


Рис. 1 Кулькова обгінна муфта осьової дії з криволінійними пазами:

а – загальний вигляд муфти;

б – ведена півмуфта з привідною шестірнею та прямими пазами

Треба наголосити, що у залежності від конструктивних особливостей муфт та режиму роботи, є дві принципи їх відмінності. Це такі, коли кульки початково можуть бути у ведучій або у веденій півмуфті.

Можливі положення кульки відносно пазів півмуфт показано на рис. 2. Максимальний і мінімальний кут вмикання муфти зображено на рис. 3.

Із рис.3 видно, що мінімальний кут, на який повернеться ведуча півмуфта до вмикання визначається так:

$$\varphi_{\min} = \frac{l_{BC}}{R} \approx \frac{2rtg\alpha}{R}. \quad (1)$$

Якщо припустити, що рух на відрізку  $l_{BC}$  є рівномірним, то мінімальний час його подолання дорівнює:



$$t_{\min} = \frac{\varphi_{\min}}{\omega_1} = \frac{2rtg\alpha}{\omega_1 R}. \quad (2)$$

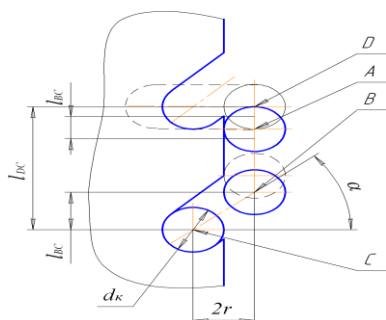


Рис. 2. Можливі положення кульки під час вмикавання муфти з прямими пазами веденої півмуфти

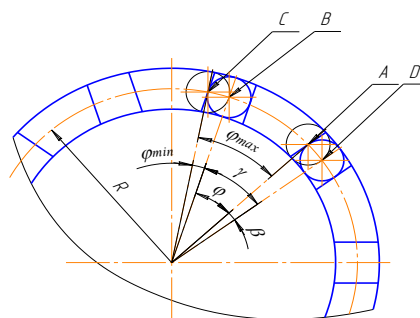


Рис. 3. Вигляд муфти з торця, розрахункова схема для визначення кутових координат

Вирази для максимального кута та часу руху паза ведучої півмуфти відносно кульки є також очевидними з рис.3:

$$\varphi_{\max} = \frac{2rtg\alpha}{R} + \frac{2\pi}{z} - \frac{r}{R} = \frac{2zrtg\alpha + 2\pi R - rz}{Rz} = \frac{2\pi R + rz(2tg\alpha - 1)}{Rz}; \quad (3)$$

$$t_{\max} = \frac{\varphi_{\max}}{\omega_1} = \frac{2\pi R + rz(2tg\alpha - 1)}{\omega_1 Rz}. \quad (4)$$

Тут  $\omega_1$  – стала кутова швидкість ведучої півмуфти, решта параметрів, що входять в (1) – (4), наведені на рис.2 і 3.

Всі інші можливі положення кульок відносно пазів півмуфт, а також різноманітні величини кутів вмикавання муфти входять у цей діапазон розрахунків:

$$t_{\min} \leq t_i \leq t_{\max}$$

### Висновок:

1. За результатами літературного пошуку встановлено, що для автоматичного з'єднання та роз'єднання кінців валів традиційно застосовуються роликові муфти вільного ходу, що передають обертальний момент за рахунок сил тертя та мають суттєві недоліки.

2. Установлена та науково обгрунтована можливість застосування у техніці принципово нової кулькової муфти вільного ходу замість традиційної роликової муфти, що автоматично вмикається і вимикається за рахунок зачеплення кульок з пазами напівмуфт.

3. Проведені теоретичні дослідження та отримані аналітичні вирази (1) – (4), є істотним підґрунтям для подальшого вивчення можливостей застосування кулькових обгінних муфт в приводах різноманітних машин та механізмів.

### Література:

1. ДСТУ 2278 – 93. Механічні муфти. Терміни та визначення.
2. Обгінна муфта. А. С. № 1423838, БІ № 34, 1988 / С.Г. Калінін, В.О. Малащенко, П.Я. Петренко.
3. Поляков В.С., Барбаш И.Д., Ряховский О.А. Справочник по муфтам. – М.–Л.:Машиностроение, 1979.- 351 с.
4. Заблонський К.І. Деталі машин. К.: Вища школа., 1999. – 404 с.
5. Малащенко В.О., Кравець І.Є., Сороківський О.І. Силова взаємодія між елементами кулькових муфт вільного ходу / Вісник НУ „Львівська політехніка” – 2003. - № 480.
6. Малащенко В.О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків. – Львів. НУ ЛП, 2006. – 196 с. 2009. – 216с.

УДК 667.64:678.026

М.В. Браїло канд. техн. наук; С.В. Якущенко; О.О. Сапронов канд. техн. наук;  
О.С. Кобельник

Херсонська державна морська академія, Україна

## СТВОРЕННЯ ПОЛІМЕРНОЇ МАТРИЦІ ДЛЯ РЕМОНТУ ЕЛЕМЕНТІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

**M. Brailo Ph.D., S. Yakushchenko, O. Sapronov Ph.D., O. Kobelnyk**  
**CREATION OF A POLYMER MATRIX FOR REPAIRING ELEMENTS OF WATER  
TRANSPORT**

**Постановка проблеми.** На сьогодні широкого застосування у різних галузях промисловості, зокрема у морському та річковому транспорті, набули полімерні композиційні матеріали (КМ). Одними з таких композитів є матеріали на основі епоксидних олігомерів. Слід зазначити, що на сьогодні широко використовують як зв'язувач для епоксидних матеріалів епоксиданову смолу ЕД-20 (ГОСТ 10587-84). Водночас, аналізуючи ринок полімерних матеріалів, слід відмітити широке застосування та поширення сировинної бази КМ на основі ненасичених полієфірів. Перспективним та актуальним є створення полімерного матеріалу із поєднанням двох компонентів різної природи, що дозволить створити двокомпонентну матрицю з прогнозованими показниками експлуатаційних характеристик.

**Мета роботи** – створити епоксидно-полієфірну матрицю з поліпшеними фізико-механічними властивостями для ремонту елементів водного транспорту

**Результати досліджень та їх обговорення.** На початковому етапі для створення двокомпонентної полімерної матриці з покращеними фізико-механічними властивостями досліджували вплив вмісту полімерної смоли марки ENYDYNE H 68372 TAE ( $q = 10 \dots 120$  мас.ч.) у епоксидно-діановому олігомері ЕД-20 ( $q = 100$  мас.ч.). Концентрацію твердників для полієфірного та епоксидного зв'язувача прийняли згідно рекомендацій фірми-виробників та на основі результатів попередніх досліджень. Аналізуючи отримані результати досліджень можна констатувати, що максимальними показниками властивостей відрізняється матриця на основі смол ЕД-20 ( $q = 100$  мас.ч.) і ENYDYNE H 68372 TAE ( $q = 10$  мас.ч.). При цьому руйнівні напруження при згинанні становлять –  $\sigma_{32} = 56,2$  МПа, модуль пружності при згинанні –  $E = 4,2$  ГПа, ударна в'язкість –  $\alpha = 12,8$  кДж/м<sup>2</sup>. При порівнянні отриманих даних з показниками властивостей матриці на основі епоксидної смоли ЕД-20 ( $\sigma_{32} = 47,6$  МПа,  $E = 2,8$  ГПа,  $\alpha = 6,6$  кДж/м<sup>2</sup>) доведено, що значення модуля пружності та ударної в'язкості при згинанні підвищилися в 1,5 та 2,0 рази відповідно. З подальшим збільшенням вмісту полієфірного зв'язувача в межах  $q = 20 \dots 120$  мас.ч. відмічено динаміку зменшення показників фізико-механічних властивостей КМ. При цьому значення руйнівних напружень при згинанні знижуються від  $\sigma_{32} = 54,4$  МПа при  $q = 20$  мас.ч. до  $\sigma_{32} = 13,8$  МПа при  $q = 120$  мас.ч., модуль пружності – від  $E = 3,9$  ГПа до  $E = 2,1$  ГПа, ударна в'язкість – від  $\alpha = 7,9$  кДж/м<sup>2</sup> до  $\alpha = 3,9$  кДж/м<sup>2</sup>. Аналіз структури зламів на фрактограмах матриць за вмісту полієфіру  $q = 40 \dots 120$  мас.ч. підтверджує динаміку показників фізико-механічних властивостей. На отриманих світлинах зламів матриць не спостерігається яскраво вираженої гетерогенності фаз даних полімерів, що опосередковано вказує на сумісність вибраних для досліджень епоксидної та полієфірної смол.

Встановлено, що максимальні показники фізико-механічних властивостей серед досліджуваних матриць отримано при додаванні  $q = 10$  мас.ч. полієфірного зв'язувача ENYDYNE H 68372 TAE до  $q = 100$  мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20. Розроблена матриця відзначається наступними показниками фізико-механічних властивостей: руйнівні напруження при згинанні –  $\sigma_{32} = 56,2$  МПа, модуль пружності при згинанні –  $E = 4,2$  ГПа, ударна в'язкість –  $\alpha = 12,8$  кДж/м<sup>2</sup>. Методом оптичної мікроскопії проаналізовано лінії сколювання досліджуваних матеріалів, які мають розгалужений сітчастий характер, що свідчить про незначні напруження у композитах. Доведено, що напружений стан матеріалів та характер ліній сколювання корелює із показниками фізико-механічних властивостей.

**УДК 621.941.323**

**В.М. Буховець; В.Г. Кушик, канд. техн. наук, доц.**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## **ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОБРОБКИ ЦИЛІНДРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ НА ТОКАРНИХ АВТОМАТАХ ТА ВЕРСТАТАХ З ЧПК**

**V. Buhovets; V. Kushyk, Ph.D., Assoc. Prof.**

### **QUALITY INCREASING OF CYLINDRICAL PARTS MACHINING ON CNC MACHINE TOOLS AND AUTOMATIC MACHINES**

Забезпечення заданої точності і якості обробки як комплексного показника при обробці пруткових та інших циліндричних заготовок, зокрема пустотілих, на автоматизованих верстатах у багатьох випадках залежить від конструкції затискного цангового патрона. Ці показники суттєво впливають на надійність затиску заготовок циліндричної форми, а також на жорсткість пустотілих заготовок.

Запропоновані конструкції широкодіапазонних цангових патронів з одинарною та подвійною мультиплікацією дозволяють без заміни цангового патрона затискувати заготовки з відхиленнями діаметра прутка до 2-3 мм, що значно розширює технологічні можливості верстатів з ЧПК та інших автоматизованих верстатів. При наявності у цанговому патроні з подвійною мультиплікацією нерухомої в осьовому напрямку циліндричної цанги, жорстко зв'язаної з торцем шпинделя, зменшується відтягування прутка від упора при обробці на токарних багатошпиндельних автоматах, і зростає осьова точність затиску при обробці на верстатах з ЧПК в 1,8-2,1 рази.

При обробці циліндричних заготовок, затиснутих у цангових патронах з поперечним само налагодженням, відбувається збільшення радіальної жорсткості затиску й адаптація патрона до затиску некаліброваних заготовок і заготовок з відхиленнями діаметра до 2 мм за рахунок встановлення в радіальних розрізах затискної цанги ряду підпружинених кулачків. Затискні цанги із затискними кришками на торцевій поверхні, які мають вигнуту або вгнуту форму, і на яких нанесено регулярний мікрорельєф, дозволяють відводити стружку від поверхні цанги, що унеможливує залипання цанги, і керувати за рахунок конструкції кришки попаданням ЗОР в зону обробки.

Різноманітні конструкції затискних цангових патронів (широкодіапазонних цангових патронів, самоналагоджувальних цангових патронів та цанг із захисними кришками) на стадії наукового етапу проектування, отримані методом морфологічного синтезу, який дозволяє отримати велику кількість нових технічних рішень, з яких за встановленими критеріями вибрані реальні конструкції.

Отримані нові конструкції затискних цангових патронів за методом морфологічного синтезу захищені патентами України на винаходи та корисні моделі. Ряд конструкцій пройшли лабораторні й експериментальні дослідження та промислові випробування на діючому обладнанні. Для проведення експериментальних досліджень розроблено конструкцію спеціального стенда на базі токарного багатошпиндельного автомата, а також методика випробувань і технологічну оснастку для проведення випробувань. В якості оправки для заміру радіального і осьового биття використовувались гартовані шліфовані оправки із сталі 45. Заміри моменту прокручування і моменту проштовхування здійснювались із використанням спеціальних протарованих динамометрів. Результати експериментальних досліджень та промислових випробувань підтверджують теоретичні викладки. На основі проведених досліджень і випробувань внесено ряд позитивних змін в конструкцію й технологію

виготовлення деяких затискних цанг. Зокрема, в конструкцію затискного цангового патрона з одинарною мультиплікацією: операцію розрізування губок цанги проведено фрезою, а в паз, що утворився, встановлено шліфовані пластини, що кріпляться до губок цанги гвинтами. Такий підхід дозволяє підвищити точність розрізування, а в цілому точність виготовлення цанги, яка в кінцевому результаті забезпечує задану точність затиску і точність обробки. В затискних цангових патронах з подвійною мультиплікацією і нерухомою циліндричною цангою слабкою ланкою є з'єднувальні планки, які мають недостатню міцність, а велика кількість деталей (гвинтів, кришок) зменшує технологічність конструкції. Цанговий патрон даного типу складається із затискної цанги з конічною робочою частиною, яка розміщена всередині корпусу шпинделя. Затискні елементи цанги утворені розрізами по аксіальних площинах сегментів. Між затискними елементами розміщені додаткові елементи, бічні грані яких взаємодіють з бічними гранями затискних основних елементів. Всередині цанги з конічною робочою частиною розміщена цанга з циліндричною робочою частиною, затискні елементи якої виконані у вигляді утворених розрізами сегментів і розміщені між ними допоміжні елементи. З'єднувальні планки розміщені всередині цанги з конічною робочою частиною, один кінець з яких жорстко зв'язаний з хвостовиком циліндричної цанги, а другий з боку переднього торця патрона, нероз'ємно зв'язаний з нерухомим фланцем. За допомогою гвинтів з'єднувальні планки кріпляться до хвостової частини цанги. Фланець попереджує потрапляння стружки у робочі частини патрона. Гвинтами з'єднувальні планки з фланцем кріпляться до нерухомого фланця. Затиск пружка здійснюється допоміжними елементами цанги з циліндричною робочою частиною. З'єднувальні планки, які виконані, наприклад, у вигляді пустотілого циліндра з розрізами під відповідні додаткові затискні елементи цанги з робочою частиною і нероз'ємно з'єднані з фланцем. З'єднувальні планки можуть бути виконані нероз'ємними з фланцем різними технологічними методами (наприклад, литвом, штампуванням, точінням тощо) і виготовлені з різних матеріалів (наприклад, сталь, дюралюміній, силумін, капролон тощо). При цьому цанга з циліндричною робочою частиною є нерухомою в осьовому напрямку. Це забезпечує стабільність осьових характеристик затиску. Тому запропоновано змінити конструкцію циліндричної цанги з метою зміцнення її конструкції і технологічності.

За рахунок використання ряду запропонованих конструкцій затискання цангових патронів (широкодіапазонних цангових патронів, самоналагоджувальних цангових патронів та цанг із захисними кришками) підвищується радіальна та осьова точність обробки, радіальна жорсткість і, в кінцевому результаті – точність обробки циліндричних деталей на токарних автоматах і верстатах з ЧПК.

### **Література:**

1. Широкодиапазонные и многофункциональные зажимные механизмы: теория и практика: Монография / Ю.Н. Кузнецов, В.Г. Кушик, Юрчишин О.Я. – К.: ООО «ЗМОК» - ООО «ГНОЗИС», 2011. – 424 с., ил.
2. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах: Монографія / Упоряд. Кузнецов Ю.М. / Ю.М. Кузнецов, І.В. Луців та ін. – К.: – Тернопіль: Терно-граф, 2-11. – 692 с., іл.
3. Патент України №204454U, МПК В23В31/20. Цанговий патрон / Кузнецов Ю.М., Кушик В.Г., Гриценко Д.М. - №200609019; Заявл. 14.08.06; Опубл. 15.01.2007, Бюл. №1.

**УДК 621.91**

**Я.В. Васильченко, канд. техн. наук, доц.; М.В. Шаповалов**

Донбаська державна машинобудівна академія, Україна

## **ОЦІНКА КОНСТРУКЦІЙНОЇ МІЦНОСТІ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ОБРОБКИ ІМПУЛЬСНИМ МАГНІТНИМ ПОЛЕМ**

**Y. Vasilchenko, Ph.D., Assoc. Prof.; M. Shapovalov**

### **ESTIMATING THE STRUCTURAL STRENGTH OF HARD ALLOYS AND THE PROCESSING FEATURES OF A PULSED MAGNETIC FIELD**

Аналіз відмов інструменту при обробці на важких верстатах показує, що поряд з виходом з ладу інструменту внаслідок зносу, 70...80% відмов спричиняється крихким руйнуванням твердосплавної пластини, яке проявляється в викришуванні різальних кромки, полумці та сколюванні різальної частини [1,2]. Особливо екстремальною з точки зору навантаження на різальні пластини є чорнова обробка, яка відбувається із значними величинами глибин різання (15...20 мм) та подач (до 3 мм), а також супроводжується коливаннями фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу. За таких надважких умов на вітчизняних підприємствах важкого машинобудування використовуються напайні твердосплавні пластини із вольфрамкобальтових та титанокобальтових сплавів.

Задача підвищення характеристик міцності твердого сплаву обумовлює необхідність розвитку методів модифікації, що впливають на весь об'єм матеріалу. Вимоги, що висуваються до цих методів – невисока вартість, екологічна чистота та можливість застосування в умовах цеху машинобудівного підприємства. Цим вимогам задовольняє метод обробки імпульсним магнітним полем (ОІМП).

Дослідження в області магнітопольових впливів підтверджують, що за допомогою помірних магнітних полів можливим є прямий безконтактний вплив на динаміку структурних дефектів різного рівня, вплив на їх поведінку і, як наслідок, зміна макровластивостей матеріалу і експлуатаційних властивостей виробу. Фізичні основи ОІМП стосовно інструмента зі швидкорізальних сталей сформульовані С.М. Постніковим і представниками його наукової школи. Відомо, що метод імпульсної магнітної обробки дозволяє підвищити стійкість інструменту зі швидкорізальної сталі в 1,5... 2,0 рази [1, 2]. Кількість досліджень впливу ОІМП на твердосплавний інструмент обмежена. Наявні в літературі результати свідчать про підвищення структурної однорідності, збільшення мікротвердості, зменшення залишкових напружень та підвищення в 1,8...2 рази зносостійкості твердих сплавів ВК8 і Т15К6 в результаті комбінованої обробки, яка складається з нагріву током високої частоти та ОІМП.

Модифікація твердосплавних різальних пластин ОІМП здійснюється на устаткуванні, яке складається з генератора імпульсів із блоком живлення й індуктора. Результати, отримані авторами при випробуваннях конструкційної міцності змінних різальних пластин із твердих сплавів Т5К10 та Т15К6 показали, що, залежно від режимів ОІМП, границя міцності на згин при статичному навантаженні підвищується на 14...27%, а період стійкості до руйнування при лабораторних випробуваннях різців,

оснащених різальними пластинами з Т15К6, методом «фруїнуючої подачі» збільшується на 17%.

Розроблено методичні засади оцінки характеристик конструкційної міцності твердосплавних різальних пластин з використанням вирізаних з них спеціальних зразків, їх випробувань в умовах поперечного і консольного згину, фрактографічного аналізу поверхонь зламів для визначення джерел руйнування і особливостей докритичного розвитку мікротріщин. Комплексний технічний підхід дозволяє враховувати вплив на механічну поведінку різальних пластин визначальних конструкційних, технологічних факторів та методів поверхневої і об'ємної модифікації.

За результатами оцінки конструкційної міцності напаяних пластин з сплавів ВК3 і ВК8 показано, що їх реальні характеристики міцності значно відрізняються від результатів випробувань стандартних зразків і дозволяють підвищити достовірність контролю якості різального інструменту та вдосконалювати технологію його оброблення та модифікації за параметрами міцності.

Показано значний вплив на міцність і руйнування досліджених твердосплавних пластин дефектів структури поверхневого шару. Рекомендовано враховувати результати оцінки параметрів поверхневого дефектного шару при заточуванні інструменту з напаяними різальними пластинами.

Встановлено, що модифікація твердих сплавів ВК3 та ВК8 обробкою імпульсним магнітним полем призводить до підвищення їх однорідності, зменшення товщини тріщинуватого шару, стабілізації механічних характеристик, зростання границі міцності на згин.

### **Література:**

1. Прогнозування втомної міцності твердих сплавів, оброблених імпульсним магнітним полем / Сорока О. Б., Родічев Ю. М., Ковальов В. Д., Васильченко Я. В. // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2013. Вип. 32. - С. 317-324.

2. Зміцнення твердосплавного різального інструменту для важкого машинобудування на основі поверхневої та об'ємної модифікації фізичними методами / О.Б.Сорока, Ю.М. Родічев, В.Д.Ковальов та ін.// Вісник Тернопільського Національного технічного університету ім. І.Пулюя. – 2013. – №3(71). – С.133-145.

**УДК 631.3: 62-514.5: 531.36**

**Н.Р. Веселовська<sup>1</sup>, докт. техн. наук, проф.;**

**Р.Д. Іскович-Лотоцький<sup>2</sup>, докт. техн. наук, проф.;**

**М.І. Іванов<sup>1</sup>, канд. техн. наук, проф.;** С.А. Шаргородський, канд. техн. наук, доц.

<sup>1</sup>Вінницький національний аграрний університет, Україна

<sup>2</sup>Вінницький національний технічний університет, Україна

## **ВПЛИВ ПАРАМЕТРИЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА РОБОТУ ГІДРАВЛІЧНИХ ПРИВОДІВ МЕТАЛОРІЗАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ**

**N. Veselovska, Dr.,Prof.; R. Iskovych-Lototskyi, Dr.,Prof.; M. Ivanov, PhD, Assoc.Prof.;**  
**S.Shargorodskiy, PhD, Assoc. Prof.**

### **INFLUENCE OF PARAMETRIC PROCESSES ON WORK OF THE HYDRAULIC DRIVES IN MACHINE-CUTTING EQUIPMENT**

Гідравлічний привід набув широкого застосування у сучасному металорізальному обладнанні. Підвищується функціональність даного обладнання, що у свою чергу призводить до необхідності збільшення потужності приводів робочих органів, і відповідно насосних станцій. Гідравлічний привод на сьогодні є фактично безальтернативним для машин даного типу завдяки своїй потужності, точності, простоті компонування і компактності. Але разом з тим при проектуванні і застосуванні даного виду приводів, виникають певні проблеми, пов'язані із залежністю працездатності та якості роботи гідропривода від геометричних характеристик гідроагрегатів та арматури, що входять до складу гідропривода. Наприклад, зміна довжини рукава високого тиску може стати причиною виникнення коливань, що носять параметричний характер. Як відмічають ряд авторів, виникнення параметричних коливань є досить небажаним явищем у технічних системах. Це пов'язано із додатковим вібраційним навантаженням на вузли і агрегати металорізального обладнання, що у свою чергу негативно впливає на якість механічної обробки.

Дослідження роботи гідроприводів, у яких в якості виконавчих гідродвигунів використовується аксиально-поршневі гідромотори, свідчать, що в цьому випадку виникають коливання швидкості блока циліндрів, причиною яких є періодична зміна параметрів гідромотора – робочого об'єма, сили притискання блока циліндрів до розподільника та інших. Доведено, що саме ці процеси обмежують мінімальну частоту обертання гідромотора та ряду інших характеристик гідропривода.

Розроблені математичні моделі які враховують зміну робочого об'єму насоса в залежності від кута нахилу люльки та кута повороту блока плунжерів. Як виявилось в процесі обертання змінюється робочий об'єм, що призводить до коливань тиску в напорі і відповідно до пульсації сили тертя на торці розподільника, пульсації сил притискання люльки. При чому слід зазначити що приведена сила притискання люльки змінюється як по величині, так і по точці прикладання, що в свою чергу призводить до виникнення складного режиму навантаження опор люльки, виникнення значних сил тертя в опорах, що в свою чергу негативно впливає на процес регулювання витрати робочої рідини і у деяких випадках взагалі виключає можливість регулювати витрату робочої рідини, яку насос подає у гідравлічну систему, що в свою чергу негативно впливає на точність і якість роботи металорізального обладнання.

УДК 621.914

**Г.М. Виговський, канд. техн. наук, доц., О.А. Громовий, канд. техн. наук, доц.**  
Житомирський державний технологічний університет, Україна

## **УДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБІВ ОБРОБКИ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ**

**H. Vyhovsky, Ph.D., Assoc. Prof., O. Gromovyy, Ph.D., Assoc. Prof.**

### **IMPROVING METHODS OF MACHINING OF FLAT PARTS SURFACES**

Сучасний рівень розвитку промисловості вимагає підвищення якості виготовлення деталей, зокрема, їх геометричної точності та якості поверхонь. Корпуси механізмів, приладів, апаратів, а також опори, рами, станіни складають більше 13% масиву продукції машинобудування і металообробки. В технологічних процесах виготовлення деталей від 10% до 50% деталей повинні мати шорсткість оброблених поверхонь не більше 1,6 мкм.

Останнім часом чистова обробка плоских поверхонь все частіше виконується торцевим фрезеруванням, як правило, стандартними торцевими фрезами, які мають ряд недоліків. Усунення цих недоліків є важливою задачею, яка може вирішуватись кількома напрямками. Одним з напрямків вирішення поставленої задачі є проектування більш досконалих конструкцій фрез з комбінованими схемами різання, які б відповідали поставленим вимогам та враховували накопичений досвід та результати сучасних наукових досліджень, з метою подальшого застосування таких фрез на виробництві.

При розробці спеціальних торцевих фрез з комбінованими схемами різання основною метою є встановлення раціональних конструктивних параметрів фрез та режимів експлуатації. Крім цього, застосування чистових торцевих фрез з комбінованими схемами різання викликає необхідність вивчення особливостей кінематики обробки.

Розширення областей використання лезового інструменту, оснащеного вставками з надтвердих матеріалів (НТМ) є одним із основних напрямків підвищення продуктивності та інтенсифікації обробки металів різанням. Одним з таких напрямків можна виділити збільшення величини припуску, що знімається, за рахунок використання прогресивних конструкцій ріжучих інструментів. Так при торцевому фрезеруванні використання спіральної – ступінчастих схем різання дозволяє зрізати до 6 – 8 мм припуску, при обробці сірого та високоміцних чавунів.

В Житомирському державному технологічному університеті розроблені торцеві фрези, оснащені НТМ, які дозволяють [1-7]:

- реалізовувати рух профільюючого різального ножа за прямолінійною траєкторією перпендикулярно до вектора подачі заготовки і вирівняти шорсткість обробки за шириною фрезерування;

- зрізати основну частину припуску різальними ножами, які рухаються відносно оброблюваної поверхні за коловими траєкторіями і закріплені нерухомо в корпусі фрези;

- за рахунок ступінчастого розташування різальних ножів підвищити максимальну глибину різання і поєднати чорнові і чистові операції за один прохід;

- здійснити регулювання осьового вильоту різальних ножів при необхідності корегування глибини різання;

- значно підвищити якість обробленої поверхні, стійкість інструмента та продуктивність обробки;



– забезпечувати косокутне різання, що дає можливість зменшити питомі навантаження на одиницю довжини різальних кромки ножів, і таким чином в значній мірі додатково підвищити стійкість різальних ножів;

– реалізовувати схеми різання з попереднім пластичним деформуванням оброблюваної поверхні;

– застосовувати фрези для обробки плоских поверхонь на верстатах фрезерної та шліфувальної груп.

Головним напрямком розвитку механічної обробки є концентрація технологічних переходів, яка дозволяє багатократно знизити трудомісткість виготовлення деталей, збільшити продуктивність, зменшити собівартість обробки. З найменшими затратами концентрація технологічних переходів здійснюється при використанні комбінованого різального інструменту, перевагами використання якого є:

- 1) зменшення кількості технологічних переходів для обробки деталі;
- 2) можливість підвищення точності обробки за рахунок зниження похибки базування, у зв'язку зі зменшенням кількості перевстановлень;
- 3) зниження енергетичних затрат;
- 4) скорочення парку верстатів;
- 5) зменшення кількості необхідного інструменту.

Дослідження та вирішення розглянутих питань, які направлені на підвищення продуктивності і якості обробки плоских поверхонь деталей, є актуальною задачею і має велике значення на сучасному етапі розвитку інструментального виробництва та машинобудування в цілому.

#### **Література:**

1. Виговський Г.М. Підвищення працездатності торцевих фрез для чистової обробки плоских поверхонь: Дис. канд. техн. наук; – захищена 07.11.2000. – К., 2000. – 161 с.: іл. - Бібліогр.: с. 153-161.

2. Громовий О.А. Розробка чистових косокутних торцевих фрез з комбінованими схемами різання. // Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", Київ, 2002 (Автореферат дис.).

3. Бушля В.М. Підвищення продуктивності чорнкової обробки плоских поверхонь чавунних деталей торцевими фрезами з надтвердих матеріалів : автореф. дис. канд. техн. наук / В. М. Бушля; Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т". - К., 2007. – 20 с.

4. Мельничук П.П. Наукові основи чистового торцевого фрезерування плоских поверхонь: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.03.01 / П.П. Мельничук ; Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т", Житомир інженер.-технол. ін-т. — К., 2002. — 36 с.

5. Виговський Г.М., Громовий О.А., Лосєв В.Ю., Мельничук П.П. Деклараційний патент на винахід "Спосіб плоского фрезерування торцевими фрезами" № 40156 А Україна, В23С3/00, – № 2000074236; Заявлено 17.07.2000; Опубл. 16.07.2001, бюл. №6.

6. Виговський Г.М., Громовий О.А., Білявський М.Л. Деклараційний патент на винахід "Спосіб плоского фрезерування деталей з незагартованих сталей торцевими фрезами, оснащеними елементами з надтвердих матеріалів" № 87360 С2 Україна, В23С3/00, – № а200710531; Заявлено 24.09.2007; Опубл. 10.07.2009, бюл. №13.

7. Виговський Г.М., Громовий О.А. Деклараційний патент на винахід "Спосіб точіння деталей з незагартованих сталей різцями, оснащеними елементами з надтвердих матеріалів" № 95367 С2 Україна, В23В1/00, – № а201000059; Заявлено 11.01.2010; Опубл. 25.07.2011, бюл. №14.

УДК 621.91.01

**Ю.Я. Вовк, канд. техн. наук, доц., І.П. Вовк, канд. екон. наук**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

**ПРОЕКТУВАННЯ СУЧАСНИХ САМОУСТАНОВЛЮВАЛЬНИХ  
ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ ОБРОБКИ ОТВОРІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ  
ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ**

**Y. Vovk, Ph.D., Assoc. Prof., I. Vovk, Ph.D., Assist. Prof.**

**DESIGN OF MODERN SELF-ESTABLISHED TOOLS FOR PROCESSING HOLES  
USING METHODS DECISION SUPPORT**

Значний внесок в проектування сучасних металорізальних інструментів зробили такі науковці як: Луців І.В., Нагорняк С.Г., Гевко Б.М., Грицай І.Є., Дзюра В.О., Шарик В.М. [1-8]. Існує цілий ряд перспективних самоустановлювальних інструментів розроблених науковцями ТНТУ.

На машинобудівних підприємствах застосовують різноманітні конструкції самоустановлювальних інструментів для обробки отворів, які можна розділити на три групи:

- 1) плаваючі дволезові блоки, які переміщуються в одній діаметральній площині в пазах жорстко закріплених оправок;
- 2) коливальні оправки та інструменти, які здатні повертатися відносно точки повороту на певний кут;
- 3) плаваючі самоустановлювальні розвертки, оправки та патрони з інструментом, які можуть переміщуватися в двох взаємно перпендикулярних площинках та компенсувати неспівпадіння осей інструменту та оброблюваної поверхні.

За результатами морфологічного аналізу, проведеного в роботі [4], можна стверджувати, що кількість можливих варіантів конструкцій сягає 3024 можливих комбінацій компонентів нових самоустановлювальних інструментів для обробки отворів з неперпендикулярним торцем. Основними перевагами методу є його багатоваріантність, до недоліків можна віднести наявність поряд з реальними комбінаціями нереальних альтернатив.

Проте обрати найбільш доцільні та раціональні варіанти, визначити необхідність впровадження у виробництво нових конструкцій, можливо лише із застосуванням сучасних методів підтримки прийняття рішень.

Один з найпоширеніших на сьогоднішній день метод підтримки прийняття рішень – метод аналізу ієрархій та мереж, розроблений Сааті, реалізований, зокрема, у СППР SuperDecisions. Ця комп'ютерна система прийшла на зміну відомому у недалекому минулому програмному продукту ExpertChoice. Система призначена для розрахунку відносної ефективності (вагомості) альтернатив на основі їхньої багатокритеріальної оцінки. Граф ієрархії критеріїв у загальному випадку включає чотири підграфи: переваги (B – benefits), можливості (O – opportunities), витрати (C – costs) та ризики (R – risks) [1-3].

Відомий американський фахівець з системного аналізу Т. Сааті запропонував шкалу відносної важливості або переваги одного об'єкта перед іншим. Причому оцінка виконується експертом або ОПР. Тому шкалу називають психометричною. Шкала дозволяє порівнювати чинники з різною кваліметричною основою. Шкала Сааті дозволяє отримати раціональні співвідношення між чинниками різної природи [1-3].

Вибір дискретної шкали "1-9" для оцінки порівняльної міри важливості (значущості або рівня переваг), одержуваної в результаті висловів думок експертом,

ґрунтується на таких передумовах. 1. Якісні відмінності значущі на практиці і володіють елементом точності, коли величина параметрів порівнюваних об'єктів одного порядку або об'єкти близькі за властивістю, за якою вони порівнюються. 2. Психометричні властивості людини дозволяють достатньо добре проводити якісні розмежування мір властивостей об'єктів за такими рівнями: немає відмінності, слаба відмінність, сильна відмінність, дуже сильна відмінність, абсолютна відмінність. Так були отримані дев'ять рівнів ступенів відмінності, які можуть бути добре узгоджені. 3. У психології існує поняття психологічної межі здатності людини одночасно розрізняти певну кількість предметів за якою-небудь властивістю. Ця межа рівна  $7 \pm 2$ , тому для створення шкали, на якій ці об'єкти будуть помітні, знадобилося 9 точок.

Можна припустити, що шкалу Сааті можна використовувати для визначення важливості та пріоритетності використання тих чи інших варіантів конструкцій самоустановлювальних інструментів у виробничому процесі. Проте складним для більшості випадків є опрацювання результатів експертного оцінювання. Для цього існує значна кількість програмних засобів, які значно пришвидшують і унаочнюють результати. Серед останніх світових розробок СППР слід згадати: ExpertChoice, SuperDecisions, DecisionLens, D-Sight, Promethee, ОЦЕНКА И ВЫБОР, СОЛОН та їхні модифікації.

#### **Література:**

1. Вовк І.П. Креативний менеджмент. Курс лекцій / Укладачі: І. П. Вовк, Ю. Я. Вовк // Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2015. – 120 с.
2. Вовк І.П. Особливості впровадження заходів ресурсозбереження та методика визначення їх ефективності на машинобудівних підприємствах в контексті ресурсономії / І.П. Вовк // Вісник Сумського державного університету. Серія Економіка. – 2012. – № 4.- С. 107-117.
3. Вовк Ю. Дослідження можливості застосування психометричної шкали Сааті в системах управління ресурсозбереженням / Юрій Вовк, Ірина Вовк, Назарій Лучинський // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції „Інноваційні засади управління підприємствами в умовах сталого розвитку“, 25 березня 2016 року. – Т., 2016 – С. 22.
4. Вовк Ю.Я. Самовстановлювальні інструментальні блоки з пружними зв'язками для обробки отворів / Ю.Я. Вовк. – Тернопіль, 2007. – 195 с.
5. Грицай І.Є. Ймовірнісний метод оцінювання впливу подачі на шорсткість поверхні, отриманої в процесі різання пластичних сплавів / І.Є. Грицай, П.Д. Кривий, В.О. Дзюра, В.А. Яцюк // Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції «прогресивні технології в машинобудуванні», (м. Львів, 2-6 лютого 2015 року) Львів, Львівська політехніка. 2015. – С. 35-37.
6. Луців І. Система керування багаторізцевою головкою для тонкого точіння з пружними напрямними / І. Луців, В. Шарик // Збірник тез доповідей XVII наукової конференції ТНТУ ім. Івана Пулюя, 20-21 листопада 2013 року. – Т.: ТНТУ, 2013. – Том II: Матеріалознавство та машинобудування. – С. 34.
7. Луців І. Точність отворів з похибкою перпендикулярності торця при обробці самовстановлювальними інструментальними блоками з пружними зв'язками / І. Луців, Ю. Вовк // Матеріали XII наукової конференції ТДТУ ім. Ів. Пулюя, 14-15 травня 2008 року – Т. : ТДТУ, 2008 – С. 19.
8. Патент 22495 UA, МПК В21С 37/15. Пристрій для обробки напівкруглих шліцевих пазів [Текст] / Дзюра Володимир Олексійович, Гевко Іван Богданович, Гевко Богдан Матвійович (Україна) - опубл. 25.04.2007.

**УДК 004.94**

**А.В. Гагалюк, канд. техн. наук**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

## **ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ FUSION 360 В НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЦЕС**

**A. Gagaliuk, PhD.**

### **PERSPECTIVES FOR FUSION 360 IMPLEMENTATION IN EDUCATION PROCESS**

В технічних ВНЗ України студентів-механіків навчають різним САПР, таким як Компас-3D, SolidWorks, AutoCAD, Inventor, T-Flex. Здебільшого це відбувається в бакалаврській програмі підготовки.

Для підготовки кваліфікованого студента, який був конкурентоздатним, хоча б 5 років після закінчення ВНЗ, навчання має проводитись з використанням сучасних САПР, які часто вимагають оновлення комп'ютерного обладнання. Для ВНЗ це постійні витрати. Тому перед кафедрою постала проблема, як в наших умовах, на відносно старих комп'ютерах навчити студента сучасній і перспективній САПР. Ми знайшли вирішення цієї проблеми. Це провадження в навчальний процес нового продукту компанії Autodesk – Fusion 360, який ґрунтується на хмарних технологіях. Чому саме Fusion 360?

Серед розробників САПР компанія Autodesk декілька років підряд надає для навчання безкоштовні ліцензії терміном на 3 роки на всі свої програми без обмеження функціоналу. Для цього потрібно лише зареєструватися на офіційному сайті компанії. Autodesk добре відомий багатьом інженерам, конструкторам, дизайнерам, в першу чергу тим, що у 1982 р. запропонував універсальний засіб моделювання AutoCAD, який для того часу був революційним.

В 2013 році компанія Autodesk повторила революцію, якою без перебільшення є Fusion 360. Ринок САПР перенасичений і пропонує великий вибір. Проте, Fusion 360 це не САПР в класичному розумінні, а комплексний CAD/CAE/CAM інструмент для промислового дизайну та машинобудівного проектування. В ньому поєднано найкращі напрацювання компанії за всю історію і він потребує значно менших вимог до ПК, ніж Inventor, SolidWorks чи CATIA. 64-х розрядного Windows і 3Гб RAM буде достатньо, оскільки для обчислень може використовуватися віддалений сервер. В Fusion 360 зосереджений весь набір програмних модулів, який дозволяє швидко перейти від ідеї створення об'єкту до прототипу. Він буде корисний як школярам так і науковцям. Слоган програми так і звучить: ВІД ІДЕЇ ДО ПРОТОТИПУ. Це не перебільшення. В Fusion 360 доступні палітри інструментів (рис.1) для 2D і 3D моделювання (MODEL), моделювання криволінійних поверхонь (PATCH), візуалізації (RENDER), анімації (ANIMATION), симуляції (SIMULATION), створення керуючих програм для верстатів з ЧПК (CAM) та отримання креслень (DRAWING). Інтерфейс інтуїтивний, а команди вміло згруповані за типом виконуваної роботи. Дослідників зацікавлять середовища RENDER, ANIMATION, SIMULATION і CAM.

RENDER надзвичайно потужний інструмент візуалізації. Надає об'єкту надзвичайно реалістичного вигляду не лише вигляду певного матеріалу, а ще й фізичні властивості. Дозволяє задавати освітлення, задній фон тощо. В ANIMATION є можливість проводити автоматичне і ручне рознесення збірок, зробити вашу збірку динамічною.

У модулі SIMULATION можемо досліджувати напружено-деформований стан (прогин, тиск, внутрішні напруження, запас міцності), частоти моделі, де враховуються

масові характеристики та вібрації. Можемо визначити реакцію моделі на теплові навантаження при граничних умовах. Результати включають температуру та тепловий потік. Визначити температуру і розподілу напружень в моделі в результаті термічних і структурних навантажень.

В модулі САМ (рис.1) користувач може змодельовати механічну обробку деталі на верстаті з отриманням керуючої програми для контурного і об'ємного фрезерування, свердління, багатоосьової й токарної обробки, лазерної порізки. Fusion 360 підтримує всі існуючі системи ЧПК як Fanuc, Haas, Siemens, Tormach, Datron, Heidenheim тощо.

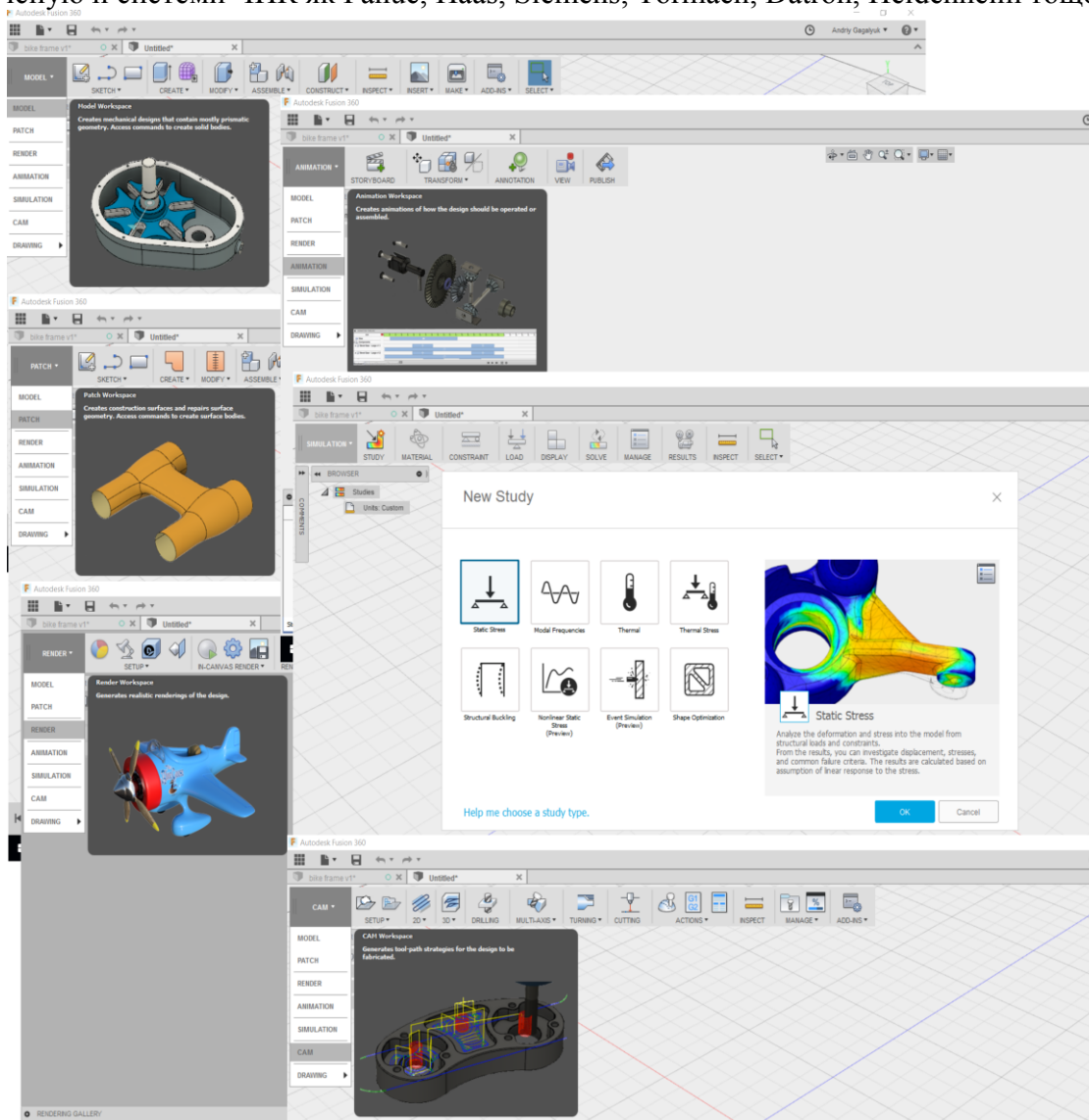


Рисунок 1. Інтерфейс Fusion360 при вмиканні кожного з робочих середовищ

Користувачу для роботи над своїми проектами достатньо зайти в свій обліковий запис, де зберігаються файли. Завдяки платформі Fusion 360 розробники можуть працювати над спільним проектом в режимі реального часу. Таким способом викладач може створити проект для кожного студента, щоб бачити його активність над проектом.

В процесі навчання студенти вивчають комплекс професійно – орієнтованих дисциплін, які передбачають використання різного програмного забезпечення. Модулі Fusion 360 можна використати у вивченні більшості технічних дисциплін забезпечивши логічність та цілісність навчального процесу.

УДК 621.87

Б.М. Гевко, докт. техн. наук, проф.; Ю.І. Пиндус, канд. техн. наук, доц.;  
П.В. Босюк

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРОБКИ ГАЛЬМІВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ОБГІННОЇ МУФТИ

B. Hevko, Dr., Prof.; Y. Pyndus, Ph.D., Assoc. Prof.; P. Bosiuk

## THEORETICAL JUSTIFICATION THE PROCESSING BRAKING ELEMENT OF OF FREE-WHEELING CLUTCH

Муфти входять до складу більшості сільськогосподарських агрегатів та механізмів і мають значний вплив на їх експлуатаційні і технічні характеристики. Поряд із передачею обертового руху муфти виконують ще й інші функції. Зокрема це захист від перевантаження, компенсація зміщень з'єднаних валів, амортизація поштовхів, ударних навантажень та вібрацій, що супроводжують роботу різного роду машин та механізмів. При проектуванні нових конструкцій муфт постійною є проблема вибору їх оптимальних параметрів в залежності від їх співвідношення, умов експлуатації, бажаних функціональних характеристик та багатьох інших факторів.

Робота приводу двохсторонньої дії (обгінної муфти) (рис. 1) здійснюється наступним чином. Обертовий момент передається від привідної зірочки 1 на зовнішню обойму 2, стакан 7 і розрізні циліндричні гальмівні сектори 4. Останні передають обертовий момент на гальмівні елементи 12 і вал 3, який обертає робочий орган (на кресленні не показано).

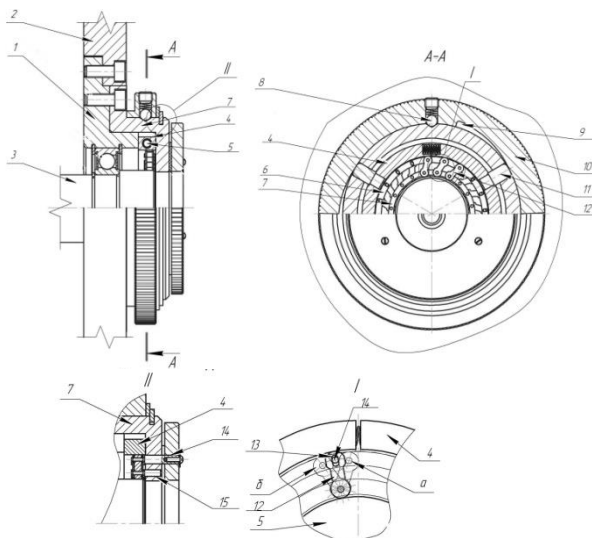


Рис. 1. Обгінна муфта двохсторонньої дії  
переміщення. Якщо гальмівні елементи 12 в механізмі знаходяться під нахилом вправо (поз. а, фіг. 1), то вал 3 вільно обертається проти годинникової стрілки. Зворотній рух вала неможливий через заклинювання гальмівних елементів 12 між сегментом 4 та валом 3. Для зміни руху вала 3 необхідну повернути кільце таким чином, щоб направляючі пальці 8 опинилися у виїмці тим самим циліндричні гальмівні сектори 12 за допомогою пружин 5 збільшують свій внутрішній діаметр і звільняють гальмівні елементи від навантаження. За допомогою шайби переміщують верхній сепаратор 6 вліво (поз. б, фіг. 1), для чого виконані розгінні пази. Кільце 10 повертається назад до фіксації його кулькою 8. При цьому вал 3 вільно обертається в протилежну сторону (за

Нижній сепаратор 7 за допомогою пальців 15 закріплено до стакану 1, а верхній пальцями 14 до шайби. Нижніми отворами гальмівні елементи 12 є у взаємодії з пальцями 14 з можливістю відносного переміщення і які жорстко закріплені до торця внутрішнього сепаратора 7, а верхні розгінні видовжені отвори 13 виконані у вигляді розгінних видовжених пазів, які є у взаємодії з пальцями 14, які жорстко закріплені до торця зовнішнього сепаратора з можливістю відносного

годинниковою стрілкою).

Дана обгінна муфта передає крутний момент за рахунок само заклинювання відповідних гальмівних елементів під час їх контакту із внутрішньою поверхнею зовнішньої обойми пристрою.

Основними параметрами фрез при вибраному матеріалі різальної частини є зовнішній діаметр інструмента, довжина робочої частини, числа зубів і радіус заокруглення  $r$  у торця інструмента.

При чорновій обробці внутрішніх радіусів бажано, щоб залишений на внутрішніх кутах контуру припуск не перевищував 0,15 - 0,25 від діаметра інструмента, що застосовується на чистовому переході. Виходячи з такої умови, найбільш можливий діаметр фрези для чорнового переходу (рисунок 6.11) визначається залежністю:

$$n \cdot S^{y_v} = 318 C_v \cdot D_{\max}^{z_{v-1}} \cdot k_v \left( T^m t^{x_v} Z^{m_v} B^{r_v} \right)^{-1}, \quad (1)$$

де  $C_v$  – коефіцієнт швидкості різання, що характеризує нормативні умови роботи;  $k_v$  – сумарний коефіцієнт, що враховує різницю з нормативними умовами обробки;  $T$  – стійкість інструмента, хв.;  $t$  – глибина різання, мм;  $S$  – подача (мм/об., мм/зуб, мм/двійний хід, мм/хв.);  $Z$  – число різальних кромок;  $B$  – ширина різання, мм;  $n$  – частота обертання, об/хв.;  $m, x_v, y_v, z_v, n_v, r_v$  – показники степеня.

Для забезпечення жорсткості інструмента бажано, щоб його діаметр відповідав умові  $H \leq 2,5D$ , в іншому випадку обробку проводять за кілька проходів. Довжина різальної частини інструмента для обробки напіввідкритих і закритих зон  $L=H+(5...7)$  мм, а для обробки зовнішніх і внутрішніх відкритих контурів  $L=H+r+5$  мм, [1].

Швидкість обробки визначають за загальновідомою залежністю:

$$g = \frac{C_g D^q}{T^m t^x S^u z^p} k_g, \quad (2)$$

Подачу на зуб для кожного робочого ходу вибирають мінімальну з чотирьох можливих:

$$S_z = \min[Sz_1, Sz_2, Sz_3, Sz_4], \quad (3)$$

де  $Sz_1$  - подача, що визначається по заданій шорсткості в залежності від глибини і ширини різання;  $Sz_2$  - подача, яка залежить від допустимого відтиску  $[\Delta]$  інструмента;  $Sz_3$  - подача, яка визначається як функція міцності інструмента;  $Sz_4$  - подача, допустима по потужності електродвигуна приводу головного руху.

Величини подач визначаються за залежностями:

$$Sz_1 = C_1 D t^{-0.5} B^{-0.2}, \quad Sz_2 = C_2 \left( \frac{[\Delta] D^4}{Bz(4l+B)(2l+B)^2} \right)^{1.35} \cdot \left( \frac{D}{t} \right)^{1.16}, \\ Sz_3 = C_3 \left( \frac{[\sigma] D^3}{Bz \sqrt{4h^2 l^2 + D^2}} \right)^{1.35} \cdot \left( \frac{D}{t} \right)^{1.16}, \quad Sz_4 = C_4 \left( \frac{N_{oe} \cdot \eta}{Bz \cdot n_0} \right)^{-1.35} \cdot D^{-0.19} \cdot t^{-1.16}, \quad (4)$$

Подальші розрахунки пов'язані з визначенням траєкторії інструмента. Для цього можна застосовувати різні математичні методи: метод аналізу границі; метод, заснований на теорії дискретної геометрії, що дозволяє одержати цифрове зображення поверхні, та інші.

### **Література:**

1. Пат. №87248 Україна, МПК F16D 41/00 (2013.01). Муфта обгону двосторонньої дії / Дзюра В.О., Ляшук О.Л., Дячун А.Є., Босюк П.В.; заявник і патентовласник Дзюра В.О., Ляшук О.Л., Дячун А.Є., Босюк П.В. – № у 2013 11392 ; заявл. 26.09.13; опубл. 27.01.14, Бюл. № 2.

УДК 621.88

Ів.Б. Гевко, докт. техн. наук., проф.; Гудь В.З., канд. техн. наук., проф.;

Т.С. Дубиняк; І.М. Сливка

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

## КОНСТРУКЦІЇ МЕХАНІЗМІВ ЗАХИСТУ ГНУЧКИХ ГВИНТОВИХ КОНВЕЄРІВ

Iv.B. Nevko, Dr., Prof.; V. Hud, Ph.D.; T. Dubynyak; I. Slivka

### ELASTIC SAFETY CLUTCH FLEXIBLE SCREW CONVEYOR

При переміщенні вантажів у гнучких гвинтових конвеєрах (ГГК) виникають різноманітні перевантаження [1], які часто призводять до значних деформацій і поломок гвинтових робочих органів. Тому з метою уникнення цих перевантажень в конструкціях приводів ГГК широко використовують запобіжні муфти [2-3] і завантажувально-захисні насадки [4]. З метою підвищення ефективності захисту від перевантажень ГГК нами розроблено цілий ряд пружно-запобіжних муфт (рис. 1), які забезпечують плавний запуск шнека під час пуску привода та зменшення динамічних навантажень на шнек в процесі перенавантаження. Муфта, зображена на рис. 1.г, виготовлена (рис. 2) і експериментально досліджується.

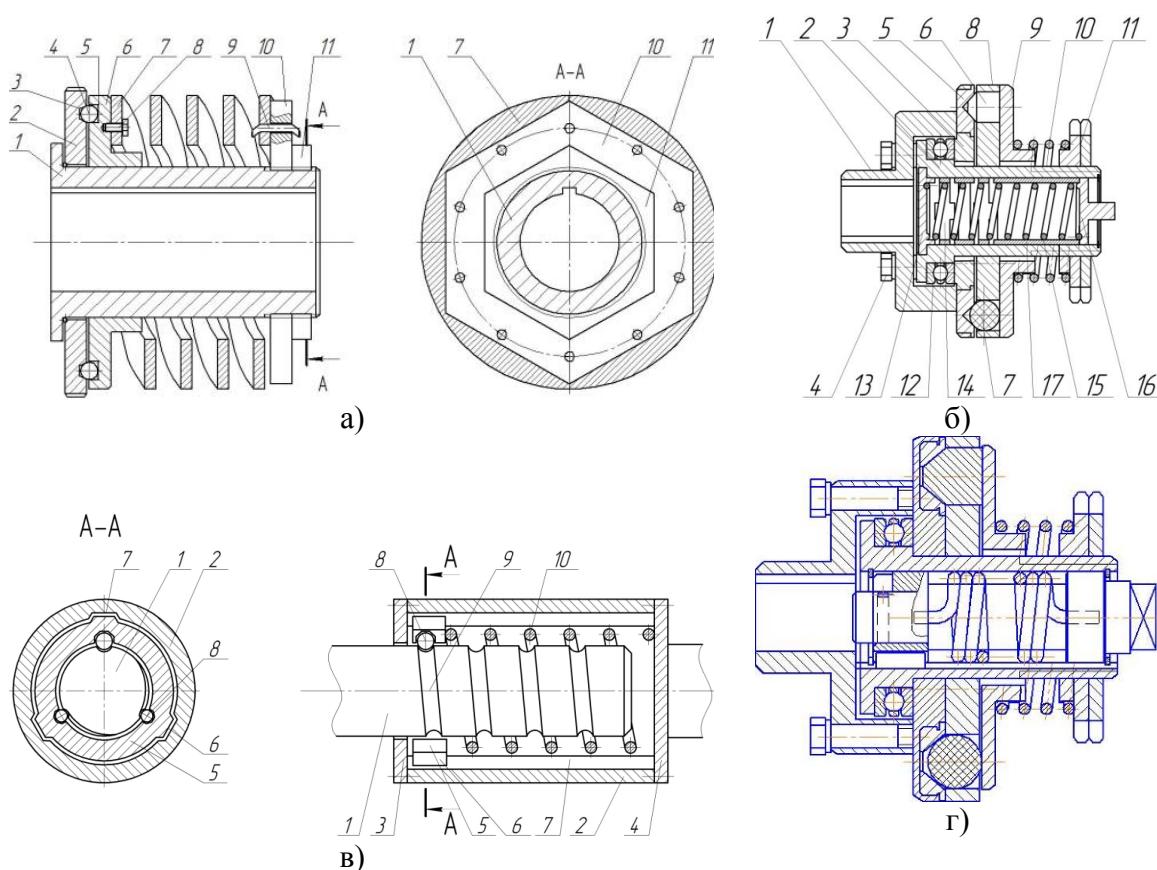


Рис. 1. Пружно-запобіжні муфти: а) пат. України № 112995; б) пат. України № 115032; в) заявка на пат. України № а 2017 02361; г) власна розробка

Найважливім критерієм роботи ГГК вважається продуктивність, максимальну величину якої можна забезпечити оптимальним завантаженням через бункери або насадки. При цьому слід враховувати, що процес транспортування ГГК часто



супроводжується перевантаженнями. Для вирішення цієї проблеми в завантажуючих магістралях ГГК нами розроблені спеціальні завантажувально-захисні насадки (рис. 3).

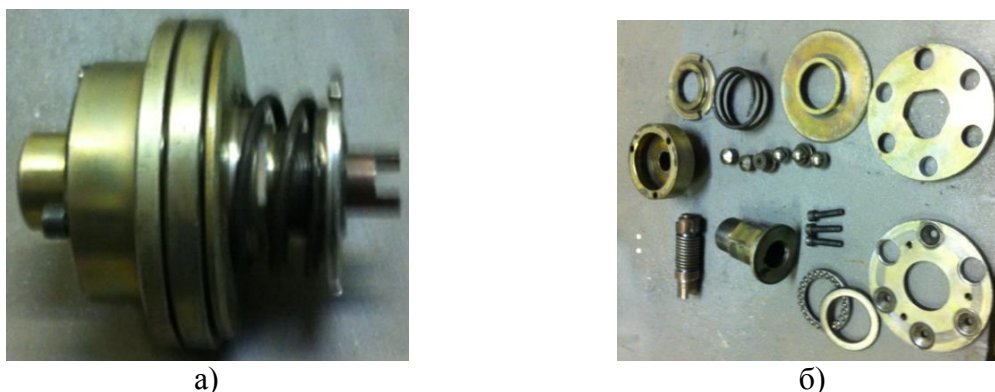


Рис. 2. Досліджувана пружно-запобіжна муфта ГГК власної розробки:  
а) загальний вигляд; б) вигляд муфти в розібраному вигляді

Суть їх роботи полягає в тому, що при перевантаженні конвеєра, коли занадто велика кількість матеріалу потрапляє до магістралі, проходить розтягування спіралі під дією матеріалу, і при розміщені на ній певних елементів це забезпечує перекривання отворів просипання насадок. Так у насадці 2 з наконечником 1 (рис. 3.а), яку закріплено в гнучкому кожусі 5, наприкінці гнучкої спіралі 3 на її зовнішньому контурі розміщено втулку 4, яка під час перевантаження та розтягування спіралі частково перекриває отвори просипання 6, зменшуючи завантаження ГГК. У насадці 3 з наконечником 1 (рис. 3.б), закріпленої в гнучкому кожусі 8, розташовано транспортну спіраль 7, яка закріплена на торці цанги 5, на якій розташовано еластичну спіраль 6. При перевантаженні ГГК та розтягуванні спіралі 7 проходить осьове зміщення цанги 5 у бік конуса 2 з її розтиском, що призводить до деформації еластичної спіралі 6, перекриття отворів просипання 4 і зменшення завантаження.

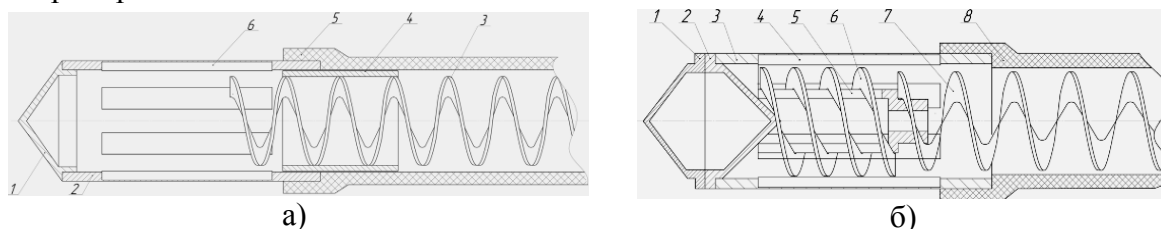


Рис. 3. Конструкції завантажувально-захисних насадок ГГК

### **Література:**

1. Гевко І.Б. Динамічна модель процесу транспортування сипких матеріалів гвинтовим конвеєром / І.Б. Гевко, А.О. Вітровий, О.Я. Гурик // Сільськогосподарські машини: зб. наук. статей. – Луцьк, 2001. – Вип. 8. – С. 72 – 82.
2. Нагорняк С.Г., Гевко І.Б. Синтез кулькових запобіжних муфт сільськогосподарських машин / [С.Г. Нагорняк, І.Б. Гевко] // Вісник НАУ. – Київ, 1997. – С. 113 – 115.
3. Гевко І.Б. Розробка і дослідження низькочастотних пристроїв для виконання технологічних процесів гнучкими гвинтовими конвеєрами : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.20.01 «Механізація сільськогосподарського виробництва» / І.Б. Гевко. – Луцьк, 1997. – 18 с.
4. Гевко І.Б. Аналіз конструкцій і розрахунок завантажувальної здатності насадок гвинтових конвеєрів [Текст] / І.Б. Гевко // Збірник наукових праць Національного аграрного університету. – Київ, 2000. – Т. 7. – С. 160 – 163.

УДК 621.914

Л.Є. Глембоцька; П.П. Мельничук, докт. техн. наук, проф.; Н.О. Балицька, канд. техн. наук

Житомирський державний технологічний університет, Україна

## ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ АКТИВНОЇ ДІЛЯНКИ РІЗАЛЬНОЇ КРОМКИ ТОРЦЕВОЇ ФРЕЗИ З ЦИЛІНДРИЧНОЮ ПЕРЕДНЬОЮ ПОВЕРХНЕЮ НОЖІВ

L. Glembotska; P. Melnychuk, Dr., Prof.; N. Balytska, PhD

### DETERMINATION OF ACTIVE REGION CUTTING EDGE FACE CUTTERS WITH CYLINDRICAL FRONT SURFACE OF THE BLADES

В попередніх дослідженнях авторів з метою підвищення стійкості та розширення технологічних можливостей було запропоновано конструкцію торцевої східчастої фрези (ТФ), що складається з тороїдального корпусу, в якому встановлені з можливістю повороту різцеві вузли з ножами циліндричної форми. Ножі фрези розташовані на просторових кривих, торцеві проекції яких представляють собою ділянки спіралі Ферма. Ніж ТФ має циліндричну передню поверхню, та плоску – задню.

Використання ножів такої форми дозволяє забезпечити: вільне косокутне різання; зменшення об'ємного питомого тиску на різальну кромку ножа через значно більшу її довжину; зміщення ділянки зносу від різальної кромки, на відміну від стандартних фрез; зниження шорсткості обробленої поверхні; підвищення періоду стійкості, що зростає зі збільшенням міцності оброблювального матеріалу.

Запропонована конструкція ТФ дає змогу налагоджувати ножі на різні діаметри та/або глибини різання, тобто виникає можливість забезпечення різних схем різання з поділом товщини зрізу (або подачі) шляхом вибору кута нахилу осі циліндричних ножів, що забезпечує змінні глибини різання. Також є можливість створення різних східчастих схем різання з поділом ширини зрізу (глибини різання), таким чином забезпечується як різна подача, так і глибина різання. Такі схеми різання забезпечують динамічну стабільність процесу різання, розширення технологічних можливостей торцевих фрез, підвищення як продуктивності обробки, так і стійкості інструмента.

Оскільки величина сил різання пропорційна об'єму зрізуваного шару, то виникає необхідність визначення координат активної ділянки різальної кромки довільного ножа ТФ. Це дозволить в подальшому створити математичну модель навантаження кожного ножа ТФ. Результати зазначеного дослідження для умов генераторної схеми різання, яка властива для окремої ступіні східчастої схеми наведені в даній роботі.

Координати початкової (А) та кінцевої (В) точок активної ділянки різальної кромки:  $X_{A(B)} = \rho \cdot \cos \delta \mp r_{\text{ножа}} \cdot \sin^{\mu}/2$ ;

$$Y_{A(B)} = \rho \cdot \sin \delta - r_{\text{ножа}} \cdot \cos^{\mu}/2$$

$$Z_{A(B)} = r_{\text{тора}} - (r_{\text{тора}} + \Delta r) \cdot \cos \eta - r_{\text{ножа}} \cdot \cos^{\mu}/2 \cdot \sin \alpha_N$$

де  $\rho$  – радіус центра задньої поверхні ножа;  $\delta$  – кут, що визначає миттєве положення точки різальної кромки в торцевій площині ТФ ( $\delta = [0^{\circ}.. \psi]$ ), де  $\psi$  – кут контакту;  $\eta$  – кутове розташування ножа відносно осі тороїдального корпусу;  $\mu$  – кут активної ділянки різальної кромки;  $r_{\text{тора}}$  – радіус тора;  $\Delta r$  – відстань центру ножа відносно радіуса тора:  $\Delta r = 7,2 \cdot \text{tg} \alpha_N - r_n \cdot \sin \alpha_N$ .

В подальших дослідженнях планується визначити координати активних ділянок різальних кромок ножів всіх ступенів ТФ зі східчастими схемами різання, товщини різання та об'єм шару, що зрізається, кожним ножем.

УДК 621.83:621:9.06

І.Є. Грицай, докт. техн. наук, проф.; С.І. Громнюк; В.І. Волошин  
НУ «Львівська політехніка»

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС З АСИМЕТРИЧНИМИ ЗУБЦЯМИ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ

**I. Hrytsaj, Dr., Prof.; S. Hromnjuk; V.Voloshyn**

### THE RESEARCH GEARS WITH ASYMMETRIC TEETH AND ITS PRODUCTION TECHNOLOGY

Зубчасті передачі, як безальтернативний для більшості галузей машинобудування засіб передачі і перетворення руху перебувають у стані перманентного покращення. Поряд із створенням нових зубчастих передач та видів зачеплення останнім часом набув поширення інший напрямок їх удосконалення: надання зубцям коліс асиметричної форми. Встановлено, що завдяки асиметрії профілів зубчасті передачі набувають вищої навантажувальної здатності та мають більший опір згинанню і циклічній втомі [1-4]. Це означає, що при передаванні однакових обертових моментів редуктори з зубчастими колесами з асиметричними зубцями можуть мати значно менші габарити і масу, що важливо для сучасних машин, а особливо - для транспортних галузей машинобудування.

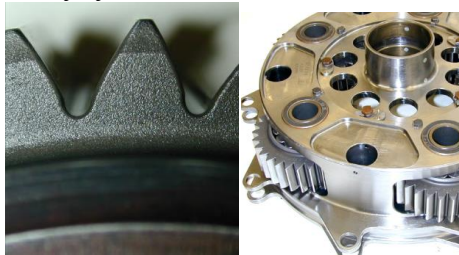


Рис.1. Асиметричні зубці евольвентного колеса та блок коліс з асиметричними зубцями планетарного редуктора гелікоптера

У наш час серійне виготовлення коліс з асиметричними зубцями здійснюється з допомогою традиційного методу – нарізанням черв'ячними фрезами. Проте, черв'ячні фрези, які належать до складних та вартісних інструментів, для нарізання асиметричних зубців повинні виготовлятися з різними кутами верстатного зачеплення і різними кутами початкової контури по лівих і правих профілях, що ускладнює процеси їх виготовлення, затилування та переагострення та значно збільшує вартість цих інструментів.

Разом з тим, існує можливість виготовляти такі колеса з допомогою значно простішого та ефективнішого способу, істотно зменшивши витрати. Це – радіально-коловий спосіб зубонарізання (РК-спосіб), яким можна виготовляти зубчасті колеса практично усіх типів та видів на одному обкочувальному зубофрезерному верстаті з допомогою тонкої дискової фрези, при цьому один інструмент використовується для нарізання коліс з різними значеннями модулів. Суть цього методу полягає у зміщенні геометричної та кінематичної осей фрези, тобто, в ексцентричному її встановленні на осі інструментального шпинделя. Величину ексцентриситету, який еквівалентний модулю, можна змінювати в широкому діапазоні, а нарізання коліс, прямо- чи косозубих здійснюється при тій же налагодці верстата, що й для черв'ячної фрези.

Ще однією перевагою цього способу є можливість нарізати на одному зубофрезерному верстаті одним інструментом шевронні циліндричні колеса з мінімальним зазором між різноїменними вінцями, конічні та черв'ячні колеса, колеса з

гвинтовими зубцями, колеса із внутрішнім зачепленням, для цього необхідне додаткове нескладне верстатне спорядження. Цей спосіб досліджується та впроваджується протягом багатьох років на кафедрі технології машинобудування Львівської політехніки і висвітлений у багаточисельних публікаціях.

У РК-способі профілювання, внаслідок особливостей кінематики процесу зубці мають синусоїдальний профіль. Разом з тим, зміною закону руху фрези в радіальному напрямку, наприклад, з допомогою окремого сервоприводу періодичного лінійного зворотно-поступального переміщення блоку з дисковою фрезою, можна забезпечити профілювання за будь-яким законом, зокрема, евольвенти, кола, формувати зубці з кутовою і висотною корекцією, модифікованням по ширині зубця тощо.

Для виготовлення коліс, які мають асиметричний профіль, у радіально-коловому способі необхідно фрезу, якій надано радіальне зміщення, також змістити в осьовому напрямку на певну величину  $\Delta_x$ , яка рівна величині асиметрії профілю (рис.2).

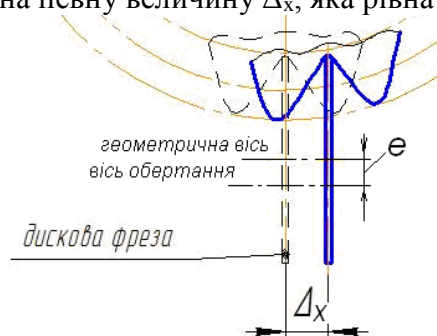


Рис.2. Нарізання асиметричних зубців РК-способом

Рівняння синусоїдального асиметричного зубця має вид:

$$\begin{cases} x_2 = \left( \frac{m \cdot Z}{2} + \Delta_x + e \cdot \cos\left(\frac{\varphi}{Z\varphi}\right) \right) \cdot \cos \varphi - b \cdot \sin \varphi; \\ y_2 = -\left( \frac{m \cdot Z}{2} + e \cdot \cos\left(\frac{\varphi}{Z\varphi}\right) \right) \cdot \sin \varphi - b \cdot \cos \varphi; \\ z_2 = e \cdot \sin\left(\frac{\varphi}{Z\varphi}\right) + \psi, \end{cases}$$

де  $b$  і  $Z_{fp}$  – відповідно, ширина і кількість зубців дискової фрези.

Види зубців та зубчасті колеса, отриманих таким способом наведені на рис.3.

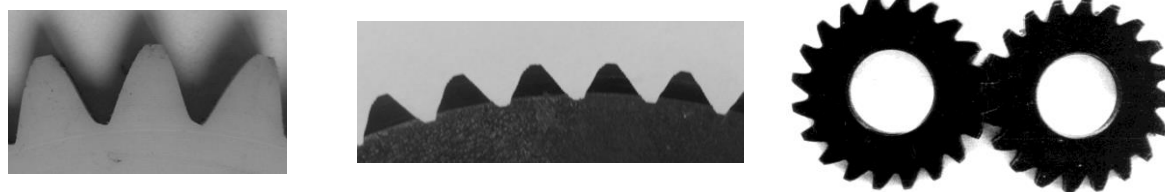


Рис.3. Форми синусоїдальних коліс з різними величинами асиметрії профілів

#### **Література:**

1. Kapelevich, A.L. "Geometry and Design of Involute Spur Gears with Asymmetric Teeth," *Mechanism and Machine Theory*, 35 (2000), 117–130.
2. Kapelevich A.L. *Direct Gear Design* / A. L. Kapelevich. - CRC Press, 2013. - 324 p.
3. Kapelevich A.L., Shekhtman Y. V.. Tooth Fillet Profile Optimization for Gears with Symmetric and Asymmetric Teeth. *Gear Technology*. September/October, 2009, 73 – 79.
4. Грицай І.Є., Кук А.М., Климаш І.В. Дослідження зубчастих коліс з асиметричним профілем та технологія їх виготовлення радіально-коловим способом. // *Прогресивні технології в машинобудуванні Зб. наукових праць У1-ї Міжнародної науково-технічної конференції*. - Львів-Карпати, 6-10 лютого 2017 р. – С.32-34.

УДК 621.9

О.В. Грубнік; І.С. Березкін, учень МАН; Д.О. Дмитрієв докт. техн. наук, проф.  
Херсонський національний технічний університет

## ТЕХНОЛОГІЯ КОМПЛЕКСНОЇ ПЕРЕРОБКИ І ФОРМУВАННЯ НАДСКЛАДНИХ ВИРОБІВ З ПЛАСТИКУ В ЗАМКНЕНОМУ ЦИКЛІ

A. Grubnik; I. Berezkin; D. Dmitriev, Dr., Prof.

### TECHNOLOGY FOR COMPLEX PROCESSING AND THE FORMATION OF A PLASTIC FIGURINE PRODUCT IN A CLOSED LOOP

Щорічно на виготовлення пластикової продукції йде близько 4 320 000 000 барелів нафти, попри це середньосвітовий відсоток пластику, який проходить рециклінг не перевищує 20%. В першу чергу, це пов'язано з тим, що обсяги споживання пластикової продукції випереджують обсяги її переробки та повторної інтеграції у товарообіг [1].

**Мета дослідження.** Розробити технологію і надати пропозиції щодо забезпечення обладнанням для переробки та виготовлення надскладних виробів з пластику у непромислових умовах.

В традиційних технологіях переробки існують наступні недоліки переробчих комплексів: штат працівників – 6...8 осіб; велика площа переробчих підприємств – 400..600 кв.м; значні енерговитрати при процесі – 70кВт/год; загальна вартість комплексу продуктивністю 0.7т/год сягає близько \$230 000

На основі проведеного теоретичного дослідження обраний шлях використання механізмів на основі паралельно-кінематичних структур, як основних ланок комплексу для рециклінгу, заради максимальної автоматизації процесу (Рис.1, а).

Представлена схема технологічної дільниці з застосуванням приладів використовуючих кінематику дослідженого типу (Рис.1, б).



Рис.1. Запропоновані технологічна і компонувальна схема рециклінгу виробів з пластику із залученням програмно-керованих механізмів з паралельною структурою

Програмні недоліки традиційних машин для 3d друку в купі з обмеженістю рухів робочого органу через конструкцію приладу провокують утворення ступінчастих поверхонь та видимого розшарування моделей (Рис.2, а). Продуктом роботи програми-постпроцесора (Слайсера) є файл, який містить у собі команди безпосереднього керування приладом (Рис.2, д G-код). Складнощі програмного процесу генерації G-коду негативно позначаються на якості кінцевих виробів (Рис. 2, в). Вдосконалення траєкторії руху екструдера можливе за рахунок орієнтації сопла до нормалі складних

поверхонь (Рис. 2, б). Згідно з визначеною траєкторією сопла екструдера відбувається моделювання переміщення рухомого органу та відповідно вирішення зворотної задачі кінематики [2, 3]. Розрахунок рухів переміщень кареток приводів проведено в інтерактивному програмному модулі ToolsGLIDE [4] Вхідний файл (MPN-файл) модуля ToolsGLIDE містить масив значень координат траєкторії переміщення рухомого органу створюваної моделі (Рис.2, г).

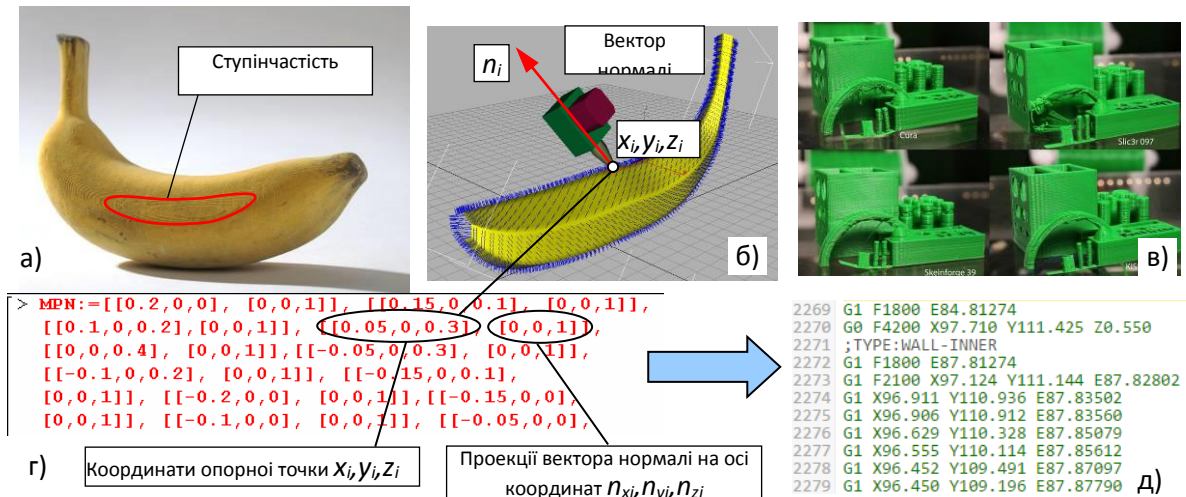


Рис. 2. Схема підвищення якості виробів з пластику шляхом програмного і кінематичного удосконалення

За допомогою програми ToolsGLIDE [4, 5] проведено моделювання переміщень рухомих кареток паралельно-кінематичних компонок зі зведеними та паралельними напрямними ланками для типових траєкторій (Рис.3).

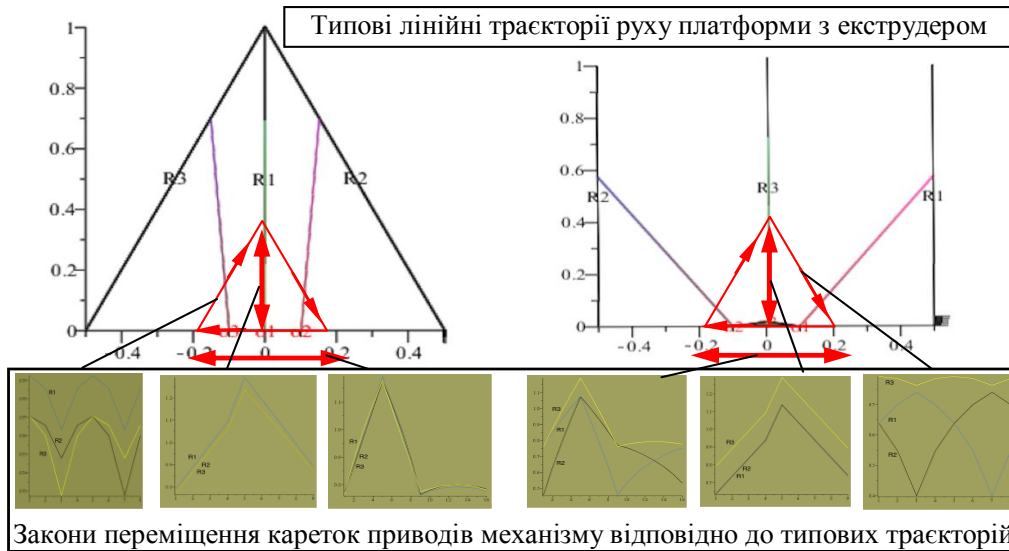


Рис. 3. Розрахунковий експеримент пошуку раціональних компонок обладнання

Розроблено прилад для швидкого прототипування методом наплавлення з розширеними можливостями робочого органу (рис.4). За основу приладу взята кінематична структура типу „Дельта”, переміщення якої було синхронізовано з роботою керувального модуля екструдера на основі мікроконтролера Arduino UNO.

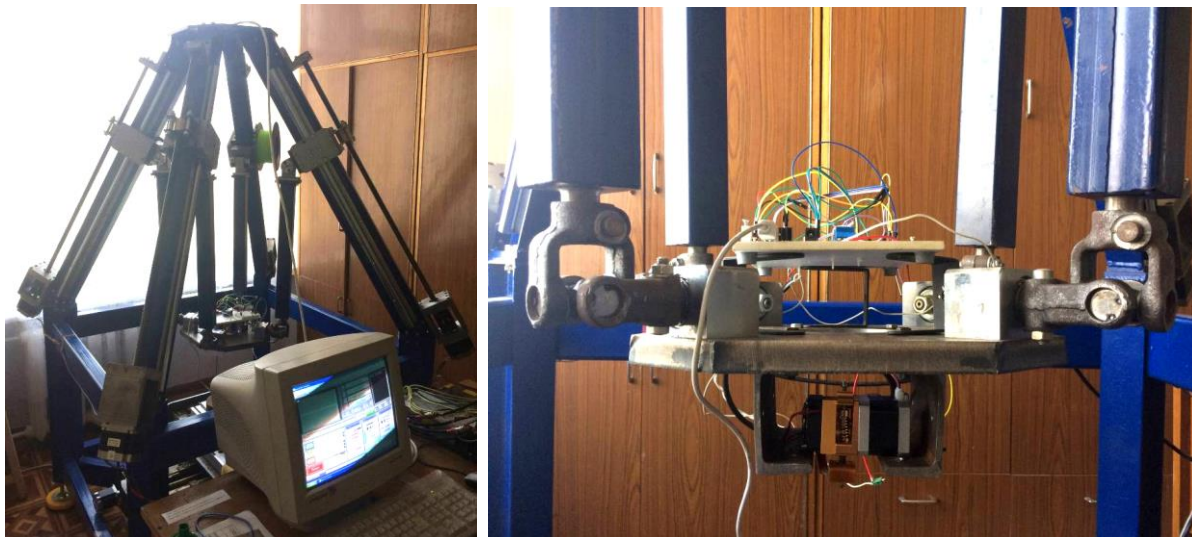


Рис.4. Виготовлений верстат з паралельною кінематикою і змонтований пристрій 3d друку на рухомій платформі, що має додаткові поворотні координати (кафедра транспортних систем і технічного сервісу ХНТУ)

**Висновки.** У роботі проведено аналіз якісних складових та обсягів утворення вторсировини в Україні. Запропонована практична та перспективна технологія методом наплавлення (FDM-друку) до залучення у розроблювану схему рециклінгу. Побудований дослідний зразок FDM принтеру з розширеними можливостями підходу екструдера до робочої поверхні.

#### **Література:**

1. Березкін І.С., Грубник О.В. Проблеми переробки пластикових відходів та теоретичне обґрунтування створення альтернативних технологій переробки пластику // Вісник Херсонського національного технічного університету. - № 2(57). - Херсон: ХНТУ, 2016. - С. 37-41
2. Кузнецов Ю.М. Компонувки верстатів з механізмами паралельної структури: Монографія / Ю.М. Кузнецов, Д.О. Дмитрієв, Г.Ю. Діневич; під ред. Ю.М. Кузнецова. – Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2009. – 456 с.
3. Дмитрієв Д.О., Русанов С.А., Кеба П.В., Півень С.М. Зовнішні модулі для прогнозування та управління складними рухами ланок механізмів паралельної структури // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2016): матеріали тез доповідей VI міжнародної науково-практичної конференції. – Чернігів: ЧНТУ, 2016.– С. 44-47.
4. Комп'ютерна програма “ToolsGLIDE”. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №57913. / С.А. Русанов, Д.О. Дмитрієв, П.В.Кеба, Ю.М. Кузнецов. – Заявл. 03.11.2016; Опубл. 29.12.2016.
5. Русанов С.А., Дмитрієв Д.О. Комплексний аналіз механізмів паралельної структури засобами цільових систем автоматизованого моделювання // Тези доповідей VII міжнародної науково-технічної конференції «Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості фахової освіти», Київ – Херсон, 2016. - С. 152-155.
6. Русанов С.А., Рачинський В.В., Дмитрієв Д.О. Просторовий аналіз шарнірно-стрижневих механізмів для механічної обробки поверхневим зміцненням складнопрофільних деталей. // Матеріали II-ї всеукраїнської конференції «Приладобудування і метрологія. Сучасні проблеми, тенденції розвитку». Луцьк: ЛНТУ, 2016. - С. 81-83.

УДК 621.86

**В.З. Гудь, канд. техн. наук; М.Р. Коневич**

Гусятинський коледж Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Україна

## **ПРИСТРІЙ ДЛЯ НАРІЗАННЯ РІЗИ У ВИТИХ ЗАГОТОВКАХ**

**V. Hud , Ph.D.; M. Konevych**

### **DEVICE FOR SLICING THREAD A TWISTED BLANKS**

Для розточування нежорстких гвинтових заготовок (НГЗ) використовували спеціальну конструкцію пристрою тримача [1], яка забезпечує базування за зовнішньою поверхнею і надійну фіксацію НГЗ без проковзування, повертання та згинання. Тому, можна вважати, що для точіння деформація НГЗ здійснюється лише за рахунок власної зведеної пружності, розрахованої в місці контакту різця із заготовкою.

Спосіб розточування нежорстких гвинтових деталей реалізується після підготовки базової поверхні проточуванням за зовнішньою поверхнею. Деталь встановлювали у спеціальний пристрій (рис. 1, та рис. 2) затисканням у внутрішньому його отворі буртиком притискного диска. Пристрій для розточування виконано у вигляді оправи 1, в середину якої вміщено гвинтову нежорстку деталь 2, яку підтиснуто буртиком притискного диска 3 за допомогою болтів 4, розміщених рівномірно по колу його зовнішнього діаметру. З протилежного боку НГЗ 2 від притискного диска 3 виконано циліндричну виїмку 5 для виходу інструменту, а притискний диск відносно торця оправи встановлено із зазором S. Базування та закріплення НГЗ 2 у внутрішньому отворі оправи 1 здійснюється у розтягнутому стані, оскільки, з розтягуванням нежорсткої гвинтової заготовки на крок її зовнішній діаметр зменшується. Попередньо проточену за зовнішнім діаметром заготовку встановлювали в оправу 1 і стискували притискним диском 3 з використанням болтів. Зовнішній діаметр НГЗ збільшується, остання затискується в оправі зусиллям затиску більшим від зусилля різання для розточування. Внутрішній діаметр оправи 1 вибирали з умови, що він повинен бути меншим зовнішнього діаметру готової деталі на 0,5-2 мм для зручності встановлення та зняття деталі з пристрою.

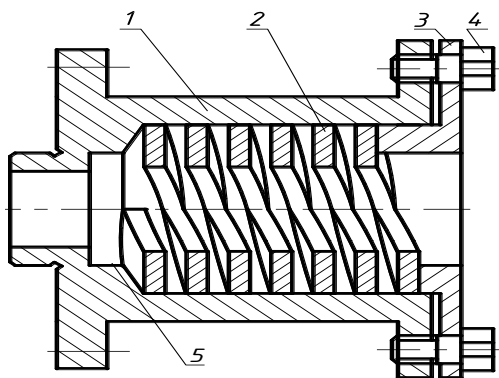


Рис. 1. Конструкція пристрою для розточування нежорстких гвинтових деталей



Рис. 2. Розточна оправка

Неточності виготовлення НГЗ виникають внаслідок неоднорідності матеріалу вихідної штаби, з якої навивається заготовка, різної якості ребер, порушення стабільності процесу навивання та інших факторів, внаслідок дії яких виникають



похибки. Як відомо, близько 100% всіх оброблюваних деталей знаходяться в інтервалі абсциси  $x=\pm 3\sigma$ , це означає, що відхилення дійсних розмірів від середнього розміру майже всіх виготовлених деталей знаходиться в межах від  $+3\sigma$  до  $-3\sigma$ , тобто, абсолютна величина відхилень дорівнює  $6\sigma$ . В процесі використання НГЗ для високоточних механізмів, зокрема, елементів шнекових машин точних гвинтових пар та інших, робочий орган, виготовлений методом навивання, не забезпечує потрібної точності, тому виникає необхідність механічного оброблення, обточування, розточування, нарізання нарізок тощо [2, 3].

Для нарізання різі в навитих деталях з мінімальним кроком, тобто рівним товщині стрічки застосовували пристрій (рис. 3), який забезпечує розширення технологічних можливостей і нарізання різі в нежорстких деталях за внутрішнім діаметром. Процес здійснюється обертливим переміщенням заготовки і відносним рухом різця паралельно осі заготовки, причому проточену за зовнішнім діаметром заготовку встановлено в канавку різі з заданим кроком  $T' = H + H'$ , де  $H$  – товщина витка заготовки;  $H'$  – міжвиткова віддаль. Для розточування заготовок без нарізання різі розроблено пристрій встановлений у токарний верстат 16К20 для заготовки  $95 \times 55 \times 3$  мм, де  $D_{зовн} = 100$  мм – зовнішній діаметр НГД,  $d = 55$  мм – внутрішній діаметр,  $H = 3$  мм – товщина НГЗ. Основною частиною пристрою є оправа (рис. 4), виготовлена у вигляді пустотілого циліндру, в торці якого є канавка для виходу різця після закінчення процесу розточування. В оправі притиск заготовки здійснюється за рахунок самостопоріння за зовнішньою поверхнею. З метою запобігання провертання оброблюваної заготовки в торці передбачено зубчасті нарізки, якими заготовка стопориться.



Рис. 3. Світлина пристрою для проведення процесу розточування НГЗ



Рис. 4. Оправа для розточування НГЗ

#### **Література:**

1. Пат. 49467 А Україна, F16B33/00. Спосіб розточування шнекових спіралей і пристрій для його здійснення / Гудь В.З., Гевко І.Б., Лещук Р.Я., Генік І.С. – Заявл. 13.12.2001; Опубл. 16.09.2002; Бюл. № 9. – 2 с.
2. Гевко Б.М., Исследование процесса проточки шнеков / Б.М Гевко, М.И. Пилипец // Технология и организация производства, 1985. – № 3. – С. 18 – 19.
3. Гудь В.З. Технологічне забезпечення механічного оброблення гвинтових нежорстких заготовок / В.З. Гудь – Вісник Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя. – Тернопіль, 2002. – С.26 – 31.

УДК 621.82

Б.В. Гупка, канд. техн. наук., доц.; А.Б. Гупка, канд. техн. наук.;

І.Т. Ярема, канд.тех.наук., с.н.с.; І.В. Кушак

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україн)

## ВИГОТОВЛЕННЯ ПОЛИЧКИ НА ГВИНТОВІЙ ЗАГОТОВЦІ

**B.Gupka, Ph.D, Assoc. Prof.; A.Gupka, Ph.D.; I. Yarema, Ph.D.; I.Kuschak**  
**MANUFACTURING SHELVES ON SCREW WORKPIECE**

Г-подібні спіралі шнеків мають значну перспективу застосування у транспортно-технологічних системах. Зокрема такі спіралі широко використовуються для подачі сухих, вологих, клейких, кускових, волокнистих продуктів у сільськогосподарському виробництві, в харчовій, будівельній, хімічній та інших галузях промисловості тощо. Проте вони володіють додатковими характеристиками, що, в залежності від нахилу спіралі, можуть проявлятися в якості функції збільшення опору переміщення транспортованого матеріалу до поверхні переміщення, чи навпаки – зменшення тертя переміщуваного матеріалу до поверхні переміщення. В першому випадку це явище можна широко використовувати при виконанні процесів протирання чи подрібнення різних матеріалів, а в другому – при виконанні процесів відділення та підрізання різних матеріалів від поверхні переміщення.

Відповідно за таких умов на силу, необхідну для подолання опору переміщення матеріалу, важливе значення має вплив кута нахилу  $\mu$  гвинтової спіралі у її поперечному перерізі (рис. 1). Виходячи з цього найбільш доцільно використовувати спіраль з нахиленим зовнішнім контуром у напрямку транспортування, бо вектор нормальної сили між витком і кожухом  $\vec{N}_1$ , який діє на вантаж зі сторони витка, направлений в сторону від дотичної до кожуха під кутом  $\gamma_1$ .

У радіальній спіралі ця сила практично залишається паралельною дотичній і кут  $\gamma_2$  змінюється в межах близьких до нульового значення. А у спіралі, зовнішній контур якої нахилений у протилежному напрямку до напрямку транспортування, вектор сили перетинається з дотичною під значним кутом  $\gamma_3$ . Якщо величина кута  $\gamma$  близька або рівна куту  $\phi_T$  тертя, то виникає явище заклинювання.

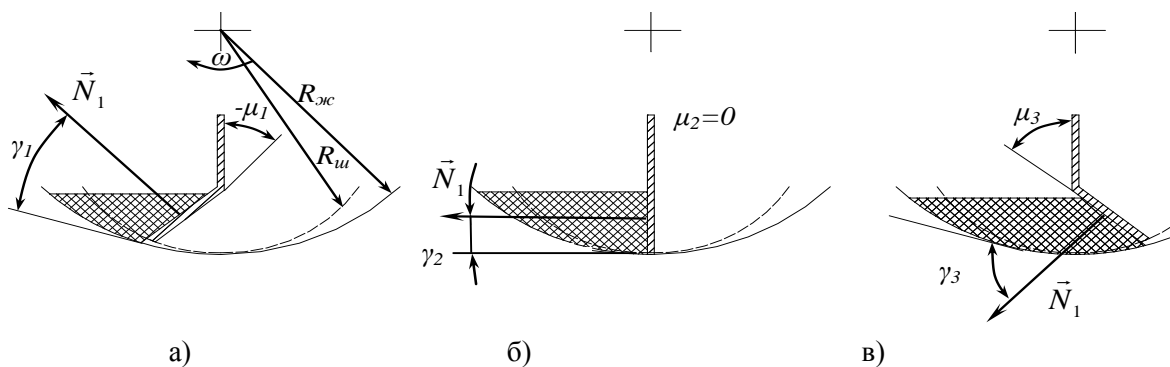


Рисунок 1 - Розрахункові схеми для визначення впливу кута нахилу гвинтової стрічки у її поперечному перерізі на процес заклинювання матеріалу: а) нахил спіралі у напрямку транспортування; б) радіальна спіраль; в) нахил спіралі у протилежному напрямку до напрямку транспортування

В результаті теоретичних досліджень нами було розроблено технологічне оснащення для гнуття полицки на гвинтовій заготовці (рис. 2.). Експеримент проводився на верстаті 16Е16КП, матеріал гвинтової спіралі - сталь 08кп, висота витка спіралі 25мм, кут гнуття полицки  $45^0$ , ширина полицки 10 мм. Дане обладнання також

дає змогу одночасного гнуття полицки та розтягування гвинтової спіралі на відповідний крок.



Рисунок 2 – Загальний вигляд верстата із закріпленим приспособленням.

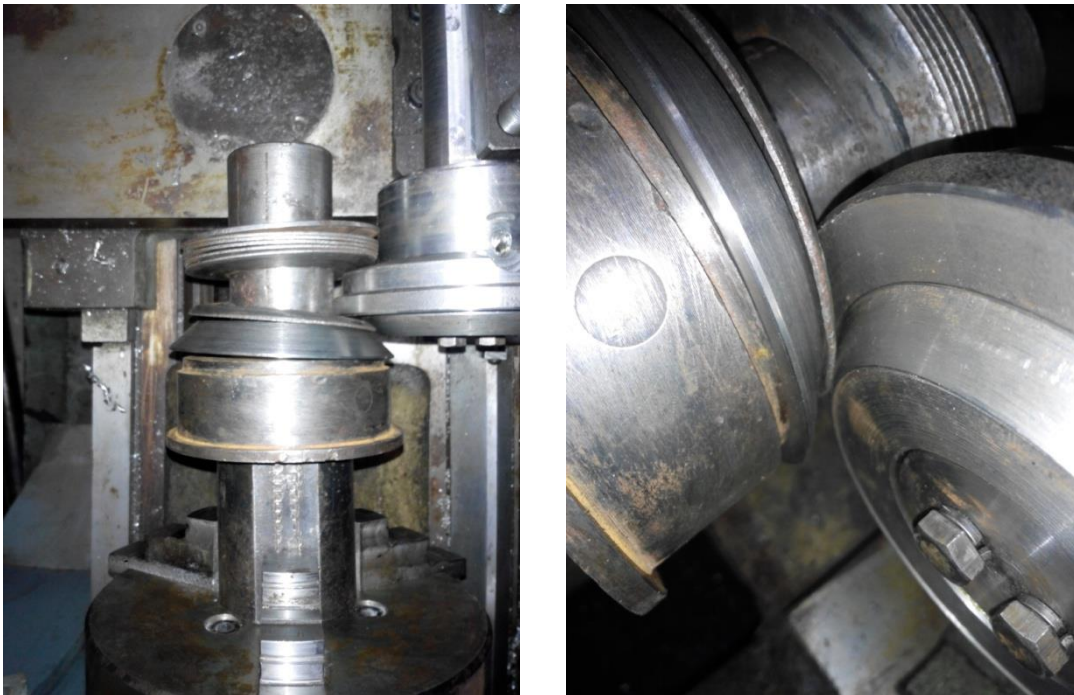


Рисунок 3 – Механізм для гнуття полицки на гвинтовій спіралі

**Література:**

1. Гевко І.Б. Дослідження процесу транспортування вантажів профільними Г-подібними спіралями шнеків / І.Б. Гевко, І.В. Назар, В.В. Васильків // Вісник ТДТУ. – 2001. – Т. 6, № 2. – С. 75 – 80.
2. Механізми з гвинтовими пристроями / [Б.М. Гевко, М.Г. Данильченко, Р.М. Рогатинський та ін.]. – Львів : Світ, 1993. – 208 с.

УДК 620.176.162.

**В.І. Гурей, канд. техн. наук; Т.А. Гурей, канд. техн. наук;**

**І.В. Гурей, докт. техн. наук, проф.**

Національний університет «Львівська політехніка», Україна

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ВТОРИННИХ СТРУКТУР В ЗОНІ ТЕРТЯ ЗМІЦНЕНИХ ПОВЕРХОНЬ**

**V. Gurey, Ph.D.; T. Hurey, Ph.D.; I. Hurey, Dr., Prof.**

### **THE RESEARCH OF QUALITY OF THE SECONDARY STRUCTURES IN WEAR ZONE OF HARDENING SURFACES**

Зносостійкість пар тертя в значній мірі залежить якості вторинних структур, що утворюються в зоні тертя. У процесі навантаження у зоні тертя відбувається докорінна зміна стану поверхні. Ця зміна відбувається в результаті дії високих питомих навантажень, великої швидкості їх прикладання, температури і середовища. Зміна стану тонких поверхневих шарів під час роботи пари тертя може бути зворотною, яка зникає після зняття навантаження, і залишковою. Обидві ці зміни впливають на працездатність пари тертя і, також, на якість вторинних структур. Таким чином, вторинні структури є визначальним фактором, який впливає на зносостійкість при різних видах тертя. Але, існуючі в даний час механічні і фізичні методи дослідження вторинних структур (вимірювання мікротвердості, рентгенографія, спектрографія, оптична, електронна мікроскопія і інші) не дозволяють вивчати якість цих структур у процесі тертя. У зв'язку з цим нами зроблена спроба використовувати для визначення якості вторинних структур у процесі тертя електрохімічний метод, який полягає у визначенні електродного потенціалу між контактуючими деталями під час тертя. Електродний потенціал пари тертя вимірюється в процесі зношування по відношенню до каломельного електроду порівняння. При зануренні кільця у робочий розчин електродний потенціал зсувається у негативну сторону і через 10 хв. стабілізується. У процесі досліджень за точку нульового відліку приймається усталене значення електродного потенціалу при нерухомих зразках і без їх навантаження.

Досліди показали, що у всіх випадках на початку тертя після ввімкнення приводу обертання установки тертя і навантаження зразків, відбувається зсув потенціалу в додатну сторону, як результат руйнування вихідних окисних плівок, потім він поступово зсувається у протилежному напрямку до усталеного значення. Зсув електродного потенціалу в негативну сторону в початковий період свідчить про початок формування вторинних структур, а усталена величина електродного потенціалу – про завершення етапу припрацювання і формування рівноважних вторинних структур, які є необхідною умовою для нормального процесу тертя. Слід зауважити, що максимальна зносостійкість пари тертя відповідає мінімальному значенню електродного потенціалу. Таким чином, спостерігається повна кореляція між величинами зношування і електродним потенціалом під час тертя вуглецевих і хромонікелевої сталей у різному структурному стані, а також сірого чавуну.

Методи поверхневого оброблення та зміцнення впливають на формування стабільних і якісних вторинних структур. Збільшення вмісту вуглецю і легуючих елементів, підвищення твердості сталі, подрібнення структури поверхневого шару сприяють зростанню швидкості формування якісних і стабільних вторинних структур та підвищенню зносостійкості пари тертя. На це вказує зміна електродних потенціалів у процесі тертя.

Дослідження зразків зі зміцненим поверхневим шаром, з нанокристалічною

структурою (білий шар), який має вищу твердість і в'язкість, ніж структура після гартування і низького відпуску, показали підвищення зносостійкості, що підтверджує кінетика зміни електродного потенціалу в процесі тертя. Незалежно від вмісту вуглецю у вихідній сталі, електродний потенціал зразків зміцнених фрикційною обробкою з утворенням нанокристалічних структур (білих шарів) підвищується. Збільшення електродного потенціалу зареєстровано під час випробувань зміцнених шарів на сталях з підвищеним вмістом вуглецю. Це повністю корелює з якістю утворених білих шарів і їх зносостійкістю. Легування сталі хромом і нікелем сприяє формуванню якісних нанокристалічних структур (білих шарів). У даному випадку під час тертя зафіксовано найбільші значення електродного потенціалу. При випробуванні сірого чавуну спостерігається незначна зміна електродних потенціалів, але зберігається вище вказана закономірність. Найменше значення електродного потенціалу отримано під час дослідження незміцнених пар тертя, тільки шліфованих, найбільше – після гартування СВЧ і зміцнення фрикційною обробкою. Таку незначну зміну електродного потенціалу можна пояснити високим вмістом вуглецю у чавунах. Максимальний зсув величини електродного потенціалу в позитивну сторону спостерігається під час дослідження зразків, виготовлених з загартованої і низьковідпущеної сталі 40ХН з білим шаром, дещо менший – на покращеній.

На основі аналізу проведених дослідів слідуює, що чим більше зміщується величина електродного потенціалу у позитивну сторону, тим якісніші вторинні структури. Збільшення вмісту вуглецю в сталі і підвищення твердості не призводить до суттєвої зміни вказаної закономірності. Характер зміни зносостійкості досліджуваних пар тертя у корозійному середовищі є аналогічним, як і у мастильно-абразивному. Отримані результати підтверджують висновки про те, що за зміною електродного потенціалу в процесі тертя можна судити про динамічну рівновагу процесів утворення і руйнування вторинних структур в зоні тертя. Аналогія характеру зношування пар тертя як у корозійному, так і у мастильно-абразивному середовищах вказує на подібність механізму утворення вторинних структур у обох випадках. Необхідно відмітити, що зносостійкість вуглецевих сталей у корозійному середовищі значно нижча, ніж у мастильно-абразивному.

Досліди показали, що зі збільшенням питомого навантаження від 0,75 МПа до 2,0 МПа електродний потенціал зміщується у від'ємну сторону від 20 мВ до 65 мВ. У випадку дослідження зразків, зміцнених фрикційною обробкою зміщення є меншим, а шліфованих – більшим. Зміщення електродного потенціалу є меншим під час дослідження зразків зі сталей з підвищеним вмістом вуглецю (У8) та з середнім вмістом і легуваних хромом та нікелем (40ХН), ніж з низьким вмістом вуглецю і нелегованих (сталь 35, 45). Це свідчить про те, що при терті високовуглецевих або середньовуглецевих легуваних сталей створюється більш сприятливі умови для утворення рівноважних якісних вторинних структур.

Дослідження показали також, що під час підвищення температури електроліту від 20 °С до 70 °С характер зміщення електродного потенціалу для пари тертя так і еталонного зразка, зануреного у той же електроліт як в стані спокою, так і в процесі тертя, не однаковий. Для пари тертя це зміщення є меншим, а для еталона більшим, що свідчить про те, що в стані спокою відбуваються тільки корозійні процеси, а при терті у поверхневих шарах формуються вторинні структури, які мають інші хімічні та фізико-механічні властивості, ніж основна структура металу.

Таким чином, визначення величини електродних потенціалів під час тертя є простим та ефективним методом визначення зносостійкості і підбору матеріалів пар тертя.

УДК 621.986

Л.М. Данильченко, канд. техн. наук, доц.; М.Д. Радик

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## **ОСОБЛИВОСТІ НАГРІВАННЯ ЛИСТОВИХ ЗАГОТОВОК В ПРОЦЕСАХ ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ**

**L. Danylchenko, Ph.D.; Assoc. Prof.; M. Radyk**

### **FEATURES OF HEATING OF SHEET BLANKS IN PROCESSES OF PLASTIC DEFORMATION**

В процесі пластичного деформування листового матеріалу доводиться вирішувати наступні основні завдання:

- перетворення литої структури металу у волокнисту (в разі деформування литого металу);
- надання заготовці заданої форми і розмірів;
- отримання оптимальної зернистості металу при мінімальних залишкових напруженнях.

Теплова дія на листовий матеріал приводить до наступних позитивних явищ:

- втраті пружних властивостей і значному зменшенню опору деформуванню;
- зняттю залишкових напружень;
- кристалізації і розчинення карбідів, що сприяє прискоренню дифузійних і релаксаційних процесів.

До найбільш шкідливих явищ, викликаних нагріванням, відносяться окалиноутворення, знеуглецювання, перегрів матеріалу. При неправильному веденні процесу нагрівання відбувається перепал металу, утворення тріщин унаслідок присутності напружень розтягу. Особливо небезпечним в цьому відношенні є процес охолодження матеріалу.

Оптимальний термічний режим пластичного деформування має бути таким, щоб забезпечувати необхідні умови для успішного проведення процесу, а також висока якість заготовок, при якій шкідливий вплив тепла за можливості обмежується. Тому, оптимальний термічний режим розробляється для кожної марки сталі з врахуванням вихідної структури металу, його об'єму та співвідношення розмірів заготовки і призначення деталі.

Термічний режим пластичного деформування заготовок із листового матеріалу складається з трьох етапів: нагрівання перед пластичним деформуванням, охолодження в процесі формоутворення, охолодження після пластичного деформування. Одне з головних завдань при розробленні термічного циклу процесу формоутворення полягає у визначенні температурного інтервалу, тобто температури початку і кінця деформування.

Розрізняють оптимальний (або допустимий) і технологічно необхідний інтервали температур пластичного деформування листових заготовок. Оптимальний інтервал температур визначають в результаті роздільного встановлення температур початку і кінця деформування. Точно встановити ці температури можна лише на підставі експериментальних даних, які стосуються марки сплаву (з технологічної, металознавчої та експлуатаційної точок зору). Тому зазвичай вказують орієнтовні температури початку та кінця пластичного деформування, які потім уточнюються, виходячи з співвідношення товщини та довжини заготовки. Головним чинником, який визначає ці температури, є склад сплаву і його фізико-механічні властивості.

Температури пластичного деформування знаходяться між: температурами

плавлення і кінця рекристалізації сплаву. Нижча температура відноситься до напівгарячої, напівхолодної і, нарешті, до холодної деформації. Встановлено, температури деформації повинні бути на 150... 200°C нижче  $T_{пл}$ . Інтервал температур, як правило, призначається у кожному конкретному випадку, виходячи з хімічного складу матеріалу, діаграми стану. При цьому мається на увазі, що в інтервалі температур гарячого пластичного деформування матеріал володіє достатньою пластичністю.

Поблизу температури плавлення сплаву знаходиться температура, при якій спостерігається втрата пластичності. Тут же знаходиться область перепалу сталі, пов'язана з оплавленням і окисленням границь зерен, тому деформувати в цій області не можна. Дещо нижче знаходиться температура перегріву сплаву, яка характеризується значним зростанням зерна. Досліджено, що для деяких сталей грубозерниста структура добре піддається деформуванню, при цьому зерна подрібнюються. Тому верхня межа температур може лежати в області температур перегріву. В деяких випадках верхню температуру знижують внаслідок необхідності зменшення окалиноутворення і знеуглецювання. Чим більші розміри заготовки, тим більшою мірою слід знижувати температуру. Це пов'язано з тим, що для великогабаритних заготовок при їх нагріванні необхідно більше часу витримки при високих температурах. Нижня межа температур залежить не лише від марки сталі, але й від об'єму заготовки, необхідної якості, наявності або відсутності термооброблення, способу охолодження. Важливим чинником при встановленні температур пластичного деформування є вимоги, які висуваються до механічних властивостей матеріалу з врахуванням характеру експлуатації деталі.

Якщо для конкретної деталі передбачено термооброблення, то правильно вибрана температура дозволяє використовувати надане тепло для подальшого термічного оброблення. Якщо термооброблення не передбачене, то нижня межа інтервалу температур деформування обмежується умовами набуття дрібного зерна.

Для невеликих заготовок кінцева температура може бути високою, на 200-300°C вище  $A_{r3}$  або нижчою чи близькою до точки  $A_{r3}$ . Не дивлячись на те, що при високій температурі кінця деформування зерно буде великим, можна в результаті швидкого охолодження отримати тонку будову структури сплаву.

При цьому висока температура кінця деформування сприяє підвищенню техніко-економічних показників виробництва (зростання продуктивності, зменшення витрат енергії). Для крупногабаритних деталей, які не підлягають термообробленню набуття високих механічних властивостей за рахунок збільшення швидкості охолодження заготовок є маловірогідним внаслідок неможливості в цих умовах прискорити їх охолодження.

Тому, щоб вирішити це завдання, слід підібрати таку комбінацію температури і сили деформації, яка б забезпечила б оптимальну структуру листового матеріалу. Тут необхідно мати на увазі, що сталь, піддана деформації в інтервалі критичних зусиль формоутворення (4-12%), після рекристалізації має небажану грубозернисту структуру.

У цехових умовах інтервал температур пластичного деформування інколи уточнюють, виходячи з суб'єктивних причин. Кінцеву температуру коригують, виходячи із стійкості формувального інструменту. Розігріте оснащення інколи швидко осідає при деформуванні остигаючої заготовки унаслідок збільшення опору деформації. Інколи підвищення температури формоутворення викликається недостатньою потужністю устаткування. Керуватися подібними міркуваннями допустимо лише у тих випадках, коли відхилений від оптимального режим не знижує якості деталей.

УДК 621.986

Л.М. Данильченко, канд. техн. наук, доц.; І.М. Кучвара, канд. техн. наук  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСІВ РІЗАННЯ СТРІЧОК ІЗ ЛИСТОВОГО МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ГВИНТОВИХ ЗАГОТОВОК

L. Danylchenko, Ph.D., Assoc. Prof.; I. Kuchvara, Ph.D.

### FEATURES OF PROCESSES OF CUTTING RIBBONS FROM SHEET MATERIAL FOR MANUFACTURING SCREW BLANKS

Різання листового матеріалу здійснюють для виготовлення стрічок і заготовок, які надалі піддають навиванню, штампуванню тощо, а також для заготовок, максимально наближених за формою та розмірами до готової деталі, які підлягають обробленню різанням. У першому випадку різання зводиться до отримання стрічок із одним заданим розміром (по ширині). У другому випадку, тобто при різанні штучних заготовок, кількість переходів залежить від форми заготовок і знаходиться в межах від двох до чотирьох.

Для різання листів або стрічок використовують привідні паралельні, гільйотинні і дискові ножиці. Привідні ножиці з паралельно розташованими ножами і похило розташованим ножем (гільйотинні) застосовують в основному для різання стрічок або заготовок із прямолінійними та відкритими сторонами, ширина яких є більшою за товщину ножа. Різання стрічок виконують по задньому упору, якщо ширина стрічки (заготовки) не перевищує наступних значень:

Товщина матеріалу $S$ , мм	до 0,5	0,6 -1,0	1,1-1,5	1,6-2,0
Ширина стрічки або заготовки $b$ , мм	до 200	до 350	до 400	до 600

Ширші стрічки або штучні заготовки (деталі) нарізають по передньому упору (лінійці), встановленому на столі ножиць. При різанні по задньому упору слід користуватися спеціальними пристроями, які виключають провисання відрізуваної частини листа (заготовки). Окрім звичайного різання на цих ножицях при використанні кутової підставки можна нарізати стрічки і заготовки під кутом із нахиленою кромкою (фаскою). Кут фаски не повинен перевищувати 25-30°.

Ножиці з паралельним розташуванням прямолінійних різальних кромки ножів застосовують рідко, головним чином для різання тонкого матеріалу, у всіх інших випадках використовують гільйотинні ножиці. Характеристиками гільйотинних ножиць є кількість ходів за хвилину, найбільша ширина листа (довжина різання), виліт і найбільша товщина розрізаного матеріалу при заданій границі міцності  $\sigma_b$  або опору зрізу  $\sigma_{зр}$  при куті  $\varphi$ . Якщо необхідно різати листовий матеріал, механічні властивості якого відрізняються від властивостей матеріалу, записаного в паспорті гільйотинних ножиць, то максимально допустиму товщину матеріалу  $S_1$ , яку можна різати, не опасаючись перевантаження ножиць гільйотин, визначають за формулою:

$$S_1 \leq S \sqrt{\frac{\sigma_b}{\sigma_b'}}, \text{ мм або } S_1 \leq S \sqrt{\frac{\sigma_{зр}}{\sigma_{зр}'}}, \text{ мм};$$

де  $\sigma_b'$ ,  $\sigma_{зр}'$  - границя міцності і опір різанню листового матеріалу, кг/мм<sup>2</sup>;

$S$ ,  $\sigma_b$ ,  $\sigma_{зр}$  – механічні властивості матеріалу, зазначені у паспорті ножиць.

Наведені формули справедливі лише за умови постійності кута створу ножів  $\varphi$  для обох випадків різання.



Дискові ножиці з прямо поставленими ножами для різання листів на стрічки і поздовжнього різання стрічкового матеріалу виготовляють з однією парою ножів (парнодискові) і з декількома парами ножів (багатодискові).

Кількість одночасно встановлюваних пар ножів залежить від того, на яку кількість стрічок розрізається лист, а також від потужності приводу ножиць. Кількість пар ножів береться на одиницю більше від кількості відрізуваних стрічок. Характеристиками дискових ножиць є найбільша товщина розрізуваного матеріалу при його заданій границі міцності  $\sigma_b$  і найбільшій кількості пар дискових ножів, які одночасно беруть участь в різанні.

Однопарні дискові й особливо багатодискові ножиці використовуються для нарізання листового матеріалу в поздовжньому напрямі. Таке різання дозволяє отримувати з рулону стандартних розмірів стрічки необхідної ширини, що сприяє ширшому застосуванню стрічкового матеріалу і його раціональному використанню.

Загальна сумарна ширина відрізуваних стрічок має бути на 2-4 мм меншою від ширини розрізуваного листа, щоб крайні ножі зрізали частину матеріалу, усуваючи нерівності на кромках і підвищуючи точність різання.

Процес різання листових матеріалів на стрічки складається з трьох послідовних стадій: пружної, пластичної і руйнування (сколювання). У стадії пружних деформацій напруження в розрізуваному матеріалі не перевищують границі пружності; у стадії пластичної деформації напруження в матеріалі, викликані тиском ножів, є більшими від границі плинності, але менші за опір матеріалу зрізу. У стадії руйнування напруження в листовому матеріалі відповідають опору зрізу.

Початок стадії руйнування, тобто відділення однієї частини розрізуваного матеріалу від іншої, відповідає заглибленню верхнього рухомого ножа на 0,2—0,5 від товщини матеріалу. У зоні, яка примикає безпосередньо до площини зрізання заготовки, матеріал зазнає структурні зміни в результаті зміцнення, яке отримується в процесі різання. Глибина шару зі зміненою структурою залежить від товщини матеріалу, його механічних властивостей, стану різальних кромek ножів (ступеня їх загострення) і зазору між ними в площині, перпендикулярній до напрямку різання.

В результаті структурних змін і зміцнення змінюються механічні й фізичні властивості листового матеріалу. У зоні різання матеріал стає крихкішим, підвищується його твердість; при випробуванні на згин можливе утворення тріщин, а магнітна проникність матеріалу різко падає. Дефектний шар усувають обробленням різанням або частіше термічним обробленням (відпалом).

Ножі для різання сталевих листів, алюмінієвих і титанових сплавів слід використовувати з наступними кутами: кут різання  $\delta = 75-85^\circ$ , задній кут  $\alpha = 30-3^\circ$ , передній кут  $\gamma = 5-15^\circ$ . Чим менша твердість розрізуваного матеріалу, тим менше кут різання  $\delta$  (для м'яких матеріалів  $\delta = 60^\circ$ ). Для магнієвих сплавів кут різання  $\delta = 45-55^\circ$ , задній кут  $\alpha = 1,5-2^\circ$ , передній кут  $\gamma = 35-45^\circ$ .

Кут створу ножів  $\varphi$  в гільйотинних ножицях приймають  $1-5^\circ$ . Чим більшою є довжина ножів, тим менше кут створу  $\varphi$ , оскільки при великій довжині ножів збільшення кута створу  $\varphi$  приводить до значного збільшення ходу ножів і висоти ножиць. Найраціональнішими кутами створу для листів товщиною до 2 мм  $\varphi = 1-2^\circ$ , для товщини 2-4 мм  $\varphi = 2^\circ-2^\circ 30'$ , для товщини 4-15 мм  $\varphi = 2^\circ 30'-4^\circ$  і для товщини більше 15 мм  $\varphi = 4-5^\circ$ . Зазор між ножами  $Z$  в площині їх руху для сталевих сплавів слід брати  $5-7\%$  при товщині матеріалу  $S$  до 10 мм, а при  $S > 10$  мм  $Z = 0,1-0,2$  мм. Із збільшенням кута створу  $\varphi$  вигин стрічки і скручування збільшуються; чим вужча стрічка, тим більше вона схильна до скручування. Величину вигину і кут скручування визначають експериментально.

УДК 666.940.41

Л.В. Дзюбик, канд. техн. наук; Я.А. Зінько, канд. техн. наук, доц.  
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

## ГРАНИЧНІ ВИПАДКИ ПОДАТЛИВОСТІ ОПОР ТА ЖОРСТКОСТІ КОРПУСУ ОБЕРТОВИХ АГРЕГАТІВ

L. Dzyubyk, Ph.D.; Y. Zinko, Ph.D., Assoc. Prof.  
EXTREME CASE OF COMPLIANCE AND STIFFNESS TOWER CASE ROTATING  
UNIT

Спорудження нових та реконструкція існуючих великогабаритних обертових агрегатів зумовлює необхідність у застосуванні сучасних методів діагностування їх технічного стану. Корпус такої конструкції є одним із найбільш металомістких та габаритних елементів, який характеризується складністю виготовлення, тривалим монтуванням в місці експлуатації та високою вартістю [1]. Тому застосування розрахункових методик, що максимально відображають особливості конструктивного виконання є важливим та актуальним.

Зокрема, використання вварних бандажних елементів дає змогу підвищити їх надійність та працездатність. Також це збільшує загальну жорсткість корпусу, позитивно впливає на зростання терміну служби захисного футерування [2 – 4]. Однак, у випадку викривлення осі обертання корпусу, відбувається суттєвий перерозподіл та збільшення діючих на нього навантажень. Використання бандажів вільної посадки створює більш сприятливі умови щодо забезпечення прямолінійності геометричної осі конструкції [5, 6]. При цьому слід враховувати ймовірну податливість та взаємодію окремих елементів, що сумарно може впливати на перерозподіл діючих зусиль.

В роботі вивчалася питання впливу граничних значень жорсткості корпусу ( $D_m$ ) та податливості опор ( $K_i$ ) на міцнісні характеристики конструкції загалом. Зокрема приймалося, що при розрахунку на міцність великогабаритних обертових агрегатів неперервної дії можуть існувати чотири розрахункові схеми взаємодії елементів в системі «корпус-опори». Якщо взяти за основу розрахункову схему нерозрізної багатоопорної балки [7], то слід відмітити наступне:

- I. жорстка балка – жорсткі опори ( $D_m = \infty$ ;  $\kappa_i = 0$ );
- II. жорстка балка – пружні опори ( $D_m = \infty$ ;  $0 \leq \kappa_i \leq \infty$ );
- III. пружна балка – жорсткі опори ( $0 \leq D_m \leq \infty$ ;  $\kappa_i = 0$ );
- IV. пружна балка – пружні опори ( $0 \leq D_m \leq \infty$ ;  $0 \leq \kappa_i \leq \infty$ ).

Аналіз представлених розрахункових схем показує, що в даному випадку відображено усі теоретично можливі схеми взаємодії в системі «корпус-опори». Важливо враховувати особливості конструктивного виконання обертових агрегатів та застосовуваних матеріалів. Зокрема, на практиці, випадок із жорсткою балкою не застосовується. Обумовлено це конструктивними розмірами корпусу, достатньо значними відстанями між окремими опорами та міцністю використовуваних матеріалів.

Більш широке використання отримав випадок III. Він характеризується достатньо простою реалізацією та застосовується для дослідження міцності обертових агрегатів [5]. Однак, тут не враховується податливість опор, яка може вносити значні корективи в розрахункові дані [8]. Зумовлено це значною масою конструкції та, як наслідок, навантаженнями на елементи опорних вузлів і їхньою податливістю.

В даний час розроблено математичні підходи, що реалізують останній тип

взаємодії (випадок **IV**), які дають змогу врахувати вище зазначені особливості конструкції [7]. Однак вони характеризуються складністю виконання та потребують спеціального програмного і комп'ютерного забезпечення. Тому в роботі на основі відомого математичного апарату для випадку **IV** (взаємодії елементів в системі «пружна балка – пружні опори») виконано спрощення математичних викладок із врахуванням визначених граничних умов; отримано відповідні системи рівнянь для їх представлення.

Проведено чисельний аналіз та вивчено вплив показників жорсткості корпусу на прогин та величину і розподіл моментів для багатоопорного обертового агрегату. Встановлено, що суттєвої різниці між прогинами при значній жорсткості корпусу (особливо для випадку її збільшення на два порядки та вище), не спостерігається. Встановлено, що зростання жорсткості корпусу агрегату забезпечує випрямлення його геометричної осі. Однак, внаслідок нерівномірності прикладених навантажень, деякого зміщення центру мас конструкції відносно серединного перерізу, відбувається зміна величини та характеру розподілу моментів як на опорах, так і в прогонах агрегату. Важливо, що збільшення жорсткості корпусу багатоопорного обертового агрегату зменшує вплив податливості опор на сумарні переміщення в перерізі опорних вузлів [9].

На основі проведених досліджень в роботі отримано співвідношення для вище наведених розрахункових схем. Вони дають змогу обчислити величину опорних реакцій, а також розподіл згинних моментів в корпусі обертового агрегату.

#### **Література:**

1. Механическое оборудование цементных заводов: / Ф.Г. Банит, О.А. Несвижский. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Машиностроение, 1975. – 318 с.
2. Процеси та апарати хімічної технології: [навч. посібник] Ч. 3: Теплові процеси, нагрівання, охолодження конструкції теплообмінників, випарювання / Я. М. Ханик, Є.М. Семенишин, О.В. Станіславчук, Д.П. Кіндзера. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2006. – 340 с.
3. Химико-технологические агрегаты механической обработки дисперсных материалов / [Вареных Н. М., Веригин А. Н., Джангириян В. Г., Ишутин А. Г.]. – Санкт-Петербургский университет, 2002. – 482 с.
4. Повышение эффективности работы вращающихся печей / Е.Г. Древицкий, А.Г. Добровольский, А.А. Коробок. – М: Стройиздат, 1990. – 224 с.
5. И.В. Кузьо, Т.Г. Шевченко Расчет и контроль установки агрегатов непрерывного производства. – Львов: Вища шк., 1987. – 176 с.
6. І.В. Кузьо, Л.В. Дзюбик Оптимізація раціонального положення обертових агрегатів // 8-й Міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові: тези доп., 23 – 25 трав. 2007 р. – Львів, 2007. – С. 84 – 85.
7. Дзюбик Л.В. Статична рівновага балки змінної жорсткості на пружних опорах з попереднім зміщенням / Л.В. Дзюбик, І.В. Кузьо, І.А. Прокопишин // Машинознавство. – 2009. – № 11 (149). – С. 27 – 30.
8. І.В. Кузьо, Л.В. Дзюбик, І. Єфремов Розрахунок пружних деформацій опор та точність діагностування обертових печей // Збірник наукових праць: Галузеве машинобудування, будівництво. – 2009. – Т. 3, Вип. 3(25). – С. 135 – 138.
9. Кузьо І.В., Дзюбик Л.В. Дослідження переміщень в перерізі опорного вузла цементної печі // 11-й Міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові: тези доп., 15 – 17 трав. 2013 р. – Львів, 2013. – С. 74 – 75.

УДК 621.326

Т.А. Довбуш, канд. техн. наук; А.Д. Довбуш

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

## ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ РОБОТИ БОКОВОГО ЛОНЖЕРОНУ РАМИ ПРТ-9

T. Dovbush, Ph.D; A. Dovbush

### THE DEFINITION OF A RESIDUAL RESOURCE OF WORK SIDE FRAME SPAR PRT-9

Надійність і довговічність мобільних сільськогосподарських машин масового виробництва визначається, в основному, міцністю їх тримких рам. Сприймаючи динамічні навантаження від ходової частини машини, а також від змонтованих на ній силових і функціональних установок, ці конструкції працюють у жорстких умовах циклічного навантаження, що часто призводить до їх передчасного руйнування.

Залишковий ресурс роботи тримких елементів визначено як відношення кількості циклів до руйнування до середньої частоти навантаження в процесі експлуатації.

Ресурс роботи елементів конструктивної системи розкидача добрив визначаємо за формулою [1]:

$$T_i = \frac{\int_{l_0}^{l_{K_i}} \frac{dL}{C(\sigma_i \sqrt{\pi \cdot L} \cdot F_{Z_i}(\varepsilon))^n}}{3600 \cdot \omega}, \quad (1)$$

Бокові лонжерони несучої системи розкидача ПРТ-9 виготовлені з Z-подібних поперечних перетинів. Математична модель росту крайової тріщини у такому перетині розроблена і досліджена.

Для Z-подібного профілю з розмірами 200x86x6 мм при середніх експлуатаційних напруженнях 66 МПа побудовано графік залежності коефіцієнту інтенсивності напруження від розвитку тріщини (рис. 1) та визначено довжину тріщини, при якій відбувається руйнування матеріалу,  $l_{K_1} = 0,1135$  м [1].

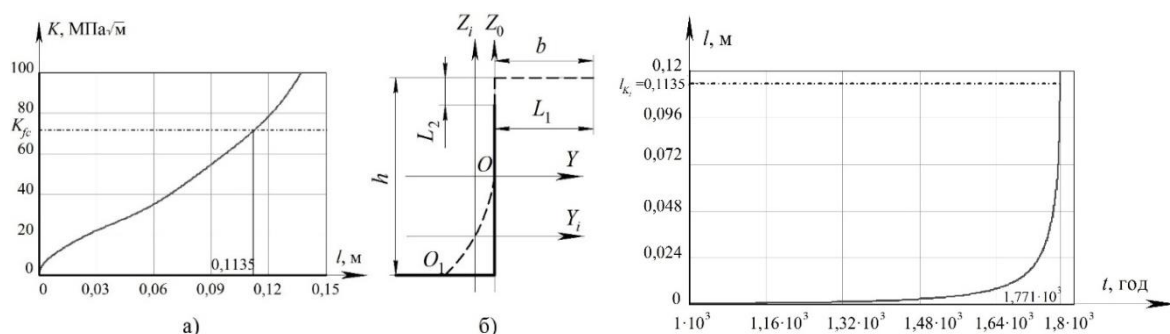


Рис. 1. Графічна інтерпретація визначення залишкового ресурсу роботи бокового лонжерону рами ПРТ-9,  $T_1 = 1771$  год.

#### Література:

1. Довбуш Т.А. Оцінка ресурсу роботи і обґрунтування конструкції несучої системи розкидачів добрив: дисертація на здобуття наук. ступ. к.т.н.; спеціальність 05.05.11/ Т.А. Довбуш. – Тернопіль: ТНТУ, 2016. – 189с.

УДК 621

**І.Д. Дубецький; Ю.М. Геть**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## **ВИСОКООБОРОТНІ ШПИНДЕЛЬНІ ВУЗЛИ ВЕРСТАТІВ ТА ЇХ ДОВГОВІЧНІСТЬ**

**I. Dubetskyi, Y. Get**

### **HIGH SPEED SPINDLE UNIT OF MACHINE TOOLS AND THEIR SERVICE LIFE**

В сучасному верстатобудуванні все більше застосовують високооборотні шпиндельні вузли. Вони бувають двох типів: пневмо- і електрошпинделі. За типом використовуваних опор їх поділяють на шпинделі на аеростатичних, гідростатичних опорах та опорах кочення. Тип таких опор залежить від необхідної жорсткості й вібростійкості, частоти й точності обертання, а також потужності обробки.

Пневмошпинделі використовують в основному у верстатах викінчувальної групи і виготовляють на аеростатичних опорах. Їх оснащують глушниками шуму. Повітря для живлення турбін і опор повинно проходити ретельне очищення від пилу, мастила і вологи у спеціальній станції живлення. Для них характерна компактність, безпечність і зручність обслуговування, надійне охолодження опор повітрям, яке продувається через турбіну, добре змащення підшипників мастильним туманом, якщо шпиндель виконаний по опорах кочення. Разом з тим найбільшим недоліком для пневмошпинделів є низька жорсткість і можливість контакту опорних поверхонь вала і самих опор при неправильній експлуатації.

Сучасне верстатобудування надає перевагу електрошпинделям на опорах кочення, які забезпечують значні навантаження і належну навантажувальну здатність.

В основі конструктивного виконання електрошпинделів лежить трифазний електродвигун, статор якого встановлюється в корпусі з порожниною для проходження охолоджувальної рідини. Ротор напресовується на вал – шпиндель, розміщений на опорах кочення з автоматичною підналадкою натягу. Опори кочення мають можливість добре змащуватись через застосування спеціальних методів змащення.

Одним із недоліків опор кочення є їх обмежений термін служби при великому його розсіюванні. Довговічність високошвидкісних кульково-роликів підшипників різко знижується. На зменшення терміну служби підшипників кочення впливає багато факторів. При визначенні довговічності  $L$  не можна нехтувати дією на тіло кочення відцентрової сили  $B$ , яка розвивається кульками при орбітальному русі, а також вплив гіроскопічних моментів на початковій кути контакту кульок з доріжками кочення. Кут контакту кульки з внутрішньою доріжкою збільшується, а з доріжкою зовнішнього кільця – зменшується. Зміна кутів контакту тим більша, чим більша частота обертання ротора електрошпинделя, номінальний кут контакту і розвал доріжок кочення. Ця зміна кутів контакту знижує довговічність підшипників. Також відбувається зниження динамічної вантажопідйомності  $C$  одного і того ж підшипника, а також змінюється еквівалентне навантаження, так як ряд параметрів залежить від кутів контакту  $\varphi$ .

На довговічність високооборотних шпинделів впливає і величина радіального зазору, тому до високооборотних електрошпинделів при перевірці точності ставляться підвищені вимоги до радіального биття базової поверхні.

На довговічність опор за результатами експериментів чинять вплив і величина масляної плівки, закон зміни навантаження, жорсткість деталей, спряження з підшипником, розподіл навантажень між довільним числом підшипників і ряд інших факторів.

УДК 621.791.927.7

С.Ф. Дячук, канд.техн.наук, доц.; М.М. Михайлишин, канд. фіз.-мат. наук, доц.  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## ОПТИМІЗАЦІЯ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВУ ЦИЛІНДРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ

S.Dyachuk, Ph.D., Assoc. Prof.; M. Mykhailyshyn, Ph.D., Assoc. Prof.

### OPTIMIZATION OF INDUCTIVE HEATING OF CYLINDRICAL PARTS

В промисловому виробництві широко застосовується індукційний нагрів з метою забезпечення деякого технологічного процесу. Найчастіше згідно типових вимог технології індукційний нагрів повинен забезпечити досягнення заданої кінцевої температури виробу з допустимою нерівномірністю по його об'єму. Для підвищення ефективності технологічного процесу повинен бути вибраний такий режим роботи індукційної установки, який забезпечує найкращі економічні показники, наприклад мінімізує енергетичні затрати.

Розглядається індукційний нагрів порожнинного циліндра, внутрішній і зовнішній радіуси якого  $R_1$  і  $R_2$  відповідно і довжина якого значно перевищує його діаметр. Процес теплопровідності описується рівнянням

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left( \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{a}{\lambda} u(t)v(r), \quad (1)$$

в якому  $u(t)v(r)$  – густина внутрішніх теплових джерел,  $v(r)$  – задана функція радіуса. Температура відраховується від температури зовнішнього середовища. На внутрішній і зовнішній поверхнях виконуються умови конвективного теплообміну із зовнішнім середовищем

$$\frac{\partial T}{\partial r} - k_1 T = 0 \text{ при } r = R_1, \quad \frac{\partial T}{\partial r} + k_2 T = 0 \text{ при } r = R_2. \quad (2)$$

В початковий момент часу температура дорівнює температурі зовнішнього середовища, тобто

$$T(0, r) = 0 \quad (3)$$

Необхідно за заданий час  $t^*$  нагріти деталь до заданої температури  $T^*(r)$ , тобто

$$T(r, t^*) = T^*(r), \quad (4)$$

і при цьому функціонал

$$S = \int_0^{t^*} u^2(t) dt$$

приймав мінімальне значення.

Власні функції однорідної крайової задачі

$$\frac{\partial^2 X}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial X}{\partial r} + \mu^2 X = 0, \\ \frac{\partial X(R_1)}{\partial r} - k_1 X(R_1) = 0, \quad \frac{\partial X(R_2)}{\partial r} + k_2 X(R_2) = 0$$

є функції

$$X_k(r) = [k_2 Y_0(\mu_k R_2) - \mu_k Y_1(\mu_k R_2)] J_0(\mu_k r) - [k_2 J_0(\mu_k R_2) - \mu_k J_1(\mu_k R_2)] Y_0(\mu_k r),$$

в яких  $\mu_k$  – корені рівняння

$$[k_2 J_0(\mu R_2) - \mu J_1(\mu R_2)] [k_1 Y_0(\mu R_1) + \mu Y_1(\mu R_1)] - \\ - [k_2 Y_0(\mu R_2) - \mu Y_1(\mu R_2)] [k_1 J_0(\mu R_1) + \mu J_1(\mu R_1)] = 0.$$

Розкладемо в ряд по власних функціях задачі задану функцію  $v(r)$

$$v(r) = \sum_{n=1}^{\infty} v_n X_n(r), \quad v_n = \frac{1}{\|X_n\|^2} \int_{R_1}^{R_2} v(r) X_n(r) r dr,$$

$$\|X_n\|^2 = \frac{(\mu_n^2 + k_2^2)[k_1 J_0(\mu_n R_1) + \mu_n J_1(\mu_n R_1)]^2 - (\mu_n^2 + k_1^2)[k_2 J_0(\mu_n R_2) - \mu_n J_1(\mu_n R_2)]^2}{\frac{\pi^2 \mu_n^2}{2} [k_2 J_0(\mu_n R_2) - \mu_n J_1(\mu_n R_2)]^2}$$

Розв'язок рівняння (1) шукаємо у вигляді

$$T(r, t) = \sum_{k=1}^{\infty} T_k(t) X_k(r) \quad (5)$$

Підставивши (5) в (1) отримаємо рівняння для знаходження невідомих функцій  $T_k(t)$

$$\frac{\partial T_k}{\partial t} = -a\mu_k^2 T_k(t) + \frac{a}{\lambda} v_k u(t),$$

розв'язок якого при умові (3)

$$T_k(t) = \int_0^t \frac{a}{\lambda} v_k u(\tau) e^{-a\mu_k^2(t-\tau)} d\tau, \quad k = 1, 2, \dots \quad (6)$$

Розкладемо функцію бажаного розподілу температури  $T^*(r)$  в ряд по власних функціях

$$T^*(r) = \sum_{k=1}^{\infty} T_k^* X_k(r), \quad T_k^* = \frac{1}{\|X_k\|^2} \int_{R_1}^{R_2} T^*(r) X_k(r) r dr,$$

і після задоволення умови (4) отримаємо

$$\int_0^{t^*} u(\tau) e^{-a\mu_k^2(t^*-\tau)} d\tau = \frac{\lambda}{av_k} T_k^*, \quad k = 1, 2, \dots \quad (7)$$

Отже задача визначення  $u(t)$  зветься до відшукування такого розв'язку нескінченної системи рівнянь (6), на якій функціонал  $S$  приймає найменше можливе значення. Ми отримали так звану нескінченно-вимірну проблему моментів. Будемо шукати наближений розв'язок задачі, обмежуючи кількість рівнянь до  $m$ . Побудуємо функцію  $u^m(t)$ , яка мінімізує функціонал  $S$ . Так як експоненти  $e^{-a\mu_k^2(t^*-\tau)}$  для різних  $k$  лінійно незалежні, то

$$u^m(t) = \sum_{n=1}^m \alpha_n e^{-a\mu_n^2(t^*-\tau)}, \quad (8)$$

де  $\alpha_n$  – невідомі коефіцієнти. Підставляючи (7) в (6) для  $k = 1, 2, \dots, m$ , отримаємо лінійну систему рівнянь для знаходження коефіцієнтів  $\alpha_n$

$$\sum_{k=1}^m \frac{\alpha_k}{a(\mu_n^2 + \mu_k^2)} [1 - e^{-a(\mu_n^2 + \mu_k^2)t^*}] = \frac{\lambda}{av_n} T_n^*.$$

Вибором величини  $m$  можна регулювати точність забезпечення умови (4).

Розв'язання задачі оптимізації індукційного нагріву порожнистого циліндра дозволяє визначити оптимальні потужності джерел, що забезпечують нагрів циліндра до заданої температури за заданий час  $t$  з забезпеченням бажаного розподілу температури.

## Література:

1. Подстригач, Я.С. Термоупругость электропроводных тел [Текст] / Я.С. Подстригач, Я.И. Бурак, А.Р. Гачкевич, Л.В. Чернявская. – К.: Наукова думка, 1977. – 247 с.
2. Гачкевич, О. Математичне моделювання процесу індукційного нагрівання електропровідних тіл [Текст] / О. Гачкевич, Б. Дробенко // Вісник Львівського ун-ту. – 2004. – № 8. – С.97 – 111.
3. А.И.Егоров. Оптимальное управление тепловыми и диффузионными процессами [Текст] / А.И.Егоров. – М.: Наука, 1978. – 463 с.
4. Слухоцкий, А.Е. Установки индукционного нагрева [Текст] / А.Е. Слухоцкий. – Л.: Энергоиздат, Ленинградское отделение, 1981. – 325 с.
5. Абрамовиц, М. Справочник по специальным функциям [Текст] / М.Абрамовиц, И.Стиган. – М.: Наука, 1979. – 830 с.

УДК 621.91

А.Є. Дячун<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.; І.С. Яким<sup>2</sup> канд. техн. наук;

Ю.Б. Капаціла<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.

<sup>1</sup>Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

<sup>2</sup>Виконавчий комітет Дрогобицької міської ради, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЇ СВЕРДЛА В ПРОЦЕСІ СВЕРДЛІННЯ ОТВОРІВ В МЕТАЛАХ ІЗ ЗМІННОЮ ТВЕРДІСТЮ

**A. Diachun, Ph.D., Assoc. Prof.; I. Yakym, Ph.D.; Yu. Kapatsila Ph.D., Assoc. Prof.**  
**THE RESEARCH OF DRILL BIT DEFORMATION DURING THE HOLES  
DRILLING PROCESS IN METALS WITH VARIABLE HARDNESS**

Деформація свердла в процесі свердління на вертикально-свердлильному верстаті призводить до виникнення неприпустимих відхилень діаметрів оброблених отворів, тому дослідження цього процесу є важливою задачею. Основними причинами деформації свердла є: недосконалість конструкції інструмента, його ріжучих і направляючих елементів; неправильна подача інструменту на початку свердління; неправильно вибрані режими різання; неоднорідність матеріалу оброблюваної деталі; втрата стійкості свердла в процесі різання; неоднорідне затуплення ріжучих кромки свердла.

Перші три причини носять систематичний характер і можуть бути легко усунені. Решта причин потребують більш детального вивчення, тому що їх поява носить випадковий характер.

В процесі експериментальних досліджень поперечних січень деталі в місці отвору встановлено існування структурної неоднорідності матеріалу, зокрема його твердості, яка залежить від способу формування заготовки та термохімічної обробки. Поперечна різотвердість заготовки у місці свердління отвору залежить від впливу легуючих елементів, а також від градієнту твердості заготовки вздовж вісі отвору. Чим більший градієнт поздовжньої твердості, тим більша поперечна різотвердість заготовки  $\Delta HRC = HRC_1 - HRC_2$ , де  $HRC_1$ ,  $HRC_2$  - відповідно найбільша і найменша твердість заготовки на одній площині, що перпендикулярна вісі отвору.

Вказані вище причини призводять до виникнення невірноваженої радіальної сили різання  $\Delta P_y$ , що підсилюється дією осової сили різання  $P_o$ . В наслідок чого відбуваються пружні деформації осі свердла та розбиття оброблюваного отвору.

Для свердла при статичному навантаженні диференціальне рівняння пружної лінії деформації має наступний вигляд:

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = \int_x^l \Delta P_y dx - \int_x^l \int_x^l \left( k_1 \left( \frac{(HRC_{\max} - HRC_{\min}) \cdot (H - (x + C))}{H} + HRC_{\min} \right) \cdot k_2 y \right) dx dx - P_o y, \quad (1)$$

де  $E$  – модуль пружності матеріалу свердла;  $I$  – момент інерції поперечного перерізу свердла в робочій частині;  $k_1$  - коефіцієнт, який враховує вплив твердості матеріалу поверхні отвору на його опір деформації;  $k_2$  - коефіцієнт, який враховує опір деформації матеріалу поверхні отвору;  $HRC_{\max}$  - максимальна твердість поверхні оброблюваного отвору вздовж вісі  $x$ ;  $HRC_{\min}$  - мінімальна твердість поверхні оброблюваного отвору вздовж вісі  $x$ ;  $H$  – глибина отвору;  $C$  – вільна частина свердла;  $l$  – довжина свердла.



Оскільки диференціальне рівняння (1) є досить складним, проведено його точний розв'язок за допомогою числового методу. Результати розв'язку представлено у вигляді графіків на рис. 1.

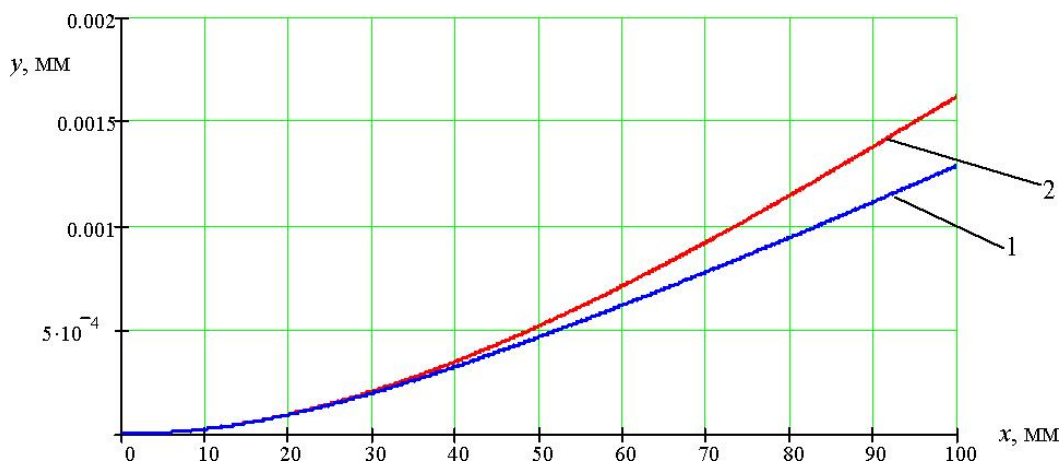


Рисунок 1 – Графіки залежності величини деформації свердла діаметром 10 мм довжиною  $l=100$ мм в процесі свердління в сталі:

- 1)  $HRC_{\max} = 43, HRC_{\min} = 35$ ; 2)  $HRC_{\max} = 38, HRC_{\min} = 35$

В процесі експериментальних досліджень встановлено, що динамічні характеристики процесу свердління також мають вплив на величину деформації свердла, тобто є доцільним дослідження поперечних коливань свердла. З цією метою на основі розрахункової схеми, в якій враховане змінне значення твердості матеріалу по всій глибині отвору, диференціальне рівняння руху елемента свердла довжиною  $dx$  має вигляд:

$$-P_0 \sin \theta_1 - \frac{\partial Q}{\partial x} dx + \left( P_0 + \frac{\partial P_0}{\partial x} dx \right) \sin \theta_2 + \omega^2 y m(x) dx + \Delta P_y dx - \int_x^l q(HRC, y, x) dx dx = m(x) \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} dx, \quad (2)$$

де  $P_0$  - осьова сила різання,  $\Delta P_y$  - неврівноважена радіальна сила різання,  $Q(x)$  - перерізує зусилля,  $m(x)$  - погонна маса свердла вздовж вісі  $x$ ,  $\omega$  - постійна кутова частота обертання свердла,  $\theta_1$  - кут нахилу, який утворює з віссю  $Ox$  дотична до середньої лінії нормальних перерізів свердла з координатою  $x$ ;  $\theta_2$  - кут нахилу, який утворює з віссю  $Ox$  дотична до середньої лінії нормальних перерізів свердла з координатою  $x-dx$ ;  $q(HRC, y, x)$  - опір деформації поверхні отвору.

Після перетворення рівняння (2) одержано:

$$-EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + P_0 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + \omega^2 y m(x) + \Delta P_y - \int_x^l q(HRC, y, x) dx = m(x) \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}. \quad (3)$$

Розв'язок диференціального рівняння (3) проведено поєднанням методів розділення змінних та чисельного методу Рунге-Кутта. Рівняння (3) задовольняє однорідні граничні умови:  $y(0, t) = 0$ ;  $y(\mu l, t) = 0$  та початкові умови:  $y(x, 0) = 0$ ;  $y'(x, 0) = \omega R$ , де  $R$  - радіус свердла,  $\mu$  - коефіцієнт довжини, що залежить від способу закріплення свердла, при цьому добуток  $\mu l$  - приведена довжина свердла. Результати розв'язку представлено у вигляді графіків, із яких можна побачити, що збільшення довжини свердла  $l$  та радіальної сили різання  $\Delta P_y$  призводить до зростання величини деформації свердла та розбиття отворів.

УДК 621.82

**П.В. Казмірчук; І.Б. Гевко, канд. техн. наук, доц.**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## **ОПРАВКА З РОЗТОЧУВАЛЬНИМ КУЛІСНИМ МЕХАНІЗМОМ**

**P. Kazmirchuk; I. Hevko, Ph.D, Assoc. Prof.**

### **MANDREL WITH BORING ROCKER MECHANISM**

Оправка з розточувальним кулісним механізмом (рис. 1) виконана у вигляді хвостовика 1 з верхньою конусною частиною 2, яким оправка встановлюється у шпindel верстата (на кресленні не показано) і циліндричним виступом 3. Нижньою циліндричною поверхнею 4 хвостовик 1 є у взаємодії з внутрішнім діаметром направляючої втулки 5 з можливістю осевого переміщення, на зовнішньому діаметрі якої нарізана різь, яка є у взаємодії з затискною гайкою 6 і контргайкою 7. Між торцями циліндричного виступу 3 і направляючої втулки 5 встановлено пружину стиснення 8. Нижньою торцевою поверхнею направляюча втулка 5 жорстко з'єднана з торцем циліндричного корпусу 9, всередині якого встановлено двокулачковий розточувальний кулісний механізм 10 з горизонтальною віссю обертання, перпендикулярно до осі хвостовика 1, який виконано в вигляді двокулачкового плеча 11 з можливістю коливного руху. До одного кінця двокулачкового плеча 11 шарнірно приєднана одним кінцем верхня тяга 12, а другим кінцем верхня тяга з'єднана з хвостовиком 1 за допомогою шарніра 13 з можливістю кутового повертання. В нижній частині 14 хвостовика 1 до другого кінця двокулачкового плеча 11 шарнірно під'єднана одним кінцем нижня тяга 15, яка другим кінцем шарнірно з'єднана з оправкою 16 різця 17 з можливістю його радіального переміщення. В циліндричному корпусі 9 різець 17 встановлено у змінну втулку тертя 18, яку після спрацювання легко замінити. Знизу циліндричного корпусу 9 закручена пробка 19 для проведення профілактичних робіт під час експлуатації. Розточувальна головка встановлюється в отвір деталі 20, в якій необхідно розточувати кільцеву канавку 21.

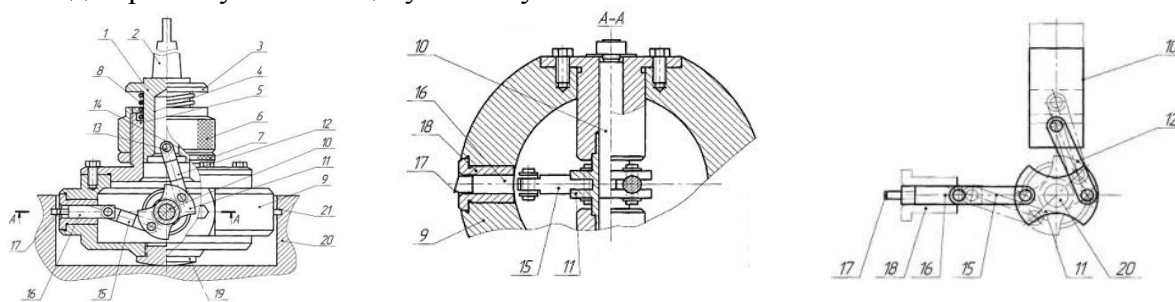


Рис. 1. Оправка з розточувальним кулісним механізмом

Робота оправки здійснюється наступним чином. Оправку хвостовиком 1 конусною частиною 2 встановлюють в шпindel вертикально свердлильного верстата, а різець 17 відводять в праве крайнє положення, а корпус 20, в якому необхідно розточити кільцеву канавку 21, встановлюють в пристрій відомої конструкції (на кресленні не показані) і здійснюють їх центрування. Після підготовчих робіт включають верстат і шпindel опускають вниз, стискаючи пружину стискування 8, хвостовик 1 опускають вниз. При цьому верхня тяга 12 опускається вниз, прокручуючи двокулачкове плече 11, яке, в свою чергу, переміщає нижню тягу 15, а відповідно різець 17 переміщається вліво, розточуючи кільцеву канавку 21 в деталі 20.

Глибина розточування канавки регулюється величиною опускання шпинделя верстата. Після закінчення розточування кільцевої канавки 21 шпindel піднімають

вверх, при цьому кулісний механізм за допомогою тяг 12 і 15 встановлює різець 17 у вихідне положення. Оброблену деталь 20 знімають з пристрою, а на його місце встановлюють інший.

Застосування проміжних шарнірних тяг 1 РГ (рис. 2) між оправкою 2 з конусом Морзе, з'єднаною з шпинделем верстата і держакон різця 3, розміщених під кутом до напрямків руху, передбачає нерівномірність подачі різця до подачі шпинделя.

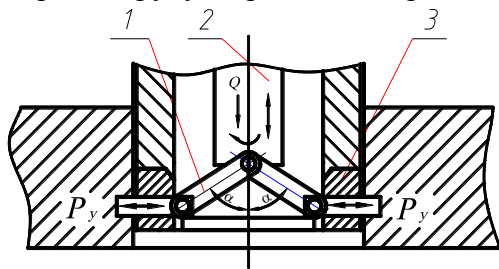


Рис. 2. Розміщення шарнірних тяг в розточних головках

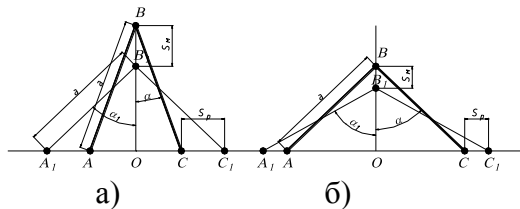


Рис. 3. Розрахункова схема зміни величини подачі шпинделя  $S_w$  і величини подачі різця  $S_p$  для різних кутів  $\alpha$ . а) – малий кут  $\alpha$ ,  $S_w < S_p$ ; б) – великий кут  $\alpha$ ,  $S_w > S_p$ ;

Оскільки конструкція РГ передбачає можливість зміни кута  $\alpha$  в діапазоні  $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ , то розрахунок проводимо в цьому діапазоні. Для спрощення розрахунку відношення  $S_p / S_w$  візьмемо середнім в межах  $10^\circ$  ( $\alpha_1$ ). Графік залежності зміни  $S_p / S_w$  від кута  $\alpha$  розміщення шарнірів в РГ зображений на рис. 4.

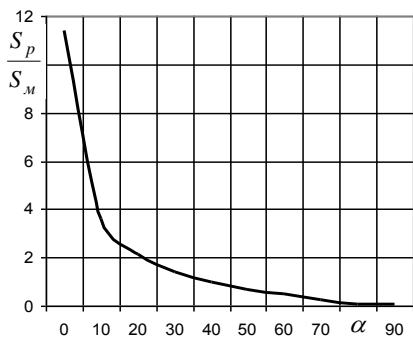


Рис. 4. Графік залежності зміни  $S_p / S_w$  від кута розміщення шарнірів в РГ  $\alpha$ .

Для різних значень кутів  $\alpha$  рівномірність і величина подачі різців є різною. Оптимальне значення діапазону зміни кута  $\alpha$ , який в першу чергу повинен забезпечити рівномірність подачі різця, що є важливим параметром в дослідженні конструктивних параметрів РГ. Розрахункова схема зміни величин подачі шпинделя  $S_w$  і різця  $S_p$  для різних кутів  $\alpha$  зображена на рис. 3.

Величина подачі шпинделя  $S_w$  (мм/об.)

за даною схемою рівна:

$$S_w = BB_1 = a \cos \alpha - a \cos \alpha_1 = a (\cos \alpha - \cos \alpha_1), (1)$$

де  $a$  - довжина тяги, мм.

Величина подачі різця  $S_p$  для даної

величини подачі шпинделя рівна

$$S_p = CC_1 = a \sin \alpha_1 - a \sin \alpha = a (\sin \alpha_1 - \sin \alpha). (2)$$

Відношення  $S_p / S_w$  (основна характеристика РГ) буде складати

$$\frac{S_p}{S_w} = \frac{a (\sin \alpha_1 - \sin \alpha)}{a (\cos \alpha - \cos \alpha_1)} = \frac{\sin \alpha_1 - \sin \alpha}{\cos \alpha - \cos \alpha_1}. (3)$$

Із графіка видно, що умова  $S_p / S_w < 1$  забезпечується при значеннях кута  $\alpha > 45^\circ$ . Найбільш раціональним є застосування в конструкції РГ кута в межах  $\alpha = 45^\circ \dots 75^\circ$ .

#### Література:

1. Самоустанавливающиеся зажимные механизмы. Справочник / Ю.Н. Кузнецов. – К.: Техника, 1988. – 222 с.

2. Артоболевський І.І. Механізми в сучасній техніці. В 7 томах. – Т.ІІІ: Рычажно-кулачкові, рычажно-зубчасті, рычажно-храпові, рычажно-клинові і винторычажні механізми. Механізми з гнучкими і еластичними зв'язками / І.І. Артоболевський. – М: Наука, 1979. – 416 с.

УДК 631.3.01

**Ю.Б. Капаціла, канд. техн. наук, доц.**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

## **АНАЛІЗ СФЕРИ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМІВ З ГВИНТОВИМИ ПРИСТРОЯМИ**

**Yu. Kapatsila, Ph.D., Assoc. Prof.**

### **RESEARCH AREA ANALYSIS OF MACHINERY WITH SCREW ARRANGEMENTS**

Механізми з гвинтовими пристроями отримали широке застосування в техніці завдяки здатності використовувати один робочий орган для суміщення виконання різних операцій: транспортування і змішування, очищення, пресування, подрібнення тощо. Особливості їх конструкцій визначаються характером техпроцесів, властивостями матеріалів, технологією виготовлення гвинтових робочих органів та іншими факторами.

Великий внесок у формування наукових основ розробки та дослідження технологічних процесів, які виконуються гвинтовими пристроями зробили вчені П.М. Василенко, Б.М. Гевко, А.М. Григор'єв, А.А. Омельченко, В.Д. Ткач, Л.В. Погорелий та інші. Проблеми визначення параметрів гвинтових конвеєрів і режимів їх роботи присвячені роботи Г.А. Хайліса, Р.М. Рогатинського та інших.

В нашій країні, а також у світовій практиці, все більшого застосування набувають гнучкі гвинтові конвеєри. Розробкою нових конструкцій гнучких гвинтових конвеєрів займалися А.М. Григор'єв, П.А. Преображенський, Б.М. Гевко, Р.М. Рогатинський, М.І. Пилипець.

Розробка і дослідження обладнання, машин і механізмів в сфері використання для механізації таких операцій як очищення коренебульбоплодів, зернових та інших сумішей відображені в роботах С.Г. Нагорняка, В.Ф. Пономарьова, Б.М. Гевка, Р.М. Рогатинського, М.Г. Данильченка і багатьох інших.

Питання використання гвинтових механізмів як шнекових очисників, їх теорія і розрахунок детально розроблені в роботах Л.В. Погорілого, Ю.В. Аванесова, При проектуванні гвинтових механізмів обов'язково враховується технологія виготовлення спіралей шнеків. Ці питання розглянуті в роботах Г.М. Павлова, Б.М. Гевка, В.А. Єгорова, Д.Я. Шифріна, А.В. Церна, В.Є., Р.М. Рогатинського.

Гвинтові конструкції широко використовуються в обладнанні і машинах для переробки харчових продуктів. Проблеми розробки та дослідження обладнання промисловості присвячені праці вчених Г.А. Ждановича, В.Ф. Пономарьова, М.П. Яковлева та інших дослідників.

Шнеки широко використовуються для механізації процесів змішування різних матеріалів. Вивченням цього питання займалися багато вчених, серед яких в першу чергу слід відзначити А. Віденбаума, М. Данквертса, Д. Лейсі, Г.Г. Кошелєва. Ними отримані залежності для розрахунку. Також була розроблена математична модель процесу змішування, яка дозволяє розробляти раціональні технологічні процеси і засоби для їх механізації. Класифікація гвинтових механізмів і оптимізація їх робочих органів приведені в роботах Б.М. Гевко, А.А. Омельченка, А.М. Григор'єва, Р.М. Рогатинського. Розробка питань синтезу гвинтових механізмів ґрунтувалась на роботах Ю.М. Кузнецова, А.П. Соколовського, С.Г. Нагорняка.

Ці та інші вчені зробили великий внесок у розробку теорії гвинтових механізмів, розширення сфери їх використання, створення нових високопродуктивних машин.

УДК 62-231:621.9.04

**А.М. Кириченко, докт. техн. наук, проф.;** Аль Ібрахімі Метак М.А.  
Центральноукраїнський національний технічний університет, Україна

## **КОМПОНОВКА ВЕРСТАТА ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ІЗ СПЕЦІАЛЬНИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ**

**A. Kyrychenko, Dr. Prof.;** Alibraheemi Methaq

### **LAYOUT OF A PARALLEL MACHINE TOOL WITH A SPECIAL EFFECTOR**

Підвищення продуктивності обробки, в тому числі впровадження високошвидкісної обробки (HSM), потребує подальшого зростання швидкостей та прискорень металообробного обладнання при збереженні високої жорсткості і вібростійкості. Одним із шляхів вирішення цієї задачі є створення верстатів із різними варіантами механізмів паралельної структури, в тому числі для багатокординатної обробки. Важливою характеристикою таких верстатів є орієнтаційний робочий простір, збільшення якого дозволить їм зрівнятися за технологічними можливостями із традиційними багатокординатними верстатами. Використання спеціальних робочих органів, в тому числі із спільною віссю шарнірів [1], дозволяє збільшити кут повороту робочого органа до  $90^\circ$  принаймні відносно одної з координатних осей [2].

Подальше розширення орієнтаційного робочого простору можливе з використанням нової компоновки верстата з спеціальним робочим органом (рис. 1). Попередні розрахунки показують, що орієнтація робочого органа такого верстата можлива у конусі з кутом  $90^\circ$ , що досягається шляхом кінематичної надлишковості приводів та спеціального розміщення шарнірів основи і робочого органа.

Надлишковість приводів вимагає точної ідентифікації координат шарнірних опор основи і робочого органа (можна досягнути прямим вимірюванням) вже на етапі попереднього налаштування верстата для запобігання пружних деформацій внаслідок неузгодженості приводів штанг. Способом усунення надлишковості без втрати корисних властивостей може бути конструктивне забезпечення вільного переміщення однієї із груп шарнірів уздовж осі робочого органа.

Вказані особливості обумовлюють значні відмінності кінематичних залежностей, методів розрахунку точності та жорсткості, потребують відповідного уточнення алгоритмів управління, виходу у початкове положення та калібрування верстата.

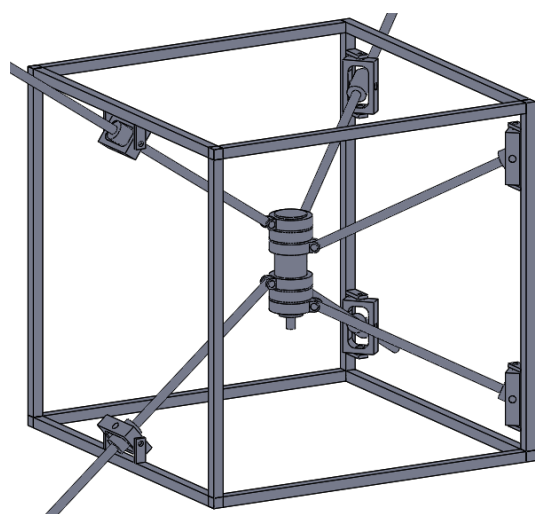


Рис. 1. Багатокординатний верстат із спеціальним робочим органом

### **Література**

1. Metrom [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.metrom-mobil.com/>.
2. Кириченко А.М. Кінематика п'ятикоординатного верстата з паралельною структурою / А.М. Кириченко, О.В. Шелепко, С.П. Сапон // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – Чернігів, 2013. – № 3 (67). – С. 100 – 104.

УДК 621.643:620.17

**А.О. Кичма<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.; В. А. Драгілев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Національний університет “Львівська політехніка”, Україна;

<sup>2</sup>ТОВ «Магістральне будівництво», м. Київ, Україна

## **ОЦІНКА МІЦНОСТІ НАДЗЕМНИХ ДІЛЯНОК МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ ПІД ЧАС РЕМОНТУ ЇХ ОПОРНИХ ВУЗЛІВ**

**A. Kychma, Ph. D., Assoc. Prof.; V. Dragilyev**

### **ESTIMATION SAFETY FACTORS IN REPAIR OF SUPPORTING UNITS ON OVERGROUND SEGMENTS OF PIPELINES**

Проблеми ремонту опорних вузлів магістральних газопроводів (МГ) тривалої експлуатації, на надземних переходах через водні перешкоди чи заболочені ділянки, без припинення транспортування газу, вимагають додаткових теоретичних і експериментальних досліджень. Переважно після зварювання, багатопарові монтажні шви надземних ділянок МГ не піддаються додатковій термічній обробці, щоб зменшити залишкові напруження. Результати внутрітрубної діагностики МГ показали, що 72% виявлених дефектів у тілі труби знаходяться у зоні зварних швів. В свою чергу залишкові напруження у зоні кільцевих і поздовжніх зварних швів можуть істотно впливати на їх міцність. Для того, щоб обстежити і відремонтувати опорний вузол МГ необхідно підняти надземну ділянку трубопроводу разом з сідловиною на 20 -100 мм. Тому оцінку міцності надземних ділянок МГ під час підймання ділянки трубопроводу у процесі проведення ремонтних робіт їх опорних вузлів, необхідно проводити з урахуванням додаткових технологічних навантажень і залишкових напружень у зварних швах.

Запропонований нами розрахунково-експериментальний метод визначення параметрів напруженого стану (НС) у зварних з'єднаннях ґрунтується на математичній моделі деформівних тіл з власними напруженнями [1] і експериментальній інформації про характеристики НС, які можна отримати неруйнівними методами. Для розрахунково-експериментального визначення залишкових технологічних напружень використано методичний підхід, характерний для методів розв'язування обернених задач в екстремальній постановці, який передбачає мінімізацію функціоналу, що описує міру відповідності розрахованих характеристик залишкових напружень, експериментальним даним. При цьому шукані поля локалізованих у зоні шва несумісних залишкових деформацій апроксимовані поліноміальними функціями. Мінімізація побудованого функціоналу забезпечує найменшу нев'язку між експериментально визначеними і аналогічними теоретично обчисленими характеристиками полів напружень. За розв'язками оберненої задачі теорії оболонок з власними напруженнями знаходять значення компоненти тензора поля умовних пластичних деформацій, за якими визначають компоненти тензора залишкових напружень у довільній точці кільцевого різнотовщинного зварного з'єднання трубопроводу, включаючи і ці, які не можна отримати експериментально. Після цього знаходять колові та осьові напруження у довільній точці трубопроводу, за якими судять про його об'ємний НС, з урахуванням різнотовщинності зварного з'єднання і

несиметричності розподілу залишкових деформацій відносно перерізу зварного шва. Використовуючи запропонований підхід [2] розвинуто спосіб відтворення рівня залишкових технологічних напружень і їх розподілу у зоні зварних швів з використанням експериментальної інформації, отриманої електромагнітним методом та методом голографічної спекл-інтерферометрії для різнотовщинних труб.

Для розрахунку коефіцієнтів запасу міцності ділянки трубопроводу з дефектами за статичного навантаження прийнято діаграму оцінки руйнування (ДОР), яка є граничною кривою, що визначає межу міцності між безпечним та небезпечним станами елементів конструкцій та споруд. ДОР ґрунтується на двопараметричній критерії, який виражає умову непорушення рівноваги тріщиноподібного дефекту у вигляді функції від двох параметрів

$$f(K_r, L_r) = 0,$$

де  $K_r$  характеризує міру наближення до крихкого руйнування у деякій точці у зоні тріщиноподібного дефекту, а  $L_r$  – міру наближення до в'язкого руйнування. Параметри  $K_r$  і  $L_r$  – комплексні і включають характеристики напружено-деформованого стану, форми і розміри дефекту, а також властивості матеріалу, що визначають опір матеріалу відповідно крихкому і в'язкому руйнуванню. Для оцінки статичної міцності діючих магістральних трубопроводів з дефектами нормативним

документом [3] рекомендовано ДОР будувати в координатах  $K_r$  та  $S_r$ , де  $K_r = \frac{K_1}{K_{1c}^*}$ ;

$S_r = \sigma_{\text{ref}} / \sigma_B$ . Тут напруження  $\sigma_{\text{ref}}$  є уявною границею плинності жорстко-пластичного тіла, за якої тіло з дефектом знаходиться в граничному стані для заданої системи зовнішніх навантажень;  $\sigma_B$  – границя міцності матеріалу; допустимий рівень

критичного КІН  $K_{1c}^* = \frac{K_{1c}}{\kappa}$ ;  $\kappa$  – інтегральний коефіцієнт надійності.

Розроблені алгоритм і програма для оцінки коефіцієнта запасу міцності ділянок МГ з дефектами з врахуванням зміни параметрів тріщиностійкості металу труб ( $K_{1c}$ ) і залишкових напружень у зварних швах. Визначені допустимі розміри тріщиноподібних дефектів і максимальний тиск газу, за яких експлуатація газопроводу буде безпечною, під час проведення ремонту опорних вузлів без зупинки транспортування газу.

### **Література:**

1. Осадчук В.А. Діагностування залишкових технологічних напружень в елементах конструкцій розрахунково-експериментальним методом / В.А. Осадчук // Мат. методи та фіз.-мех. поля. – 2003. – 46, № 1. – С. 88 – 104.
2. Патент № 92921 України. Спосіб визначення напруженого стану в кільцевих зварних з'єднаннях трубопроводів / А.О. Кичма. – Опубл. 10.09.2014, Бюл. № 17.
3. Визначення залишкової міцності магістральних трубопроводів з дефектами. ДСТУ-НБВ.2.3-21:2008. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2008. – 88 с.

УДК 621.313

**Г.П. Клименко, докт. техн. наук, проф.; В.В. Квашнин**

Донбасская государственная машиностроительная академия, Украина.

## **ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

**G. Klymenko, Dr., Prof.; V. Kvashnin**

### **DIAGNOSTICS OF ELECTROMECHANICAL SYSTEMS BASED ON ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE**

Качество и надежность работы станков и механизмов, их управляемость и работоспособность в значительной мере зависит от разработки системы контроля текущих параметров объекта управления в целом и его электропривода в частности.

В связи с этим возникает необходимость в разработке и создании относительно недорогих, доступных но более точных средств измерений, контроля и управления для модернизации такого оборудования.

Таким образом, целью работы являлось разработка системы контроля и управления асинхронным электроприводом на основе элементной базы микроконтроллеров серии STM32-discovery. Для достижения поставленной цели было намечено решение следующих задач:

- выбор системы диагностирования;
- определение структуры функциональной схемы системы контроля и управления регулируемым асинхронным электроприводом;
- определение аппаратных и программных средств диагностики электромеханической системы;
- разработка имитационного оборудования для формирования статических и динамических нагрузок в виде лабораторных стендов.

За основу структуры системы функционального диагностирования принята трехуровневая система контроля и управления. При построении трехуровневой системы контроля и управления была взята элементная база франко-итальяно-японской фирмы STMicroelectronics (STM).

На первом – нижнем уровне, находится собственно сам объект управления в виде частотного электропривода механизма, а так же необходимые датчики для измерения технических параметров объекта управления – пути, скорости, тока, напряжения, мощности и т.д.

На втором – среднем уровне предполагается использование наиболее производительного микроконтроллера из семейства микроконтроллеров линейки STM32F4.

На третьем – верхнем уровне располагается управляющая вычислительная машина и оператор.

Стенд статических нагрузок построен на основе асинхронного электродвигателя АИР56В4У3. Стенд динамических нагрузок – на основе асинхронного электродвигателя АИР56А4У3. Их питание осуществляется от частотного преобразователя в виде автономного инвертора напряжения. В частности, используемый автономный инвертор напряжения был реализован на базе микроконтроллера STM32VLDISCOVERY.

Разработка программ для микроконтроллеров STM32 реализуется при помощи языка программирования высокого уровня С.



Для прошивки мікроконтролера і розробки програм широко використовуються середовища розробки, такі як Atollic True Studio, Keil, IAR.

Все параметри, пов'язані з управлінням приводом, заносяться в пам'ять контролера з допомогою програмуємого пристрою або персонального комп'ютера за допомогою перетворювача USB-UART (асинхронний прийомопередатчик). Так же через інтерфейс USB-UART здійснюється моніторинг основних параметрів роботи системи в реальному часі. Як датчик швидкості обертання вала електродвигача на стенді статических навантажень використаний імпульсний датчик. Датчик представляє собою інкрементний квадратурний енкодер оптичної системи. На двохмасовому стенді динаміческих навантажень як датчик швидкості використаний поворотний дискретний фотоелектрический датчик. Він призначений для перетворення шляху (кута повороту) робочих органів промислових механізмів в кількість імпульсів, а кугової швидкості – в частоту слідування імпульсів. Управління датчиком здійснюється або від мікроконтролера, або від іншого керуючого мікропроцесорного пристрою з допомогою спеціальних програм.

В результаті виконаної роботи обґрунтована актуальність розробки відносно недорогой, простої, але в той же час сучасної і функціональної системи контролю і управління асинхронним електроприводом.

Визначено тип системи діагностування і структура її реалізації.

Вибрано елементна база для побудови системи контролю і управління на основі лінійки мікроконтролерів STM32-Discovery.

Розроблено імітаційне обладнання в вигляді стендів статических і динаміческих навантажень, оснащених асинхронними електроприводами різних потужностей.

Для контролю основних техніческих параметрів електроприводів обрано гальванічески роз'язані імпульсні датчики швидкостей, а також датчики токів електродвигачей.

Описано використовуємі засоби програмування і способи обміну даними між різними рівнями запропонованої системи діагностування.

### **Література:**

1. Квашнін В.В., Кліменко Г.П., Квашнін В.О. Апаратні і програмні засоби діагностики електромеханіческої системи на основі асинхронного електропривода [Текст] / В.В. Квашнін, Г.П. Кліменко, В.О. Квашнін // Електротехніческі і комп'ютерні системи № 22 (98), 2016, с. 359 – 365.
2. Osama A. Al-Naseem and Mohamed A. El-Sayed, Analysis of Electrical and Non Electrical Causes of Variable Frequency Drive Failures, IEEE 2013, pp. 221 – 226.
3. Wiesław Juszczak, Zygmunt Kich, Mieczysław Zajac, Diagnostics of a Selected AC Drive Using Parallel Processing, Proceedings of the International Conference on Parallel Computing in Electrical Engineering (PARELEC'02), 2002 IEEE, pp. 6.
4. Haitham Abu-Rub, Sk. Moin Ahmed, Atif Iqbal, M. Rahimian, H.A. Toliyat, Incipient Bearing Fault Diagnostics for Inverter Fed Induction Motor Drive using ANFIS, XIX International Conference on Electrical Machines – ICEM 2010, Rome, pp. 978.
5. Joro F. Martins, Vitor F. Pires, Tito Amaral, Induction motor fault detection and diagnosis using a current state space pattern recognition, Elsevier B.V., Pattern Recognition Letters 32 (2011), pp. 321 – 328.

УДК 621.77; 621.314

Я.О. Ковальчук, канд.техн.наук, доц.; Н.Я. Шингера, канд.техн.наук, доц.  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## ВПЛИВ ЦИКЛІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ПОШКОДЖЕННЯ ВУЗЛІВ ЗВАРНОЇ ФЕРМИ

Y. Kovalchuk, Ph.D, Assoc. Prof; N. Shynhera, Ph.D, Assoc. Prof

### THE INFLUENCE OF CYCLIC LOADS ON DAMAGES OF WELDED TRUSSES NODES

Метою роботи є виявлення закономірностей пошкодження та руйнування зварної прямокутної ферми при дії циклічних навантажень.

Напівнатурні дослідження виконано з використанням випробувального комплексу СТМ-100 на фізичних моделях зварної підкрювняної ферми 600 мм х 120 мм зі сталюого вальцьованого кутникового профілю 25х25 мм. (рис. 1).



Рисунок 2 – Дослідження фізичної моделі зварної ферми



Рисунок 2 – Втомне пошкодження вузла ферми в зоні термічного впливу від зварювання

Вибрано схему навантажування конструкції, яка відповідає експлуатаційному режиму для підкрювняної ферми, а саме зосереджене статичне навантаження на проміжні вузли верхнього пояса. Досліджено 12 зразків при дії двочастотного циклічного навантажування. Середнє навантаження низькочастотного циклу  $P_m = 8$  кН, коефіцієнт асиметрії навантаження низькочастотного циклу  $R = P_{min}/P_{max} = 0,1$ , частота низькочастотного циклу навантажування  $\omega_1 = 1$  Гц, амплітуда накладеного високочастотного навантаження  $2P_2 = 2$  кН, частота накладеного високочастотного навантажування  $\omega_2 = 40$  Гц.

Виявлено, що втомне пошкодження локалізується у бокових вузлах ферми на нижньому поясові вздовж зони термічного впливу від зварювання (рис.2). Отримано закономірності втомного пошкодження вузлів зварної підкрювняної ферми в чисельному і графічному вигляді, а саме кількість високочастотних циклів до моменту зародження візуально помітної тріщини, швидкість поширення втомної тріщини впродовж циклічного навантажування та кількість циклів до втрати конструкцією її несучої здатності та її руйнування.

Результати досліджень можуть бути використані для визначення залишкового ресурсу конструкції і попередження її аварійного руйнування при комплексному впливі конструкційних та технологічних чинників.

### Література

1. Пат. №40196 Україна, МПК G01N 3/00. Пристрій для базування зварних ферм при випробуваннях на статичну та циклічну міцність / Шингера Н.Я., Ковальчук Я.О.; заявник і патентовласник Тернопіль. держ. технiч. ун-т. – № 40196; заявл. 13.11.08; опубл. 25.03.09, Бюл. № 6.

УДК 621.82

Р.М. Котик

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## БАГАТОСТУПЕНЕВА ОПРАВКА ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ КІЛЕЦЬ І ВТУЛОК

R. Kotyk

### MULTIPLE STAGE MANDREL THE PROCESSING OF PARTS SUCH AS RINGS AND BUSHINGS

Багатоступенева оправка (рис. 1) виконана у вигляді корпусу 1, який закріплений у шпинделі токарного верстату, ексцентричного валка 2, який є у взаємодії з розпорною деталлю 3, яка виконана у вигляді деталі зрізаного конуса з можливістю соєвого переміщення. Причому торець більшого діаметра розпорної втулки 3 виконано у вигляді радіусної виточки 4, яка є у взаємодії з тілом ексцентричного валка 2 з

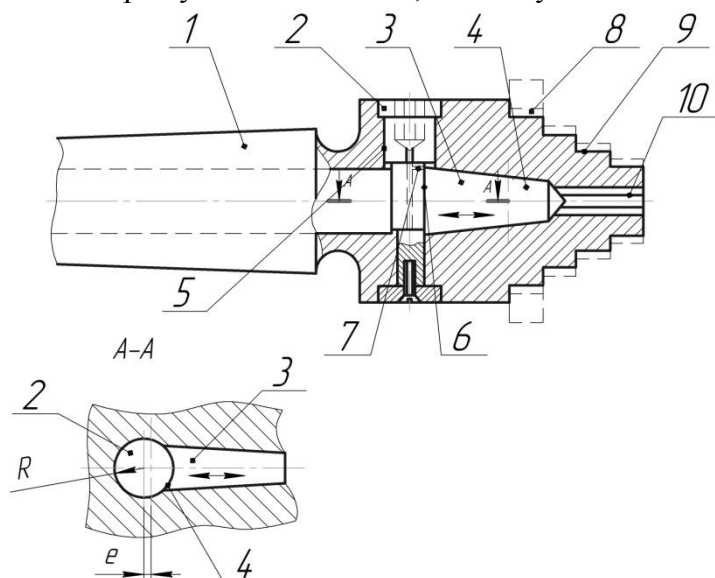


Рис. 1. Багатоступенева оправка для  
оброблення деталей типу кілець і втулок

можливістю осьового переміщення на величину ексцентриситету "e". Для забезпечення роздачі правого кінця 5 оправки він є розрізаним в осьовому напрямку 6 з можливістю відпружинення. На правому кінці оправки 5 виконані ступінчасті виступи 7 різних типорозмірів на які встановлюють заготовки 8 різних типорозмірів, а в разі потреби встановлення більших типорозмірів під заготовки 8 встановлюють допоміжні втулки 9.

Крім цього верхня частина ексцентричного валка з внутрішнім шестигранником знизу якого виконано осьовий отвір 10, який заповнений

консистентним мастилом 11, яке поступає в зону тертя розпорної втулки 3, що зменшує сили тертя і покращує роботу оправки.

Робота оправки здійснюється наступним чином. Вона жорстко закріплюється в шпинделі токарного верстату, ексцентричний валок 2 за допомогою спеціального шестигранного ключа відводиться у вихідне положення, при цьому кінець оправки стискується і на виступи 7 встановлюють заготовки 8, а якщо вони мають більші типорозміри під них закладають допоміжні втулки 9. Після цього за допомогою ексцентричного валка 2 розпорну втулку 3 переміщують вправо і здійснюють технологічний процес закріплення заготовок 7 і їх оброблення. Після закінчення технологічного процесу ексцентричний валок 2 повертають у вихідне положення і готові деталі знімають з оправки. В разі потреби запобігання витікання мастила головка з ексцентричного валка 2 закрита пластмасовою пробкою відомої конструкції.

До переваг оправки відноситься розширення технологічних можливостей і підвищення ефективності роботи оправки.

УДК 621.787+621.85

П.Д. Кривий<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.; А.А. Сенік<sup>1</sup>;

Н.М. Тимошенко<sup>2</sup>, канд. фіз.-мат. наук, доц.; О.І. Яловий<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

<sup>2</sup> Національний університет «Львівська політехніка»

<sup>3</sup> Даугавпільський завод приводних ланцюгів, Даугавпілс, Латвія

## НОВА ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗГОРТНИХ ВТУЛОК ПРИВОДНИХ РОЛИКОВИХ ЛАНЦЮГІВ НА ОСНОВІ ІМОВІРНІСНОГО ПІДХОДУ

P. Kryvyy, Ph.D. Assoc.Prof.; A. Senyk; N. Tymochenko Ph.D., Assoc.Prof.; O. Jalovyy  
NEW TECHNOLOGY OF DRIVING ROLL CHAINS SPLIT BUSHINGS  
MANUFACTURING ON THE BASIS OF PROBABILISTIC APPROACH

Проаналізовано існуючі технології [1 – 3, 5] виготовлення згортних втулок приводних роликів і втулкових ланцюгів (ПРВЛ).

Встановлено, що при запресуванні згортних втулок у отвори внутрішніх пластин в процесі складання внутрішніх ланок ПРВЛ, внаслідок радіальної деформації кінців втулок, має місце спотворення форми внутрішньої поверхні згортних втулок і утворення бочкоподібності [4, 5], яка негативно впливає на зносостійкість шарнірів, особливо на періоді припрацювання.

Показано, що технологічні прийоми [1, 2] забезпечення певної форми поперечного перерізу стрічки, з якої розрізанням отримують заготовки у вигляді прямокутних карточок. із яких виготовляють згортні втулки, є неефективним. Окрім цього встановлено, що бочкоподібність у кожному поздовжньому рівномірно розміщеному на проміжку  $[0-2\pi]$  перерізі є величина випадкова (внаслідок стохастичності діаметрів отворів пластин, діаметрів втулок і величин натягу) має певну закономірність зміни за кутом повороту. Максимальні значення бочкоподібності запресованих втулок мають місце в зоні стикового шва, а мінімальні – в зоні діаметрально протилежній.

Для забезпечення правильної форми внутрішніх циліндричних поверхонь згортних втулок у внутрішніх ланках ПРВЛ запропоновано в процесі прокатки стрічки (рис. 1) перед її розрізанням на заготовки і гнуттям на краях поверхні стрічки, що створюватиме внутрішню циліндричну поверхню згортної втулки, формувати фаски з певними розмірними параметрами: довжиною  $l$  і висотою  $h$ , які визначаються за формулами:  $l = (0,2 - 0,25)H$ ,  $h = \Delta_{\max} + \delta_{\text{ст. max}} + \Delta h$ ,

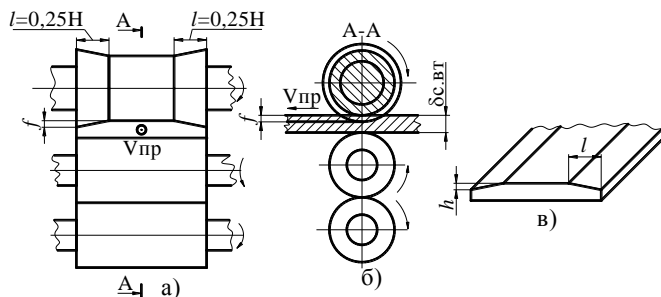


Рисунок 1. Схема прокатки стрічки: а) – формування фаски; б) – переріз А-А; в) – фрагмент стрічки із сформованими фасками.

відповідно максимальний зовнішній і мінімальний внутрішній діаметри згортної втулки);  $\Delta h = (0,05-0,1) \Delta_{\max}$  – величина зменшення при термічній обробці згортних втулок висоти фаски внаслідок релаксацій напружень, утворених при пластичній деформації в процесі прокатки стрічки.

де  $H$  – висота втулки, що дорівнює ширині стрічки;

$\Delta_{\max} = M(\Delta) + 3\sqrt{D(\Delta)}$  – максимальна бочкоподібність у зоні стикового шва (тут  $M(\Delta)$  і  $D(\Delta)$  – відповідно математичні сподівання і дисперсія бочкоподібності).  
Схема вимірювання бочкоподібності подана на рис. 2;

$\delta_{\text{ст. max}} = 0,5(D_{\max} - d_{\min})$  – максимальна величина допуску на товщину стінки згортної втулки (тут  $D_{\max}$  і  $d_{\min}$  –

В подальшому перед гнуттям заготовок і отриманням згортних втулок, ці заготовки у вигляді прямокутних карточок орієнтують так, щоб поверхні, на яких утворені фаски, формували внутрішні циліндричні поверхні втулок.

В результаті отримують так звану “корсетну” втулку. З таких втулок утворюють досліду партію малої вибірки, наприклад, обсягом 10 штук і складають внутрішні ланки ПРВЛ. З внутрішніх поверхонь цих втулок у поперечному перерізі, розміщеному на половині висоти втулки, знімають круглограми, з яких будують усереднену круглограму, і на ній визначають зони з максимальними відхиленнями від круглості. В подальшому згортні втулки калібрують, попередньо зорієнтувавши у задане кутове положення у пружних філь’єрах [7] і тим самим забезпечують високу точність форми. Здійснюють наступні операції: термічну (гартування і відпуск) та слюсарну (округлення гострих країв і полірування у галтовочних барабанах). В кінцевому результаті отримують корсетні згортні втулки (рис. 3), які подають на позиції складання внутрішніх ланок ПРВЛ.

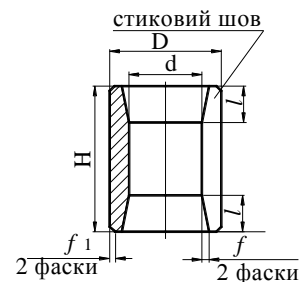
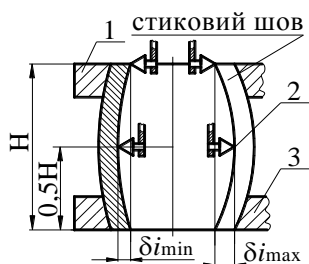


Рисунок 2. Схема вимірювання бочкоподібності. 1 і 3 – верхня і нижня пластини ПРВЛ, 2 – запресована втулка.

Рисунок 3. Схематичне зображення згортної корсетної втулки.

Виготовлені за запропонованою технологією згортні втулки характеризуються підвищеною точністю форми їх внутрішніх поверхонь і цим самим забезпечують у шарнірах ПРВЛ покращені умови контактування, що сприяє підвищенню їх зносостійкості.

#### Література.

1. А.с. 517357 СССР М.Кл. В21/D11/02. Способ изготовления втулок / И.А. Червинский, А.Г. Кузьмичев, Н.И. Черчищев, И.К. Бержной, В.И. Собакан и Л.П. Зайцев (СССР). - №2005106/25-27; заявл. 18.03.74; опубл. 15.06.76; Бюл. №22.
2. А.с.589484 СССР МКИ<sup>3</sup>F 16 G13/08. Способ изготовления свертной втулки из ленты / С.А. Дубиняк, П.Д. Кривый, Н.И.Кузьмин, А.В. Куцевич (СССР). - №2364943/25-27; заявл. 24.05.76; опубл. 25.01.78. Бюл. №3.
3. Дубиняк А.С. Новая технология изготовления свертных втулок и сборки приводных цепей / С.А. Дубиняк, П.Д. Кривый, А.В. Куцевич//Теоретические и экспериментальные исследования в области сельскохозяйственного машиностроения. – М.: ВИСХОМ, 1979. – С. 91-94.
4. Кривый П. Д. Дослідження форми згортних втулок внутрішніх ланок приводних роликів і втулкових ланцюгів / Петро Дмитрович Кривий, Ігор Степанович Муха // Вісник ТДТУ, — Тернопіль : ТДТУ, 1999 — Том 4. — № 3. — С. 78-87.
5. Кривый П. Д. Работоспособность приводных роликных и втулочных цепей с ориентированными втулками: дис. канд. техн. наук: спец 05.02.02. «Машиноведение и детали машин.» / П.Д. Кривый – Львов: 1990.-252 с.
6. Шведов И. А. Повышение работоспособности цепных передач конструкторскими и технологическими методами: дис..... кандидата техн. наук: 05.02.02 / Шведов Иван Алексеевич. – Краснодар, 2004. – 160с.
7. №5550/ЗУ/17 від 06.03.2017 МПК В29 С 47/12(2006.01) Рішення про видачу деклараційного патенту на корисну модель. Розрізна пружна філь’єра для калібрування згортних втулок з n-вершинним огранюванням / П.Д. Кривий, А.А. Сенік, Н.М. Тимошенко (Україна) № у 2016 11723; заявл. 21.11.2016.

УДК 621.9

П.Д. Кривий<sup>1</sup>, канд. техн. наук., доц.; В.Р. Кобельник<sup>1</sup>, канд. техн. наук;

Н.М. Тимошенко<sup>2</sup>, канд. фіз.-мат. наук., доц., Ю.О. Апостол<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

<sup>2</sup> НУ «Львівська політехніка»

### СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ШОРСТКОСТІ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ СФОРМОВАНИХ НАПІВЧИСТОВИМ І ЧИСТОВИМ ТОРЦЕВИМ ФРЕЗЕРУВАННЯМ

**P. Kryvyy, Ph.D., Assoc. Prof.; V. Kobelnyk, Ph.D.; N. Tymoshtnko, Ph.D., Assoc. Prof.;  
Yu. Apostol**

### СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ШОРСТКОСТІ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ СФОРМОВАНИХ НАПІВЧИСТОВИМ І ЧИСТОВИМ ТОРЦЕВИМ ФРЕЗЕРУВАННЯМ

Проаналізовано способи існуючі вимірювання шорсткості поверхонь утворених обробленням різанням, в тому числі і поверхонь сформованих фрезеруванням [1, 2].

Встановлено, що існуючі способи мають ряд недоліків та неточностей. А саме, безконтактні оптичні способи мають невелике поле зазору, яке не може охопити встановлену базову довжину і тому шорсткість вимірюють на ділянці довжина якої менша ніж базова довжина, що призводить до зниження достовірності отриманих результатів, а в контактних способах не вказано в яких напрямках по відношенню до профілю мікронерівностей вимірюють параметри шорсткості  $Ra$ , або отримують профілограми шорсткості, а також не відзначена необхідна кількість вимірювань для отримання достовірних результатів.

Тому розробка способу вимірювання шорсткості плоских поверхонь сформованих напівчистовим і чистовим торцевим фрезеруванням в якому будуть виключені існуючі недоліки безперечно є актуальною задачею.

Запропоновано новий спосіб вимірювання шорсткості плоских поверхонь сформованих напівчистовим і чистовим торцевим фрезеруванням, при якому використовують спеціальні прилади, наприклад, профілометри або профілометри-профілографи і їх алмазну голку встановлюють до контакту із досліджуваною поверхнею. Переміщують цю голку із заданою швидкістю на встановлену довжину. При цьому вимірювання шорсткості плоскої поверхні сформованої напівчистовим і чистовим торцевим фрезеруванням здійснюють по спільній до всіх траєкторій руху вершин зубів торцевої фрези (слідів оброблення) нормалі. Таких вимірювань здійснюють не менше 10 і отримують значення параметра шорсткості  $Ra_i$  ( $i \geq 10$ ), які приймають як випадкові величини з нормальним законом розподілу. За методом ітерацій з теорії малої вибірки ( $i < 20$ ) визначається математичне сподівання  $M(Ra)$  та дисперсію розсіювання  $D(Ra)$  і знаходять максимальне значення середньоарифметичного відхилення профілю  $Ra_{\max}$  за формулою  $Ra_{\max} = M(Ra) + 3 \cdot \sqrt{D(Ra)}$ , яке приймають за істинне.

#### Література:

1. Болдин Л.А. Основы взаимозаменяемости и стандартизация в машиностроении: Учебное пособие для вузов. – 2-е изд. перераб. и доп. / Л.А. Болдин. – М.: Машиностроение, 1984. – 272 с.

2. Якушев А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. – 2-е изд. перераб. и доп. / А.И. Якушев. – М.: Машиностроение, 1979. – 343 с.

УДК 621.855

П.Д. Кривий<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.; М.Г. Дичковський<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.;  
А.А. Сеник<sup>1</sup>; О.І. Яловий<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

<sup>2</sup> Даугавпільський завод приводних ланцюгів, Даугавпілс, Латвія

## ІМОВІРНІСНО-СТАТИСТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КАЛІБРУВАННЯ ЗГОРТНИХ ВТУЛОК ПРИВОДНИХ РОЛИКОВИХ І ВТУЛКОВИХ ЛАНЦЮГІВ

**P.Kryvyy, Ph.D. Assoc.Prof.; M.Dychkovskyy, Ph.D.Assoc.Prof; A.Senyk; O.Jalovyy**  
**PROBABILITY AND STATISTIC JUSTIFICATION OF CALIBRATION**  
**TECHNOLOGY DEVELOPMENT IN REGARD TO THE WRAPPED BUSHINGS OF**  
**ROLL AND BUSH DRIVE CHAINS**

Проаналізовано існуючі технології калібрування згортних втулок приводних роликів і втулкових ланцюгів (ПРВЛ) та інструментальне забезпечення для реалізації калібрування [1, 3, 6]. Встановлені види браку та їх причини при технологічних операціях виготовлення згортних втулок ПРВЛ, які мають значний вплив на процес калібрування у вольєрах [6].

Визначені певні негативні моменти в існуючій технології калібрування згортних втулок, наприклад, необгрунтованість і неефективність використання великої кількості деформуючих і калібруючих фільтер, які мають високу вартість [1] і некоректність оцінювання істотності відмінності між середніми значеннями відхилень від круглості  $\overline{\Delta}_n$  після кожного  $n$ -го калібрування втулки [2]. Суть запропонованого імовірнісно-статистичного обгрунтування полягає у наступному:

Із заготовок у вигляді карточок, що мають форму прямокутника або паралелограма чи ромба шляхом їх періодичного або послідовного неперервного деформування формують згортні втулки, які піддають традиційному калібруванню проштовхуванням їх через пакет із  $m$  деформуючих і  $n$  калібруючих фільтер і отримують при цьому задану точність діаметральних розмірів і форми (відхилення від круглості  $\Delta$ ).

Потім із генеральної сукупності таких згортних втулок утворюють малу вибірку обсягом 6-10 втулок. Із їх зовнішніх або внутрішніх поверхонь знімають круглограми, які обробляють і отримують усереднену круглограму. З цієї круглограми у рівномірному розміщенні на проміжку  $[0; 2\pi]$   $k$  положеннях відзначають відхилення від круглості  $\Delta_k$ , які подають як значення нестационарної випадкової періодичної функції  $f(\Delta)$ .

Обмежившись, наприклад, 10-ма членами, цю функцію апроксимують тригонометричним рядом Фур'є і за вибіркоче середнє значення відхилення від круглості  $\overline{\Delta}_e$  приймають вільний член  $a_0$  цього ряду. Визначають за [4, 5] дисперсію розсіювання  $\Delta_k$  як половину суми квадратів перших 10 амплітуд  $D(\Delta) = 0,5 \sum_{i=1}^{10} A_i^2$ , де  $i$

– порядковий номер амплітуди ( $i=1, 2, 3, \dots, 10$ ), а  $A_i$  – значення  $i$ -ої амплітуди, вибіркоче середнє квадратичне відхилення  $\sigma(\Delta) = \sqrt{D_e(\Delta)}$  та коефіцієнт варіації

$$K_v = \frac{\sigma(\Delta)}{\overline{\Delta}_e}.$$

У подальшому із комплекту  $n$  калібруючих фільтер вилучають одну першу (за

напрямом переміщення втулки) калібруючу фільтеру і виготовляють першу дослідну партію згортних втулок обсягом малої вибірки ( $N = 6-10$ ) і аналогічно до попереднього знімають і обробляють круглограми усереднюють і апроксимують тригонометричним рядом Фур'є й отримують характеристики розсіювання відхилень від круглості: вибіркоче середнє значення  $\bar{\Delta}_{e1}$ , вибіркочув дисперсію  $D_{e1}(\Delta_1)$ , вибіркоче середнє квадратичнє відхилення  $\sigma_{e1}(\Delta_1)$  та коефіцієнт варіації  $K_{v1}$ .

Використовують критерії Ст'юдента і Фішера, оцінюють істотності відмінності між середніми  $\bar{\Delta}_e$  та  $\bar{\Delta}_{e1}$  і дисперсіями  $D_e(\Delta)$  і  $D_{e1}(\Delta_1)$  відповідно.

При встановленні неістотності відмінностей між величинами  $\bar{\Delta}_e$  і  $\bar{\Delta}_{e1}$  та  $D(\Delta)$  і  $D_{e1}(\Delta_1)$  з пакету  $m$  деформуючих фільтер вилучають першу фільтеру, а з пакету  $n-1$  калібруючих фільтер вилучають другу фільтеру і знову виготовляють наступну дослідну партію згортних втулок такого ж обсягу як попередні і аналогічно до попереднього для цих втулок, обробивши усереднену круглограму, визначають  $\bar{\Delta}_{e2}$  і  $D_{e2}(\Delta_2)$ ,  $\sigma_{e2}(\Delta_2)$ ,  $K_{v2}$ . Встановлюють наявність істотних відмінностей між величинами  $\bar{\Delta}_{e1}$  і  $\bar{\Delta}_{e2}$  та  $D_{e1}(\Delta_1)$  і  $D_{e2}(\Delta_2)$  і у випадку відсутності істотної відмінності між цими величинами вилучають з пакету  $m-1$  деформуючих фільтер наступну деформуючу фільтеру, а з пакету  $n-2$  калібруючих фільтер – одну калібруючу фільтеру.

Виготовляють наступну дослідну партію встановленого обсягу згортних втулок з  $m-2$  деформуючих і  $n-2$  калібруючих фільтер і визначають аналогічно до попереднього  $\bar{\Delta}_{e3}$  і  $D_{e3}(\Delta_3)$  і  $K_{v3}$ .

Встановлюють істотність відмінності між величинами  $\bar{\Delta}_{e2}$  і  $\bar{\Delta}_{e3}$  та  $D_{e2}(\Delta_2)$  і  $D_{e3}(\Delta_3)$  і у випадку підтвердження такої відмінності між цими величинами останні, попередньо вилучені фільтери, встановлюють у відповідні пакети, які використовують для постійного калібрування згортних втулок, що виготовляються відповідно до річної програми випуску.

#### **Література:**

1. Исследование процесса изготовления втулок роликовых цепей с применением упругой калибровки: дис.кандидата техн. наук 05.02.08. /Огнivec Валерий Алексеевич. – Львов, 1968. – 179 с.
2. Петро Кривий. Вплив кратності калібрування на відхилення від круглості згортних втулок/ Петро Кривий, Євген Горлій, Андрій Сенік// Тези доповідей 6-го Міжнародного симпозіуму українських інженерів-механіків у Львові; 21-23 травня 2003 р. – Львів: КІН ПАТРИ ЛТД, 2003. – С.103.
3. Повышение качества прессовых соединений типа «тонкостенная свертная втулка – корпус» с использованием метода упрочняюще-калибрующей обработки дорнованием: дис... кандидата техн.наук 05.03.01. Осипов Юрий Константинович. – Барнаул, 2007. – 129 с.
4. Сухов М.Ф. Статистическая оценка точности опорных валков станов холодной пркатки на основе гармонического анализа // Изв. Вузов: Машиностроение, 1973. - №7. – С.145-169.
5. Точность производства в машиностроении и приборостроении. Под ред. А.М.Гаврилова. – М.: Машиностроение, 1973. – 567 с.
6. Повышение работоспособности цепных передач конструкторскими и технологическими методами: дис...кандидата техн.наук 05.02.02/ Шведов Иван Алексеевич. – Краснодар; 2004. – 160 с.



УДК 621.9.04

**В.В. Крупа, канд. техн. наук., А.І. Лешків**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## **ВИКОРИСТАННЯ СЕРЕДОВИЩА FEATURECAM ПРИ ПРОЕКТУВАННІ І ВИГОТОВЛЕННІ ЕЛЕКТРОДІВ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ФАСОННИХ ПОСАДОЧНИХ МІСЦЬ В ДЕРЖАВКАХ ІНСТРУМЕНТУ ПІД ПЛАСТИНИ**

**V. Krupa, Ph.D, A. Leshkiv**

### **USING OF FEATURECAM SOFT FOR TOOL ELECTRODE DESIGNING AND PRODUCTION IN ORDER TO THE FORMATION OF MOUNTING PLATE'S FACE IN TOOL HOLDERS**

На сучасних машинобудівних підприємствах основна маса оброблення здійснюється твердосплавними інструментами з механічним кріпленням пластин. Використання такого типу інструментів має значні переваги в плані зменшення часу та зручності його переналагоджування після зношування. Основний розмір багатолезових інструментів з твердосплавними пластинками в основному забезпечується автоматично, встановленням постійного радіального вильоту пластин.

Однією із проблем виготовлення таких інструментів є забезпечення мінімального радіального биття шляхом базування пластинок в спеціальних посадочних місцях державках [1]. У зв'язку із збільшенням номенклатури пластин, а також їх типів виникає необхідність виготовлення посадочних місць різноманітних форм. Одним із напрямків зменшення похибки базування пластинки, а відповідно і зменшення радіального биття самого інструменту є мінімізація кількості операцій при виготовленні самих посадочних місць. Це спричиняє необхідність використання сучасних САМ систем та обладнання.

Запропоновано в багатолезових інструментах для виготовлення посадочних місця використовувати операції чорнового і чистового електроерозійного оброблення. Широкого використання, особливо для чистового оброблення, набули круглі пластини, типова конструкція якої подана на рис. 1а. Її особливістю є фасонне посадочне місце, що забезпечує її базування, переустановлення на певний кут, а також перешкоджає повертанню.

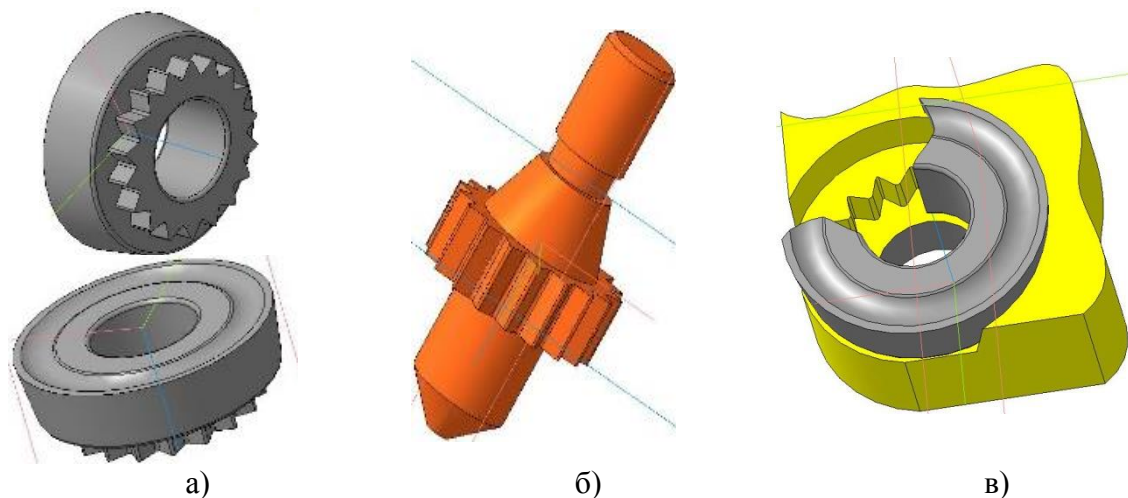


Рис. 1. Конструкція круглої пластини а) спеціального електрода для виготовлення посадочного місця б) фрагмент конструкції різального інструменту в)

Для виготовлення такої поверхні в державках, запропоновано конструкцію мідного електрода (рис. 1б).

При виготовленні електроду здійснюються операції точіння зовнішніх циліндричних та конічних поверхонь та шліфування конусів. Фасонний контур вирізається ниткою на електроерозійному верстаті. Фрагмент програми вирізання контуру фасонної поверхні, розробленої в середовищі FeatureCAM подано праворуч.

Для забезпечення точності і необхідної шорсткості використовується чистова обробка, що забезпечує параметр Ra=0.125 мкм. Частота електричних імпульсів генератора повинна бути більшою 3кГц.

Таким чином використання операцій чорнової та чистової електроерозійної обробки замість традиційних операцій дозволить зменшити радіальне биття багатолезових інструментів за рахунок скорочення кількості операцій для виготовлення посадочних місць, а також дозволить виготовляти різноманітні поверхні, які складно, або неможливо виготовити іншими методами.

#### Література:

1. Металлообрабатывающий твердосплавный инструмент: Справочник / В.С. Самойлов, Э.Ф. Эйманс, В.А. Фальковский и др.; Редкол.: И.А. Ординарцев (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.

```
%
G90
G0X-1.557Y9.878
G92X-1.557Y9.878
S0
D0
G41G01X0.167Y7.244
X0.925Y6.087
G03X1.212Y6.036I0.167J0.11
G01X2.321Y6.865
G02X2.635Y6.75I0.12J-0.16
G01X2.951Y5.403
G03X3.204Y5.258I0.195J0.046
G01X4.528Y5.657
G02X4.785Y5.442I0.058J-0.191
G01X4.621Y4.068
G03X4.809Y3.845I0.199J-0.024
G01X6.19Y3.767
G02X6.358Y3.477I-0.011J-0.2
G01X5.734Y2.242
G03X5.834Y1.968I0.179J-0.09
G01X7.105Y1.423
G02X7.163Y1.093I-0.079J-0.184
G01X6.155Y0.146
.....
G02X-6.19Y3.767I0.179J0.09
G01X-4.809Y3.845
G03X-4.621Y4.068I-0.011J0.2
G01X-4.785Y5.442
G02X-4.528Y5.657I0.199J0.024
G01X-3.204Y5.258
G03X-2.951Y5.403I0.058J0.191
G01X-2.89Y5.667M01
X-2.635Y6.75
G02X-2.321Y6.865I0.195J-0.046
G01X-1.212Y6.036
G03X-0.925Y6.087I0.12J0.16
G01X-0.167Y7.244
G02X0.167I0.167J-0.11
M01
G03X1.381Y11.007I2.125J1.391
G40G01X-1.557Y9.878
G92X-1.557Y9.878
M30
%
```

УДК 621.941-229.3

**Ю.М. Кузнецов<sup>1</sup>, докт. техн. наук, проф.; В.Н. Волошин<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доц.;**  
**І.В. Луців<sup>2</sup>, докт. техн. наук, проф.**

<sup>1</sup>НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

<sup>2</sup>Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## **ЗАТИСКНІ МЕХАНІЗМИ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТІВ З АДАПТИВНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ**

**Yu. Kuznetsov, Dr., Prof.; V. Voloshyn, Ph.D, Assoc. Prof.; I. Lutsiv, Dr., Prof.**  
**LATHE CLAMPING MECHANISMS WITH ADAPTIVE PROPERTIES**

Встановлення деталі і інструменту та утримання їх в процесі обробки супроводжується комплексом фізичних явищ, серед яких: пружні відтискання в технологічній системі верстата; пружні та пластичні деформації деталей та стиків і порушення фізичних зв'язків між ними; динамічні, теплові та інші явища. Здатність затискних механізмів (ЗМ) токарних верстатів виконувати робочі функції при змінах умов роботи істотно залежить від властивостей їх адаптації до змінних факторів впливу [1, 2]. Тому наділення ЗМ властивостями адаптації до зміни характеристик заготовки, умов різання, динамічного навантаження, динамічних та інших явищ є актуальною науковою проблемою.

Важливим етапом теоретичного обґрунтування та практичної реалізації принципу конструювання ЗМ, який полягає у наділенні їх властивостями адаптації, є структурно-системний підхід до вивчення всієї різноманітності адаптивних ЗМ та виявлення характерних законів організації, функціонування, побудови та їх розвитку, як складних еволюціонуючих систем. Це дозволить оцінити технічне завдання на їх проектування за належністю до конкретної групи і провести спрямований синтез структури, а також оцінити наявні властивості технічних рішень. В результаті аналізу основних характеристик ЗМ токарних верстатів та процесів, які в них відбуваються, було виділено наступні групи ЗМ з адаптивними властивостями:

**1. ЗМ з властивостями адаптації до зміни навантаження.** До цієї групи відносяться ЗМ для забезпечення постійної сили затиску при зміні умов обробки та/або геометричних параметрів заготовки, ЗМ із забезпеченням регулювання сили затиску в процесі обробки на різних режимах та при зміні сил тертя і зчеплення.

**2. ЗМ з властивостями адаптації до зміни відхилень розміру заготовки.** Цю групу складають самоналагоджувальні патрони і приводи затиску [5] для забезпечення стабільної (постійної, регламентованої) сили затиску незалежно від відхилень діаметру заготовки, зокрема , прутка або труби.

**3. ЗМ з властивостями адаптації до зміни геометрії поверхонь заготовок.** Цю групу в основному складають переналагоджувальні затискні системи із затискними елементами (ЗЕ) із поверхнями затиску постійної форми (із «жорсткою геометрією») та змінної форми, які автоматично пристосовуються до поверхонь заготовок із різними діаметрами затиску за допомогою гнучкої поверхні заготовки незалежно шляхом змикання (розмикання) [3]. В першому випадку адаптація ЗЕ до поверхні заготовки проводиться шляхом додаткових налаштувань, або за рахунок зміни фази в початковому стані, а в другому – в процесі затиску заготовки автоматично, причому вони набувають певну вихідну форму. Набуття такої форми може бути досягнуто деформуванням поверхні затиску, роз'єднанням (розмиканням, розділенням, розрізанням) поверхні затиску або вихідним формуванням шляхом використання еластичного пластику та інших еластичних матеріалів.

**4. ЗМ з адаптивним керуванням жорсткістю системи заготовка-патрон.** Такі ЗМ повинні забезпечувати: однакове радіальне зміщення деталі при різних положеннях різального інструменту за рахунок автоматичного регулювання сили або бази затиску; однакову радіальну жорсткість ЗМ в різних його кутових положеннях.

**5. ЗМ з адаптивним керуванням точністю положення заготовки.** Цю групу об'єднує ЗМ, які забезпечують точне позиціонування заготовки після її затиску та ЗМ із компенсацією зміщень, викликаних змінами сили затиску та різання. Серед них найбільш перспективними є ЗМ із активними елементами (активаторами) для забезпечення точного центрування оброблюваної деталі та корекції її положення після затиску за рахунок регулювання положення ЗЕ або інших елементів ЗМ.

**6. ЗМ з адаптивними властивостями для забезпечення необхідної динамічної якості.** До цієї групи відносяться ЗМ із автоматичною компенсацією відцентрових сил, ЗМ із активними системами їх балансування в процесі обробки та ЗМ із активним демпфуванням коливань.

Одним із важливих напрямків є наділення ЗМ адаптивними властивостями, які забезпечать затиск заготовок по поверхнях різної геометрії. Було запропоновано, теоретично і експериментально підтверджено нові принципи створення ЗМ з адаптацією до поверхні затиску різної геометрії. Перший принцип полягає у навмисному введенні в конструкцію ЗЕ зон деформації, що дозволяє забезпечити прилягання контактуючої поверхні ЗЕ до поверхні затиску заготовки [3]. Такі зони створені з використанням евристичних прийомів повного та неповного розчленування ЗЕ, шляхом утворення пустот в ЗЕ, використанням здатних до деформування кільцевих сегментів та ін. Другий принцип (принцип концентрації діапазонів затиску) базується на евристичному прийомі об'єднання діапазонів затиску в одному або декількох ЗЕ [1]. Це досягається наступними способами: виконання ЗЕ ступінчастими; розточуванням призматичних n-гранних ЗЕ; виконання ЗЕ фасонного профілю та ін. Отримані способом інтеграції діапазонів затиску ЗЕ називаються багатопрофільними і можуть безпосередньо зв'язуватися з передавально-підсилюючою ланкою, бути її частиною або базуватися на основних ЗЕ. Другим важливим напрямком є створення ЗМ з адаптивним керуванням точністю положення заготовки. З використанням системного підходу запропоновано концептуальні варіанти ЗМ з активними структурами на базі п'єзоелектричних приводів [4] з метою подальшого їх синтезу та дослідження. Вони містять наступні підсистеми: безконтактної передачі даних та енергетичного потоку; керування затискним пристроєм, що зв'язана із системою керування верстатом; інтегрованих в затискний пристрій активаторів та трансляторів силового потоку.

#### **Література:**

1. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах: Монографія/ [Кузнецов Ю.М., Луців І.В., Шевченко О.В., Волошин В.Н.]. – К.: – Тернопіль: Терно-граф, 2011. – 692 с.
2. Зажимные механизмы и технологическая оснастка для высокоэффективной токарной обработки: монография/ [Кузнецов Ю.Н., Драчев О.И., Луцив И.В. и др.]; под ред. Ю.Н. Кузнецова. – Старый Оскол: ТНТ, 2014. – 480 с.
3. Lutsiv I., Voloshyn V., Bytsa R. Adaptation of lathe chucks clamping elements to the clamping surface// Machines, Technologies, Materials. International journal. – Issue 12/2015 – pp. 64-67.
4. Волошин В.Н., Грицишин І.І. Мехатронні затискні пристрої з активною корекцією положення заготовок типу тіл обертання// Матеріали ХІХ наукової конференції ТНТУ ім. І.Пуллюя. – Тернопіль, 2016.– С. 15.
5. Самонастраивающиеся зажимные механизмы: Справочник /Ю.Н. Кузнецов, А.А. Вачев, С.П. Сяров, А.Й. Цервенков; под ред. Ю.Н. Кузнецова.-К.: «Техника»; София: Гос.изд-во «Техника», 1988.-222 с.

**УДК 621.924.093:621.9.048**

**Р.Я. Лещук, канд. техн. наук, доц.; Г.С. Нагорняк, канд. техн. наук, доц.**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## **ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ВЕРСТАТІВ ДЛЯ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ ВІЛЬНИМ АБРАЗИВОМ**

**R. Leshchuk, Ph.D., Assoc. Prof.; G. Nagornyak, Ph.D., Assoc. Prof.**  
**FUTURE DIRECTION OF MACHINE TOOLS FOR FREE ABRASIVE SURFACE  
TREATMENT**

З розвитком техніки принципи і методологія створення верстатів для обробки вільним абразивом поверхонь деталей безперервно змінюються і удосконалюються внаслідок впровадження нових способів виготовлення машин, ускладнення їх конструкцій і умов реалізації, більш повного вивчення ряду технічних і економічних питань.

В процесі створення верстатів для обробки вільним абразивом поверхонь деталей виконують такі роботи: обґрунтування необхідності створення нових верстатів; науково-технічні дослідження; розробка конструкторського проекту; виготовлення, випробування та доведення дослідних зразків. Необхідність створення сучасної машини виникає із загальних умов розвитку нової техніки стосовно до конкретного випадку.

Враховуючи різноманіття об'єктів за ступенем їх новизни, можна відокремити два основних напрямки:

1) кількісний, при якому враховується термін, що пройшов з того чи іншого моменту появи або реалізації нових виробів (наприклад, термін з моменту появи нової техніки, реалізованої ідеї або термін з початку промислового виробництва нової продукції);

2) якісний, при якому технічна новинка (пристрій) в залежності від його рівня поділяється на декілька ступенів, починаючи від створення принципово нової конструкції і закінчуючи зміною її зовнішнього вигляду, а нова технологія (спосіб) призначена для виготовлення принципово нової продукції або підвищення ефективності виробництва.

Кожен впроваджений в експлуатацію новий верстат для обробки вільним абразивом поверхонь деталей повинен перевищувати за своїми показниками і техніко-економічними характеристиками кращі світові стандарти і зразки, які раніше використовувались.

Проектований верстат повинен відповідати вимогам експлуатації тому, що це визначає ефективність її використання, а також відповідає і вимогам виробництва. Ці вимоги неоднозначні. Кожна категорія цих вимог може містити окремі види вимог, які складаються з комплексів конкретних вимог до проєктованих окремих моделей верстатів для обробки вільним абразивом поверхонь деталей.

На рівні методологічних розробок можна розглядати і аналізувати тільки окремі види вимог стосовно певного верстата. Вимоги експлуатації, як і вимоги виробництва, в більшості випадків неоднозначні і можуть бути представлені кількома варіантами.

Аналогічна ситуація має місце при розгляді кожного варіанту вимог, тому що йому може відповідати деяка множина варіантів конструкції верстата, з котрих обирають оптимальний.

Сучасний напрямок рішення задач - це неповний перебір варіантів проєктованих

верстатів для обробки вільним абразивом поверхонь деталей, побудований як на використанні ЕОМ, так і на використанні людино-машинних або евристичних підходів. Евристичні методи побудовані на творчих здібностях людини, а людино-машинні об'єднують творчі здібності проектувальника з унікальними за швидкістю здібностями ЕОМ. З математичної точки зору неповний перебір з ЕОМ тотожний пошуку локального або глобального екстремуму функцій багатьох змінних і дає істотний вигравш при строгій формалізації задач синтезу складних верстатів для обробки вільним абразивом поверхонь деталей.

До перспективного напрямку відноситься неповний перебір варіантів за допомогою ЕОМ на нових принципах, об'єднаних під назвою штучного інтелекту.

Вибір того чи іншого методу дослідження, а тим більш сукупності методів залежить в основному від ступеню складності проектного верстата для обробки вільним абразивом поверхонь деталей, який визначається числом  $n$  заданих властивостей функціонування і їх частковими показниками якості  $K_\mu$  з усієї множини  $\{K_\mu \mid \mu = 1, n\}$ , а також їх взаємозв'язком.

Методологія пошукового конструювання (творчого конструювання) містить чотири характерних етапи, кожен з яких вимагає застосування певної системи методів:

I етап - зовнішнє проектування, застосування методу формулювання узагальненого критерію якості  $\bar{K}$  на підставі кваліметрії і визначення сукупності обмежень;

II етап - синтез знакової моделі (принципової схеми) з прийнятими умовними знаковими позначеннями, застосування методу синтезу на підставі математичного програмування на цифровій ЕОМ, яке зводиться у більшості випадків до пошуку глобального екстремуму багаторозмірної цільової функції (найбільш корисно на сітці коду Грея);

III етап - синтез образної моделі (конструктивної схеми), застосування евристичного методу синтезу без чіткої формалізації процедур синтезу;

IV етап - перевірка виконання деяких умов функціонування верстата, застосування методу аналізу додаткових властивостей, тому що може виявитися, що деякий з показників якості не був врахований на II і III етапах.

При позитивних результатах перевірки проектування верстата для обробки вільним абразивом поверхонь деталей вважається економічним і можна переходити до розробки документації (робочих креслень).

На основі наведено вище аналізу необхідно відмітити наступні перспективні напрями досліджень верстатів для обробки вільним абразивом поверхонь деталей:

1. Необхідно розробити узагальнену модель синтезу верстатів для обробки вільним абразивом поверхонь деталей, яка включає всі можливі варіанти рішень.
2. З точки зору економічної доцільності необхідно відпрацювати технологію обробки поверхонь льодом з тирсою і визначити область її застосування.
3. Провести порівняльну оцінку технології і верстатів для обробки льодом з тирсою відомими верстатами і технологіями.
4. Розробити узагальнену модель синтезу верстатів для гідроабразивної обробки поверхонь.
5. Розробити технологічні основи гідроабразивної обробки зовнішніх і внутрішніх поверхонь з використанням закручування потоку в кільцевих щілинах з допомогою шнеків.

УДК 621.9.06-529-8

**О.В. Литвин, канд. техн. наук, доц.; О.М. Кравець; І.Р. Яшук**

НТУУ "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського "

## **СТРУКТУРНО – МОРФОЛОГІЧНИЙ СИНТЕЗ ЗАТИСКНИХ ПАТРОНІВ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТІВ**

**О. Litwin, Ph.D., Assoc. Prof.; I. Yashchuk, I. Davidkin**

### **STRUCTURAL - MORPHOLOGICAL SYNTHESIS CLAMPING LATHES CARTRIDGES**

Сучасні металорізальні верстати реалізуються як складні багаторівневі системи із складними механізмами, в.ч. пристроями базування та закріплення деталей (затискними патронами (ЗП)). Основними функціями затискного патрона є: 1) надійне закріплення деталі в процесі обробки; 2) забезпечення стабільного положення деталі в верстатному пристрої відносно ріжучого інструменту [1]. Однак кожна область застосування характеризується своєю множиною функціональних задач, що вимагає застосування спеціалізованих затискних патронів, технічні параметри яких оптимальні для даної області, а отже створення методу структурного синтезу затискних патронів, оптимальних за функціонально- вартісними показниками.

Разом з тим з точки зору можливості реалізації проектних задач виділяють чотири основних типи, які визначаються типами об'єктів проектування, а саме: 1) об'єкт, що проектується, може бути скомпонований з готових елементів та блоків; 2) для об'єкту, що проектується, немає повного набору готових компонентів, але існують готові аналогічні, з яких шляхом зміни параметрів можливо отримати необхідні; 3) не існує аналогічних елементів, але відомі принципи їх побудови; 4) не відомі принципи побудови елементів об'єкта.

Метод структурно - морфологічного синтезу затискних патронів, оптимальних за функціонально-вартісними показниками повинен включати етапи: 1) функціонального аналізу; 2) структурного синтезу; 3) пошуку структур оптимальних за функціонально-вартісними показниками.

Узагальнений алгоритм запропонованого методу включає 8 етапів, що умовно розділені на дві групи: функціонального аналізу та структурного синтезу. Функціональний аналіз включає етапи: 1. Аналіз технічного завдання; 2. Аналіз функціональних задач; 3. Аналіз множини конструкцій вузлів і зв'язків між ними; 4. Оцінка вимог до вузлів затискного патрона. Структурний синтез включає етапи: 5. Формування множини допустимих компонентів; 6. Створення морфологічної матриці; 7. Формування множини допустимих структур; 9. Пошук структур оптимальних за функціонально-вартісними показниками.

Структурний синтез передбачає формування множини допустимих варіантів структури ЗП  $N_{зп}$  та пошуку серед них множини оптимальних рішень  $N_o$  по заданому критерію [2]. Враховуючи те, що, множина доступних варіантів є достатньо великою на п'ятому етапі виконується процедура попереднього вибору компонентів, параметри яких відповідають множині технічних обмежень. Для цього доцільно використати один із формальних методів багатокритеріального відбору. Будь який ЗП характеризується множиною технічних параметрів, які формують множину показників якості.

Структура відображає різноманіття варіантів реалізації затискного патрона, який включає підготовку та подачу енергії, процеси перетворення енергії в переміщення передавально – підсилюючої ланки, зв'язок передавально – підсилюючої ланки з

затискними елементами, забезпечення положення заготовки відносно інструмента та збереження цього положення при силовому впливі інструменту на заготовку, створення зусилля затиску заготовки, компенсацію центростремних сил, а також завантаження і вивантаження заготовки.

Згідно методу структурного синтезу кожний із елементів будь-якої технічної системи можна подати у вигляді коду, складеного із множини  $X \dots Z$  елементів. Генерування альтернатив здійснюється в декілька етапів: генерування структури  $X$ -елементів, генерування структури  $Z$ - елементів, комбінування  $X Z$  елементів. Одним із елементів структурного синтезу є підбір елементів структури на основі дослідження функцій та властивостей елементів ієрархії. Елемент такої конструкції, згідно методу структурного синтезу позначається парою символів - перший означає структурний елемент, а другий - ієрархічну підпорядкованість такого елемента в ієрархічній структурі.

Позначення елемента ієрархічної структури може бути таким:

$$n_k = J_i^j N_k^s,$$

де  $J$  – номер ієрархічного рівня елемента затискного патрона;  $i$  та  $s$  – позначення номера варіанта виконання відповідно елемента та сукупності елементів;  $N$  – номер ієрархічного рівня сукупності елементів, у склад якого входить даний елемент;  $j$  та  $k$  – відповідно номери груп ієрархічних рівнів у яких розміщені елемент і сукупність елементів ієрархії.

Деревовидні графічні структури можуть бути описані у вигляді структурних формул, складених з позначень що визначають, деталізують та ознак альтернативних різних рівнів. Структурну формулу затискного патрона можна представити у вигляді

$$\Phi_{3П} = \{K_i^j 1_k^s; ППЛ_i^j 2_k^s; УЕ_i^j 3_k^s; ЗЕ1_i^j 4_k^s; ЗЕ2_i^j 5_k^s\}$$

де  $i$  та  $s$  – позначення номера варіанта виконання відповідно елемента та сукупності елементів;  $j$  та  $k$  – відповідно номери груп ієрархічних рівнів у яких розміщені елемент і сукупність елементів ієрархії, 1...5 - номер ієрархічного рівня елемента затискного патрона ; К- корпус; ППЛ – передавально –підсилюючий механізм; УЕ – установочні елементи; ЗЕ1 – основні затискні елементи; ЗЕ2 – додаткові затискні елементи - номер (вид) ієрархічного рівня. В табл.1 наведен результати морфологічно- структурного синтезу варіанта моделі технічної системи «Затискний патрон» стосовно альтернатив виконання передавально- підсилюючої ланки.

Таблиця 1– Варіанти моделі технічної системи «Затискний патрон» стосовно виконання передавально- підсилюючої ланки

№	Структурна формула	Морфологічна формула	Схема конструкції	Характеристика
1	$3_1^1 1_5^0$	1.1-2.1-3.1-4.1		Гібридна ППЛ: клиновий та важільно-шарнірний



Для реалізації на шостому етапі, запропонованого методу, проводиться декомпозиція затискного патрона і його елементів із використанням морфологічного методу, який передбачає виділення найважливіших функцій патрона, що реалізуються множиною базових компонентів:

$$N = \begin{pmatrix} n_{11} & n_{12} & n_{13} & \dots & n_{1K_1} \\ n_{21} & n_{22} & n_{23} & \dots & n_{2K_2} \\ n_{31} & n_{32} & n_{33} & \dots & n_{3K_3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ n_{M1} & n_{M2} & n_{M3} & \dots & n_{MK_i} \end{pmatrix}$$

де  $N$  – число конструкцій ЗП з яких формується морфологічна матриця, із кількістю рядків  $K$  (число елементів та зв'язків) та кількістю стовпців  $M$  (максимальна кількість альтернативних варіантів реалізації вузлів),  $i=1 \dots N$ .

Векторна задача оптимального вибору за сукупністю показників перетворюється в скалярну, шляхом її розподілу на ряд оптимізаційних задач, що виконуються послідовно. Це дозволяє реалізувати попередній (дооптимізаційний) відбір конструкцій ЗП, які характеризуються: 1) недостатнім рівнем технічних параметрів, і не задовольняють завданню на проєктований ЗП; 2) з надлишковими технічними параметрами. Такий попередній відбір дозволить майже на порядок скоротити кількість оцінюваних при оптимізації варіантів ЗП.

На основі методу морфологічного аналізу та синтезу представлено метод структурного – морфологічного синтезу ЗП, що включає етапи функціонального аналізу, структурного синтезу, та пошуку множини оптимальних рішень. Запропонований метод поєднує широке охоплення поля можливих рішень морфологічною матрицею для відбору компонентів на етапі функціонального аналізу та безумовний критерій на етапі пошуку множини оптимальних рішень. Поєднання двох методів дозволяє зменшити число синтезованих альтернативних варіантів на етапі структурного синтезу.

### **Література:**

1. Кузнецов Ю.Н. Теория технических систем: учебник. /Ю.Н. Кузнецов, Ю.К. Новоселов, И.В. Луцив – Севастополь: СевНТУ, 2010. – 242 с., 2011. – 246 с.
2. Васильків В. В., Генік І. С., Скиба О. П.. До питання синтезу конструкції механізмів з робочими затискними пружними гвинтовими елементами // Житомирський державн. Технологічний університет. Зб. наук. праць. Вип. 3. – Житомир, 2006. – С. 171 – 180.

УДК 621.81

**І.В. Луців<sup>1</sup>, докт. техн. наук, проф.; Ів.Б. Гевко<sup>1</sup>, докт. техн. наук, проф.;**

**Т.С. Дубиняк<sup>1</sup>; В.З. Гудь<sup>2</sup>, канд. техн. наук; І.М. Сливка<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

<sup>2</sup> Гусятинський коледж Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИВОДІВ ГВИНТОВИХ КОНВЕЄРІВ**

**I. Lutsiv, Dr., Prof.; Iv. Gevko, Dr., Prof.; T. Dubynyak, V. Hud, Ph.D., Assoc. Prof.;  
I. Slyvka**

### **EXPERIMENTAL MACHINERY FOR SCREW DRIVE CONVEYERS RESEARCH**

Під час виконання транспортно-технологічних процесів гвинтовими конвеєрами (ГК) часто виникають перевантаження, що зумовлені як технологічними процесами виконання операцій, так і випадковими явищами, які призводять до значних деформацій і поломок гвинтових робочих органів. Перевантаженням запобігти можна використовуючи в конструкціях приводів ГК запобіжні муфти [1,2]. Проте далеко не всі конструкції запобіжних муфт у повній мірі задовольняють поставлені перед ними вимоги по ефективному розімкненню кінематичного ланцюга у разі виникнення перевантаження в ГК. Тому з метою ефективного захисту ГК від перевантажень розроблено конструкцію пружно-запобіжної муфти, схему та загальний вигляд в розібраному вигляді якої зображено на рис. 1.

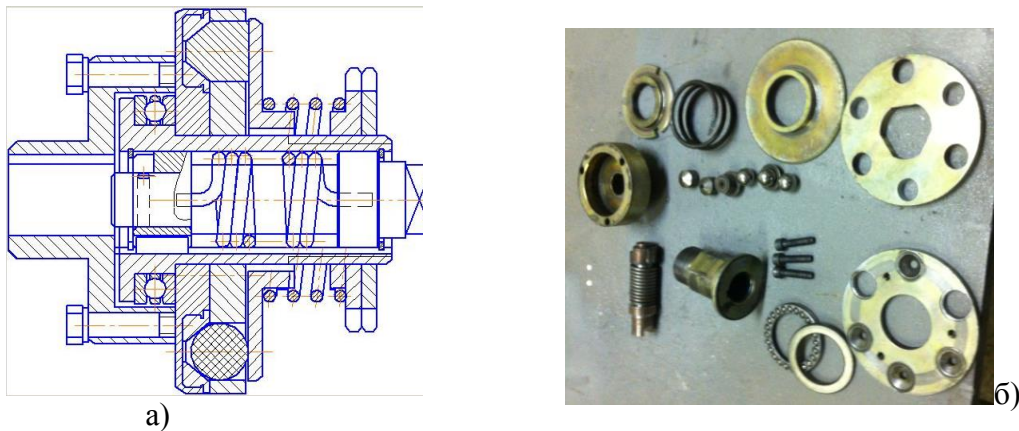


Рис. 1. Пружно-запобіжна муфта:  
а) схема; б) загальний вигляд в розібраному вигляді

Для проведення експериментальних випробувань розробленої пружно-запобіжної муфти і встановлення її характеристик розроблено і виготовлено експериментальну установку, схему якої зображено на рис. 2, а загальний вигляд на рис. 3. Експериментальна установка складається з опори 1, електродвигуна 2, досліджуваної пружно-запобіжної муфти 3, бункера з шибером 4, патрубкa зі шнеком 5, регульованого вивантажувального отвору 6, монітора 7, персонального комп'ютера (ПК) 8 та перетворювача частоти (ALTIVAR 71) 9.

Стенд працює наступним чином. Обертальний момент з електродвигуна 2 через досліджувану муфту 3 передається на шнек 5 ГК. Сипкий матеріал засипається в бункер 4 і з нього потрапляє до патрубкa зі шнеком 5. Величина просипання регулюється шибером, що встановлений у бункері. Далі матеріал транспортується до

регульованого вивантажувального отвору 6. Регулюючи вивантаження матеріалу створюється додаткове навантаження на шнек, і, відповідно, на досліджувану пружно-запобіжну муфту. Пружні властивості муфти дозволяють в значній мірі компенсувати виникаючі у шнеку навантаження, а у випадку значного перевантаження шнека і його аварійної зупинки проходить розчеплення півмуфт. Після зменшення навантаження до заданого пружно-запобіжна муфта відновлює своє зачеплення і проходить включення шнека. Для пуску електродвигуна установки і регулювання частоти його обертання використовується перетворювач частоти та програмне забезпечення PowerSuite v.2.5.0. З перетворювача частоти дані поступають в ПК. Результати зміни крутного моменту і потужності двигуна в часі отримуються у форматі графічних і табличних залежностей у вікні програми дисплея комп'ютера у відсотках від номінальних величин. Для побудови графічних залежностей використовуються максимальні значення дослідних даних.

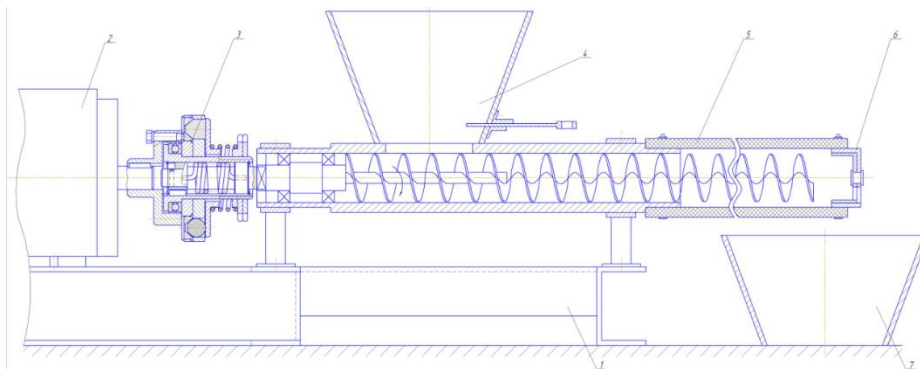


Рис. 2. Схема експериментальної установки для дослідження привода гвинтового конвеєра оснащеного пружно-запобіжною муфтою



Рис. 3. Загальний вигляд експериментальної установки для дослідження привода гвинтового конвеєра оснащеного пружно-запобіжною муфтою

#### **Література:**

1. Нагорняк С.Г., Луцив И.В. Предохранительные механизмы металлообрабатывающего оборудования. – К.: Техника, 1992. – 72с.
2. Гевко І.Б. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спец. 05. 02.02 «Машинознавство» / І.Б. Гевко. – Львів, 2013. – 42 с.

УДК 621.941

І.В. Луців, докт. техн. наук, проф.; С.П. Штогрин; О.О. Стахурський; Н.П. Кашуба  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## ПОДРІБНЕННЯ СТРУЖКИ НА ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ

I. Lutsiv Dr., Prof.; S. Shtogryn; O. Stahursky; N. Kashuba

### CHIPS CUTTING ON LATHES USING ELECTRO-MECHANICAL INSTRUMENTS

Небажане явище зливної стружки має місце при обробці в'язких матеріалів і істотно заважає ефективній роботі верстатів, а, в окремих випадках, призводить до їх поломки. Така стружка є травмонебезпечною. Тому подрібнення стружки є невід'ємним етапом металообробки в сучасному машинобудуванні [1].

На кафедрі конструювання верстатів інструментів та машин Тернопільського національного технічного університету розроблено ряд інструментів і пристроїв [2] для подрібнення стружки в процесі обробки з використанням механізмів адаптивного типу. Аналіз цих пристроїв дозволяє зробити висновок про можливість заміни механічного зв'язку між інструментами на електромеханічний. Процес стружкоподрібнення здійснюється в результаті зворотно-поступальних рухів рухомого (активного) інструменту (супорта) в межах постійної подачі. При цьому тангенціальні і осьові коливання забезпечують процес переривання стружки, і, таким чином її подрібнення. На рис. 1 показана схема процесу і результати подрібнення.

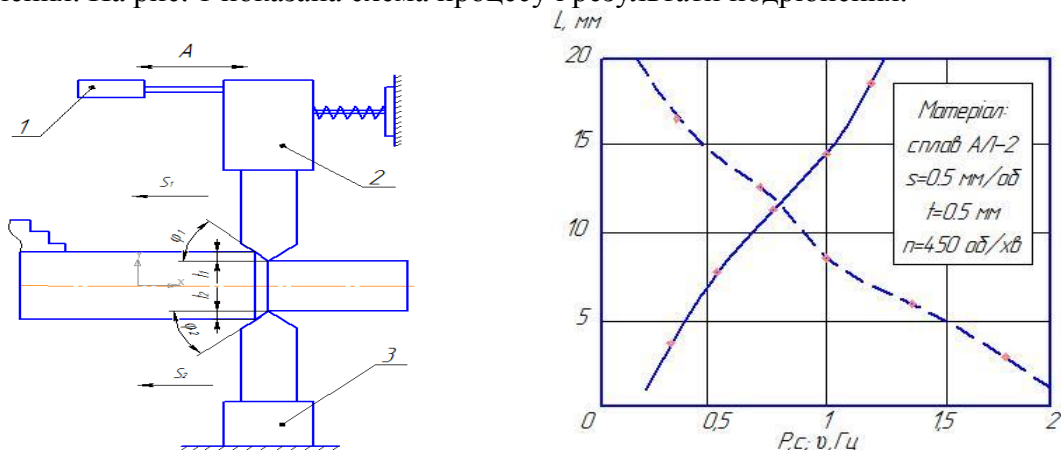


Рис. 1. Схема процесу подрібнення і результати дослідження подрібненої стружки

Експерименти показали, що довжина  $L$  подрібненої стружки залежить від ряду параметрів, а саме: частоти обертів  $n$  і режимів подрібнення (частоти коливань  $\nu$ , скважності  $P$ ). Такий метод подрібнення зливної стружки при умові коливання одного з двох ріжучих лез є достатньо надійним і ефективним, електромеханічний зв'язок дає можливість широкого керування процесом подрібнення.

### Література

1. Технологічне оснащення для високоєфективної обробки деталей на токарних верстатах: Монографія/ [Кузнецов Ю.М., Луців І.В., Шевченко О.В., Волошин В.Н.]. – К.: – Тернопіль: Терно-граф, 2011. – 692 с.

2. Зажимные механизмы и технологическая оснастка для высокоэффективной токарной обработки: монография/ [Кузнецов Ю.Н., Драчев О.И., Луців И.В. и др.]; под ред. Ю.Н. Кузнецова. – Старый Оскол: ТНТ, 2014. – 480 с.

УДК 631.356.2

**О.Л. Ляшук, докт. техн. наук, доц.; В.М. Клендій канд. техн. наук; О.Л. Третьяков**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

## **ЗМІЦНЕННЯ ГВИНТОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ЕКСТРУДЕРІВ**

**O. Lashuk, Dr., Assoc. Prof.; V. Klendiy, Ph.D.; A. Tretiyakov**  
**STRENGTHENING OF THE EXTRUDER SCREW WORKING BODY**

Конструкції гвинтових робочих органів екструдерів мають широке використання у галузях харчової та переробної промисловості, сільського господарства, а також у технологічних процесах зібраних зернових культур завдяки розширеним технологічним можливостям за рахунок підвищеної надійності вдосконаленій конструкції. Підвищення довговічності і працездатності деталей машин та механізмів, технологічного обладнання, устаткування і спорядження є актуальною проблемою сучасного машинобудування. Це зумовлено тим, що на виготовлення, ремонт і обслуговування техніки, запасних частин машин та механізмів використовуються значні матеріальні, економічні і суспільні ресурси. Для сучасних машин характерним є безперервне збільшення потужностей і робочих навантажень за одночасного підвищення швидкостей та прискорень їх виконавчих органів, передачі все більших зусиль і обертових моментів, що зумовлює істотне підвищення вимог до надійності машин. Зазвичай втрата працездатності та прискорений вихід з ладу під час експлуатації є наслідком процесів, які відбуваються у приповерхневих шарах деталей, а саме: тертя та зношування, перерозподіл залишкових напружень та їх надмірна концентрація, розвиток мікротріщин, знеміцнення. Приповерхневі шари, які є межею поділу фаз, піддаються активному впливу зовнішнього, часто агресивного середовища. Найбільш поширеними технологічними методами зміцнення, є пластична деформація поверхонь, термічна і хіміко-термічна обробки, наплавлення поверхонь, створення захисних зносостійких покриттів і зміцнених поверхневих шарів [1]. Всі ці методи забезпечують ту чи іншу характеристику параметрів зміцненої поверхні: твердості поверхневого шару, його глибини, структури. Використовується кожен з них окремо, або в поєднанні в різних технологічних процесах, а саме: а) отримання матеріалів і заготовки заданих властивостей; б) виготовлення деталей необхідної форми і належної точності; в) зміцнення робочих поверхонь деталей; г) їх складання в агрегати, випробування вузлів і машин.

В результаті проведення досліджень із застосуванням методу зміцнення із зміною мікрогеометрії поверхні і наклепом отриманий зміцнений поверхневий шар з параметрами якості, що дозволяють суттєво підвищити довговічність цих деталей. При використанні цього методу залежно від матеріалу деталі (45, 40Х, ШХ15, 30ХГСА, 110Г13Л, 65 Г) ступінь наклепу складала 20...200 %. При цьому глибина істотно наклепаного шару складає 4...9 мм, а в окремих випадках перевищує 12 мм. В результаті використання цього методу зміцнення із зміною мікрогеометрії поверхні і наклепом з'являється можливість варіювати в широких межах градієнт і глибину зміцнення для забезпечення якості поверхневого шару і довговічності робочих органів екструдерів показані на рис. 1.

Традиційним є підхід, що встановлює зв'язок режиму обробки з експлуатаційними властивостями зміцнюваної деталі (1-5). Недолік такого підходу в тому, що виявлені закономірності не є справедливими для інших умов. Тому при переході до нового виробу виникає необхідність в повторенні трудомістких досліджень.

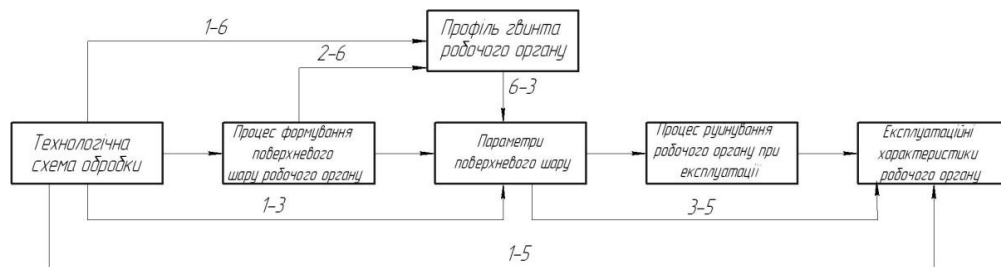


Рис.1. Технологічна схема забезпечення якості поверхнього шару обробкою ППД

Більш узагальненим є забезпечення довговічності деталі в дві стадії, а саме на першій (шлях 1-3) встановлюється зв'язок технологічних чинників з параметрами стану поверхнього шару. На другій (3-5) - вплив цих параметрів на експлуатаційні характеристики деталей. Проте обидва підходи мають основний недолік: 1- велику трудомісткість експериментів, 2- обмежене число досліджень параметрів стану поверхнього шару, 3- невисоку точність ( в межах точності методу вимірювання) їх визначення. Однак другий шлях не дозволяє використовувати ЕОМ для моделювання і технологічного проектування механічної обробки деталей з оптимізацією параметрів стану їх поверхнього шару, що забезпечують задану довговічність [2, 3]. Більш ефективний підхід до технологічного забезпечення експлуатаційних показників деталей, який базується на внутрішніх закономірностях процесу формування поверхнього шару деформації (шляхи 1-2 і 2-3). Розкриття таких закономірностей дозволить глибше визначити вплив параметрів стану поверхнього шару на процес руйнування деталі (3-4) і експлуатаційні показники (4-5). В свою чергу перевагами методу зміцнення із зміною мікрогеометрії поверхні і наклепом перед іншими способами ППД є мала енергоємність, високий коефіцієнт передачі енергії зміцнюваній поверхні, компактність пристрою для зміцнення, можливість установки його на металообробне устаткування. При вживанні спеціального оснащення, технологія зміцнення ППД може бути застосована до робочих поверхонь шнеків практично будь-якої форми. Метод зміцнення із зміною мікрогеометрії поверхні і наклепом є перспективним методом зміцнюючої обробки деталей машин з гвинтовими поверхнями, до яких пред'являються підвищені вимоги за зносостійкістю і втомною міцністю.

Застосування методу зміцнення із зміною мікрогеометрії поверхні і наклепом поверхнього пластичного деформування, зокрема додаткового зміцнення гвинтової поверхні робочого органу екструдера дозволить підвищити втомну міцність орієнтовно в 1,2 – 1,4 рази (виникають залишкові напруження стискаючого типу) підвищить мікротвердість на 40 – 70 %, збільшити площу фактичного контакту поверхні в 3 – 6 раз. Однак на даний час теорія зміцнення гвинтових робочих органів екструдерів є мало дослідженою. При наклепі поверхнього шару, як правило, забезпечується нова якість деталі (підвищується довговічність, покращуються особливі теплофізичні властивості, набувається привабливий зовнішній вигляд).

Закономірність зміни розміру товщини і діаметру витків робочого органу при екструзуванні сипкого матеріалу дозволяє вести цілеспрямовані роботи із підвищення довговічності шляхом надання додаткової зносостійкості в місцях, що піддаються інтенсивному зношуванню. Крім того, вибір того або іншого методу поверхнього зміцнення визначається економічними міркуваннями.

#### **Література:**

1. Киричек А.В. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев, А.Г. Лазуткин // Библиотека технолога. – М.: Машиностроение, 2004. - 288 с.

2. Повышение несущей способности деталей машин поверхностным упрочнением / Л.А. Хворостухин, С.В. Шишкин, И.П. Ковалев, Р.А. Ишмаков. – М.: Машиностроение, 1988. – 144 с.

3. Кузнецов Н.Д. Технологические методы повышения надежности деталей машин. / Н.Д. Кузнецов, В.И. Цейтлин, В.И. Волков. – М.: Машиностроение, 1993. – 304с.



УДК 621.82

Н.М. Марчук

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## ЗАПОБІЖНИЙ РЕВЕРСИВНИЙ ПАТРОН ДЛЯ НАРІЗАННЯ РІЗЬБИ В КОРПУСНИХ ДЕТАЛЯХ

N. Marchuk

### REVERSING SAFE DRIVE HOCDER FOR THE THREAD CUTTING IN NONROTATIONAL PARTS

Реверсивний патрон для нарізання різі (рис. 1) виконано у вигляді хомута 1 для його кріплення на вертикально-свердильному чи іншому верстаті за допомогою

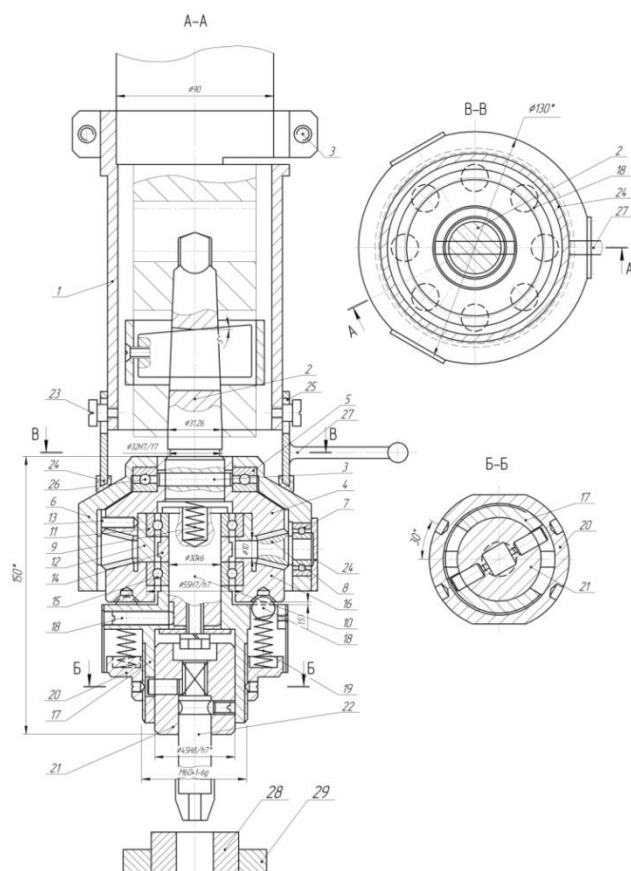


Рис. 1. Реверсивний пристрій для нарізання гайок

кругового провертання, який у верхній частині є у взаємодії з радіальним гвинтом 13, який жорстко встановлено у верхній частині шестерні верхньої 4. В нижній частині з торця підшипник 11 є у взаємодії з проміжною втулкою 14, яка разом з латунною втулкою 12, яка нижнім торцем є у взаємодії з підшипником кочення 15, який жорстко встановлено на середній частині вала мітчика 10. Зовнішнім діаметром підшипник 15 є у взаємодії з внутрішнім отвором нижньої шестерні 16 з можливістю кругового провертання, яка конічними зубами є у взаємодії з зубами конічних шестерень сателітів 8. З нижнього торця на зовнішньому діаметрі вала мітчика 10 жорстко встановлена втулка 17, яка збоку закріплено гвинтом, а знизу болтом з шайбою гравером.

Реверсивний патрон є оснащений захисним механізмом від перевантаження



шляхом виконання в торцевій поверхні нижньої шестерні 16 знизу і зверху втулки 17 рівномірно по колу конічні отвори, наприклад, вісім, які є у взаємодії з тілами кочення 18, які знизу підтиснуті пружинами 19 і наживною гайкою 20, яка нагвинчена на втулку 17, у внутрішньому отворі якої встановлено змінну циліндричну вставку 21 з квадратним отвором, який є у взаємодії з хвостовиком мітчика 22.

Крім цього в нижній частині хомути 1, встановленого на верстат за допомогою спеціальних болтів 23 жорстко закріплений утримувач 24 в якому у верхній частині виконані осьові пази 25 з можливістю відносного переміщення його відносно хомути. При цьому утримувач 24 знизу є у жорсткій взаємодії з підп'ятником 26, який нижньою основою опирається зверху в обойму 6 з можливістю осьового переміщення. До утримувача 4 рівномірно по колу приварені, наприклад, три рукоятки 27.

Робота патрона здійснюється наступним чином. Заготовка 28, в отворі якої необхідно нарізати різь, жорстко встановлена в пристрої 29 відомої конструкції, до якої підводиться мастильно-охолоджуюча рідина, включається верстат і мітчик 22 підводять до отвору заготовки 28 і здійснюють технологічний процес нарізання різі. При цьому обертовий рух передається зі шпинделя верстата на верхню конічну шестерню 4, конічні паразитні шестерні 8, тіла кочення 18, втулку 17, циліндричну вставку 21 і мітчик 22. При проходженні останнього до упора за допомогою рукояток 27 утримувач 4 опускають в низ і опускають обойму 3 і конічні шестерні. При цьому спрацьовують сателіти – конічні шестерні 8 і обертовий рух здійснюється в протилежну сторону і мітчик 22 викручують з отвору заготовки 28 і на її місце подається наступна заготовка.

До переваг реверсивного патрона відноситься розширення технологічних можливостей і підвищення продуктивності праці.

За результатами вимірювань виведено рівняння крутного моменту в для різних типів різьбонарізних інструментів:

$$M_{кр} = C_M K_M D^x t^y, \quad (1)$$

Ефективна потужність в кіловатах, витрачається на нарізування різьби, визначається за рівнянням [1].

$$N_e = 60 M_{кр} n, \quad (2)$$

де  $M_{кр}$  - крутний момент, кНм;  $n$  - частота обертання інструмента об/хв.

Основний час роботи різьбонарізного обладнання витрачений на обробку однієї заготовки для різних методів різьбонарізання, розраховується за такими рівняннями: для різьбових різців

$$t_o = (l_o + l_1 + f) \text{ig} / (nP), \quad (3)$$

для гайкових і машинних мітчиків, нарізати різьбу в наскрізних отворах  $t_o = (l_a + l_p) / (nt)$ , де  $l_q$  – довжина нарізання різі на заготовках;  $l_p$  – довжина робочої частини інструмента;

### **Література**

1. Грановський Г.И. Резание метал лов / Г.И. Грановський, В.Г. Грановський. – М.: Высшая школа, 1985. – 304 с.
2. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя / В.И. Анурьев. – М.: Машиностроение, 1982. – Т1. – 728 с. – Т2. – 559 с. – Т3. – 557с.
3. Решетов Д.Н. Детали машин / Д.Н. Решетов. – М.: Машиностроение, 1989. – 496 с.
4. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин / В.Т. Павлице. – К.: Вища школа, 1993 – 555 с.

УДК 621.82

С.Л. Мельничук; М.Г. Левкович, канд. техн. наук, доц.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## ПРИСТРІЙ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ГВИНТОВИХ ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА КРОК

S. Melnychuk; M. Levkovich, Ph.D., Assoc. Prof.

### DEVICE FOR FORMING SCREW SPRINGILY ELEMENTS ON A STEP

Пристрій для формування гвинтових пружних елементів на крок (рис.1) виконано у вигляді корпуса 1, який затискують в різцетримачі 2 токарного верстату. На лівому вільному кінці циліндричної оправки 3 жорстко в отворі 4 жорстко встановлено шлицеву втулку 5 з можливістю осьового переміщення, яка жорстко закріплена в патроні 6 токарного патрона і вона підтиснута в осьовому напрямку пружиною 7 на регульовальному болті 8, який жорстко загвинчений в шлицевий торець оправки 3 зі стопорною гайкою. Особливості конструкції циліндричних оправок 3 є те, що в зоні

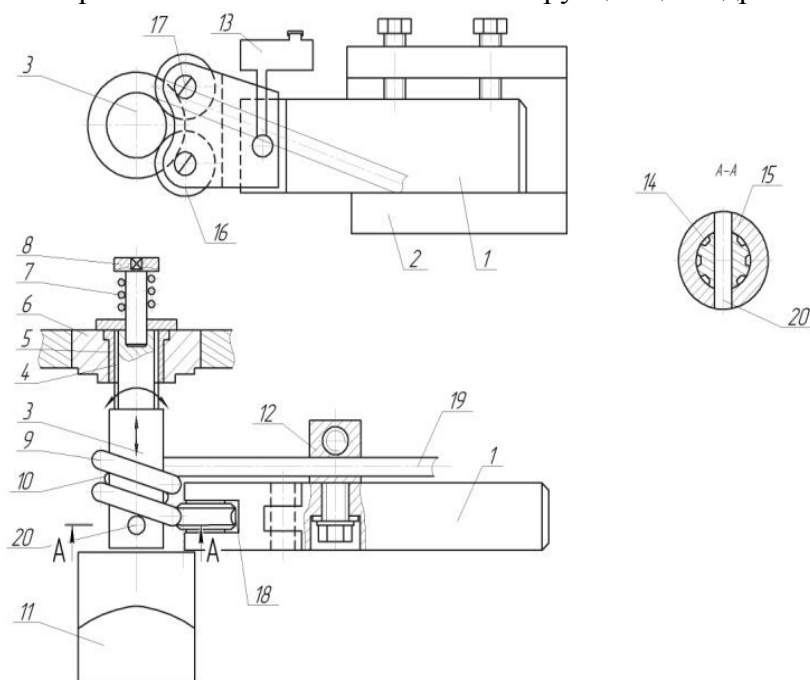


Рис. 1. Пристрій для формування гвинтових пружних елементів на крок

навивання пружин 9 на оправках виконані гвинтові формувальні калібри 10 заданого кроку і діаметра з врахуванням відпружинення проволочи. Знизу під циліндричною оправкою 3 жорстко встановлено жолоб 11, який є у взаємодії з навивною пружиною 9 і для зручності роботи жолоб 11 встановлено під кутом до горизонту. В зоні кріплення філь'єра 12 до корпуса 1 встановлена маслянка 13 відомої конструкції для змащування проволочи. Крім цього на робочій поверхні оправки 3 нарізані шліци 14, які є у взаємодії з шлицьовою втулкою 15, які з'єднані між собою по перехідній посадці. Таке конструктивне виконання забезпечить підвищення навантажувальної здатності оправки. Притискні формувальні ролики 16, які встановлені на осях 17 під кутом з можливістю кругового повертання і на їх периферії виконані півкруглі виїмки 18 радіусів навивної проволочи 19, які є з нею у взаємодії і які зміщені один відносно одного на величину зміщення гвинтової лінії. На робочому вільному кінці оправки 3 виконано наскрізний отвір 20, який є у періодичній залежності з кінцем проволочи 19. Крім цього в зоні корпуса 1 на козлах встановлена бухта навивної проволочи і входить з ним у взаємодію (на кресленні не показано).

УДК 621.9

**Є.В. Мироненко, докт. техн. наук., проф.; Д.Є. Гузенко**

Донбаська державна машинобудівна академія, Україна

**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ  
ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ  
ОПТИМІЗАЦІЇ НА БАЗІ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОЇ МОДЕЛІ**

**Y. Myronenko, Dr., Prof.; D. Guzenko**

**INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF MACHINING WITH MULTI-  
OBJECTIVE OPTIMIZATION BASED ON NEURAL NETWORK MODELS**

Активна енергозберігаюча політика є необхідною умовою підвищення конкурентоспроможності продукції та прискорення науковотехнічного прогресу в машинобудівних галузях промисловості. Аналіз рівнів енерговикористання в машинобудівній галузі вказує, що галузь має суттєві резерви підвищення ефективності використання енергії, особливо на стадії механічної обробки.

Складність задач, які виникають при вирішенні проблем зниження енерговитрат, обумовлена великою кількістю номенклатурної продукції, відсутністю нормативної бази використання енергоресурсів на випуск продукції та недостатнім знанням енергоємності технологічних процесів машинобудівного виробництва.

Одним з перспективних напрямків, що активно розвивається, є використання для зберігання та обробки даних штучних нейронних мереж. Вірний вибір топології, обмежень і взаємозв'язку внутрішньої структури нейронної мережі дозволяє застосовувати дану технологію в будь-яких завданнях виявлення залежностей між даними.

З практичної точки зору нейронні мережі є нелінійними статистичними системами моделювання даних або системами прийняття рішень. Вони можуть бути використані для моделювання складних відносин між вхідними та вихідними даними або для знаходження закономірностей в даних. Відчутний ефект від застосування штучних нейронних мереж виникає тільки при вирішенні дуже складних завдань високої і надвисокої розмірності.

Для оптимізації параметрів технологічного процесу необхідно вирішувати задачі багатокритеріальної оптимізації, які характеризуються такими особливостями: висока розмірність і складна структура безлічі альтернатив, велика кількість і нелінійність функцій-обмежень, велика розмірність цільової функції і взаємозалежність її складових, великий обсяг ви числення. Тому використання нейромережевої моделі є виправданим.

**Література:**

1. Энергосбережение в металлообработке: монография / В.С. Гузенко, Е.В. Мироненко. – Краматорск: ДГМА, 2007. – 264 с.
2. Holland J. H. Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to biology, control, and artificial intelligence. – London: Bradford book edition, 1994 – 211 p.
3. ХаеТ Г.Л., Еськов А.Л., Черномаз В.Н., Краснокутская Л.В. Многокритериальная и многопараметрическая оптимизация – Краматорск ДГМА, 1994 – 97 с.

УДК 621.744

Є.В. Мироненко, докт. техн. наук, проф.; С.Л. Міранцов, канд. техн. наук, доц.  
Донбаська державна машинобудівна академія, Україна

## МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ВАЖКИХ КАРУСЕЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ

Y. Myronenko, Dr. Prof.; S. Mirantsov Ph.D., Assoc. Prof.

### HEAVY VERTICAL LATHE EQUIVALENT ELASTIC SYSTEM MODELING

Продуктивність механічної обробки на важких верстатах, зокрема на карусельних верстатах, визначається безліччю факторів, а також процесами, що виникають у технологічній системі. До таких факторів й процесів відносяться систематичні і випадкові погрішності, вимушені та регенеративні коливання, що виникають на операціях чорнового й чистового точіння і розточування.

Так аналіз процесів точіння і розточування, які виконуються на важких карусельних верстатах з діаметрами планшайби  $D = (6300 \dots 12000)$  мм, моделей 1532, 1565, 1570, 1580Л в умовах ПАТ «ЭМСС» і ПАТ «НКМЗ» при обробці великогабаритних корпусних деталей масою до 20 т, свідчить, що основними факторами, які знижують продуктивність процесу різання є коливання елементів технологічної системи.

Однією з причин виникнення коливань в технологічній системі карусельного верстата при точінні і розточуванні крупно габаритних деталей є великий виліт повзуна, а також недостатня жорсткість збірної конструкції інструмента, що приводить до зниження жорсткості технологічної системи.

Для аналітичних досліджень динамічних явищ, що виникають у процесі різання на важких карусельних верстатах, запропонована структурна модель технологічної системи (рисунок 1).

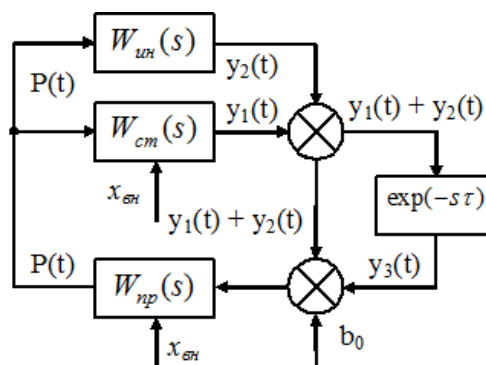


Рис. 1. – Структурна модель динамічної системи зі збірним інструментом  
для важких карусельних верстатів

Відмінною рисою запропонованої моделі є наявність підсистеми збірного інструмента  $W_{ин}(s)$  як окремої пружної підсистеми, включеної паралельно еквівалентній пружній системі верстата  $W_{ст}(s)$ .

Для побудови передатних функцій, які описують процеси, які протікають у технологічній системі, зокрема процес різання, процеси руху окремих елементів системи, запропонована розрахункова схема еквівалентної пружної системи важкого карусельного верстата «портал – повзун – інструмент – заготовка» (рисунок 2).

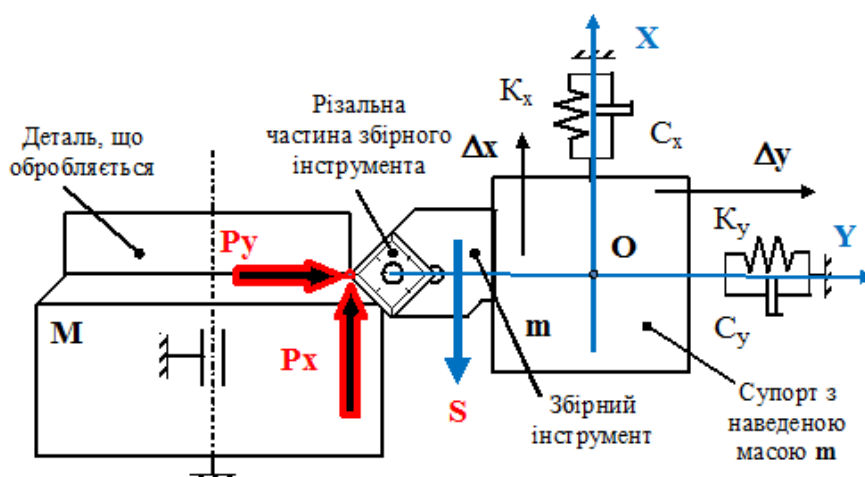


Рис. 2 – Структурна розрахункова схема технологічної системи важкого карусельного верстата

Процес різання розглядається як система рівнянь, які визначають залежність складових сили різання від часу  $\tau$  і технологічних факторів:

$$P_x(\tau) = \frac{K_{px}}{\sin \varphi} K_p(\tau) [S_0 + \Delta D_x \cdot \sin(\omega\tau + q_0) - x(\tau) - x(\tau - T)] [t_0 - y(\tau) - y(\tau - T)];$$

$$P_y(\tau) = \frac{K_{py}}{\sin \varphi} K_p(\tau) [t_0 + \Delta D_y \cdot \sin(\omega\tau + q_0) - y(\tau) - y(\tau - T)] [S_0 - x(\tau) - x(\tau - T)];$$

де  $\Delta D_x$ ,  $\Delta D_y$  – відповідно, неточність встановлення деталі по осях координат, мм;  
 $y(\tau)$ ,  $x(\tau)$  – відповідно пружні переміщення елементів системи по осях координат, мм;  
 $K_p(\tau)$ ,  $K_{px}$ ,  $K_{py}$  – коефіцієнт, що визначає зміну складових сили різання через випадкові погрішності, що виникають при обробці, питомі значення складових сили  $P_x$ , і  $P_y$ ;  
 $t_0$ ,  $S_0$ ,  $\varphi$  – початкова глибина різання, подача інструменту і головний кут в лані інструмента;  
 $\omega$ ,  $q_0$ ,  $T$  – частота обертання, початкова фаза обертання деталі, час одного оберту деталі;

Для виконання аналітичних досліджень і моделювання динамічних явищ, що виникають при різанні, запропонована модель технологічної системи важкого карусельного верстата, яка реалізована в пакеті Simulink Matlab у вигляді візуальної структурної моделі процесу механічної обробки.

Проведене моделювання процесу обробки великогабаритних корпусних деталей при різних режимах різання дозволило визначити основні закономірності виникнення динамічних явищ при точінні і розточуванні з великими перетинами зрізу, а також вплив конструктивних особливостей вузлу закріплення різальних елементів на стійкість і продуктивність обробки на важких карусельних верстатах.

Наприклад, отримані результати показують виникнення явища резонансу у вузлах закріплення різальних елементів у ряді конструкцій збірних різців для карусельних верстатів, що негативно впливає на вібростійкість технологічної системи.

УДК 621.82

Т.Д. Навроцька; В.М. Клендій, канд. техн. наук; М.Д. Радик

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## СЕКЦІЙНА ДВОХШАРНІРНА ГВИНТОВА СПІРАЛЬ

T. Navrotska; V. Klendiy, Ph.D.; M. Radyk

### SECTIONAL DOUBLE-HINGED HELICAL SPIRAL

Секційна двохшарнірна гвинтова спіраль (рис. 1) виконана у вигляді однакових спіралей лівої 1 і правої 2, кінці яких внутрішніми діаметрами жорстко з'єднані з окремими секціями оправки лівої 3 і правої 4, які виконані у вигляді півсферичних поверхонь 5 лівої і 6 правої. Крім цього оправки ліва 3 і права 4 виконані розбірними по діаметральних площинах перпендикулярно до торцевих поверхонь втулок, які жорстко з'єднані відомим болтовим кріпленням 7. Лівий кінець шарніра 8 виконано у вигляді сферичної поверхні 9, в якій рівномірно по колу великого діаметра виконано чотири радіусні півкруглі виїмки 10, які є у взаємодії з кулькою 11, які вільно встановлені у внутрішні сферичні поверхні 12 лівої оправки 3. Крім цього на проти кульок 11 на сферичній поверхні виконано півкруглі канавки 10 для вільного провертання шарніра 8, а правий кінець шарніра 8 має аналогічну сферичну форму 13, по великому діаметрі якої виконано чотири радіусні півкруглі виїмки 14, які є у взаємодії з кульками 15, які вільно встановлені у внутрішні сферичні поверхні 16 правої оправки 4 з можливістю взаємного прокручування.

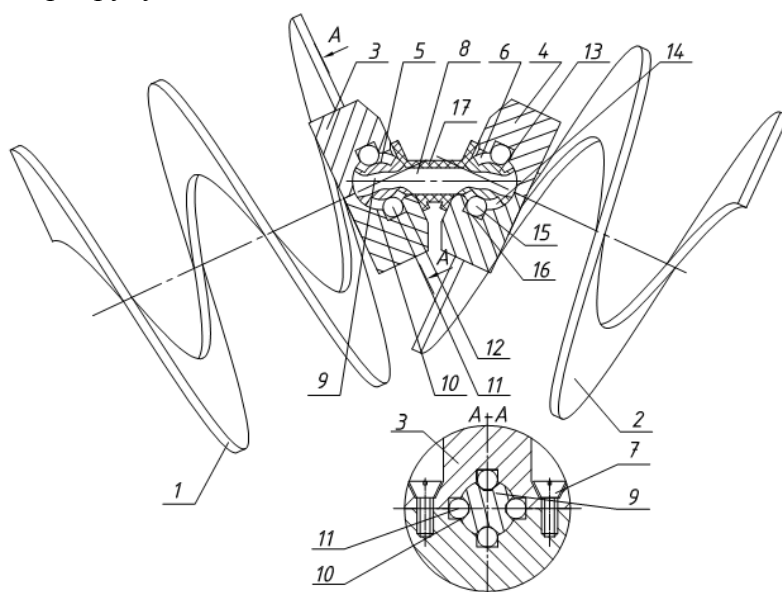


Рис. 1. Секційна двохшарнірна гвинтова спіраль

Для герметизації шарнірного з'єднання тіло шарніра 8 покрито пружним гофрованим герметичним кожухом 17 для запобігання попадання сипких матеріалів у зону тертя.

Робота секційної гвинтової спіралі здійснюється наступним чином. Під час обертання гвинтової секційної спіралі обертовий рух передається з спіралі 1, на ліву секцію 3 кульки 11, сферичну головку 9, шарнір 8 і на праву втулку 4 і спіраль 2.

До переваг секційної спіралі відноситься розширення технологічних можливостей, підвищення навантажувальної здатності і зменшення радіуса згину секцій.

**УДК 658**

**І.С. Нагорняк**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

## **ОЦІНКА РОЗВИТКУ МАШИНОБУДІВНОГО КОМПЛЕКСУ ЯК ОСНОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ**

**I. Nahorniak**

### **ESTIMATION OF THE MACHINE-BUILDING COMPLEX DEVELOPMENT AS BASIS IN ENSURING ECONOMIC SECURITY OF UKRAINE**

Економічна безпека держави – це такий стан економіки та інститутів влади, за якого забезпечується гарантований захист національних інтересів, гармонійний, соціально орієнтований розвиток країни в цілому, достатній економічний та оборонний потенціал навіть за найнесприятливіших варіантів розвитку внутрішніх та зовнішніх процесів. У загальному стан економічної безпеки української держави на сьогоднішній день є інтегрованим показником соціально-економічного розвитку країни, основою формування стратегічних цілей держави та реалізації багатокomпонентної системи економічних інтересів країни у цілому. Економічна безпека держави є результатом розробки та реалізації системи заходів щодо забезпечення економічного суверенітету та економічного зростання країни, підвищення рівня добробуту її громадян за умов міжнародної економічної інтеграції. Економічна безпека держави напряму залежить від стану захищеності галузей та підприємств національної економіки від чинників, що становлять загрози життєво важливим інтересам суб'єктів економіки.

Промисловість як стратегічний сектор економіки є важливим структурним елементом економічної безпеки держави, показники її діяльності є пріоритетними для визначення рівня економічного розвитку країни. Вона є фундаментом науково-технічної трансформації, економічного зростання і соціального прогресу у суспільстві.

Машинобудування традиційно є базовою галуззю національної економіки, відіграючи провідну роль у створенні матеріально-технічної бази для усіх інших галузей економіки. Рівень розвитку машинобудування є одним із важливих показників економічного стану країни та одним з основних індикаторів оцінки її економічної безпеки. Його виключна роль полягає у реалізації інноваційних, наукомістких проєктів у всіх галузях економіки і визначена у «Концепції загальнодержавної цільової економічної програми розвитку промисловості на період до 2020 року» [5], де зазначено, що визначальний вплив на ситуацію у промисловості має цінова кон'юнктура на основні експортні позиції та попит на продукцію машинобудування.

Сьогодні економічна ситуація в Україні визначається нестабільністю політичних, економічних та суспільних відносин. Техніко-технологічний, організаційно-управлінський, маркетинговий, кадровий потенціал вітчизняних машинобудівних підприємств різко відстає від рівня аналогів економічно розвинутих країн світу. Дослідження та оцінка економічних результатів діяльності машинобудівного комплексу у цілому вказують на це. Так, частка машинобудування в обсязі продукції промисловості скоротилася з 10,3 % у 2012 році до 6,5 % у 2015 році. У 2013 році зниження обсягів виробництва машинобудівної галузі склало 13,6 %, у 2014 - 20,6 %, у 2015 - 14,1 % [2].

Обсяг реалізованої промислової продукції за період з 2010 по 2012 роки зростав, але з 2013 року спостерігаємо скорочення діяльності, однією з вагомих причин якого є військово-політичні дії на сході України. Результати аналізу статистичних даних

чистого прибутку за 2014 рік викликають серйозне занепокоєння: кількість підприємств, що одержали прибуток, становить 63,7% проти 36,3% збиткових [3]. Слід також зазначити, що сума збитку підприємств машинобудівного комплексу в чотири рази перевищує суму прибутку успішних підприємств.

Важливим аспектом господарської діяльності підприємств є їх інвестиційна активність, результатом провадження якої є можливість функціонування в довгостроковій перспективі та забезпечення конкурентоспроможності підприємства, а також освоєння нових ринків та нових видів продукції. Аналіз 2014 року вказує на той факт, що при наявності Державної програми розвитку машинобудування капітальні інвестиції були профінансовані виключно самими підприємствами машинобудування без жодної державної участі, хоча дана галузь визначена пріоритетною для України [4]. Варто зазначити, що близько 90% підприємств машинобудування перебувають у приватній власності, а дії приватних власників часто скеровані на миттєву вигоду, а не на інвестиційний розвиток. В перспективі обсяги інвестиційних капіталовкладень як з боку приватних структур, так і з боку держави мали б зростати.

Вагомими показником, який віддзеркалює вплив діяльності підприємств машинобудівного комплексу на економічну безпеку держави, є рівень інноваційної активності підприємств. У 2014 році таку діяльність провадили 16,1% підприємств, близько 5% інвестиційних коштів було профінансовано державним і місцевими бюджетами. Варто зазначити, що на придбання нових технологій було витрачено лише 0,6% від усіх капіталовкладень.

Дослідження рівня зайнятості у галузі машинобудування також демонструють невтішну картину, оскільки в усіх галузях відбувається скорочення кількості кадрів. Найвищі показники скорочення (29%) спостерігаються у виробництві автотранспортних засобів, причепів, напівпричепів та інших транспортних засобів. До внутрішніх проблем машинобудівного комплексу також належить старіння кадрів; слабка матеріальна мотивація, що спричиняє явище суміщення основної діяльності працівника з роботою в інших організаціях, результатом чого є низька віддача працівника та зниження продуктивності праці, відтік конфіденційної інформації за межі підприємства [1].

Сучасний машинобудівний комплекс має потребу у збільшенні кількості фахівців нового профілю, працівників нових професій. Загалом це викликано необхідністю модернізації обладнання та використання інноваційних технологій, освоєнням нової продукції та нових ринків збуту.

Також проблемою залишається система управління промисловими підприємствами. Працюючи в ринкових умовах, керівники часто використовують управління, що не відповідають сучасним викликам. Натомість, молоде покоління кадрів, у якого сформовано нове мислення, не володіє достатнім досвідом та не має можливості втілювати свої знання в практичній площині.

Особливостями функціонування підприємств машинобудівного комплексу є їх висока енергомісткість, суттєва залежність від сировинної бази та транспортної компоненти, монополізація сировинних ринків та енергопостачальних потужностей декількома власниками, обмеженість потреб внутрішніх ринків і висока конкуренція на зовнішніх ринках внаслідок захисту іноземними урядами своїх національних виробників [6].

Означені проблеми машинобудівного комплексу не лише стримують економічний розвиток підприємств, але й негативно позначаються на економічній безпеці держави, руйнуючи перспективи її подальшого економічного та соціального



добробуту і зростання. На нашу думку, ефективна робота підприємств промисловості, в першу чергу – машинобудування, є визначальною у формуванні системи економічної безпеки країни.

Основними позитивними тенденціями розвитку галузі, на сьогодні, можна вважати поступовий приріст обсягів машинобудівної продукції певних галузей. У виробництві комп'ютерів, електронної та оптичної продукції зростання - 7,7 %, у виробництві інших машин і устаткування загального призначення - 15,9 %, у виробництві машин і устаткування для сільського та лісового господарства - 9,6 %, у виробництві інших машин і устаткування спеціального призначення - 2,6 %, у виробництві автотранспортних засобів, причепів і напівпричепів - 4,7 % (порівняння між 2016 і 2015 рр.).

Варто зауважити, що загалом кризовий стан галузі машинобудування вимагає докорінних змін у державній політиці. Вона повинна бути системною, всеохоплюючою та науково обґрунтованою. На сьогоднішній день урядом прийнято ряд юридичних актів і декларацій, які фактично не працюють, оскільки не мають реального фінансового забезпечення, що унеможливорює реалізацію потенційно успішних та перспективних проектів.

Одним із перспективних напрямів вдосконалення діяльності машинобудівного комплексу може стати допомога держави у вигляді створення сприятливих умов у веденні бізнесу в машинобудівному комплексі, консультування, доступу до дешевого кредитування для оновлення основних фондів, поліпшення інноваційної діяльності підприємств шляхом створення дослідно-конструкторських установ; підтримку інновацій через мережу венчурних підприємств; підтримку вдосконалення маркетингової та рекламної діяльності підприємств; допомогу при виході на нові ринки збуту з боку торговельних представництв України за кордоном та ін. Метою державної політики в галузі машинобудування повинно бути досягнення випереджувального розвитку машинобудування за рахунок впровадження нових технічних засобів, технологій та інноваційних підходів в управлінні й організації виробництва. Результатом має стати подальший соціально-економічний розвиток країни, підвищення конкурентноздатності продукції на світовому ринку та зростання економічної безпеки держави у цілому.

#### **Література:**

1. Ареф'єва О.В. Кадрова складова в системі економічної безпеки машинобудівних підприємств / О.В. Ареф'єва, О.Ю.Литовченко // Актуальні проблеми економіки. – 2008. – № 11 (89). – С.95 – 100.
2. Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
3. Діяльність суб'єктів господарювання за 2014 рік: статистичний збірник / Відпов. за випуск О.М. Колпакова. – К.: Державна служба статистики України, 2015. – 435 с.
4. Капітальні інвестиції в Україні: статистичний бюлетень / Відпов. за випуск І.С. Петренко. – К.: Державна служба статистики України, 2015. – 43 с.
5. Про схвалення Концепції Загальнодержавної цільової економічної програми розвитку промисловості на період до 2020 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 17.07.2013 р. № 603-р [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/603-2013-p>.
6. Редьква О.З. Основні форми і методи забезпечення економічної безпеки машинобудівного комплексу / О.З. Редьква, М.І. Башинська // Глобальні та національні проблеми економіки. – 2016. – Випуск 13. – С. 184 – 188.

**УДК 621.914.22**

**С.Г. Нагорняк** докт. техн. наук, проф.; К.В. Зеленський, канд. техн. наук, доц.  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## **МЕТОДОЛОГІЯ СТРУКТУРНО-СХЕМНОГО СИНТЕЗУ ВУЗЛІВ МАШИН НА ПРИКЛАДІ ЗБІРНИХ ТОРЦЕВИХ ФРЕЗ**

**S. Nagornyak** Dr., Prof.; K. Zelenskyu, Ph.D., Assoc. Prof.

### **THE METHODOLOGY OF STRUCTURE-SCHEME SYNTHESIS OF MACHINES COMPONENTS ON THE EXAMPLE OF SECTIONAL CUTTERS**

В машинобудуванні велика кількість верстатного і технологічного обладнання працює під дією змінних (перервних, ударних) навантажень. Такі умови роботи є причиною передчасної втрати конструктивних і технологічних характеристик обладнання. Зменшити негативний вплив від дії змінних навантажень вдається шляхом введення в привідні системи машин пружних з'єднувальних муфт [1].

Процес обробки металів різанням – торцеве фрезерування характеризується змінністю сили різання, супроводжується високим рівнем шуму і вібрацій [2]. Такі високодинамічні явища зменшують довговічність елементів приводів верстату і оснащення, є причиною підвищеного зносу і крихкого руйнування ріжучих елементів збірних торцевих фрез (ЗТФ), погіршують якість і точність обробки. Ефективне зменшення рівня динамічних навантажень при торцевому фрезеруванні досягається зменшенням моменту інерції обертових мас приводу, жорсткою зв'язаних із різцем ЗТФ, збільшенням податливих і демпфуючих характеристик як пружних з'єднувальних муфт в приводі так і пружно-демпфуючих елементів (ПДЕ), додатково введених в конструкцію ЗТФ [3]. Включення ПДЕ безпосередньо в конструкцію фрези перетворює збірний інструмент на пружну муфту. Надалі синтез вузлів машин типу пружних з'єднувальних муфт розглянемо на прикладі синтезу ЗТФ з ПДЕ.

Загальна методологія проектування прогресивних конструкцій ЗТФ з ПДЕ складається із поетапного розв'язання на відповідних ієрархічних рівнях завдань та принципів структурно-схемного, векторного, геометричного, топологічного та динамічного синтезів [4].

В даній статті на першому ієрархічному рівні розглянемо принципи і завдання структурно-схемного синтезу ЗТФ з ПДЕ [6]. Вони полягають у формулюванні підходів та методології поетапної побудови всієї множини можливих структурних схем (СС) нових прогресивних конструкцій ЗТФ. На наступних ієрархічних рівнях (в даній статті не розглядається) за допомогою задачі направленої оптимізації визначається оптимальна СС, згідно якої проектується ЗТФ із раціональними кінематичними, конструктивними та динамічними параметри.

**На 1-у етапі** структурно-схемного синтезу ЗТФ запропоновано два принципи побудови СС: 1) для зменшення моменту інерції мас приводу, жорсткою зв'язаних із різцем інструменту здійснимо розтин корпусу ЗТФ площинами і поверхнями у напрямках, утворених дискретним або неперервним поворотом формуючої лінії (ліній) навколо осі ЗТФ, або навколо точки на осі, чи навколо точки, зміщеної відносно осі, з використанням методів дзеркального відображення, обертання та лінійного переміщення; 2) для зменшення негативного впливу від дії змінного (ударного) навантаження при торцевому фрезеруванні шляхом підвищення податливості різців введемо ПДЕ в місця розтину корпусу ЗТФ, або замінимо деякі елементи структурних схем ЗТФ на ПДЕ. Геометрична інтерпретація принципів побудови структурних схем ЗТФ та їх об'ємне зображення показано в таблиці 1.

Розглянемо дискретний поворот формуючої лінії (ФЛ) навколо деякої точки  $O$ , яку розташуємо по середині корпусу фрези на осі її обертання (верхня частина табл. 1, 2-а стрічка). Корпус фрези в осьовій площині представимо у вигляді прямокутника і позначимо структурні схеми відповідно  $a_1 - a_6$  (табл. 1, 5-а стрічка). Точка  $O$  є початком променя ФЛ, який неперервно обертаємо навколо осі інструменту і будуємо, таким чином, відповідні конічні січні поверхні (табл. 1, 3-я стрічка), які розділяють корпус фрези на дві частини. Об'ємні зображення утворених структурних схем (СС) ЗТФ показані у 6-ій стрічці (табл. 1) під відповідними буквенними позначеннями  $a_1 - a_6$ .

На СС  $a_1$  (табл. 1, 6-а стрічка) ФЛ співпадає з віссю обертання фрези. Конструкція ЗТФ за даною СС включає в себе корпус разом із жорстко закріпленими в ньому всіма різцями і оправку. Між оправкою та корпусом ЗТФ може бути встановлена пружно-демпфуюча муфта [8]. Для зменшення маси корпусу ЗТФ муфта або ПДЕ може бути введений безпосередньо в корпус інструменту [14].

На СС  $a_2$  (табл. 1, 6-а стрічка) ФЛ будує січну конічну поверхню, яка відтинає частину об'єму корпусу ЗТФ і зменшує таким чином його масу. Зміна радіуса конуса і розташування на його поверхні ПДЕ, наприклад торових з різними радіусами відносно осі обертання, дозволить регулювати податливість фрези в залежності від конкретних режимів обробки. Направленість нижнього конуса в сторону різців забезпечує можливість швидкої заміни ПДЕ безпосередньо на верстаті [13]. Проте, в конструкції ЗТФ за даною СС, як і в СС  $a_1$ , маса корпусу ЗТФ разом із жорстко закріпленими в ньому всіма різцями залишається значною.

На СС  $a_3$  (табл. 1, 6-а стрічка) ФЛ розтинає корпус на два диски із сукупним торцем у виді конічної поверхні. Диски різняться між собою масами із відповідними моментами інерції. Різці можуть кріпитися до одного і другого диска по черзі. Це дає можливість забезпечити різні частоти коливань між сусідніми зубами інструменту в процесі обробки і позитивно впливати на вібростійкість ЗТФ.

На СС  $a_4$  (табл. 1, 6-а стрічка) ФЛ також розтинає корпус на два диски, але тепер з рівними масами. Різні частоти коливань між сусідніми зубами будуть забезпечувати різні довжини державок різців. Різні схеми передачі крутного моменту, розташування ПДЕ, конструктивні та податливі їх характеристики можна підбирати залежно від вимог обробки. В даній СС є можливість отримувати диски різної маси, якщо точку  $O$  зміщувати вздовж осі в будь-якому напрямку [10].

На СС  $a_5$  (табл. 1, 6-а стрічка) ФЛ утворює два диски з протилежно направленою до СС  $a_3$  січною конічною поверхнею. Фреза за даною СС характеризується такими ж властивостями, як і за СС  $a_3$ ,  $a_4$ . Крім того, дводисковими ЗТФ ( $a_3 - a_5$ ) можна одночасно виконати чорнову і чистову обробки, коли зуби нижнього диска здійснюють чорнове різання, а зуби верхнього диска – чистове (при заданому поділі глибин різання між зубами обох дисків).

На СС  $a_6$  (табл. 1, 6-а стрічка) ФЛ відтинає частину об'єму від корпусу ЗТФ у виді верхнього конуса. Конструкція інструменту за даною СС буде володіти подібними властивостями до ЗТФ за СС  $a_2$ .

Далі продовжимо розглядати дискретний поворот формуючої лінії навколо точки  $O$  на осі фрези. Корпус фрези, в площині перпендикулярній до осі, представимо у вигляді кола (ліва вертикальна частина табл. 1, 3-ій стовпець). Величина кута повороту ФЛ залежить від кількості зубів інструменту ( $z$ ), а початок відліку приймемо в зоні між різцями фрези (табл. 1, 4-й стовпець). Дзеркальне відображення променя ФЛ відносно точки  $O$  будує січну лінію ФЛ, переміщення якої вздовж осі фрези утворюють січні площини, які поділяють корпус ЗТФ на елементи – СС  $b_1 - b_4$  (табл. 1, 6-й стовпець). Об'ємні зображення утворених СС ЗТФ показані у 7-у стовпці (табл. 1) біля відповідних позначень -  $b_1 - b_4$ .

Таблиця 1 – Принципи побудови і об'ємне зображення структурних схем ЗТФ з ПДЕ

Етапи синтезу	Об'єкт синтезу	Межі кута $\varphi$											
		Межі кута $\varphi$	Поворот променя навколо т. О	$\varphi=0+k\pi$	$0<\varphi<\pi/2$	$\pi/4<\varphi<\pi/2$	$\varphi=\pi/2$	$\pi/2<\varphi<\pi/4$	$\pi/4<\varphi<\pi$				
		Поворот променя навколо т. О (т.А.)	Переміщення формуючої лінії (ФЛ) вздовж осі	Поворот формуючої лінії (ФЛ) навколо осі									
Добуток елементів матриць В <sup>T</sup> , С <sup>T</sup> , D <sup>T</sup> на елементи матриці А		Структурні схеми матриці А						Структурні схеми матриці А					
		$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$
Структурні схеми матриці В <sup>T</sup>	$\varphi=0$			$b_1$									
	$0<\varphi<\pi/2$			$b_2$									
	$\varphi=\pi/4$			$b_3$									
	$\varphi=\pi/2$			$b_4$									
Структурні схеми матриці С <sup>T</sup>	$0<\varphi<\pi/2$			$c_1$									
	$\varphi=\pi/2$			$c_2$									

$\varphi = \frac{\pi}{2}$			Структурні схеми матриці $D^T$	$c_3$						
$\varphi = \frac{2\pi}{A}$				$d_1$						
$\varphi = \frac{2\pi}{A}$				$d_2$						

Структурна схема  $b_1$  (табл. 1, 7-й стовпець) побудована з використанням додаткового прийому - промінь ФЛ ліквідується, а його початок (точка O) залишається. Переміщення точки O вздовж осі обертання інструменту утворює січний промінь і СС  $b_1$  стає подібною до СС  $a_1$ .

На СС  $b_2$  (табл. 1, 7-й стовпець) ФЛ будують січні площини, які розтинають корпус на сектори, до кожного з яких жорстко кріпиться тільки один різець. Така схема зменшує масу корпусу фрези в  $z$  разів [11]. Крім того, кожний сектор-різець оснащується незалежним ПДЕ, конструкції яких можуть відрізнятися. В цьому випадку різці володітимуть різними частотами власних коливань, а звільнені від різання різці, внаслідок своєї рухомості, виступатимуть в ролі динамічних погашувачів коливань, що виникають в процесі фрезерної обробки.

На СС  $b_3$  і  $b_4$  (табл. 1, 7-й стовпець) січні площини розтинають корпус так, що з кожним сектором жорстко з'єднані по два і чотири різці відповідно. ЗТФ, побудовані за такими СС, будуть характеризуватися сукупними ознаками від СС  $b_1$  і  $b_2$ .

Розглянемо ще два прийоми побудови СС ЗТФ. 1) В нормальному перерізі на корпусі фрези задається точка A (декілька точок A, кратних числу  $z$ ), розташована на деякій відстані від осі інструменту (ліва вертикальна частина табл. 1, 3-4-й стовпці). В першому випадку (табл. 1, СС  $c_1 - c_3$ ), поворот ФЛ здійснюється навколо точки A, дзеркально відображається відносно осі, що проходить через середину різця і буде, таким чином, ламаною формуючою лінією ФЛ. Січні площини будуються переміщенням ламаної ФЛ вздовж осі обертання фрези. 2) В другому випадку (табл. 1, СС  $d_1, d_2$ ) – промінь ФЛ ліквідується, поворот точки A навколо осі обертання фрези буде ФЛ у виді дуги. Січні циліндричні поверхні будуються переміщенням дугових ФЛ одного або різних радіусів вздовж осі фрези.

На СС  $c_1$  (табл. 1, 7-й стовпець) січними площинами утворені сектори, осі можливого обертання яких зміщені відносно осі обертання корпусу фрези. За даною СС можуть бути спроектовані дві ЗТФ. У одній, кожен різець жорстко з'єднаний із окремим шарнірним сектором-державкою [9], у другій – різці чергуються між собою і один жорстко з'єднується із сектором, а другий із корпусом фрези. Сектори-державки оснащуються ПДЕ. Зміщення осі обертання секторів-державок відносно осі фрези забезпечує кінематичне зменшення товщини зрізаного шару на етапі врізання.

На СС  $c_2$  (табл. 1, 7-й стовпець) січні площини розтинають корпус ЗТФ на сектори різної форми з можливими коловими і дотичними напрямками відносних зміщень. Чергування різних напрямків відносних зміщень між сусідніми секторами-

різцями у реальній конструкції ЗТФ забезпечить різні схеми зрізання припуску зубами фрези і відповідно змінить монотонність дії силових спектрів на обробляючу систему.

На СС  $c_3$  (табл. 1, 7-й стовпець) січними площинами відтинаються від корпусу ЗТФ сектори-різці з можливими дотичними відносними зміщеннями. ЗТФ за такою схемою володітиме ознаками подібними до ЗТФ за СС  $c_1, c_2$ .

За СС  $d_1$  (табл. 1, 7-й стовпець) можлива побудова конструкції ЗТФ, у якій маса корпусу разом із жорстко закріпленими в ньому різцями зменшена на масу внутрішнього циліндра. Між внутрішнім циліндром і корпусом ЗТФ встановлюються ПДЕ [14].

За СС  $d_2$  (табл. 1, 7-й стовпець) можлива побудова конструкції ЗТФ, у якій сектори відрізняються радіусами внутрішнього циліндра і відповідно мають різні маси. До кожного сектора жорстко кріпиться по одному або два різці. Така ЗТФ характеризуватиметься різними частотами власних коливань секторів-різців.

Запропоновані позначення кожної СС використаємо для формалізації даного етапу структурно-схемного синтезу ЗТФ в матричній формі. Згрупуємо побудовані СС ЗТФ за принципами побудови у відповідні матриці-стрічки:

$$A = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 & a_6 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} b_1 & b_2 & b_3 & b_4 \end{bmatrix}; C = \begin{bmatrix} c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix}; D = \begin{bmatrix} d_1 & d_2 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Об'єднаємо множину побудованих СС (1) в єдину матрицю-стрічку:

$$[S_{\text{л}}] = \begin{bmatrix} A & B & C & D \end{bmatrix}, \quad (2)$$

яку назвемо матрицею **лінійного структурно-схемного синтезу СС ЗТФ**.

Множина СС ЗТФ (2) не обмежується запропонованою кількістю побудованих СС і може бути розширена при застосуванні додаткових принципів побудови СС ЗТФ.

**На 2-у етапі** розвинемо методологію побудови СС ЗТФ. Для цього використаємо матричну форму представлення СС ЗТФ (1) і перемножимо транспоновані матриці-стовпчики  $B^T, C^T$  і  $D^T$  на матрицю-стрічку  $A$  вклавши в цю математичну дію фізичний зміст накладання СС однієї матриці на СС матриці  $A$ . В результаті одержимо матрицю **площинного (двовимірного) структурно-схемного синтезу СС ЗТФ** –  $[S_{\text{п}}]$ :

$$[S_{\text{п}}] = \begin{bmatrix} B^T \\ C^T \\ D^T \end{bmatrix} \cdot [A] = \begin{bmatrix} B^T \cdot A \\ C^T \cdot A \\ D^T \cdot A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 a_1 & b_1 a_2 & \dots & b_1 a_6 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_4 a_1 & b_4 a_2 & \dots & b_4 a_6 \\ c_1 a_1 & c_1 a_2 & \dots & c_1 a_6 \\ c_2 a_1 & c_2 a_2 & \dots & c_2 a_6 \\ c_3 a_1 & c_3 a_2 & \dots & c_3 a_6 \\ d_1 a_1 & d_1 a_2 & \dots & d_1 a_6 \\ d_2 a_1 & d_2 a_2 & \dots & d_2 a_6 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Геометрична інтерпретація отриманих СС ЗТФ структурно-схемного синтезу  $[S_{\text{п}}]$  (3) у виді об'ємних зображень показана у табл. 1. Конструкції ЗТФ за СС  $[S_{\text{п}}]$  (3) (табл. 1) володіють сукупними ознаками і характеристиками від СС  $[S_{\text{л}}]$  (2), в наслідок об'єднання яких вони утворені.

**На 3-у і наступних етапах** структурно-схемного синтезу ЗТФ нові СС будуються добутком матриць попередніх етапів синтезу на матрицю-стрічку  $[S_{\text{л}}]$  (2) з отриманням матриць **тривимірного і наступних вимірів стуктурно-схемних синтезів СС ЗТФ**.

**Висновок.** До деяких структурних схем двовимірного структурно-схемного синтезу ЗТФ авторами запропоновано нові конструкції ЗТФ з ПДЕ і отримано авторські

свідoctва на винаходи та патенти:  $b_{1a1}$  – ЗТФ з пружно-демпфуючою муфтою [8];  $b_{1a4}$  – дводискова ЗТФ [10];  $b_{2a1}$  – ЗТФ із секторами-різцями [11];  $b_{1a2}$  – ЗТФ із торовими ПДЕ [13];  $c_{1a1}$  – ЗТФ із шарнірними секторами-державками [9];  $d_{1a1}$  – ЗТФ із втулковими ПДЕ [14].

Запропоновані принципи побудови і моделювання структурних схем ЗТФ з ПДЕ можуть бути застосовані в інших галузях промислового виробництва: 1) Включення пружних елементів та ПДЕ в запобіжні механізми для токарних, свердлильних, фрезерних робіт та вихревого нарізання різей [1]; 2) Обертання у протилежні сторони дисків фрези за схемами  $b_{1a3}$  -  $b_{1a5}$  забезпечує високопродуктивну фрезерну обробку деталей малої жорсткості [5, 12]; 3) Застосування ПДЕ з високою податливістю за схемою  $d_2d_1b_2a_1$  чотиривимірного структурно-схемного синтезу ЗТФ дозволяє перейти до проектування іншого класу ЗТФ із зменшеним часом холостих переміщень різців [7, 15, 16], які забезпечують зменшення амплітуди коливань температури різання при торцевому фрезеруванні і, відповідно, підвищення стійкості різців;

#### **Література:**

1. Нагорняк С.Г., Луцив И.В. Предохранительные механизмы металлообрабатывающего оборудования: Справочник. – К.:Тэхника, 1992. – 72 с.
2. Gygax P.E. Dynamics of single-tooth milling. CIRP Annals, 1979, Vol. 28. – № 1. P. 65 – 70.
3. Нагорняк С.Г., Зеленский К.В. Синтез сборных торцовых фрез с упруго-демпфирующими элементами // Изв. вузов. Машиностр. – 1991. № 10-12. – С. 123-126.
4. Нагорняк С.Г., Зеленский К.В. Снижение ударных нагрузок при торцовом фрезеровании // Информатизация и новые технологии. – 1993. -№ 1. - С. 30-31.
5. Нагорняк С. Г., Зеленский К. В. Двухфрезерная обработка деталей малой жесткости // Информатизация и новые технологии. – 1993. -№ 2. -С. 18-19.
6. Нагорняк С.Г., Зеленський К.В. N-вимірний структурно-схемний синтез вузлів систем на прикладах збірних торцевих фрез і з'єднувальних муфт з пружно-демпфуючими елементами / Депоновано у ДНТБ України 22.04.1996, № 967-Ух96. -22с.
7. Нагорняк С. Г., Зеленський К. В., Козак В.І. Торцеві фрези з регульованим часом холостих переміщень різців / Вісник Терноп. держ. техн. у-ту ім.. І. Пулюя. – Тернопіль: ТДТУ. 2000. Том 5, число 2. - С. 43-46.
8. А. с. № 831426 СССР, МКИ В23С 5/06. Сборная торцовая фреза / С. Г. Нагорняк – Заявлено 12.09.1979; Оpubл. 23.05.1981. Бюл. № 19. - 3 с.
9. А. с. № 852460 СССР, МКИ В23С 5/06. Торцовая фреза / С. Г. Нагорняк – Заявлено 05.06.1979; Оpubл. 07.08.1981. Бюл. № 29. - 3 с.
10. А. с. № 1703295 СССР, МКИ В23С 5/06. Сборная торцовая фреза / С.Г. Нагорняк, К.В. Зеленский – Заявлено 03.01.1990; Оpubл. в Б.И. № 1, 1992.
11. А. с. № 1750859 СССР, МКИ В23С 5/06. Сборная торцовая фреза / С.Г. Нагорняк, К.В. Зеленский – Заявлено 11.11.1990; Оpubл. в Б.И. № 28, 1992. - 3 с.
12. А. с. № 1763103 СССР, МКИ В23С 3/00. Способ фрезерования / С.Г. Нагорняк, К.В. Зеленский – Заявлено 23.05.1990; Оpubл. в Б.И. № 35, 1992. – 4 с.
13. А. с. № 1771894 СССР, МКИ В23С 5/06. Сборная торцовая фреза / С.Г. Нагорняк, К.В. Зеленский – Заявлено 01.02.1991; Оpubл. в Б.И. № 40, 1992. – 3 с.
14. А. с. № 1780942 СССР, МКИ В23С 5/06. Сборная торцовая фреза / С.Г. Нагорняк, К.В. Зеленский – Заявлено 04.12.1990; Оpubл. в Б.И. № 46, 1992. – 4 с.
15. Декларацийний патент на винахід UA № 18023, МПК 6 В23С5/06. Збірна торцева фреза / С. Г. Нагорняк, К. В. Зеленський, В. І. Козак – Оpubл. 17.06.1997. -3с.
16. Декларацийний патент на винахід UA № 33197 А, МПК 6 В23С5/06. Збірна торцева фреза / С. Г. Нагорняк, К. В. Зеленський, В. І. Козак – Оpubл. 15.02.2001, Бюл. № 1.-3с.

УДК 621.9.025.6/.7/.12

**В.О. Настасенко, канд. техн. наук, доц.**

Херсонська державна морська академія, Україна

## **ЗБІРНІ СВЕРДЛА З БІЧНИМИ БАГАТОГРАННИМИ НЕПЕРЕТОЧУВАНИМИ ПЛАСТИНАМИ ТА ЇХ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ МОЖЛИВОСТІ ©**

**V. Nastasenko, Ph.D., Assoc. Prof.**

### **MODULAR BORING BITS WITH POLYHEDRAL NOT SHARPENED BACK PLATES AND THEIR TECHNICAL AND ECONOMIC POSSIBILITIES**

#### **1. Аналіз стану проблеми, постановка мети і задач досліджень**

Збірні свердла з механічним кріпленням багатогранних непереточуваних пластин (БНП) відносяться до найбільш прогресивних видів інструментів. Вони забезпечують можливість багаторазового використання корпусу, повороту БНП для установки нової різальної кромки і швидкої заміни їх при повному зносі та вилучають необхідність їх переточок, що усуває потреби у заточувальній ділянці з відповідними робочими і допоміжними площами, верстатами, пристосуваннями та іншим оснащенням для заточки і контролю свердел, кваліфікованим основним і обслуговуючим персоналом та витратами силової й освітлювальної електроенергії, заточувальних шліфувальних кругів, інструментів для їх правки та інших витратних матеріалів.

В Україні використання свердел з БНП значно поступається їх використанню у промислово розвинутих країн світу, тому проблеми їх удосконалення, дослідження і впровадження є актуальними і мають велике практичне і теоретичне значення.

Найбільш ефективними серед свердел є кільцеві, які заличають в середині цільний стрижень, неперетворюваний на стружку, що зменшує роботу різання з відповідним зменшенням зносу, витрат силової електроенергії і технологічного часу на виконання операцій свердління, оскільки для діаметрів  $D > 15$  мм вилучають потребу виконання попереднього свердління отвору меншого діаметру. Однак відомі збірні кільцеві свердла з механічним кріпленням різальних пластин використовуються, починаючи з діаметрів  $D > 45$  мм, що обмежує технологічні можливості їх використання.

Потреба зменшення діаметру кільцевого свердління, розробка нових видів БНП та конструкцій свердел для їх оснащення є *головною метою виконуваної роботи*.

*Задачами досліджень є:*

- 1) Аналіз і удосконалення схем різання кільцевими свердлами та конструкцій БНП, які їх утворюють;
- 2) Синтез на науковій основі, з використанням системних методів пошуку нових технічних рішень, нових видів і конструкцій БНП, а саме – бічних багатогранних непереточуваних пластин (ББНП);
- 3) Створення на базі запропонованих ББНП нових видів високоефективних, високотехнологічних і високоекономічних конструкцій кільцевих свердел, в т.ч. – для глибокого свердління;

*Наукову новизну виконуваної роботи* складає: розвиток теорії проектування ББНП і свердел для їх оснащення на базі системних методів пошуку нових технічних рішень, теоретичне обґрунтування основних відмін і ознак способів установки та кріплення ББНП, їх конструктивних і геометричних параметрів, як нового виду багатогранних непереточуваних пластин і розробка та дослідження створених на їх базі нових різновидів кільцевих свердел, як нового напрямку їх розвитку.



Практичну значимість виконуваної роботи складає виявлення основних недоліків і обмежень використання відомих БНП в оснащуваних ними кільцевих свердлах, вибір і розробка на базі системних методів найбільш ефективних конструкцій, які розширюють діапазон використання збірних кільцевих свердел.

## **2. Основні положення для досягнення поставленої мети і задач роботи.**

Аналіз схем установки різальних пластин (рис. 1) показав, що вони можливі в 3-х видах: радіальному (а), тангенціальному (б) і бічному (в), при цьому використання БНП радіальної установки в інших видах установок неможливе, оскільки утворювані при їх пресуванні перехідні радіуси  $r$  на бічних гранях не дозволяють здійснювати різання (г). Усуває цей недолік спеціальна форма БНП, яка дозволяє їх розподілити на радіальні РБНП, тангенціальні ТБНП та бокові ББНП (д). Особливістю ББНП є участь у різанні 3-х різальних кромки і поперечна подача (у радіальних і тангенціальних пластин у різанні беруть участь 2 кромки та діють 2 види подач – повздовжня і поперечна).

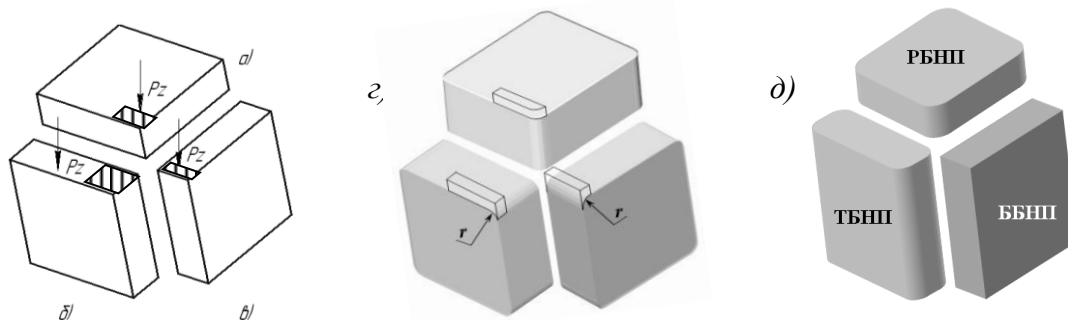


Рисунок 1 – Взаємозв'язок можливих схем установки різальних пластин по трьом площинам куба.

На базі розробок ББНП запропоновані, розроблені, виготовлені і випробувані нові конструкції кільцевих свердел, що мають різальну головку, яка пригвинчується до конічного хвостовика або до труби, що дозволяє використовувати їх для неглибокого і глибокого свердління (рис. 2).



Рисунок 2 – Різальна головка кільцевого свердла з БМНП (діаметр 28 мм)

Переваги пропонованої конструкції – використання непереточуваних пластин при зменшенні мінімального діаметру сверління з 45 до 28 мм. При цьому залишається стрижень  $\varnothing 14,5$  мм і вилучається потреба попереднього сверління меншого діаметру, що підвищує техніко-економічні показники процесу.

### **Висновки**

1. Створений новий різновид різальних пластин ББНП – бокові багатогранні непереточувані пластини, особливістю яких є різання 3-ма лезами: 1-м головним і 2-ма бічними, що працюють у напрямку головного руху різання.

2. Створений новий різновид збірних кільцевих свердел з боковою установкою ББНП, які розширюють діапазон сверління за рахунок зменшення мінімального діаметру з 45 до 28 мм і зменшують витрати на їх виробництво і використання.

УДК 539.12.04+621.378

**Ю.М. Нікіфоров, канд. техн. наук, проф.**

Тернопільський національний технічний університет імені І.Пулюя, Україна

**ФІЗИКО-ТЕХНІЧНІ ЗАДАЧІ ЛАЗЕРНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ, ЩО  
РОЗВ'ЯЗУВАЛИСЬ У СПІВПРАЦІ ІЗ ПРОФЕСОРОМ С.Г. НАГОРНЯКОМ**

**Yu. Nikiforov, Ph.D., Prof.**

**PHYSICAL TECHNICAL LASER PROBLEMS SOLVED IN COOPERATION WITH  
PROF. S.G. NAGORNIAK**

Маючи інтерес до фізики ще із дитинства (батько — викладач фізики) та будучи за спеціальністю висококваліфікованим інженером-механіком, С.Г. Нагорняк цікавився і активно включався в роботи, присвячені фізико-технічним проблемам різного характеру [1], в тому числі і лазерній обробці.

В доповіді розглядаються основні задачі, в яких значну роль відіграли пропозиції, консультації та безпосередня участь в розробці та виготовленні окремих елементів і деталей пристроїв, що застосовувались при проведенні експериментів по впливу лазерних ударних хвиль на матеріали та малогабаритні вироби електронної техніки. До них відносяться, наприклад, роботи по вивченню особливостей поглинання енергії потужних лазерних імпульсів прозорим конденсованим середовищем та на межі середовищ із різними коефіцієнтами поглинання за допомогою високошвидкісної кінокамери. Самі можливості використання в тогочасних умовах високошвидкісної камери на протязі короткочасного етапу роботи були досягнуті тільки завдяки організаторським здібностям та авторитету професора С.Г. Нагорняка на підприємствах міста, особливо серед своїх бувших випускників.

Степан Григорович завжди був орієнтований на пошук нових рішень задач, які закріплювались часто авторськими свідоцтвами. Так, наприклад, спостерігаючи за експериментальними прийомами лазерної ударно-хвильової обробки сталі, він запропонував вдосконалити методику, враховуючи характер розподілу енергії лазера по світловій плямі, тим самим економлячи матеріали. Результат був відзначений авторським свідоцтвом, яке підтвердило правильність обраного шляху розв'язку задачі, поставленої замовником.

Розуміючи важливість розвитку нових напрямків обробки матеріалів, будучи завідувачем кафедри, Степан Григорович направляв в лазерну лабораторію студентів на практику і виконання дипломних робіт, що одночасно покращувало якість роботи лабораторії і підготовки студентів. Хотілось, щоб традиції, закладені Степаном Григоровичем і які безумовно відповідають задачам сьогодення, продовжувались і в теперішній час.

**Література:**

1. С. Нагорняк, М. Медюх. Фізико-технічні ідеї Івана Пулюя. – Тернопіль: Джура, 1999. – 212 с.

УДК 621.9

О.Р. Онисько; Ю.В. Медвідь

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

## ДЕЯКІ АСПЕКТИ ТОЧНОСТІ У ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ПРОЦЕСІ ВИГОТОВЛЕННЯ КОНІЧНИХ ЗАМКОВИХ НАРІЗЕЙ

О. Onysko; Yu. Medvid

### SOME ACCURACY ASPECTS IN MANUFACTURING PROCESS OF TOOL- JOINED THREAD PRODUCTION

У нафтогазовій галузі вельми помітну роль у процес розвідки, буріння і видобутку відіграють труби, інструменти і гвинтові поверхні приєднання на них. Одним із найбільш вживаних видів цих поверхонь є конічні замкові нарізи. У сучасних умовах буріння і видобутку, коли швидко зростає частка похилих та горизонтальних свердловин значно збільшуються і вимоги щодо міцності матеріалів для виготовлення елементів труб нафтогазового спрямування межа міцності яких лежить у діапазоні від 400 до понад 1200 МПа і очевидно назріває чергове його зростання.

У технологічному процесі виготовлення цих нарізей превалює застосування токарних різців із нульовим значенням величини статичного переднього кута у вершинній точці. Це відчутно звужує технологічні можливості формування нарізі, оскільки не відповідає широкому діапазону меж міцності.

У даній роботі здійснено числовий аналіз відхилів замкової нарізі 3-203, яку виготовляють згідно з стандартом [1]. На рисунку 1 показано схему конічної замкової нарізі згідно із [1]. Як видно із даного рисунка профіль нарізі є симетричним щодо осі АГ виключно щодо рівності половинних кутів  $BAG$  і  $GAD$ . Згідно із [1] вони мають по  $30 \pm 30'$  кожний. Параметри 3-203 : висота вихідного трикутника  $H=5,487$ мм, крок  $P=6,35$ мм, кут нарізі  $\varphi=4,763^\circ$ . За даним стандартом є кілька інших значень означених тут параметрів за якими спроектовано 21 типорозмір замкових нарізей.

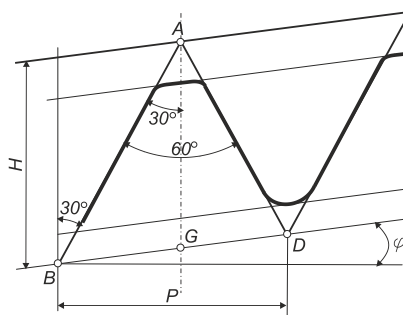


Рис. 1. Схема профілю гвинтової замкової нарізі згідно з міждержавним стандартом  
ГОСТ 28487–90

Робота опирається на теоретичну розробку [2], у якій аналітично обґрунтовано функціональну залежність отриманих кутів  $BAG$  і  $GAD$  від таких параметрів:

- передній статичний кут;
- діаметр меншої основи конуса нарізі;
- відстань від меншої основи конуса нарізі;
- кут підйому нарізі, яка у свою чергу є функцією діаметра меншої основи, та кроку нарізі.

На базі вказаної теоретичної розробки для ефективного аналізу можливих отриманих відхилів автором запропоновано автоматизований розрахунковий алгоритм.

На рисунку 2 показано схему на якій зазначені більша та менша основа конічної

замкової нарізі, яка вкупі із таблицею 1 слугуватимуть для ілюстрації отриманих даних від вище зазначеного алгоритму. Для розрахунків підібрано величину переднього кута -  $5^\circ$  що рекомендується фаховою літературою для точіння нарізі в межах 1177-1765 МПа. [3]

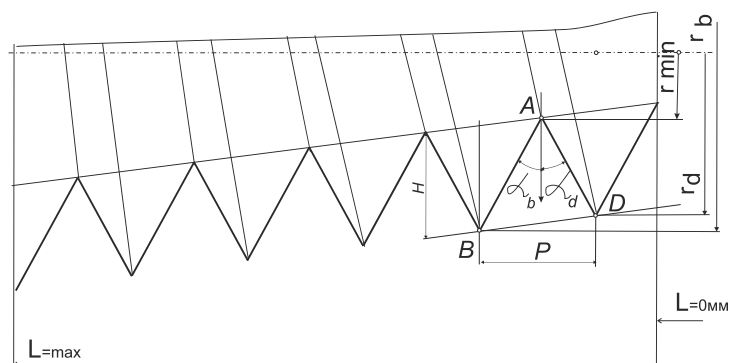


Рис. 2. Схема гвинтової замкової нарізі від меншої ( $L=0$ ) до більшої основи ( $L=\max$ ).

Таблиця 1. Дослідження величини і відхилів половинних кутів  $\alpha_b$  і  $\alpha_d$  за умови коли статичний передній кут в вершинній точці  $\gamma=-5^\circ$

Відстань від меншої основи, мм	Кут підйому $\lambda^\circ$	Кут $\alpha_d^\circ$	Кут $\alpha_b^\circ$	Відсоток від допустимого відхилення, %
0	0,753	30,08	30,03	27-10
Max (149,125)	0,507	30,08	30,04	27-14

**Висновки.** 1. За рекомендованого для матеріалу замкової нарізі понад 1177 МПа переднього статичного кута  $\gamma=-5^\circ$  можна на початку технологічного процесу втратити до 27% допустимого поля відхилення. 2. Для інших типорозмірів конічних замкових нарізей за стандартом [1] втрати допустимого поля відхилення зростатимуть. 3. Для отримання меншої втрати поля відхилення слід застосувати додаткові можливості розробленого автоматизованого алгоритму для розрахунку відкоректованого профілю різальної кромки різця для точіння даної нарізі.

#### Література:

1. ГОСТ 28487–90. Межгосударственный стандарт. Резьба коническая замковая для элементов бурильных колонн. Профиль. Размеры. Допуски [Текст]. Разработан и внесен Министерством нефтяной и газовой промышленности СССР, Государственным комитетом СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 27.03.90 № 614. Введен впервые. Издание с изменением № 1, утвержденным в июле 1992 г. (ИУС 10-92); М.: ФГУП «Стандартинформ», 2006. — 10с.

2. Онисько О.Р. Алгоритм розрахунку функціональної залежності форми бічних профілів гвинтової нарізі замкової конічної для елементів бурильних колон від геометричних параметрів різця. [Текст] / О. Р. Онисько// Науковий вісник.— 2017.— 1(42).—С. 77–81

3. Фомин Е. В. Повышение стойкости и точности резьбовых резцов на основе моделирования процесса резбонарезания [Текст]: дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 : защищена 22.03.07 : утв. 24.09.07 / Фомин Евгений Владимирович – М., 2007. – 206 с. – Библиогр.: с. 194–202. – 003653715.

УДК 621.9

**А.А. Пермяков, докт. техн. наук, проф.; А.А. Ключко, докт. техн. наук, проф.;  
М.И. Гасанов, канд. техн. наук, проф.**

НТУ «Харьковский политехнический институт», Украина

**АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ С ПЕРЕКРЕЩИВАЮЩИМИСЯ И  
НЕПЕРЕСЕКАЮЩИМИСЯ ОСЯМИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ТЯЖЕЛЫХ  
ТОКАРНЫХ СТАНКОВ**

**A. Permyakov, Dr., Prof.; A. Klochko, Dr., Prof.; M. Gasanov, PhD., Prof.**

**ANALYSIS OF THE ERRORS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR  
PROCESSING HOLES WITH CROSSING AND UNINTERABLE AXIS OF  
CASING DETAILS OF HEAVY TURNING MACHINES**

Выполнение задачи дальнейшего совершенствования выпускаемых машин и механизмов, снижения их веса, повышения производительности и увеличения эксплуатационной надежности неразрывно связано с решением проблемы повышения точности обработки корпусных деталей редукторов. Точность формы и параметры шероховатости зубчатых колес, посадочных сопрягаемых поверхностей собранных редукторов, шпиндельных бабок металлорежущих станков определяются прежде всего параметрами точности и видом зацепления. Для червячных цилиндрических редукторов точность базирования определяется технологическими особенностями типа червяка: архимедов ZA, конволютный ZN1 и ZN2, эвольвентный и требованиями ГОСТ3675-81. Для конических редукторов параметры точности определяются видом конической передачи: с прямыми зубьями, ортогональными (ГОСТ19624-74), с круговыми зубьями с формой зуба I, IIa, IIб, III (ГОСТ19326-73). Точность относительного положения зубчатых передач в собранном редукторе, шпиндельной бабке станка определяет эксплуатационную надежность машины, и определяется видом посадок и фактических знакопеременных нагрузок [1, 2, 3, 4].

Достижение заданных скоростных и силовых параметров выпускаемых машин во многих случаях может быть достигнуто повышением точности обработки деталей и их контролем. Повышение точности механической обработки деталей сокращает трудоемкость сборки в результате снижения доводочных работ.

Одной из многих задач, связанных с повышением точности в машиностроении, является задача повышения точности относительного расположения базовых посадочных поверхностей корпусов ортогональных червячных и конических редукторов. Одним из основных точностных параметров ортогональных редукторов является точность угла между осями базовых отверстий. Отклонение угла между осями отверстий в корпусе редуктора вызывает уменьшение пятна контакта, снижение плавности передач и увеличение шума и повышения вибраций редуктора, что приводит к неравномерному распределению нагрузки по длине контактной линии зацепления, уменьшением пятна контакта и как следствие – повышению удельных нагрузок на локализованных участках зоны контактирования зацепляемых зубчатых передач, и в конечном итоге к уменьшению срока службы высокоточных, тяжело нагруженных редукторов.

Очень важным моментом при исследовании точности позиционирования базовых посадочных с ортогональным расположением осей отверстий является установление дифференцированных зависимостей фактически достигаемой точности относительного углового расположения осей отверстий конических и червячных

редукторов и технологические методы достижения установленной точности с использованием современных цифровых универсальных приборов на базе индуктивных и фотоэлектрических измерительных систем для высокоточного контроля геометрических параметров с индуктивным преобразователем, USB-профилограф-профилометр, устройство механическое для тонкой подачи с нанодискретностью 5-10 нм. Исследование точности обработки системы координированных отверстий корпусных деталей тяжелых токарных станков является технологической операцией обработки корпусной детали на горизонтально расточных станках с ЧПУ с обеспечением качества изготовления корпусных деталей при максимальной производительности. [1, 2, 5].

Основными задачами анализа погрешностей технологических процессов обработки отверстий с перекрещивающимися и пересекающимися осями корпусных деталей тяжелых токарных станков являются: исследовать изменение точности изготовления системы координированных отверстий в ходе технологической операции; определение параметров технологической операции, оказывающие доминирующее влияние на точность; получение закономерности, описывающей взаимосвязь выделенных параметров технологической операции и точности; создание научно обоснованных направлений по обеспечению заданной точности обработки за счет целенаправленного воздействия на выделенные параметры технологической операции с разработкой и исследованием математической модели исследуемого метода чистовой обработки отверстий.

#### **Література:**

1. Шелковой А. Имитационное моделирование в задачах механосборочного производства /А. Шелковой, А. Ключко, Е. Набока // – Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 528 с.: ил. На русском языке. ISBN-13: 978-3-659-69172-0, ISBN-10: 3659691720, EAN:9783659691720.

2. Методология разработки модели управления точностью, качеством и производительностью формообразования при обработке закаленных крупномодульных зубчатых колес / Ю.В. Тимофеев, А.Н. Шелковой, Е.В. Мироненко, А.А. Ключко // Сборник научных трудов “Проблемы проектирования и автоматизации в машиностроении: сборник научных трудов [Текст] / Донбасская государственная машиностроительная академия; Закрытое акционерное общество «ОНИКС». – Краматорск: ДГМА, Ирбит: ЗАО «ОНИКС», Серия: «Проектирование и применение режущего инструмента в машиностроении» / Общ. ред. Ю.М. Соломенцев). 2014. – С. 96 – 117.

3. Имитационное моделирование в задачах машиностроительного производства в 2-х томах, Т. 2: учеб. пособие / А.В. Беловол, А.А. Ключко, Е.В. Набока, А.О. Скоркин, А.Н. Шелковой. под редакцией А.Н. Шелкового // – Х.: НТУ «ХПИ», 2016. – 323 с.

4. Мироненко Е. В. Создание современной инфраструктуры оснащения станков с ЧПУ сборным модульным инструментом / Е. В. Мироненко, А. А. Ключко //Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку: матеріали IV Міжнар. наук.-техн. конф., 5–8 червня 2006 р. / за заг. ред. В. Д. Ковальова. – Краматорськ : ДДМА, 2006. – С. 72.

5. Мироненко Е. В. Исследование влияния некоторых конструктивных параметров агрегатно-модульных резцов на прочность и износостойкость /Е. В. Мироненко, А. А. Ключко, О. Я. Белицкая //Надежность инструмента и оптимизация технологических систем : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2004. – Вып. 16. – С. 13–17.

**УДК 621.73**

**А.В. Петриков; Д.В. Волощук**

Кременчугский национальный университет им. М. Остроградского, Украина

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ГОРЯЧЕШТАМПОВАННЫХ ПОКОВОК В САПР КОМПАС-3D**

**A. Petrykov; D. Voloshchuk**

### **IMPROVEMENT OF THE TECHNIQUE FOR DESIGNING THREE- DIMENSIONAL MODELS OF HOT STRAIGHTED KAMES IN КОМПАС-3D CAD**

Как правило, построение трехмерной модели в САПР, использующей концепцию твердотельного моделирования, выполняется на основе формообразующих операций над контурами, состоящими из плоских геометрических примитивов. В случае сложных объектов это является достаточно трудоемким процессом. Для ускорения процесса проектирования трехмерных геометрических моделей поковок можно использовать два основных подхода [1]:

1. Использование библиотеки, содержащей готовые параметризованные модели изделий или же их отдельные конструктивные элементы;
2. Автоматизированное конструирование трехмерной модели поковки по уже существующей модели детали.

В основе любой библиотеки находятся принципы классификации, входящих в нее материалов. В известной литературе по горячей объемной штамповке разделение выполняется только для поковок в целом. Как правило, используется классификация, где сначала поковки делятся по виду оборудования, а затем по группам и подгруппам на основе конструктивно-технологических признаков. Для разрабатываемой библиотеки была выбрана двухуровневая классификация [1]:

1. По виду кузнечно-штамповочного оборудования (молот, КГШП, ГКМ);
2. По конструктивным признакам элементов.

Разделение по виду оборудования вызвано существенной разницей в конструкции поковок, штампуемых на молотах и КГШП с одной стороны и ГКМ с другой. Несмотря на схожесть поковок, штампуемых на молотах и КГШП, данное разделение вызвано различиями в геометрии поковок, такими как меньшие штамповочные уклоны, возможность безуклонной штамповки, обусловленной наличием выталкивателя и др. Для каждого вида оборудования выполнено деление элементов поковок в зависимости от их конструктивных признаков [2].

Поскольку поковка, по сути, является совокупностью ряда конструктивных элементов, которые в общем случае могут выполняться несколькими формообразующими операциями, в библиотеке реализовано хранение описаний не только элементов, но и состоящих из них поковок. Во избежание повторения информации к поковкам относятся только модели содержащие минимум два конструктивных элемента, которые соединяются путем выполнения теоретико-множественных операций над объектами: объединение, исключение и пересечение.

Второй подход, позволяющий создать трехмерную модель поковки, использует в качестве исходных данных уже существующую модель детали, по которой

выполняется проектирование поковки. При этом необходимо решить следующие основные технологические задачи:

1. Формирование припусков на механическую обработку;
2. Построение напусков (штамповочные уклоны и перемычки под прошивку);
3. Выполнение закруглений на острых кромках стыков поверхностей.

Автоматизированное конструирование поковки производится в соответствии с блок-схемой приведенной на рис. 1. Линейная структура предлагаемого алгоритма обусловлена последовательным преобразованием модели к требуемому виду, что соответствует порядку построения чертежа поковки по чертежу детали в ручном режиме [3].

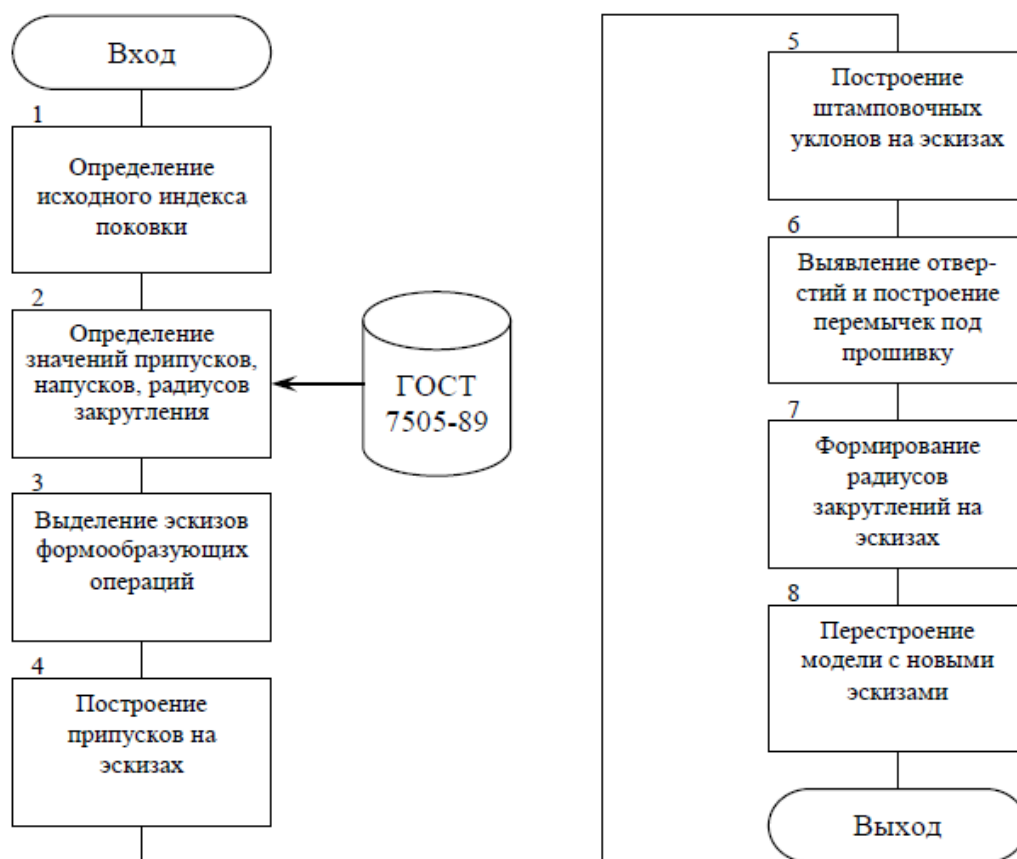


Рис. 1. Блок-схема алгоритма разработки трехмерной модели поковки

#### Литература:

1. Кидрук М. Конструкторские библиотеки и инструменты для их создания в системе КОМПАС-3D. Часть 2. Сделай сам, или как создать свою библиотеку для КОМПАС-3D // САПР и графика. – 2011. – № 2.
2. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т./Ред. совет: Е.И.Семенов (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1986. – Т. 2. Горячая штамповка/Под ред. Е.И. Семенова, 1986. – 592 с.
3. Покрас И.Б., Ахмедзянов Э.Р. Использование САПР КОМПАС-3D для автоматизации проектирования технологии горячей объемной штамповки // Интеллектуальные системы в машиностроении. – 2009. – №2. – С. 165–169.



УДК 621.941

М.І. Пилипець, докт. техн. наук, проф.; О.М. Лясота, канд. техн. наук, доц.  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ НАВИВНИХ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ МАШИН

М. Pylypets, Dr., Prof.; O. Lyasota, Ph.D., Assoc. Prof.  
MANUFACTURING TECHNOLOGY OPTIMIZATION OF SCREW BLANKS OF  
MACHINE PARTS

Основними завданнями, які постають перед розробником технології виготовлення навивних заготовок (НВ) деталей машин є забезпечення для заданих конкретних умов виробництва необхідної якості, мінімальної собівартості та максимальної продуктивності.

Одночасно вирішити ці завдання досить складно. В загальному випадку розглядувана задача розв'язується шляхом оптимізації технологічного процесу що зводиться до розв'язку нелінійної задачі математичного програмування з лінійною функцією мети й нелінійними обмеженнями.

Послідовність проектування технологічного процесу одержання навивної заготовки з внутрішнім радіусом  $r$ , висотою витка  $B$  і товщиною  $H$  включає наступні етапи проектування:

Визначення зведеної висоти НЗ  $b_{3e}$  із залежності

$$b_{3e} = (\Psi - 1)^x K_e b', \quad (1)$$

де  $\psi$ - коефіцієнту нерівномірності витяжки,  $\Psi = \frac{(r+B)}{r} \leq 2,6$ ;  $K_e$  – коефіцієнт, який враховує параметри процесу формоутворення,  $K_e \approx 0,7 \dots 1,1$ ;  $b'$  - питома висота витка,  $b' = \frac{B}{H}$  ;.

Ширину заготовки  $B_o$  визначаємо з залежності:

$$B_o = \sqrt{\frac{b_H P_{niodm} / \sigma_s}{\psi_{don} - 1}}; \quad (2)$$

Товщину полоси  $H_o$  визначимо з залежності

$$H_o = \sqrt{\frac{P_{niodm} / \sigma_s}{b_h (\psi_{don} - 1)}}; \quad (3)$$

Довжина заготовки

$$L_3 = \pi^4 \sqrt{\frac{r^3 (r+B)}{H}} L_{det} + \Delta L_3 \quad (4)$$

Визначення діаметра оправи для навивання  $d_o$  за залежністю

$$d_o = 2B(1 - 0,022T/d)/(\psi - 1), \quad (5)$$

тут  $T$  – крок спіралі.

Зовнішні діаметри опорної 8 і підтискної 9 втулок будуть орієнтовно

дорівнювати  $D_I = D - (5 - 10) = (55 - 50)$  мм

Наступним кроком визначаємо технологічні та силові параметри процесу навивання заготовки: частоту  $\omega$  обертання оправки; швидкість  $v_s$  подачі заготовки в зону деформацій; радіус нейтрального шару  $\rho_0$ ; зусилля навивання  $P$ ; момент навивання  $M$  та зусилля притискання  $P_{np}$ .

Частоту обертання оправки визначаємо з виразу

$$\omega = \frac{V_{\max}}{\sqrt{(r + B)r}}; \quad (6)$$

або

$$\omega = \frac{4N_{\text{пер}}}{\sigma_s B^2 H}; \quad (7)$$

І вибираємо мінімальне значення  $\omega = \omega_{\min}$ .

Швидкість подачі заготовки в зону деформацій

$$v_s = \frac{\pi n \sqrt{Rr}}{30}, \quad (8)$$

Для визначення радіусу нейтральної поверхні деформацій  $\rho_0$  використовуємо залежність

$$\rho_0 = k \frac{\sum_{i=1}^m h_i B_i \sqrt{r(r + B_i)}}{\sum_{i=1}^m B_i h_i}, \quad (9)$$

Зусилля  $P$ , необхідне для згинання профілю, визначається залежністю

$$P = \frac{\delta_s H B^2}{k_L r}. \quad (10)$$

Визначення моменту  $M$  навивання витків у суцільний пакет з виразу

$$M = 1,5 H \sigma_B B^2 \psi^{1/4} (\psi^{1/2} + 2) / [3(\psi^{1/2} + 1)^2] \quad (11)$$

Визначення притискного зусилля

$$P_{np} = k_p P \quad (12)$$

Запропоновані розрахункові залежності конструктивних параметрів НЗ дають змогу провести розрахунки силових і швидкісних параметрів процесу і конструктивних розмірів формоутворювальних інструментів для стабільного процесу формоутворення, коли зведена висота  $b_{3\phi} = 15$ .

### **Література:**

1. Пилипець М.І. Науково-технологічні основи виробництва навивних заготовок деталей машин: Дис. д-ра техн. наук: 05.02.08 – Львів, 2002. – 445 с.

УДК 621.914.02

М.І. Подольський, канд. техн. наук., доц.; Є.Е. Бергер, канд. техн. наук., доц.  
Херсонський національний технічний університет

## РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ СПЕЦІАЛЬНОЇ ФРЕЗИ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМИ ФОРМОУТВОРЕННЯ ГІПЕРБОЛОЇДНИХ ПОВЕРХОНЬ

M. Podolsky, PhD., Assoc. Prof.; E. Berger PhD., Assoc. Prof.

### DEVELOPMENT SPECIAL CONSTRUCTION OF MILLS SCHEMES AND RESEARCH FORMATION OF HIPERBOLOYID SURFACES

**Постановка проблеми.** У промисловості існує відносно невелика кількість деталей, що мають іррегулярну форму і складні поверхні, однак виконують дуже відповідальне призначення: деталі фюзеляжу літака, лопатки турбін і ін. У більшості випадків їх виготовляють на спеціальних високоточних верстатах з програмним керуванням. Одним з методів отримання форми складний є механічна обробкою, в більшості випадків - фрезерування.

**Актуальність дослідження.** Таким чином, створення високоефективних, продуктивних і в той же час технологічних конструкцій фрез для обробки складних просторових поверхонь є актуальним завданням.

На підставі аналізу існуючих конструкцій і врахування сучасних тенденцій розвитку збірних фрез була поставлена задача удосконалення кінцевої фрези шляхом заміни положення різальних крайок пластин, що дозволяє досягти необхідної поверхні виду гіперboloїда.

При обертанні гіперboloїда виходить та сама фігура, що і при обертанні прямої, що перехрещується з віссю обертання. Отже, шукана фігура є гіперboloїд обертання.

Таким чином, кут нахилу прямої:

$$\operatorname{tga} = \sqrt{\frac{\left(\frac{x^2}{d^2}-1\right) \cdot d^2}{y^2}} = \sqrt{\frac{x^2-d^2}{y^2}}$$

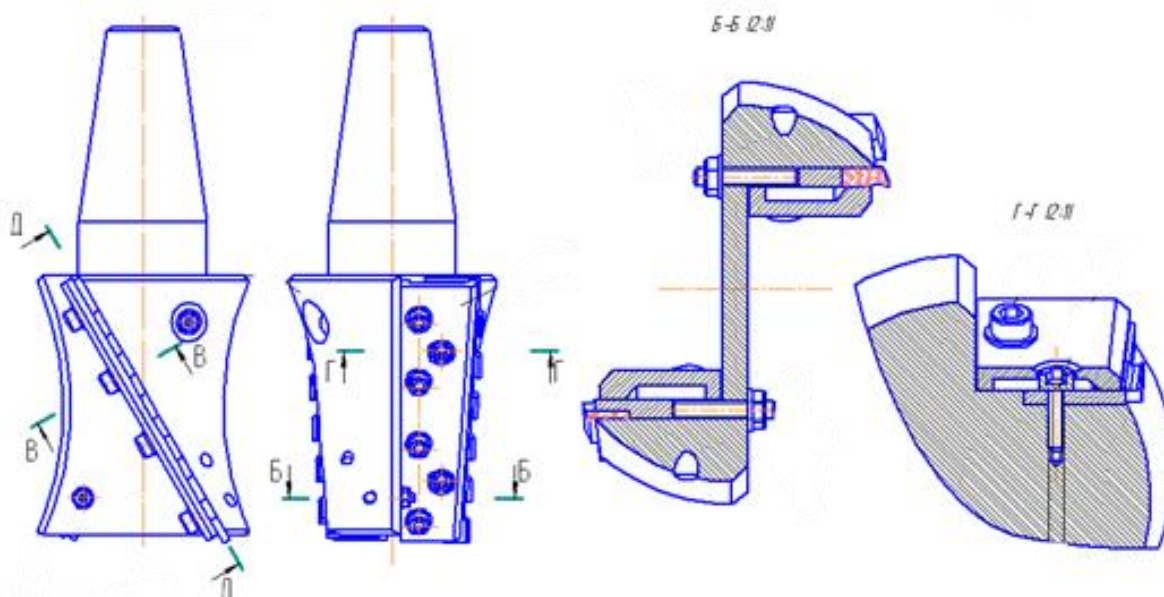


Рис.1. Конструктивна схем запропонованої фрези

Оскільки поверхня розташування ріжучих елементів знаходиться під кутом до осової площини, необхідно було визначити в результаті перетину площин необхідні кути різання, передні і задні кути пластини, що матимуть значення для передньої поверхні: від  $13^\circ$  до  $34^\circ$ , а для задньої: від  $36^\circ$  до  $-6^\circ$ .

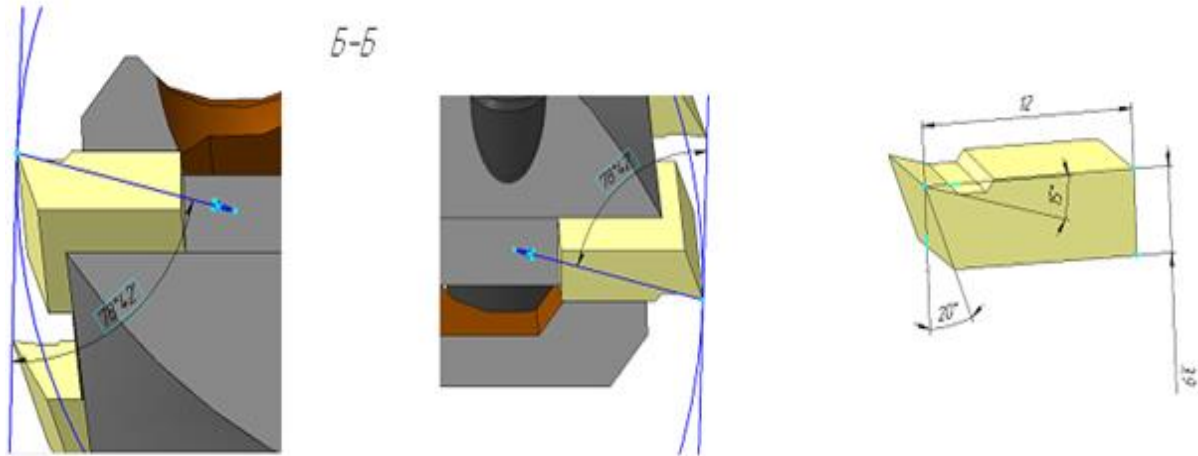


Рис.2. Дослідження зміни геометричних параметрів ріжучих елементів

Також проведено моделювання у середовищі «Solid Works Simulation» та випробування фрези на міцність при дії на її конструкцію статичних і циклічних навантажень при зусиллі 2000Н, що довели її працездатність та можливість використання.

Виготовлено зразок фрези та проведений натурний експеримент по обробці деталі

**Висновки.** Була розроблена конструкція спеціальної фрези для обробки складних поверхонь виду гіперboloїда. Для цього був проведений аналітичний огляд аналізу процесу фрезерування і розглянуто формоутворення однополюсного гіперboloїда.

Для раціональної експлуатації спроектованої фрези і оптимізації її геометричних параметрів були визначені величини робочих кутів в січних площинах.

### **Література:**

1. Инструменты с многогранными неперетачиваемыми пластинами. Резервы экономичного использования неперетачиваемых пластин твердого сплава. – М.; ВИНТИ, 1982. Экспресс-информация "Режущие инструменты" № 130.
2. Новые инструменты фирмы Sandvik Coromant. Block tool system new concept for tool handling." Austral.Mach.and Prod.Eng". 1981, № 7.
3. Родин П.Р. «Металлорежущие инструменты» г. Киев, Вища школа. 1986 – 450 с.
4. Филлипов Г.В., Сергеев А.К., Онишко А.В. Конструкции новых режущих инструментов Сетрорецкого инструментального завода им.Воскова и их рациональная эксплуатация, – Л. ; ЛДНТП, 1982. – 24 с.

УДК 631.356.26

М.В. Потапенко<sup>1</sup>; В.М. Барановський<sup>2</sup>, докт. техн. наук., проф.

<sup>1</sup>ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»

<sup>2</sup>Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА СЕПАРАЦІЇ ВІЛЬНИХ ДОМІШОК ЗАВАНТАЖУВАЛЬНОГО ТРАНСПОРТЕРА ОЧИСНОЇ СИСТЕМИ

M. Potapenko; V. Baranovsky, Dr., Prof.

### EXPERIMENTAL STUDIES OF THE COEFFICIENT OF SEPARATION OF FREE ADMIXTURES OF A FEED CONVEYOR WITH A CLEANING SYSTEM

Функціональну зміну коефіцієнта сепарації вільних домішок  $k_{ze}$  завантажувального транспортера очисної системи (ОС) вороху коренеплодів цикорію (ВКЦ) формалізовано у вигляді структурної моделі, яку наведено на рис. 1 [1].

Двофакторний експеримент з визначення коефіцієнта сепарації вільних домішок  $k_{ze}$  завантажувального транспортера ОС провели на трьох рівнях варіювання змінних факторів, або реалізували експеримент типу ПФЕ 3<sup>2</sup>.

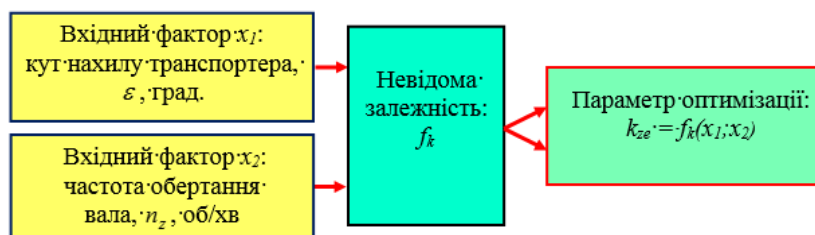


Рис. 1. Схема моделі двофакторного експерименту типу ПФЕ 3<sup>2</sup>

Результати кодування факторів і рівні їх варіювання наведено у таблиці.

Таблиця

Результати кодування та рівні варіювання факторів

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натуральні/кодовані		
	Натур.	Код.				
Кут нахилу транспортера, $\varepsilon$ , град.	$X_1$	$x_1$	15	30/-1	45/0	60/+1
Частота обертання приводного вала, $n_z$ , об/хв	$X_2$	$x_2$	40	140/-1	180/0	220/+1

Експериментальне визначення коефіцієнта сепарації вільних домішок  $k_{ze}^{(i)}$  завантажувального транспортера ОС було проведено для трьох значень вологості ґрунту наважки  $w_p = 18, 21$  і  $24 \pm 1$  %. Числове значення коефіцієнта сепарації вільних домішок  $k_{ze}^{(i)}$  завантажувального транспортера ОС визначали за формулою

$$k_{ze}^{(i)} = \frac{w_z}{M_{zd}}, \quad (1)$$

де  $M_{zd}$  – маса домішок ВКЦ, яка пройдена з вихідної частини завантажувального транспортера за час  $t_e$ , кг;  $t_e = 5$  с – час експерименту;  $w_z$  – маса домішок, яка просіяна через зазори між прутками завантажувального транспортера за час  $t_e$ , кг.

Після перевірки адекватності апроксимуючої моделі та оцінки статистичної значущості коефіцієнтів рівняння регресії, відповідно, за критерієм Фішера та Стьюдента отримано рівняння регресії, яке характеризує та функціонально описує зміну коефіцієнта сепарації вільних домішок  $k_{ze}^{(i)}$  завантажувального транспортера ОС

- за вологості ґрунту наважки ВКЦ  $w_p = 18 \pm 1\%$ ,  $w_p = 21 \pm 1\%$ ,  $w_p = 24 \pm 1\%$

$$k_{ze}^{(18)} = 0,85 + \frac{10,5}{\varepsilon} - \frac{105,68}{n_z}; \quad k_{ze}^{(21)} = 0,95 + \frac{10,5}{\varepsilon} - \frac{105,68}{n_z}; \quad k_{ze}^{(24)} = 0,75 + \frac{10,5}{\varepsilon} - \frac{105,68}{n_z}. \quad (2)$$

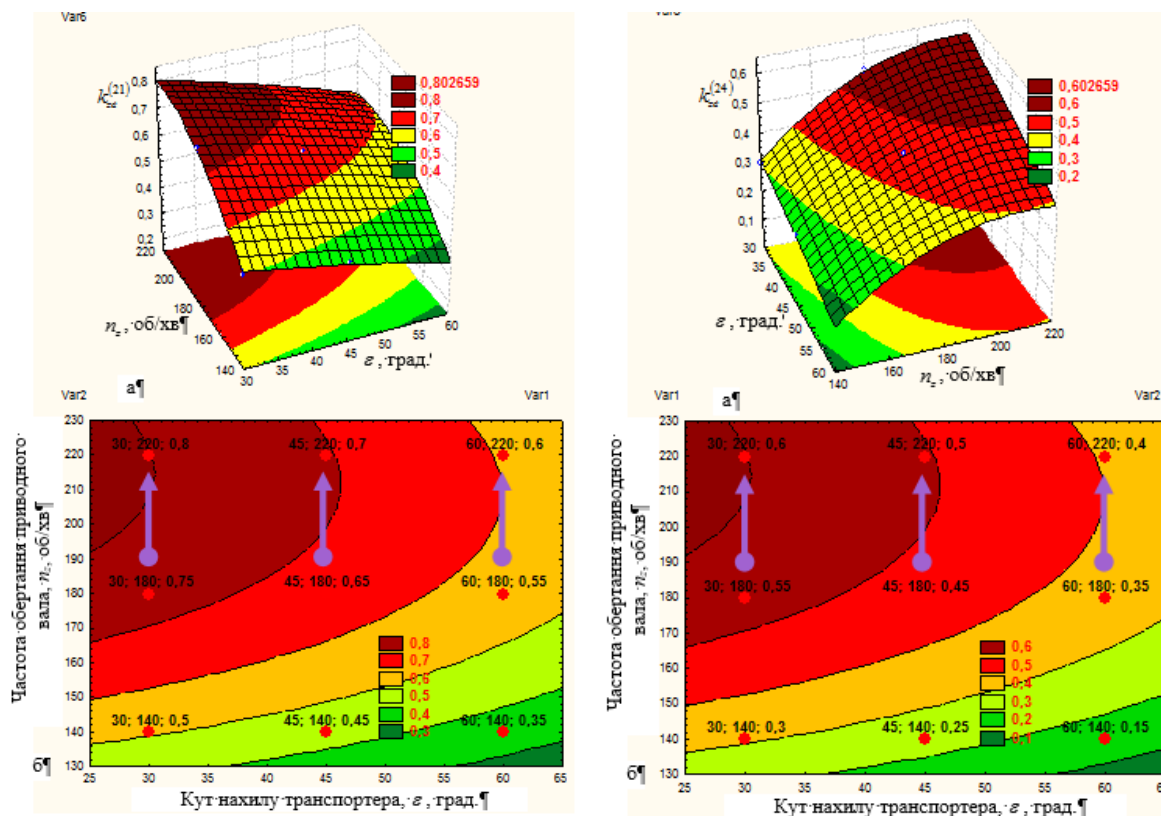


Рис. 2. Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз (б) поверхні відгуку зміни коефіцієнта сепарації вільних домішок  $k_{ze}^{(21)}$  і  $k_{ze}^{(24)}$  завантажувального транспортера

як функціонал  $k_{ze}^{(21)} = f_k(\varepsilon; n_z)$  і  $k_{ze}^{(24)} = f_k(\varepsilon; n_z)$

Основний масив апроксимованих експериментальних значень коефіцієнта сепарації вільних домішок  $k_{ze}^{(21)}$  завантажувального транспортера ОС знаходиться у межах 0,6...0,94, а  $k_{ze}^{(24)}$  – у межах 0,17...0,62 (рис. 2). Максимальне числове значення коефіцієнта сепарації вільних домішок  $k_{ze}^{(21)} = 0,94$  і  $k_{ze}^{(24)} = 0,74$  завантажувального транспортера ОС відповідає точці  $\varepsilon = 30$  град. і  $n_z = 220$  об/хв ( $V_{z.m} = 2,1$  м/с), рис. 2б. За збільшення рівня варіювання фактора на  $\varepsilon = 15$  град. коефіцієнт сепарації вільних домішок  $k_{ze}^{(21)}$  і  $k_{ze}^{(24)}$  завантажувального транспортера зменшується в середньому на 0,017 і 0,023, або в 1,13 і 1,15 раза. За швидкості руху  $V_{z.m}$  завантажувального транспортера  $V_{z.m} > 1,7$  м/с відокремлення вільних домішок практично припиняється.

УДК 621.825.5/.7

В.О. Проценко, канд. техн. наук, доц.; О.Ю. Клементьєва

Херсонська державна морська академія, Україна

## ДИНАМІКА СПРАЦЬОВУВАННЯ ЗАПОБІЖНИХ КАНАТНИХ МУФТ ДЛЯ ЗАХИСТУ МАШИН ВІД ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПЕРЕВАНТАЖЕНЬ

V. Protsenko, Ph.D., Assoc. Prof.; O. Klementyeva

### OPERATION DYNAMICS OF SAFETY ROPE CLUTCHES FOR MACHINES PROTECTION FROM OPERATION OVERLOADS

Авторами розроблена та запатентована муфта з канатними пружними елементами, що здатна виконувати запобіжні функції. Устрій цієї муфти зрозумілий з [1], а конструктивно-силові параметри досліджені у [2]. Для розкриття механізму спрацювання муфти розглядали її розрахункові схеми, показані на рис. 1 та рис. 2.

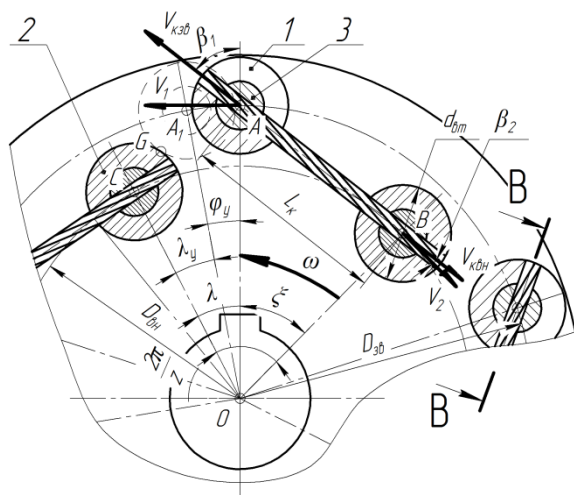


Рис. 1. Розрахункова схема муфти

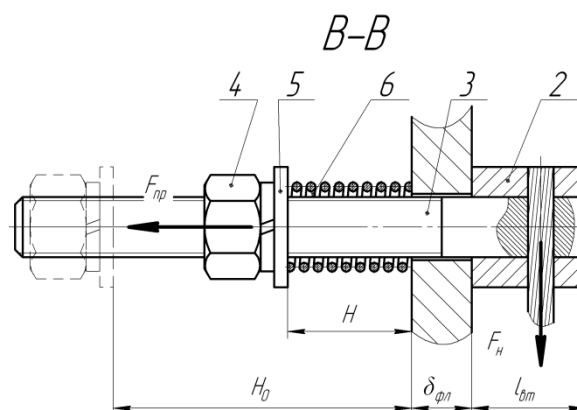


Рис. 2. Розрахункова схема пальця

При роботі муфти в стопорному режимі (найбільш небезпечний варіант) втулки 2, що належать веденій напівмуфті (в даному прикладі це напівмуфта меншого діаметру, або внутрішня) залишаються нерухомими, а втулки 1, що належать ведучій напівмуфті (в даному випадку зовнішній), рухаються ним назустріч. Для виконання муфтою запобіжних функцій, за час удару  $t_y$ , коли втулки 1 і 2 зустрінуться в точці  $G$  (а центр втулки 1 переміститься при цьому в положення  $A_1$ ) палець 3 втулки 1 повинен бути екстрагований (за час  $t_e$ ) з її осьового отвору та отвору фланця ведучої напівмуфти разом із шайбами та гайкою за рахунок стисненої при складанні муфти пружини 6. Отже рівняння можливості виконання муфтою своїх функцій матиме вигляд (1):

$$t_y \geq t_k + t_e \quad (1)$$

В результаті теоретичних досліджень отримані вирази для визначення часу удару, часу екстракції пальця та кутової швидкості при якій муфта з відомими конструктивними параметрами здатна виконувати свої функції для випадків ведучої зовнішньої (2) та внутрішньої (3) напівмуфти.

За отриманими формулами для модельної муфти при кутовій швидкості обертання  $\omega = 50$  рад/с, побудований графік залежності часу її спрацювання від кута монтажного зміщення  $\xi$  (рис. 1). З графіка рис. 3 видно, що умова (1) виконується у

випадку ведучої зовнішньої напівмуфти при кутах  $\xi$  менше  $28^\circ$ , при ведучій внутрішній напівмуфті - при кутах  $\xi$  менше  $23^\circ$ .

$$\omega_{зв} \leq \sqrt{\frac{c}{m_{nc}}} \left[ \begin{array}{l} \frac{2\pi}{z} - \xi - \arccos \frac{0,25(D_{зв}^2 + D_{вн}^2) - d_{вт}^2}{0,5D_{зв}D_{вн}} \rightarrow \\ \rightarrow \frac{d_{вт}D_{вн} \sin \xi}{D_{зв} \sqrt{0,25(D_{зв}^2 + D_{вн}^2) - 0,5D_{зв}D_{вн} \cos \xi}} \end{array} \right] \quad (2)$$

$$\omega_{вн} \leq \sqrt{\frac{c}{m_{nc}}} \left[ \begin{array}{l} \frac{2\pi}{z} - \xi - \arccos \frac{0,25(D_{зв}^2 + D_{вн}^2) - d_{вт}^2}{0,5D_{зв}D_{вн}} \rightarrow \\ \rightarrow \frac{d_{вт}D_{зв} \sin \xi}{D_{вн} \sqrt{0,25(D_{зв}^2 + D_{вн}^2) - 0,5D_{зв}D_{вн} \cos \xi}} \end{array} \right] \quad (3)$$

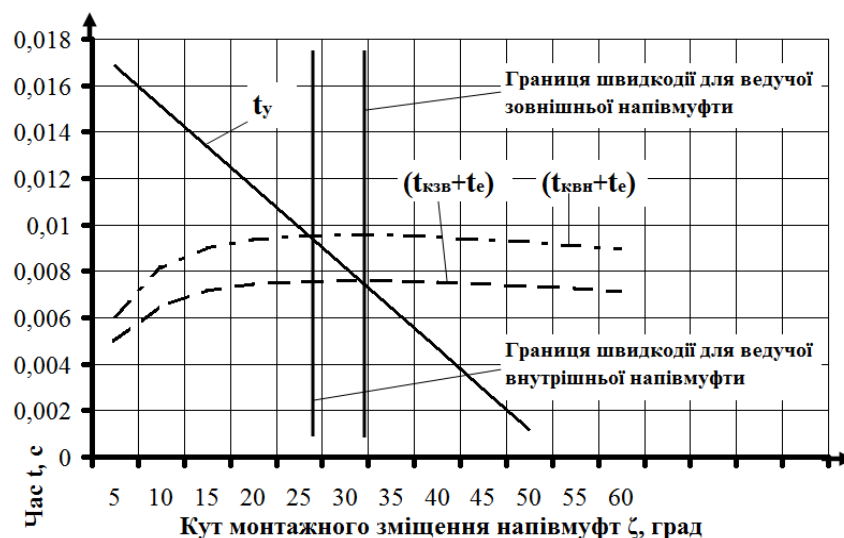


Рис. 3. Графік впливу кута монтажного зміщення напівмуфт  $\xi$  на параметри швидкодії муфти

### Висновки:

1. Отримані залежності, що дозволяють оцінити геометричні та кінематичні можливості роботи муфти з канатами тангенціального розташування як запобіжної у випадку ведучої зовнішньої та внутрішньої напівмуфт. Для цих же варіантів отримані формули для обчислення часу спрацьовування муфти та критичної частоти обертання при якій муфта здатна виконувати свої запобіжні функції.

2. Показано, що під час розрахунку часу екстракції пальця впливом тертя на швидкість та час екстракції можна знехтувати.

### Література:

1. Патент на корисну модель МПК F16D 3/00 // F16D 43/00, № 114482. Пружно-запобіжна муфта з тангенціальними канатами. Патентовласник: Херсонська державна морська академія. Авт.: Проценко В.О., Клементєва О.Ю., заявка u201609425 від 12.09.2016, опубл. 10.03.2017, Бюл. № 5.

2. Проценко В.О. Геометричні та силові параметри муфти з торцевою установкою канатів тангенціального розташування / В.О. Проценко, В.О. Настасенко, О.Ю. Клементєва // Підійомно-транспортна техніка. Науково-технічний та виробничий журнал. – Одеса: ІНТЕРПРІНТ. – 2015. – № 4 – С. 53 – 59.



УДК 621. 992. 04

Н.С. Равська, докт. техн. наук, проф.; В.В. Вовк, канд. техн. наук; С.П. Воробйов  
НТУУ "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Україна

## ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ЕВОЛЬВЕНТНОГО ЗУБЧАСТОГО КОЛЕСА НА КУТ У ПЛАНІ ІНСТРУМЕНТУ

N. Ravska, Dr., Prof.; V. Vovk, Ph.D.; S. Vorobyov

## INFLUENCE OF THE INVOLUTE GEAR PARAMETERS ON THE TOOL CUTTING EDGE ANGLE

Одним зі способів нарізання циліндричних арочних зубчастих коліс є метод зубонарізання торцевою різцевою головкою на верстатах з ЧПК [1], який дозволяє отримати евольвентний профіль вздовж лінії зуба. Профіль вихідної інструментальної поверхні фасонних різців, закріплених на торцевій головці, відповідає профілю западини зуба колеса. Фасонний різець різцевої головки, зображений на рис. 1, в інструментальній системі координат  $x_i y_i z_i$ , найчастіше виконують гострозаточеним. Він має вершинну різальну кромку 1, яка формує нижню западину зубчастого колеса, та бокові різальні кромки, зовнішню 2 та внутрішню 3, що нарізають відповідні частини западини циліндричного арочного зубчастого колеса.

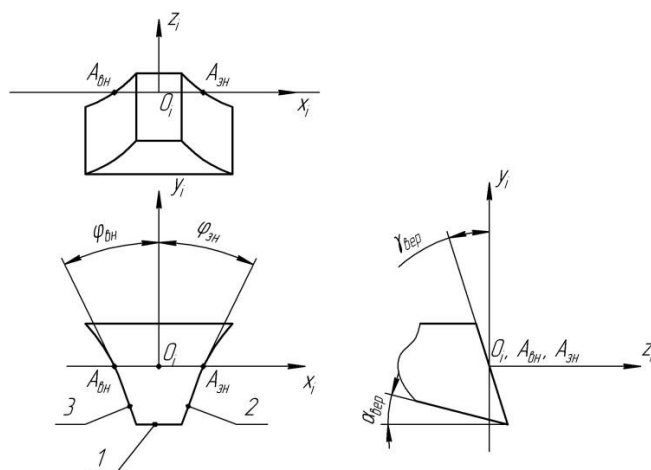


Рис. 1 – Геометрія гострозаточеного фасонного різця:  
1 – вершинна різальна кромка; 2,3 – бічні різальні кромки

Геометрія різця в інструментальній системі координат задається переднім та заднім кутами на вершинній різальній кромці. На бокових різальних кромках інструментальні передній та задній нормальні кути будуть залежними від вершинних і визначатися за формулами:

$$\sin \gamma_n = \sin \varphi \sin \gamma_{вер}$$

$$\cos \alpha_n = \frac{\cos^2 \varphi \tan \gamma_{вер} \tan \alpha_{вер} - 1}{\sqrt{1 + \tan \alpha_{вер} (\sin^2 \varphi \tan \alpha_{вер} + \cos^2 \varphi \tan^2 \gamma_{вер} \tan \alpha_{вер} - 2 \cos^2 \varphi \tan \gamma_{вер})}}$$

Криволінійність різальної кромки, і спричинена нею зміна кута в плані призводять до непостійності кутів вздовж кромки. При зменшенні кута в плані будуть зменшуватись також інструментальні бокові кути. Від кута в плані, крім того, є залежними активна довжина різальної кромки, товщина зрізу, величина і напрям рівнодіючої зусилля різання.

Для визначеної евольвентним профілем нарізаемого зубчастого колеса форми бокової різальної кромки кут у плані в інструментальній системі координат визначається за формулою:

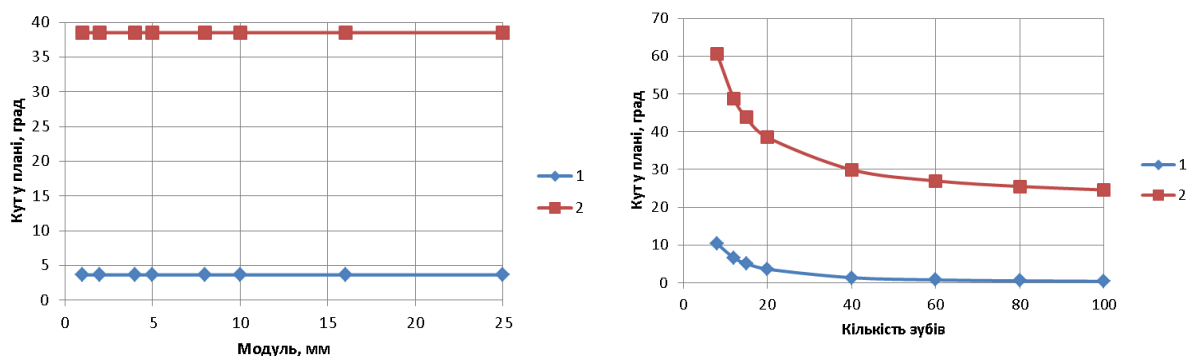
$$\varphi = \varphi_x + \varphi_0,$$

де  $\varphi_x$  – кут розгорнутості евольвенти, визначений для даної точки евольвентного профілю колеса;

$\varphi_0$  – кут повороту початкової точки активного профілю евольвенти. Ця точка може бути розташована на основному циліндрі, або на діаметрі западин.

Розрахунки кутів  $\varphi_x$ ,  $\varphi_0$  проводились по залежностях, наведених у роботі [2]. До змінних, які визначають кут в плані входять модуль оброблюваного колеса, кількість зубів, коефіцієнт зміщення, кут профілю. В залежності від параметрів зубчастого колеса будуть змінюватись кути у плані різця, яким буде виконуватись оброблення.

Залежність кута в плані від модуля та кількості зубів зубчастого евольвентного колеса зображена на рис. 2. На графіках кривою 1 показано зміну кута в плані на вершині різця в точці, яка формує западину зуба колеса в початковій точці активного профілю евольвенти (де буде найменше значення кута в плані), а кривою 2 – біля ніжки різця в точці, яка оброблює вершину зубів зубчастого колеса (де буде найбільше значення кута в плані).



$\alpha = 20^\circ$ ,  $x = 0$ ,  $z = 20$

$\alpha = 20^\circ$ ,  $x = 0$ ,  $m = 5$

Рис. 2 – Залежність кута в плані від модуля та кількості зубів

Аналіз графіків показує, що незалежно від модуля при збільшенні кількості зубів колеса будуть зменшуватись кути в плані на бічних кромках різців, якими буде виконуватись оброблення. Найбільш різке зменшення кутів в плані спостерігається при збільшенні числа зубів колеса від 8 до 40. Найгірша ситуація при цьому спостерігається в точках переходу бічних різальних кромки різця в вершинну (крива 1), де кут в плані поступово наближається до нуля. Це означає поступове наближення величин заднього кута до нульових значень, в той час як для забезпечення працезданості інструменту гранично допустиме мінімальне значення становить 2 - 3°. Збільшення заднього кута в цих точках можливе за рахунок збільшення інструментального заднього кута, проте воно спричинить значне збільшення задніх кутів на всій кромці і ослаблення різального клина.

### Література:

1. Воробйов С.П. Формоутворення циліндричних арочних зубчастих коліс з евольвентним профілем різними способами // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2016. – Вип. 2 (97), ч. 1. – С. 52 – 56.

2. Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов. – К. Выща школа, 1990. – 424 с.

**УДК 621.3.019.32:02**

**Т.І. Рибак, докт. техн. наук, проф.; М.І. Підгурський, докт. техн. наук, проф.;  
М.Я. Сташків, канд. техн. наук, доц.**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## **ОЦІНКА МІЦНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ МАШИН ЗА КРИТЕРІЯМИ МЕХАНІКИ ВТОМНОГО РУЙНУВАННЯ**

**T. Rybak, Dr., Prof.; M. Pidgurskyi, Dr., Prof.; M. Stashkiv, Ph.D., Assoc. Prof.**

### **ASSESSMENT OF STRENGTH AND DURABILITY OF MACHINE ELEMENTS BASED ON THE FRACTURE MECHANICS CRITERIA**

Загальна тенденція розвитку сучасної техніки в напрямку інтенсифікації виконання технологічних процесів, яка приводить до неперервного збільшення енергосилових, кінематичних, габаритних та інших параметрів машин, вимагає нових підходів при створенні перспективних та модернізації існуючих машин. Базовою складальною одиницею практично будь-якої машини є несуча конструкція (рама, остов), від надійності якої значно залежить ресурс роботи машини. Однією з основних причин недостатньої експлуатаційної надійності рам мобільної техніки є недосконалість існуючих інженерних методів розрахунку їх несучих конструкцій.

Більшість методів оцінки міцності та розрахунку ресурсу стосується бездефектних конструктивних структур. Але в процесі експлуатації, при поєднанні концентрації напружень, високого рівня залишкових напружень і наявності технологічних дефектів (підрізи, непровари та ін.), навіть при обмеженому числі циклів навантажень, можуть виникати втомні тріщини. В процесі подальшої експлуатації залишковий ресурс елемента конструкції з таким дефектом буде визначатись стадією розвитку втомної тріщини. У таких умовах традиційні методи розрахунку міцності і довговічності конструкції будуть недостатніми, що зумовлює необхідність застосування критеріїв механіки руйнування.

Механіка втомного руйнування є теоретичною основою для прогнозування ресурсу в умовах накопичення пошкоджень і розвитку тріщин, оскільки тріщини можуть повільно розповсюджуватися в елементі конструкції і їх ріст можна контролювати і передбачати.

Виходячи з напрацювань у цьому напрямку вітчизняних та зарубіжних вчених, створення ефективних несучих і функціональних систем, оптимальних за матеріаломісткістю та з прогнозованим ресурсом роботи, полягає у розробці алгоритму оцінки довговічності елементів конструкцій з врахуванням реальних умов експлуатації, технології їх виготовлення, застосуванні в інженерному проектуванні числових методів аналізу напружено-деформівного стану (НДС), використанні теоретичних моделей і методів механіки втомного руйнування з врахуванням особливостей розвитку дефектності в статично невизначуваних системах.

Критеріальна оцінка міцності та прогнозування ресурсу роботи конструкцій передбачає проведення дослідження НДС конструкції, вибору критеріїв оцінки тріщиностійкості та визначення характеристик тріщиностійкості матеріалу вузла.

Складність вибору та формування критеріїв оцінки міцності і прогнозування ресурсу роботи зумовлюється, перш за все, різноманітністю профілів складових елементів цих конструкцій та специфікою їх з'єднань. Такі конструкції важко оптимізувати через відсутність фактичних характеристик циклічної тріщиностійкості матеріалу з врахуванням його структурних змін в зоні термічного впливу зварних з'єднань, у відповідності до конкретної технології виготовлення, та відсутність аналітичних залежностей, що описують НДС в околі тріщин у поперечних перетинах тонкостінних елементів відкритого чи замкнутого профілю.

Найбільш простим і доступним для аналізу розвитку втомних тріщин є силовий критерій лінійної механіки руйнування – коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН) – основний фактор, що описує НДС у вершині тріщини і контролює її розповсюдження.

Реалізація методики формування силового критерію оцінки тріщиностійкості і прогнозування ресурсу роботи конструкцій проводиться у такій послідовності:

- отримання аналітичних залежностей для визначення коефіцієнтів інтенсивності напружень (КІН) для тріщин у елементах замкнутого [1, 2] та відкритого [3, 4] тонкостінного профілю;
- уточнення залежностей для визначення КІН для тріщин, які розвиваються в зонах зварних з'єднань, з врахуванням конструктивної концентрації напружень, залишкових зварних напружень, неоднорідності матеріалу зварного шва [5, 6];
- побудова кінетичних діаграм тріщиностійкості матеріалу зварних швів [7];
- одержання залежностей для прогнозування ресурсу роботи з врахуванням спектрів експлуатаційного навантаження [8].

У більшості вказаних робіт з дослідження тріщиностійкості елементів конструкцій машин враховувався лише КІН нормального відриву  $K_I$ , який визначається нормальними напруженнями, а КІН поперечного  $K_{II}$  та поздовжнього  $K_{III}$  зсуву, які визначаються дотичними напруженнями, нехтують.

Такий підхід значно спрощує дослідження тріщиностійкості, проте для деяких задач з оцінки залишкового ресурсу елементів конструкції на основі критеріїв механіки руйнування, врахування КІН поперечного  $K_{II}$  та поздовжнього  $K_{III}$  зсуву є необхідним і дозволяє підвищити точність визначення довговічності конструкції.

#### **Література**

1. Рибак Т.І., Підгурський М.І., Сташків М.Я. Методи визначення КІН для дефектних елементів замкнутого профілю // Механічна втома металів. Праці 13-го міжнародного колоквиуму. – Тернопіль: ТДТУ, 2006. – С. 441 – 449.
2. Підгурський М., Сташків М. Розвиток наскрізних тріщин в гнутозварних тонкостінних елементах коробчастого профілю // Вісник ТДТУ, 2006. – Т.11. – № 4. – С. 78 – 86.
3. М. Підгурський, М. Сташків. Методи визначення КІН для дефектних елементів відкритого профілю // Вісник ТДТУ, 2006. – Т. 11. – № 2. – С. 92 – 108.
4. Довбуш Т. Розвиток крайової тріщини при згині тонкостінного Z-подібного профілю / Т. Довбуш, М. Сташків, Н. Хомик // Зб. тез доповідей V Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій». – Т.1. – ТНТУ, 2016. – С. 190 – 191.
5. Підгурський М.І., Рибак Т.І., Сташків М.Я. Оцінка впливу дефектності зварних з'єднань на надійність сільськогосподарської техніки // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка «Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва» – Випуск 51. – Харків: ХНТУСГ, 2007. – С. 289 – 295.
6. Сташків М.Я. Дослідження впливу стисненого кручення на міцність зварного з'єднання елементів рами розкидача твердих органічних добрив / М.Я. Сташків, М.І. Підгурський, Т.А. Довбуш, І.М. Бортник // Вісник ХНТУСГ ім. П.Василенка. - Харків: ХНТУСГ, 2016. – Вип. 170. – С. 164 – 171.
7. Підгурський М.І., Рибак Т.І., Сташків М.Я. Визначення кінетики тріщини та її КІН у гнутозварних коробчастих профілях // Загальнодержавний міжвідомчий наук. - техн. зб. «Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин». – Кіровоград: КНТУ, 2007. – Вип. 37. – С. 24 – 29.
8. Рибак Т. Дослідження залишкового ресурсу тонкостінних елементів з тріщиною / Т. Рибак, М. Сташків // Зб. праць Тернопільського осередку Наукового товариства ім. Шевченка. – Т. 7. – Праці Інженерно-технічної комісії. – Тернопіль: Джура, 2012. – С. 73 – 79.

УДК 621.584.41

**В.Д. Рудь, докт. техн. наук, проф.; І.В. Савюк; Ю.С. Повстяна; канд. техн. наук;  
Л.М. Самчук канд. техн. наук**  
Луцький національний технічний університет, Україна

## **РОЗРОБКА УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ ЕКЗОТЕРМІЧНИХ СУМІШЕЙ**

**V. Rud Dr., Prof.; I. Saviuk; Yu. Povstiana Ph.D.; L. Samchuk Ph.D.**  
**DEVELOPMENT PROCESS EQUIPMENT FOR DETERMINING THE  
PARAMETERS OF BURNING EXOTHERMIC MIXES**

Металотермія – процес який був відкритий у XIX столітті М.М. Бекетовим набув широкого застосування у галузях зварювального, відновлюваного, ливарного та інших виробництв. Основний принцип металотермії – відновлення металів з їхніх оксидів активнішими металами (алюміній, магній, кремній та інші). Алюмотермічні реакції найбільш широко застосовуються для зварювання трамвайних рейок та у ливарному виробництві [1]. Підвищена увага науковців до металотермічних процесів зумовлена тим, що металотермічна реакція протікає без використання зовнішніх джерел енергії, а в якості основної сировини для шихти використовуються відходи виробництв: окалина та шлами. На сьогоднішній день відомо більше 10 тисяч складів екзотермічних сумішей. Корифеєм у розробці екзотермічних сумішей є Жигуц Ю.Ю., робота якого спрямована на розробку та дослідження властивостей термітних сталей [2-5]. А.Ф. Власов пропонує вводити екзотермічні суміші в обмазку електродів для електродугового зварювання [6]. І.Г. Сапченко досліджує вплив складу термітної суміші на об'єм відновлюваної сталі марки Ст45Л [6]. У Луцькому НТУ під керівництвом В.Д. Рудя займаються розробкою екзотермічних сумішей для відновлення та наплавлення деталей з механічними пошкодженнями [7].

Оскільки розрахунок адіабатичної температури та інших технологічних показників горіння екзотермічних сумішей ускладнений через нестабільний вміст компонентів шихти та вміст в окаліні трьох видів оксидів заліза було прийнято рішення розробити установку для визначення температури горіння, швидкості проходження реакції та часу горіння суміші.

Автори роботи [8] показали доцільність застосування методу спалювання термітної шихти з попередньою грануляцією і підпалюванням внизу засипки. Доведено, що фазо- розподілення проходить не в кінці реакції, як це відбувається при підпалюванні знизу, а уже під час реакції. Рідкий метал практично одразу відділяється від шлаку і опускається на дно реактора. При такому способі спалювання відсутні викиди суміші, а утворені в результаті реакції газу піднімаються через гранульовану суміш і таким чином безперешкодно виходять. Тому було прийнято рішення вдосконалити форму для дослідження швидкості горіння шляхом розробки нової конструкції з можливістю проводити запалювання суміші знизу. Схема установки наведена на рис. 1.

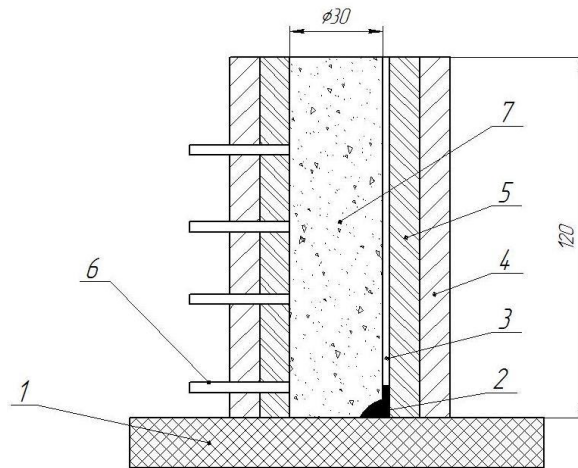


Рисунок 1 – Схема установки для дослідження параметрів процесу горіння екзотермічної суміші, де 1 азбестова плита, 2 запальна суміш, 3 канал для засипки запальника та ініціювання запалювання, 4 залізна трубка, 5 керамічна трубка, 6 термопари, 7 екзотермічна суміш

Для фіксації температури горіння використовували вольфрам-молібденові термопари, які розташовані по всій висоті установки. Термопари з'єднані за напівмостовою схемою, тому показують узагальнене значення. Час горіння терміту визначали шляхом відліку часу від фіксації термопарою мінімальної температури горіння ( $2100^{\circ}\text{C}$ ) до спаду температури нижче  $2300^{\circ}\text{C}$ . Установка дозволяє проводити дослідження параметрів процесу горіння екзотермічних сумішей з фіксацією температури горіння на всіх стадіях проходження реакції.

#### **Література:**

1. Малкин Б.В., Воробев А.А. Термитная сварка. Издательство коммунального хозяйства РСФСР. Москва. 1963. 104 с
2. Ю.Ю.Жигуц, Технология получения термитной стали марки 70Л, Металургия, Выпуск 1 (31), 2014.
3. Жигуц Ю.Ю. Технология производства термитного высокопрочного чугуна / Ю.Ю. Жигуц // Прогресивні технології і системи машинобудування : Міжнар. зб. наук. праць. – Донецьк : Донецький нац. техн. ун-тет. – 2012. – Вип. 1, 2 (43). – С. 142-147.
4. Жигуц, Ю.Ю. Экзотермічна суміш для живлення виливків з високолегованих марганцевих сталей [Текст] / Ю.Ю. Жигуц // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2003. – № 3 (49). – С. 176 – 179.
5. Власов А.Ф. Экзотермические смеси в сварочном производстве / А.Ф. Власов, Н.О. Макаренко // Вісник Донбаської машинобудівної академії. № 1 (32), 2014. – С. 173 – 179.
6. Сапченко И.Г. Влияние состава термитной смеси и ее температуры на объем восстанавливаемой стали марки Ст45Л / И.Г. Сапченко, О.Н. Комаров, С.Г. Жилин // Литье и металлургия № 1 (41), 2007. – С. 115 – 117.
7. Савюк І.В. Технологія відновлення відповідальних деталей машин методом СВС / І.В. Савюк, Л.М. Самчук, Ю.С. Повстяна // Мат. Міжнародної науково-практичної конференції. Китай 2016. – С. 108 – 109.
8. Яценко В.В. Получение металла при сжигании гранулированной термитной смеси / В.В. Яценко, А.Р. Самборук, А.П. Амосов // Известия Самарского гучного центра Российской академии наук. Т. 12, № 4, 2010. – С. 298 – 305.

УДК 004.42(07)

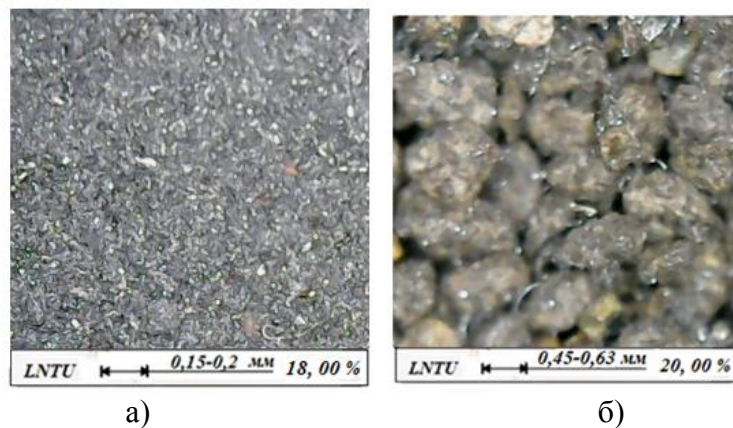
**В.Д. Рудь, докт. техн. наук, проф.; Н.А. Христинець**  
Луцький національний технічний університет, Україна

## **ВПЛИВ ФОРМИ ЧАСТОК І ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ НА ПРОЦЕС ВІБРАЦІЙНОЇ СЕГРЕГАЦІЇ ПОРОШКОВИХ СУМІШЕЙ**

**V. Rud, Dr., Prof.; N. Khrystynets**

### **THE INFLUENCE OF PARTICLE SHAPE AND PARTICLE SIZE DISTRIBUTION ON THE PROCESS OF VIBRATORY SEGREGATION THE POWDER MIXTURES**

Для регулювання параметрів [1] вібраційної укладки порошків важливо враховувати не лише матеріал, з якого вони виготовлені, а й їх розмір та фактор форми. Аналіз геометричних параметрів часток порошку нержавіючої сталі та сапоніту, використаних в дослідженнях [2], проводився оптичним методом макроскопії зразків за допомогою Cheap USB microscope та програмного забезпечення Smart-eye пакету Microoptik (рис. 1).



а)

б)

Рис. 1 – Фрактограми порошків в програмному комплексі Smart-eye пакету Microoptik:  
а) нержавіючої сталі; б) сапоніту.

Програмно-апаратне забезпечення комплексу Smart-eye дозволяє визначити форму, площу, лінійні розміри порошків в натурних показниках. Фактор форми, що визначався згідно ГОСТ 25849-83, використаний для характеристики ступеня нерівності часток. В результаті проведених досліджень виявлено, що частки сапонітового порошку – з фактором нерівності  $F_n=0,74..0,8$ . Форма часток порошку нержавіючої сталі AISI430 має фактор нерівності  $F_n=0,27..0,45$ .

Уявлення про фактор форми часток дозволяє прогнозувати властивості порошкових засипок.

#### **Література:**

1. Градиентные материалы в технике: монография // Ю. Н. Кочкин, Е. И. Марукович, Ю. Л. Станюленис. – Могилев : Белорусско-Российский ун-т, 2008. – 163 с.

2. Н.А.Христинець, В.Д. Рудь. Вплив віброколивань на структуроутворення зразків композиційного матеріалу (перше повідомлення)// Proceedings of the II-nd International Scientific and Practical Conference «New Opportunities in the World Science (August 30-31, 2016) Abu Dhabi, UAE». – Dubai.: Rost Publishing, 2016. – P. 43-47.

УДК 667.64:678.026

**А.В. Сапронова; Н.М. Букетова; О.В.Лещенко; М.Ю. Амелін**

Херсонська державна морська академія, Україна

## **ДОСЛІДЖЕННЯ АКТИВНОСТІ ПОВЕРХНІ ДИСПЕРСНОГО КОНВЕРТЕРНОГО ШЛАМУ МЕТОДОМ ІЧ-СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ**

**A. Sapronova; N. Buketova; O. Leshenco; M. Amelin**

### **INVESTIGATION OF THE SURFACE ACTIVITY OF DISPERSED CONVERTER SLUDGE BY METHOD IR-SPECTRAL ANALYSIS**

**Постановка проблеми.** Введення наповнювачів у епоксидний зв'язувач передбачає утворення різних видів хімічної та фізичної взаємодії при зшиванні епоксикомполімерів на межі поділу фаз «зв'язувач – наповнювач». Відповідно, введення добавок різної природи та розміру за оптимального вмісту дозволяє підвищувати адгезійні, фізико-механічні, теплофізичні властивості композитних матеріалів (КМ). При цьому актуальним є використання дешевих наповнювачів, які, окрім підвищення експлуатаційних характеристик епоксидних КМ, сприяють зменшенню вартості конструкційних матеріалів, що вигідно з економічної і екологічної точки зору.

**Мета роботи** – провести аналіз хімічних зв'язків на поверхні дисперсних часток конвертерного шламу.

**Результати досліджень та їх обговорення.** Вихідним матеріалом для експериментальних досліджень є конвертерний шлам (КвШ), який характеризується наступним складом, %:  $\text{SiO}_2$  – 20,85;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 2,42;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 12,69;  $\text{FeO}$  – 7,68;  $\text{MgO}$  – 5,08;  $\text{MnO}$  – 2,94;  $\text{CaO}$  – 46,70;  $\text{S}$  – 0,19;  $\text{Fe}$  – 14,85. Дисперсність часток становить 60...63 мкм. Для дослідження хімічних зв'язків на поверхні часток наповнювача використовували ІЧ-спектральний аналіз. ІЧ-спектри реєстрували на спектрофотометрі марки «IRAffinity-1» (Японія) у ділянці хвильових чисел  $\nu = 400 \dots 2400 \text{ см}^{-1}$ .

Згідно ІЧ-спектрального аналізу часток наповнювача виявлено смуги поглинання у діапазоні хвильових чисел  $\nu = 2353,16 \dots 2333,87 \text{ см}^{-1}$ , характерні для зв'язків  $-\text{C}\equiv\text{N}$ . Смуга поглинання при хвильовому числі  $\nu = 1114,86 \text{ см}^{-1}$  свідчить про валентні коливання зв'язків  $\text{C}-\text{O}$ . При цьому, згідно аналізу праці хвильове число  $\nu = 1114,86 \text{ см}^{-1}$  характеризує з'єднання  $\text{Si}-\text{O}_2$ . Смуга поглинання при хвильовому числі  $\nu = 979,84 \text{ см}^{-1}$  свідчить про наявність валентних коливань зв'язків  $-\text{C}-\text{C}-$ ,  $-\text{C}-\text{O}-$ . Водночас діапазон хвильових чисел  $\Delta\nu = 873,10 \dots 979,84 \text{ см}^{-1}$  характеризує наявність з'єднань  $\text{Fe}-\text{O}$ ,  $\text{Fe}-\text{O}_2$ . Смуга поглинання при хвильовому числі  $\nu = 632,65 \text{ см}^{-1}$  свідчить про наявність маятникових коливань зв'язків  $-\text{CH}-$ , а відносна величина площі піку  $S = 99,4 \%$  вказує на значну їх кількість. Аналіз смуг поглинання у діапазоні хвильових чисел  $\Delta\nu = 600,00 \dots 400,00 \text{ см}^{-1}$  свідчить про присутність з'єднань  $\text{Mg}-\text{O}$ ,  $\text{Mn}-\text{O}$ ,  $\text{S}$ .

Отже, аналіз ІЧ-спектру наповнювача КвШ, який є відходом промислового виробництва сталі, дозволяє констатувати про можливість фізико-хімічної взаємодії часток з компонентами зв'язувача (ЕД-20 – ПЕПА) за рахунок значної кількості активних груп на поверхні наповнювача. Отримані результати складають основу для подальших досліджень залежності вмісту наповнювача на властивості композитів.

**Висновки.** На основі проведених досліджень можна констатувати, що використання відходів киснево-конвертерного способу виробництва сталі є досить ефективним. При цьому забезпечується їх утилізація та водночас можливе поліпшення експлуатаційних характеристик епоксидних композитів за рахунок значної кількості хімічних зв'язків на поверхні наповнювача.



УДК 621.793.74

**І.А. Селіверстов<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.; С.Р. Селіверстова<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доц.**

<sup>1</sup> Херсонський національний технічний університет, Україна

<sup>2</sup> Херсонська державна морська академія, Україна

## **ВИКОРИСТАННЯ ПЛАКОВАНИХ ПОРОШКІВ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ПЛАЗМОВИХ ПОКРИТТІВ**

**I. Seliverstov, Ph.D., Assoc.Prof.; S. Seliverstova, Ph.D., Assoc. Prof.**

### **USE OF THE PLATED POWDERS FOR PLASMA SPRAY COATINGS**

Сучасні газотермічні покриття дозволяють вирішити ряд проблем в інженерії поверхні, пов'язаних із захистом деталей машин, елементів конструкцій і окремих вузлів від зносу, впливу високих температур, напруг і агресивних корозійно-ерозійних середовищ. Особливу увагу при цьому приділяється створенню нового класу композиційних покриттів на основі багатокомпонентних сумішей порошків металів, сплавів, кераміки, що містять, в тому числі, ультрадисперсні або нанорозмірні складові[1].

Перспективним також для підвищення експлуатаційних характеристик плазмових покриттів є застосування плакованих керамічних порошків, зокрема за допомогою вакуумно-дугового методу. Даний метод, дозволяє в широкому діапазоні управляти параметрами процесу і властивостями конденсатів за рахунок наявності високо іонізованої складової в продуктах ерозії катода. Використовуючи катоди з різних металів і змінюючи склад середовища в робочому просторі, а також режими роботи вакуумної установки можна створювати багатошарові, дискретні, градієнтні і наноструктурні плівки[2].

Плазмове нанесення покриттів на деталі машин, як технологія поверхневої модифікації, є ефективним і економічним способом підвищення різних властивостей матеріалу, які у свою чергу залежать від гами різноманітних композицій внесених у покриття [3]. Слід зазначити, що якість плазмових покриттів багато в чому визначається якістю вихідних продуктів, серед яких застосування плакованих порошків представляє особливий науковий інтерес, їх застосування може гарантовано забезпечити потрібний хімічний склад покриття і механічні властивості.

В роботі, напилення плакованих порошків здійснювали на плазмотроні з виносним анодом і додатковим обдуванням плазмового струменя концентричним потоком захисного газу. В якості плазмоутворювального та захисного газу використовували аргон. Робочий струм встановлювався в межах 100-120 А, напруга 50-60 В, витрати плазмоутворювального газу ~ 3 л/хв витрати захисного газу ~ 0,5 л/хв, діаметр сопла 2 мм. Дані конструкційні особливості і режимні параметри забезпечують формування ламінарного плазмового струменя з максимальною довжиною, що сприяє кращому розплавленню оболонки та ядра порошку і захисту частинок від окислення. У якості основи застосовувались зразки з низьковуглецевої сталі, які попередньо піддавалися струменево – абразивній обробці. Для напилення використовували порошки оксиду алюмінію фракцією 40-60мкм, плакованого двошаровим покриттям з титану, міді та алюмінію, відповідно  $Al_2O_3-Ti-Cu$  і  $Al_2O_3-Ti-Al$ .

За допомогою аналітичної растрової мікроскопії проводилось дослідження

загального характеру розподілу хімічних елементів досліджуваної зони покриття. Визначення хімічного складу в локальних областях та в області фазових виділень та сегрегації.

За хімічним аналізом покриття встановлено, що застосування отриманого плакованого порошку забезпечує повний перенос металеві фази в процесі утворення плазмового покриття.

Аналіз випробувань на міцність зчеплення свідчить про достатньо високі значення  $\sigma_0$  при значеннях металеві частки на рівні 2-5 %, встановлено, що максимальні значення  $\sigma_0$ , які досліджувались у вказаному інтервалі товщин мають покриття з  $Al_2O_3$ -Ti-Al, однак слід зазначити, при збільшені товщини міцність зчеплення у цих покриттів знижується у порівнянні з покриттями на основі  $Al_2O_3$ -Ti-Si, що обумовлюється наявністю більшого часу перебування покриття у зоні термічного впливу плазмового струменя, і це призводить до збільшення дефектів покриття пір та інше. Дослідження методом склерометрії показали досить стабільні значення твердості *HGV* (когезійної міцності) і *HV* (твердість при склерометрії – дряпанні інденктором Віккерса) у покриттів на основі плакованих порошків, що характеризує високу рівномірність розподілу металеві і керамічної фази у складі покриття. Визначено, що найбільшою твердістю і когезійною міцністю володіють покриття на основі порошків  $Al_2O_3$ /Ti/Al, а найменшою – на основі механічної суміші  $Al_2O_3$  – NiAl, крім того, у даного типу покриття значно відрізняються значення твердості *HGV*, що пов'язано зі значною нерівномірністю металеві і керамічної фази.

У ході ерозійних випробувань на пристрої з постійним відео фільмуванням відмічено, що стабільно низьке зношування спостерігається у зразків з покриттям на основі  $Al_2O_3$ , плакованого титаном та алюмінієм, знос покриттів на основі неметалізованого  $Al_2O_3$  у 7-8 разів вищий ніж у покриттів з плакованим порошком.

Таким чином, у роботі експериментально показано, що плазмовим напиленням з порошкових сумішей на основі  $Al_2O_3$ , можна отримати знос і корозійнотривкі покриття з високою когезійною і адгезійною міцністю. Плакування порошку  $Al_2O_3$  титаном та алюмінієм забезпечує підвищення зносотривкості покриттів на його основі у 7-8 разів. Ці ж зразки виявляють високу корозійну стійкість у 10 % розчині  $H_2SO_4$ .

### **Література:**

1. Руденская Н.А. Новые плазменные покрытия многофункционального назначения и их самоорганизация/ Н.А. Руденская // Защита металлов. – т. 40, № 2.– 2004. – С. 173 – 177.
2. Костржицкий А.И. Многокомпонентные вакуумные покрытия / А.И. Костржицкий, О.В. Лебединский. – М.: Машиностроение, 1987. – 208 с.
3. Хокинг М. Металлические и керамические покрытия/ М. Хокинг, В. Васантасри, П. Сидки. – М.: Мир, 2000. – 518 с.

УДК 621.9.02.077-52

**Р.А. Склярів, канд. техн. наук, доц.; Шанайда В.В. канд. техн. наук, доц.**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## **ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ПРИВОДУ АВТОМАТИЧНОЇ ЗАМІНИ ІНСТРУМЕНТІВ БАГАТОЦІЛЬОВИХ ВЕРСТАТІВ**

**R. Skliarov, Ph.D., Assoc. Prof.; V. Shanaida, Ph.D., Assoc. Prof.**

### **DYNAMICAL MODEL OF AUTOMATIC TOOLS CHANGE DRIVE FOR MULTIPURPOSE MACHINES**

Сучасні багатоцільові верстати (БЦВ), як правило, широко використовують пристрої автоматичної заміни інструменту (ПАЗІ), вони виконують наступні функції: розміщення інструменту, підготовчий рух інструменту в позицію очікування, власне заміну інструменту та повернення інструменту в накопичувач.

В сучасних БЦВ використовуються автооператори у вигляді двозахватних «рук», такі пристрої здійснюють складний рух – поворот автооператора та поступальний рух вводу-виводу інструментів. Для поступального руху в системах з гідроприводом використовуються системи з гідроциліндром, а для обертового – приводи з гідроциліндром і зубчасто-рейковою передачею, гідромотором і зубчастим редуктором. Електромеханічні приводи, які також широко використовуються, містять механічні перетворювачі руху на базі кулачкових та мальтійських механізмів.

Особливості, які відрізняють ПАЗІ від інших механізмів допоміжних рухів на верстатах – змінність мас (інструменти які переміщуються мають кожного разу іншу вагу), невірноваженість виконавчих органів та дуже малий час роботи. Цикл роботи ПАЗІ може тривати кілька секунд, кожен окремий рух може займати від 0.5 до 2 сек. Тому вибір оптимальних параметрів елементів приводу ПАЗІ на стадії проектування є актуальним завданням.

В більшості ПАЗІ використовують закон зміни швидкості руху, який близький до трапецеїдального. Під час роботи в ПАЗІ виникають перехідні процеси (під час розгону та гальмування приводу), мають місце імпульсні збурення. Вони пов'язані з зазорами в механізмах з низькою жорсткістю, особливо в механізмах з довгими кінематичними ланцюгами.

В гідромеханічних приводах розгін, як правило, відбувається відносно плавно, а гальмування супроводжується значними низькочастотними коливаннями і ударами, що впливає в подальшому на довговічність механізмів. Для усунення такого несприятливого явища для гальмування гідроприводів використовують дроселюючі пристрої, які забезпечують більш рівномірну швидкість руху і стабільну роботу на малих швидкостях.

В електромеханічних приводах автооператорів мають місце довгі кінематичні ланцюги, їх жорсткість є нижчою в порівнянні гідромеханічними приводами. В таких приводах в процесі експлуатації виникають низькочастотні (обумовлені податливістю системи) та високочастотні (викликані розкриттям зазорів) коливання. Ці коливання створюють в системі прискорення, які в кілька разів можуть перевищувати номінальні. Найбільші значення таких прискорень виникають на валі після кулачкових або мальтійських механізмів. Коливання в цих механізмах призводять до підвищеного зношення парів кулачкових та мальтійських механізмів.

Динамічна модель ПАЗІ може бути побудована із моделей окремих елементів, які входять в її склад. Ці моделі є системами звичайних нелінійних диференціальних рівнянь. В якості основної динамічної системи механічної частини ПАЗІ прийнято

трюхмасову динамічну систему, параметри якої визначаються за загальноприйнятою методикою для розрахунку параметрів приводу [1].

Розглянемо привід від гідромотору (рис. 1), в ньому приведення мас здійснюється до гідромотору або поршня.

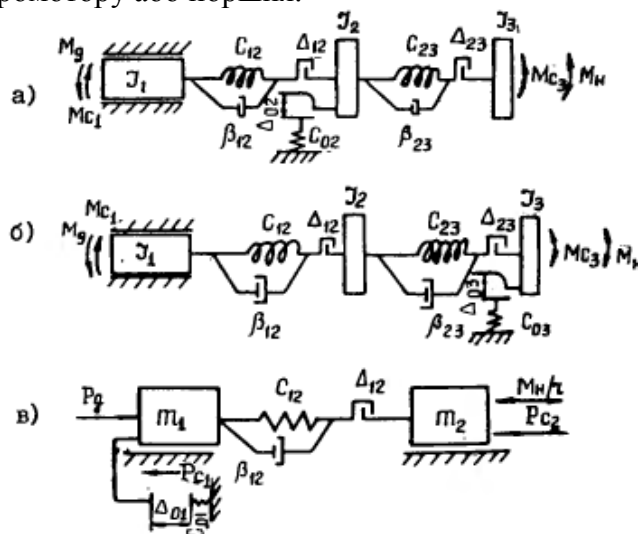


Рис. 1. – Розрахункові динамічні схеми гідромеханічних приводів ПАЗІ:

- а) при повороті автооператора; б) при повороті інструментального магазину від гідромотору; в) при повороті автооператора від гідроциліндра.

Дану систему опишемо за допомогою диференціальних рівнянь, які описують динамічну трюхмасову крутильну систему.

Запишемо рівняння для приводу з гідромотором:

$$J_1 \ddot{\varphi}_1 + \beta_{12} \dot{u}_{12} + c_{12} u_{12}^* + \frac{q}{2\pi} (p_1 - p_2) + M_{c1} \sin \varphi_1 = 0;$$

$$J_2 \ddot{\varphi}_2 + \beta_{23} \dot{u}_{23} + c_{23} u_{23}^* - c_{12} u_{12}^* - \beta_{12} \dot{u}_{12} + c_{02} (\varphi_2 - \Delta_{02}) = 0;$$

$$J_3 \ddot{\varphi}_3 - \beta_{23} \dot{u}_{23} - c_{23} \dot{u}_{23} + M_n \sin \varphi_3 + M_{c3} \sin \varphi_3 + c_{03} (u_{23} - \Delta_{03}) = 0$$

де,  $J_i$  – момент інерції  $i$ -ї маси;

$\beta_{ij}$  – опір, який пропорційний швидкості зміни відносного зміщення  $i$ -ї та  $j$ -ї мас (демпфування);

$c_{ij}$  – крутильна жорсткість пружного елемента між сусідніми масами  $i$  та  $j$ ;

$u_{ij}$  – пружна деформація елемента жорсткості  $c_{ij}$ :

$$u_{ij} = \varphi_j - \varphi_i; \quad u_{ij}^* = \begin{cases} u_{ij} \pm \frac{\Delta_{ij}}{2} & \text{при } |u_{ij}| > \frac{\Delta_{ij}}{2} \\ 0 & \text{при } |u_{ij}| \leq \frac{\Delta_{ij}}{2} \end{cases}$$

тут  $\Delta_{ij}$  – кутовий зазор;

$M_{c1}, M_{c3}$  – моменти опору на відповідному валі;

$c_{0i}$  – жорсткість в контакті рухомого елемента і упору;

$\Delta_{0i}$  – шлях, який проходить рухомий елемент від початку руху до моменту удару;

$M_n$  – момент від невірноваженості виконавчого органу.

Дана математична модель використовується для моделювання приводів ПАЗІ з використанням пакету Mathcad та програми VisSim.

### Література:

1. Детали и механизмы металлорежущих станков / Под ред. Д.Н. Решетова. – М.: Машиностроение, 1972. – Т.2: Шпиндели и их опоры, механизмы и детали приводов. – 520 с.

УДК 621.9(075.8)

А.М. Сліпчук<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.; Р.С. Яким<sup>2</sup>, докт. техн. наук, проф.

<sup>1</sup>Національний університет «Львівська політехніка», Україна

<sup>2</sup>Дрогобицький державний педагогічний університет ім. І.Франка, Україна

## **ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВСТАВНОГО ПОРОДОРУЙНІВНОГО ОСНАЩЕННЯ ШАРОШОК ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ**

**A. Slipchuk, Ph.D., Assoc. Prof.; R. Yakym, Dr., Prof.**

### **QUALITY IMPROVEMENT OF INSERT-TYPE ROCK BREAKING CUTTERS OF BORING TOOL MACHINERY OF THREE CUTTERS DRILLING BIT**

Тришарошкові бурові долота з твердосплавним вставним породоруйнівним оснащенням знайшли широке застосування при спорудженні свердловин різного призначення. Виготовлення таких доліт ставить перед долотобудуванням комплекс вимог щодо вибору сталей для шарошок доліт, параметрів насичення вуглецем й термообробки, технологічних операцій формоутворення отворів та складання з'єднання „зубок-шарошка”. Вставне породоруйнівне оснащення експлуатується в складних умовах і часто виходить з ладу через недосконалість конструкції й технології виготовлення доліт. Тому дослідження шляхів підвищення якості вставного породоруйнівного оснащення на етапах створення доліт є актуальним і актуальним завданням долото будувальників [1,2].

У міру повороту шарошки навколо осі зубка, що заглибився вражаючою частиною в породу, відбуваються деформації та руйнування породи вибою. При входженні в породу вражаючої частини наступного зубка відбувається вивертання сколеної породи попереднім зубком.

Аналізом характеру відпрацювання та втрати працездатності вставного породоруйнівного оснащення встановлено факти розхитування, прокручування зубків навколо власної осі й зміна орієнтації їхньої вражаючої частини, виламування та випадання твердосплавних зубків.

Миттєве навантаження на зубки шарошки може сягати 80 – 85 % усього навантаження на долото.

Процес шарошкового буріння – руйнування подрібнювально-сколювальною дією на породу вибою.

Відбувається ковзання оснащення шарошок по поверхні вибою в радіальному й тангенціальному напрямку [3].



Рис. 1 Загальний вигляд вставного породоруйнівного оснащення відпрацьованого тришарошкового бурового долота

„Security DBS Dresser Industries Inc” розроблено долото у якого зрівноважено діючі зусилля й збалансованим розсіюванням навантаження. В конструкції реалізовано ефект оптимальної орієнтації породоруйнівного оснащення й забезпечення умов що попереджують утворення гребенів на вибої [4].

Руйнування породи вибою твердосплавними зубками спричинює складний напружений стан тіла зубка та тіл вінців шарошки. Породоруйнівне оснащення шарошок на основі твердосплавних зубків із загостреною вражаючою частиною зазнає дії згинальних та крутних навантажень.

Крутний момент відносно осі зубка виникає через характер руху шарошок, що спричинює постійну зміну орієнтації передньої площини вражаючої частини вставного зубка. Це дає найкращий ефект в руйнуванні породи вибою.

При обертанні шарошки породоруйнівні зуби, що проникли вражаючою частиною у породу вибою, зазнають поздовжні та поперечні навантаження. Навантажений зубок здійснює відносно своєї твірної поздовжні й поперечні ковзання. Сили реакції вибою спричинюють складний напружений стан вражаючої та вихідної з тіла вінця частини зубка. Різні точки контакту зубків з породу здійснюють нерівномірне ковзання. Сили тертя-сколювання сприяють виникненню моменту скручування зубка.

Проникнення вражаючої частини твердосплавного зубка в породу, а також обертальний рух шарошки по вибою спричинює виникнення (рис. 2): дотичних та згинаючих й стискаючих напружень. Це різко знижує міцність з'єднання „зубок-шарошка”.

У місці контакту спряжених поверхонь виникають мікроковзання, мікродеформації та мікроруйнування.

Аналізом характеру пошкоджень поверхонь отворів виявлені сліди від дії сил стиску що виникають вздовж осі зубка при втисненні його в породу вибою. Також виявлено сліди деформації від дії згину на зубок залежно від орієнтації його ковзання по вибою. Фіксували й притирання, фреттинг-корозію, пошкодження локальних ділянок стінок отворів спричинені прокручуванням зубка навколо своєї осі в отворі вінця шарошки.

Аналізом характеру пошкоджень породоруйнівного оснащення шарошок виявлено що зі збільшенням величини осьового навантаження на долото збільшуються випадки розколювання, руйнування твердосплавних зубків.

### **Література:**

1. Неупокоев В.Г. Вопросы теории и практики проектирования, производства и эксплуатации буровых шарошечных долот / Неупокоев В.Г. – Самара: Издательство Самарского научного центра Российской академии наук, 2000. – 376 с.
2. Морозов Л.В. Повышение долговечности буровых долот на основе компьютерного анализа элементов конструкций и их сборки: дис. ... кандидата техн. наук: спец. 05.02.08 / Морозов Леонид Владимирович. – Самара, 2003. – 180 с.
3. Яким Р.С. Науково-прикладні засади підвищення довговічності тришарошкових бурових доліт: дис. ... доктора техн. наук: 05.05.12 / Яким Р.С. – Івано-Франківськ, 2012. – 293 с.
4. Яким Р.С. Підвищення якісних показників вставного породоруйнівного оснащення шарошок тришарошкових бурових доліт / Р.С. Яким, Ю.Д. Петрина, І.С. Яким // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2013. – № 3 (48). – С. 127 – 138.

УДК 621.82

Л.М. Слободян, Т.Б. Пиндус

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## ГВИНТОВИЙ ЗАВАНТАЖУВАЧ-ЗМІШУВАЧ З ПЕРЕСИПОМ

L. Slobodyan; T. Pyndus

### SCREW MIXER LOADING MACHINE

Гвинтовий завантажувач-змішувач з пересипом виконано у вигляді рами 1, на якій встановлено завантажувальний горизонтальний 2 і вертикальний 3 циліндричні кожухи з гвинтовими робочими органами горизонтальними 4 і вертикальними 5 з приводами 6 з запобіжними муфтами. При цьому горизонтальний кожух 2 встановлено під кутом 2-5° до горизонту в сторону подачі сипкого матеріалу, а нижній кінець вертикального кожуха 3 встановлено на віддалі діаметра гвинтового робочого органу.

До кінця горизонтального завантажувального робочого органу секції 4 жорстко приєднана гнучка гвинтова спіраль 7 з гнучким кожухом 8 для збільшення зони завантаження гвинтового конвеєра. На кінці гнучкого циліндричного кожуха 8 жорстко встановлено циліндричний наконечник 9 з конічним кінцем для зручності його введення в купу сипкого матеріалу 10. Наконечник 9 забезпечує не попадання великих кусків в зону транспортування, які можуть спричинити його поломку і сприяє кращому просипанню сипких матеріалів в зону транспортування, який виконано у вигляді циліндричних елементів 11 віддалі між сусідніми секціями є більшою у 2-6 разів самих більших зернин транспортних матеріалів і які жорстко з'єднані з переднім 12 і заднім 13 корпусами наконечника 9.

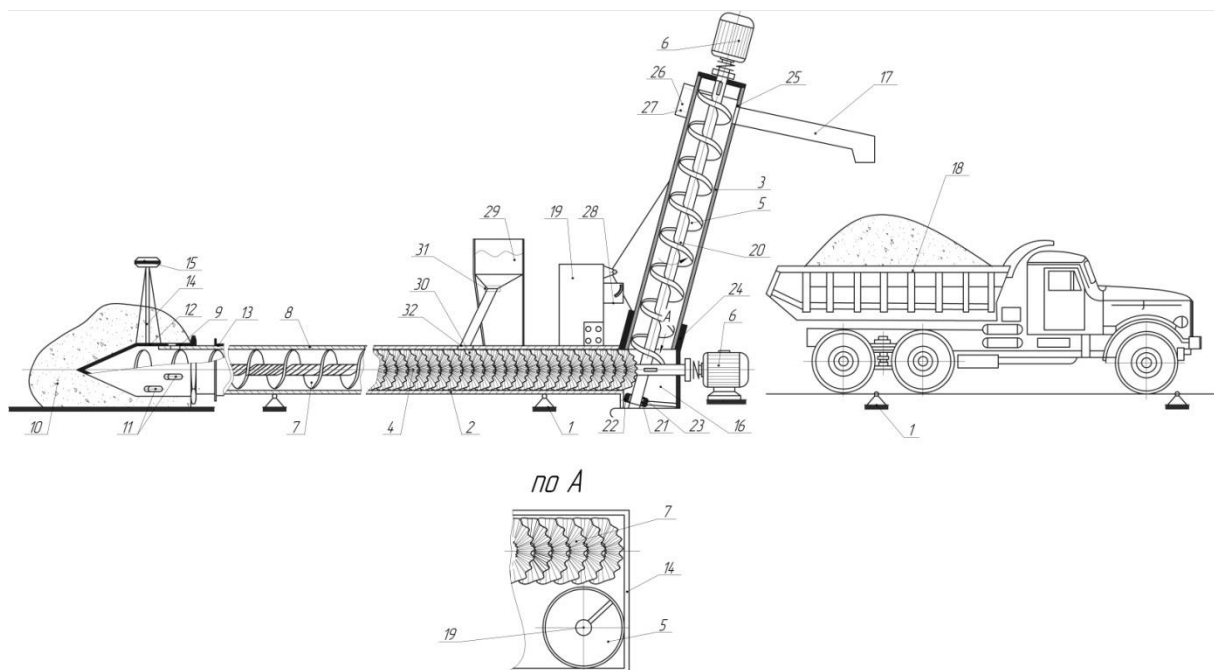


Рис. 1. Гвинтовий завантажувач-змішувач з пересипом

Наконечник 9 жорстко прикріплений до підтримуючої триопорної піраміди 14 з можливістю їх переустановлення в інше місце, коли з одного місця купи сипкого матеріалу вибрано певну кількість матеріалу. Зверху піраміди 14 жорстко встановлена рукоятка 15 для зручності їх переустановлення в процесі вибору матеріалу в інше місце.

Горизонтальний кожух 2 і вертикальний кожух 3 з'єднані між собою жолобом 16 і утворюють сприятливу об'ємну зону збірника сипкого матеріалу циліндричної форми, в якій встановлено нижній кінець вертикального гвинтового робочого органу 5.

На виході вертикального кожуха 3 жорстко встановлено вивантажувальний лоток 17 для транспортування сипких матеріалів в ємність або кузов 18 машини. Вертикальний кожух 3 жорстко встановлено в механізм регулювання кута його нахилу до горизонту. До рами 1 жорстко закріплено пульт керування 19.

Вал 20 вертикального гвинтового робочого органу 5 знизу встановлено в упорний сферичний підшипник 21 з можливістю кругового провертання в корпусі 22, який по зовнішньому діаметру виконано циліндричної форми, який є у жорсткій взаємодії з внутрішньою циліндричною поверхнею нижньої частини кожуха 3. Зверху підшипник закритий ущільнюючим диском 23. Крім цього, вертикальний вивантажувальний лоток 17 є у взаємодії з зовнішнім діаметром вертикального жолоба 3 в зоні вивантаження сипких матеріалів через гумову прокладку 24, яка створює відповідне тертя і сприяє жорсткому утримувannya вивантажувального лотка 17. У зоні вивантаження сипкого матеріалу у вертикальному жолобі 3 виконане відкрите прямокутне вікно 25 на половину зовнішнього діаметра. А сам вивантажувальний жолоб по зоні вивантажувального вікна 25 жорстко закріплений хомутом 26 відомої конструкції стяжними болтами 27 з можливістю кругового провертання в межах відкритого прямокутного вікна. Вертикальна секція 3 жорстко закріплена до механізму нахилу 28 відомої конструкції.

Крім цього по середині довжини горизонтального гвинтового робочого органу 4 на рамі 1 жорстко встановлено бункер 29 сипких стимуляторів росту тварин чи рослин за яким на валу горизонтальної секції 4 жорстко встановлені гофровані гвинтові змішувальні елементи 30 зі змінним кроком їх збільшення в сторону руху змішувального матеріалу.

Крім цього знизу бункера 29 сипких стимуляторів росту жорстко встановлено вібратор 31 відомої конструкції, який включається в разі потреби. Знизу бункера 29 встановлено заслонка 32 для зміни подачі сипкого стимулюючого матеріалу.



УДК 621.923

**В.Ю. Солод<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.; Д.Г. Музичка<sup>1</sup>, канд. техн. наук;**

**С.П. Сапон<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доц.**

<sup>1</sup>Дніпровський державний технічний університет, Україна

<sup>2</sup>Чернігівський національний технічний університет, Україна

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШИРИНИ РІЗАЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ ШЛІФУВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ НА ФОРМУ ЙОГО ПРОФІЛЮ**

**V. Solod, Ph.D, Assoc. Prof.; D. Muzychka, Ph.D.; S. Sapon, Ph.D, Assoc. Prof**  
**RESEARCH OF SURFACE WIDTH CUTTING GRINDING TOOL ON THE FORM  
ITS PROFILE**

Для процесів шліфування ефективність визначається показниками працездатності залежно від вимог, що пред'являються: для чорнового шліфування - максимальна продуктивність обробки і мінімальна собівартість при забезпеченні заданих показників якості оброблюваної поверхні; для чистового шліфування - забезпечення необхідної точності і якості поверхні при максимально можливій продуктивності обробки.

Для кожної з цих вимог шліфувальний інструмент повинен мати відповідну форму різальної поверхні круга в радіальному перерізі (трикутну або трапецеїдальну), що змінюється залежно від режимів обробки, властивостей інструменту або оброблювального матеріалу. Форма різальної поверхні шліфувального круга в радіальному перерізі визначається довжиною головного різального конуса (ГРК), шириною перехідного кругового пояса (ПКП) за умови його наявності, і довжиною допоміжного різального конусу (ДРК). Геометричні параметри різальної поверхні шліфувального круга за різних умов обробки визначаються природним (самоорганізованим) процесом зношування.

Зникнення ПКП і утворення трикутної форми різальної поверхні означає, що збільшення числа активних різальних зерен за рахунок вступу в процес обробки головного різального конуса більшої площі стає неможливим. Таким чином, резерв площі різальної поверхні круга вичерпується.

Дослідженнями авторів [1] встановлено, що існує певна межа між зоною роботи круга з резервом площі різальної поверхні і зоною прискореного зношування, за яким експлуатація абразивного інструменту недоцільна, оскільки міняється механізм його зношування - перехід від мікрівикрашування і викрашування до виривання зерен із зв'язки.

Відсутність на різальній поверхні круга кільцевого пояса вказує на недостатність робочої ширини [2, 3].

Таким чином, ширина алмазозосного шару у значній мірі впливає на форму робочої поверхні круга. Для того, щоб правильно оцінити працездатність шліфувального круга, необхідно враховувати профіль різальної поверхні і її стан.

### **Література**

1. Захаренко И.П. Глубинное шлифование кругами из сверхтвердых материалов / И.П. Захаренко, Ю.Я. Савченко, В.И. Лавриненко. – М. : Машиностроение, 1988. – 56 с.

2. Коломазин В.М. Влияние формы режущего профиля круга при заточке на эксплуатационные показатели / В.М. Коломазин // Интенсификация процессов абразивной обработки и повышение качества деталей: Сб. науч. трудов. – Л. : ВНИИМАШ, 1988. – С. 13 – 21.

3. Коломазин В.М. Выбор характеристики круга из эльбора на основании анализа процесса образования его профиля для глубокой заточки / В.М. Коломазин // Экспресс-Информация. Режущие инструменты. Абразивы. – 1984. – Вып. 1. – С. 2 – 8.

УДК 621.19.41

**В.Б. Струтинський, докт. техн. наук, проф.; О.Я. Юрчишин, канд. техн. наук, доц.;**  
**В.В. Синьов**

НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. І.Сікорського», Україна

**ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДИНАМІЧНИХ КОЛИВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ  
ПРИ ОБРОБЦІ ПОВЕРХОНЬ ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ СПЕЦІАЛЬНИМ  
ІНСТРУМЕНТОМ**

**V. Strutynsky, Dr., Prof.; O. Yurchishin, Ph.D., Assoc. Prof.; V. Synov**

**DEFINING OF A DYNAMIC OSCILLATORY PROCESSES PARAMETERS THAT  
ARE TAKING PLACE IN PROCESSING OF SURFACES OF DEEP HOLES USING  
SPECIAL TOOLS**

Високоточна обробка глибоких отворів спеціальним інструментом включає операцію нарізки спіральних канавок на поверхні отворів. Процеси механічної обробки даного виду мають характерні особливості, зокрема вони супроводжуються виникненням коливань інструмента. Під дією нестационарних сил різання виникають крутильні та згинальні коливання борштанги. Вони досліджені теоретично із врахуванням розподіленості параметрів по довжині інструмента. Обґрунтована динамічна модель динамічної системи. Вона включає вибір превалюючої площини поперечних коливань інструмента та обґрунтування крайових умов. Прийнята базова розрахункова схема у вигляді балки на двох опорах. Проміжні опори та спеціальні умови закріплення інструмента по краях враховані введення спеціальних зворотніх зв'язків. Врахована наявність дисипативних процесів у системі з розподіленими параметрами. Це здійснено асимптотичним переходом у математичній моделі. Спочатку розроблена математична модель системи без втрат енергії, а потім вона асимптотично узагальнена на випадок системи із втратами енергії. Проведена оцінка достовірності розробленої математичної моделі. В результаті математичного моделювання визначені частоти і форми власних згинальних та крутильних коливань довгомірного інструмента. На основі аналізу спектра частот запропоновані раціональні режими різання при обробці глибоких отворів.

Запропоновані інерційні демпфери коливань інструмента. Вибрані раціональні параметри демпферів, що забезпечують зменшення інтенсивності коливань інструмента на частотах близьких до резонансних.

Для інструментальної системи верстата з демпферами розроблена математична модель для визначення параметрів динамічних процесів, що виникають при обробці глибоких отворів. Модель забезпечує визначення силових динамічних навантажень при різанні і розрахунок віброшвидкостей та вібропришвидшень інструмента. Модель враховує наявність випадкових складових сил різання та визначає її вплив на якість обробки глибоких отворів. По результатам математичного моделювання розроблені рекомендації по раціональній обробці поверхонь глибоких отворів, зокрема при нарізанні в отворах гвинтових канавок.

УДК 624.9.06

**С.В. Струтинський, канд. техн. наук**

НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. І.Сікорського», Україна

## **ОСОБЛИВОСТІ ІМПУЛЬСНИХ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ, ЩО СУПРОВОДЖУЮТЬ ПОЗИЦІЮВАННЯ ПРОСТОРОВОЇ СИСТЕМИ ПРИВОДІВ**

**S. Strutynsky, Ph.D.**

### **FEATURES OF PULSE DYNAMIC PROCESSES THAT ACCOMPANYING POSITIONING OF A SPATIAL DRIVE SYSTEM**

Мехатронні просторові системи приводів є основою прогресивного технологічного обладнання, зокрема маніпуляторів, промислових роботів, систем спеціального призначення.

Рациональним схемним рішенням просторової системи приводів є комплексне застосування просторових дискретних приводів швидких переміщень та приводів мікропереміщень. При виході дискретних приводів у фіксоване положення (позицію) виникають імпульсні (ударні) навантаження пов'язані із постановкою окремих приводів на упор. Ударні навантаження породжують специфічні коливальні процеси в просторовій системі приводів. Для дослідження коливальних процесів запропоновано спеціальні методи, які ґрунтуються на розділенні окремих процесів на групи відповідно протяжності процесів або масштабів їх швидкодії.

Колівальні процеси в просторовій системі приводів при позиціюванні виконавчого органу мають складну природу і відбуваються в певній послідовності. Для дослідження закономірностей коливальних процесів використана базова схема, яка відповідає постановці на упор одного із шести приводів просторової системи у вигляді механізму-гексапода, який в номінальному положенні відповідає октаедру.

Для рівномірного закону переміщення привода розв'язана задача визначення геометрії системи, швидкостей та пришвидшень окремих вузлів і деталей системи приводів. При цьому знайдені переміщення шарнірів платформи, переміщення, швидкість і пришвидшення центра мас платформи та швидкості поперечно-кутових переміщень платформи відносно центра мас, які є початковими умовами для розрахунку процесу позиціювання.

Імпульсні динамічні процеси позиціювання платформи визначені по наступній схемі. Прийнято, що постановка ведучого привода на упор є процесом нескінченно швидким в порівнянні із подальшим рухом платформи. Процес постановки на упор визначено на основі припущення про відсутність впливу на нього процесу руху платформи. Процес постановки на упор має дві можливі форми: аперіодичну і коливальну. Аперіодична форма відповідає приводу із гальмуванням в кінці ходу. Післядія процесу постановки привода на упор дає початкову умову для визначення процесу просторового переміщення платформи. Він описується динамічним переміщенням центра мас та просторовим сферичним рухом платформи відносно центра мас. Проведено розрахунки коливального процесу переміщення центра мас. Для цього використані імпульсні (вагові) характеристики динамічної системи платформи.

Процес поперечно-кутових переміщень платформи визначено шляхом чисельного інтегрування рівнянь сферичного руху платформи по спеціально розробленій процедурі.

УДК 621.9(075.8)

**В.В. Ступницький, докт. техн. наук, доц.; Н.В. Ступницька, канд. техн. наук, доц.**  
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

## **ВИКОРИСТАННЯ ІМІТАЦІЙНОГО РЕОЛОГІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ФОРМОУТВОРЕННЯ ВИРОБІВ МАШИНОБУДУВАННЯ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ОРІЄНТОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**V. Stupnytskyu, Dr., Prof.; N. Stupnytska, Ph.D., Assoc. Prof.**

### **USING OF THE MACHINERY PRODUCTS RHEOLOGICAL SIMULATION FOR FUNCTIONAL-ORIENTED TECHNOLOGIES PLANNING**

Впровадження функціонально-орієнтованого технологічного проектування, теоретично базується на багаторівневому проектуванні структури технологічного процесу [1]. Між окремими рівнями діють ітераційні та рекурентні зв'язки, що дозволяє синтезувати і коректувати структуру технологічного процесу на базі принципів комбінованих технологій; макро-, мікро- і нанотехнологій та функціонально-орієнтованих технологій. У цьому випадку, реалізується якісно новий методологічний підхід у проектуванні технологічних процесів, що полягає у формуванні технологічних дій і властивостей виробу залежно від особливостей експлуатації функціональних елементів виробу. При цьому забезпечується можливість повної адаптації виробу до умов його експлуатації, а також виконання заданого, необхідного або граничного експлуатаційного потенціалу цього виробу в машині або технологічній системі [1].

Таким чином, зв'язок між функціональними властивостями виробу та технологією їх забезпечення повинен носити прогностичний характер. Очевидно, що експериментальні дослідження у випадку необхідності прийняття оперативного технологічного рішення є вкрай небажаними через значну трудомісткість та відсутність можливості диференційованого аналізу впливу окремих чинників на результат проектування. Наприклад, аналіз впливу геометрії різального інструменту, його коливань у всіх напрямках, деформаційні явища (в т.ч. залишкові) мають суттєвий вплив на мікротопологію поверхні [2]. Проте, проаналізувати їх вплив диференційовано можна лише використавши можливості імітаційного реологічного та аналітичного моделювання, а експериментальним шляхом можна лише підтвердити адекватність їх сукупного впливу на формування мікрогеометрії остаточно.

Особливістю використання результатів реологічного моделювання процесу різання в зоні формоутворення поверхні оброблюваної деталі є можливість визначити основні напружено-деформаційні чинники формування таких важливих параметрів, як залишкові напруження, мікротопологія поверхні, наклеп поверхневого шару тощо. Встановлення цих показників сприятиме встановленню прогностичних залежностей між структурою і параметрами технологічних переходів та експлуатаційними характеристиками оброблених деталей. Це створить передумови реалізації принципу функціонально-орієнтованого технологічного проектування.

#### **Література:**

1. Stupnytskyu Vadym. New features CAD/CAM/CAE systems in mechanical engineering // Europäische Fachhochschule: Wissenschaftliche Zeitschrift, ORT Publishing. Stuttgart, Germany. № 1. – 2012 (November-Dezember). Section 13. P. 327 – 329.
2. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.

УДК 621.326

Н.І. Хомик, канд. техн. наук, доц; Н.А. Рубінець

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

## ВИКОРИСТАННЯ ТРАКТОРІВ ІНТЕГРАЛЬНОЇ СХЕМИ

N. Khomyk, Ph.D., Assoc. Prof.; N. Rubinets

### USE OF TRACTORS INTEGRATED CIRCUITS

Вирощування сільськогосподарських культур за прогресивними технологіями має забезпечувати збереження родючості ґрунтів, підвищення врожайності, зниження трудомісткості виробництва с/г культур при загальній економії матеріальних витрат. Це підтверджують результати багаторічних випробувань універсальних тягових засобів у різних регіонах і на різних видах с/г робіт.

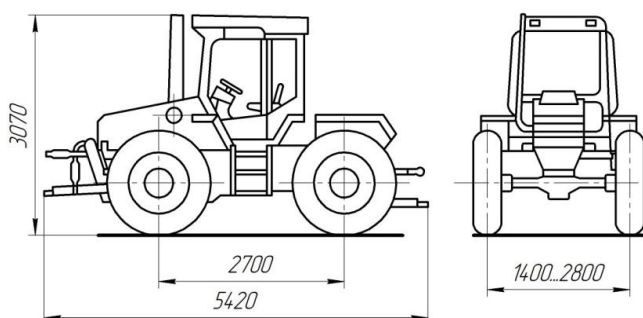
Враховуючи сучасний стан виробництва с/г техніки у нашій країні, та високу вартість придбання закордонних машин доцільним є використання існуючих знарядь, які б приєднувалися до універсальних тягових агрегатів, наявних у господарствах, зокрема тракторів інтегральних схем, які використовують при виконанні багатьох с/г операцій.

Знаходячись на стику енергонасичених тракторів класу 14 і 30кН, трактори ЛТЗ-155 (рис. 1) агрегатуються і досить ефективні з більшістю існуючих сільськогосподарських машин, які працюють з тракторами МТЗ-82 і Т-150К. Ці трактори працюють з чотирикорпусними плугами, дисковими лушпильниками, зчіпкою з двох культиваторів КПС-4, агрегатом із трьох сівалок СЗ-3,6 на посіві зернових культур та інших машин [3].

Ефективність ЛТЗ-155 порівняно зі своїми аналогами - це здатність працювати з 9-тонними причепами і розкидачами добрив тракторів класу 30кН. Найбільш ефективно такий трактор працює із широкозахватними машинами для вирощування різноманітних сільськогосподарських культур.

Універсально-просапний трактор інтегральної схеми ЛТЗ-155 (див. рис. 1) призначений для вирощування і збирання цукрових буряків, кукурудзи, соняшника, картоплі, овочів та інших сільськогосподарських культур за існуючими і прогресивними технологічними процесами з поєднанням операцій у складі широкозахватних одноопераційних та комбінованих агрегатів із с/г машинами на передній і задній навісках з можливістю одночасного привода активних робочих органів та розміщенням на тракторі місткостей для насіння, добрив і гербіцидів; оранки, суцільної культивування, внесення добрив, збиральних, транспортних, вантажно-розвантажувальних та інших робіт у всіх основних ґрунтово-кліматичних зонах країни.

Принципи інтегральності трактора ЛТЗ-155 [3]: постійна реалізація зчіпної маси



при будь-яких навантаженнях на колеса однакового розміру; майданчик для технологічних місткостей; передня і задня начіпні системи і роздільне копіювання рельєфу ґрунту; знаряддями, що на них навішені; розвинута мережа валів відбору потужності; можливість зміни режимів повороту керованих коліс;

Рисунок 1. Схема трактора ЛТЗ-155

повний реверс поста керування; центральне розташування кабіни з можливістю перестановки в простір над заднім мостом і перед двигуном; мінімальна дія рушіїв на ґрунт; блочно-модульний принцип компоновки; можливість зміни агропросвіту.

Особливістю інтегрального трактора ЛТЗ-155 є те, що він виконаний за блочно-модульним принципом і добре пристосований для модульного комплектування на його базі машинно-тракторних агрегатів різноманітного призначення. Трактор об'єднує в собі функції тягової машини з достатньо високими тягово-зчіпними властивостями, енергетичного засобу з розвинутою системою відбору потужності і монтажної бази, що включає технологічний майданчик і 2 начіпні системи. При вирощуванні культур, які мають ширину міжрядь 45см передбачено встановлення спарених коліс з розміром шин 9,5×42 (ширина шини 241мм). Трактор ЛТЗ-155 обладнується двигуном ЯМЗ-236-Д2 з експлуатаційною потужністю 150к.с. з питомою витратою палива 220г×кВт/год., передній і задній начіпні пристрої триточкового типу для комплектування багатоопераційних комбінованих агрегатів. Для агрегування приводних машин трактор обладнано 4-ма ВВП. Експлуатаційна маса трактора складає 5600кг [3].

У технології вирощування сільськогосподарських культур процес збирання відноситься до найбільш трудомістких операцій. При вирощуванні цукрових буряків з міжряддями 45см та застосуванні шестирядної системи машин використовують в основному універсально-просапні трактори (типу МТЗ-80 та ЮМЗ-6) тягового класу 14кН та спеціалізований трактор (типу Т-70С).

Перспективна технологія вирощування цукрових буряків передбачає використання інтегрального трактора ЛТЗ-155, фронтальної гичкозбиральної машини МБФ-6 та причіпної коренезбиральної машини МКК-6-02, тобто процес збирання гички і коренів здійснюється одним тяговим агрегатом, який суміщає ці операції в одному проході або може виконувати їх роздільно.

Підвищення ефективності однофазного збирання цукрових буряків забезпечується використанням інтегрального трактора з реверсним постом управління типу ЛТЗ-155, який дозволяє виконувати видалення гички, викопування і очищення коренеплодів в одному проході на робочій швидкості 6...8км/год.

Нові трактори типу ХТЗ-161 та ХТЗ-16131 є недостатньо пристосованими для суміщення операцій і роботи з бурякозбиральними машинами, не мають реверсного поста управління.

Перспективним варіантом технології збирання цукрових буряків є використання існуючих причіпних коренезбиральних машин при агрегуванні їх з новими інтегральними тракторами та універсальними енергетичними засобами. В цьому випадку відпадає необхідність у детальному опрацюванні технологічного процесу машин та параметрів, а також режимів роботи робочих органів. При опрацюванні можливості агрегування існуючих коренезбиральних машин з інтегральними тракторами та універсальними енергетичними засобами виникають труднощі в адаптації гідравлічної системи енергозасобу до машини для можливості використання системи автоматичного водіння машини рядками коренеплодів.

### **Література:**

1. Головчук А.Ф. Прогресивна технологія вирощування цукрових буряків з використанням орно-просапних тракторів ХТЗ // Збірник наукових праць Уманського державного аграрного університету. – Умань, 2003.
2. Доманьков В.М., Мармалюков В.П., Семерной В.С. Возделывание корнеплодов по интенсивной технологии. – Минск: Урожай, 1990.
3. Универсально-пропашной трактор ЛТЗ-155. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – Липецк, 1997.

**УДК 621.91**

**В.В. Хорошайло, І.І. Полупан**

Донбаська державна машинобудівна академія, Україна

## **ЗМЕНШЕННЯ АМПЛІТУДИ КОЛИВАНЬ ПРИ ОБРОБЦІ ОТВОРІВ НА ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ**

**V. Khoroshailo, I. Polupan**

### **DECREASING OF THE VIBRATION AMPLITUDE IN CUTTING PROCESS OF HOLES ON TURNING LATHES**

Аналіз умов та результатів обробки деталей для важкого машинобудування показує, що ефективна обробка великогабаритних отворів в деталях типу втулок і циліндрів є важливим завданням. Процес обробки отворів на токарних верстатах розточувальними різцями ускладнюється тим, що виникають несприятливі умови різання, пов'язані з великими вильотами інструменту, що веде до втрати вібростійкості різального інструменту. Це призводить до значного зниження якості оброблюваних поверхонь.

В процесі розточування довжина обробки отвору визначає виліт різального інструменту, а при роботі з великим вильотом розточувального різця виникає досить великий прогин його державки відносно закріплення в різцетримачі, що призводить до виникнення значних деформацій і динамічних навантажень різця. Підвищення жорсткості різального інструменту дає змогу знизити амплітуду коливань в процесі обробки [1].

Залежно від характеристик пружної системи і прикладених зовнішніх сил виникають затухаючі або такі, що самозбуджуються коливання з різною тривалістю перехідного процесу.

З введенням в систему додаткової жорсткості, кут орієнтації осей жорсткості зменшується. Додаткову жорсткість можливо отримати за рахунок використання при обробці спеціального інструментального оснащення [2, 3], що створює рухливу опору державці різця поблизу вузла кріплення різальної пластини. В цьому випадку коливання зменшуються і поступово наближаються до сталих значень.

За результатами моделювання і експериментальних досліджень можна стверджувати, що підвищення жорсткості розточувального різця за рахунок застосування розробленої інструментальної системи веде до підвищення вібростійкості процесу розточування. Зниження амплітуди коливань вершини розточувального різця значно підвищує якість обробленої поверхні.

Література:

1. Компьютерное моделирование и расчет напряженно деформированного состояния расточных резцов. Гузенко В.С., Хорошайло В.В., Соловьев В.В. / Надежность инструмента и оптимизация технологических систем. Сб. научных трудов. Вып. 32. / – Краматорск: ДГМА, 2013. – С. 413 – 417.

2. Пат. на кор. модель 74324 Україна «Спосіб розточування глибоких отворів великих діаметрів на токарних верстатах.» / В.В. Хорошайло, № u201204051; заяв. 02.04.12; Опубл. 25.10.2012, бюл. № 2.

3. Пат. на кор. модель 85983 Україна «Рухомий люнет для розточування отворів великих діаметрів та довжини на токарних верстатах» / В.В. Хорошайло, № u211306935; заяв. 03.06.13; Опубл. 10.12.2013, бюл. № 23.

УДК 621.91.01

**В.В. Шанайда, канд. техн. наук, доц.; Р.А. Склярів, канд. техн. наук, доц.**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРІЇ ЗУБІВ МІТЧИКА НА СИЛОВІ ПАРАМЕТРИ У ПРОЦЕСІ РІЗЕНАРІЗАННЯ**

**V. Shanaida, PhD, Assoc. Prof.; R. Skliarov, PhD, Assoc. Prof.**

### **INFLUENCE RESEARCH GEOMETRY TEETH OF TAP ON THE POWER PARAMETERS DURING INTERNAL THREAD FORMATION**

Процес нарізання різей мітчиками своїми виточками сягає глибокої давнини. Майже 700 років тому з'явилися перші описи інструменту для нарізання внутрішньої різі, а за останні 200 років [1] інструмент для утворення внутрішніх різей зазнав деяких модифікацій, але принципово не був видозміненим. Протягом багатьох десятиліть науковці досліджували процеси внутрішнього різетування при використанні мітчиків різної геометричної форми, із специфічним розміщенням зубів по перах, а також процеси утворення різевого профілю при використанні пластично деформуючих мітчиків.

Слід відмітити вагомий внесок д.т.н., проф. Нагорняка С.Г. у розробку теоретичної бази для комплексного аналізу процесів різання, в тому числі і процесів різенарізання [2], на основі формування багатоваріантних структур (структурного синтезу) для передачі навантаження у зону різання [3]. Сформульовані ним принципові положення та теоретичні основи векторного структурно-схемного синтезу інструментального оснащення знайшли своє продовження у розробках багатьох дослідників та різних наукових шкіл [4, 5].

Аналіз роботи механічних дільниць на кількох виробничих площадках показав, що поряд з процесами автоматизованого та напівавтоматизованого нарізання різей широко використовують механічні пристрої для нарізання різей мітчиками без фіксованої подачі інструменту в осьовому напрямі. Враховуючи ці обставини та проаналізувавши результати опитування верстатників щодо специфіки такої обробки, ми дійшли висновку про доцільність більш глибокого вивчення цього процесу на етапі різання мітчика в оброблюваний отвір.

Для виконання дослідження було відібрано партію мітчиків (ГОСТ 3266-81) для нарізання різі М10-7Н (крок 1.5 мм) в глухих отворах в кількості 25 одиниць. За результатами візуального спостереження встановлено, що форма першого зуба, який розпочинає процес різання, є відмінною для кожного мітчика. Це свідчить про те, що процес нарізання стружкових канавок мітчика носить випадковий характер і ніяк не пов'язаний із попереднім позиціонуванням цього інструменту щодо початку нитки різьби на забірній частині. Для подальшого аналізу всю вибірку інструментів умовно було розділено на три групи і всі подальші викладки носять узагальнений характер щодо кожної групи інструментів. В першу групу було виділено мітчики, в яких нитка різьби розпочиналась із зуба, що мав ширину вздовж осі інструменту меншу за половину кроку нарізуваної різі. Другу групу склали інструменти, в яких ширина зуба вздовж осі інструмента сягала половини кроку нарізуваної різі  $\pm 10\%$  від величини кроку. Слід зазначити, що ця група була найбільш малочисельною. Третю групу склали інструменти із шириною першого зуба більшою за половину кроку різі (рис. 1). Найбільшу чисельність цієї групи можна пояснити впливом суб'єктивного фактору: візуальне сприйняття інструменту верстатником, який проводив його позиціонування перед нарізанням стружкових канавок; або випадковими факторами для технологічного



процесу автоматизованого виготовлення мітчиків в умовах масового виробництва.

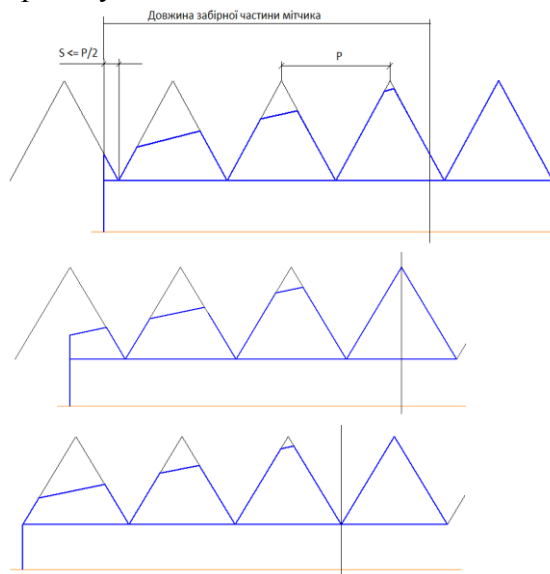


Рисунок 1. Геометричні схеми для аналізу трьох виборок мітчиків

а) загальна розрахункова схема для вивчення геометрії зубів забірної частини мітчика

б) типова геометрія першого та наступних зубів мітчика при умові, що ширина першого складає половину кроку нарізуваної різі

в) типова геометрія першого та наступних зубів мітчика при умові, що ширина першого складає більше за половину кроку нарізуваної різі

При аналізі силових факторів виходили із припущення, що вони функціонально залежні від площі зрізуваного шару металу. Слід зауважити, що приймали до уваги не площі зубів по передній поверхні вздовж нитки різьби на кожному наступному пері, а різницю площ між попереднім та наступним зубами, оскільки кожен попередній зуб зрізає частину матеріалу, яка перекривається площею наступного зуба.

Результати проведених вимірювань показали, що найбільш ефективними для забезпечення продуктивності обробки є мітчики першої групи (рис. 1,а). В цьому випадку перший на наступні зуби за один оберт зрізають найменший об'єм матеріалу і максимально ефективно утворюють направляючий канал для зубів другого та наступних витків. Найменші значення крутного моменту на етапі врізання спричиняють мінімальні скручування пер, а відповідно і депланацію зубів вздовж пера мітчика, що спрляє підвищенню геометричної точності нарізуваної різі.

Нарізання стружкових канавок проводять після формування різевого профілю мітчика та його забірної частини, тому ми рекомендуємо запровадити його попередню орієнтацію перед цією операцією з метою мінімізації осьового перерізу зубів на першому витку забірної частини мітчика і ввести додаткову операцію щодо підрізання зубів мітчика на першому витку з боку нижнього торця інструменту.

#### **Література:**

1. <https://uchil.net/?cm=35491>
2. Нагорняк С.Г. Основы многовариантного формирования передачи нагрузок на метчик/ Нагорняк С.Г., Шанайда В.В. // Информатизация та нові технології, 1993, № 3 – 4, с. 44.
3. Патент 22579 UA, МПК В23В 31/02. Патрон для мітчиків [Текст] / Нагорняк Степан Григорович, Шанайда Володимир Васильович (Україна) – опубл. 17.03.1998. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/3683>.
4. Косарев Д.В. Повышение точности формообразования внутренних резьб фрезами с твердосплавными пластинами при планетарном движении инструмента: дис. ... кандидата технических наук: 05.02.07. / Косарев Д.В. – Москва, 2010. – 185 с.
5. Старушко А.А. Совершенствование технологии изготовления гаек с резьбой, формируемой пластическим деформированием: дис. ... кандидата технических наук: 05.03.05. / Старушко А.А. – Магнитогорск, 2006. – 144 с.

**УДК: 667.64:678.02**

**А.А. Шарко, докт. техн. наук, проф.**

Херсонский национальный технический университет, Украина

## **ФИЗИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУКТУРЫ ПРЕДВЕСТНИКОВ РАЗРУШЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ**

**A. Sharko, Dr., Prof.**

### **PHYSICAL AND PHYSICAL CHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE STRUCTURE OF THE PRECURSORS OF THE DESTRUCTION OF METAL CONSTRUCTIONS**

Метод акустической эмиссии (АЭ), основанный на регистрации волн напряжений, возникающих в результате изменения и разрушения структур материалов, является в настоящее время наиболее перспективным средством мониторинга ответственных объектов, позволяющим получать информацию о динамике происходящих процессов в реальном масштабе времени.

Анализ публикаций по обозначенной проблеме показывает, что в основу метода АЭ положено теоретическое обоснование акустических сигналов при изменениях структуры материалов. Обнаруживается двойственный механизм образования сигналов АЭ: дискретный характер изменений структуры развивающихся дефектов и непрерывное распространение акустических волн в среде.

Переход от дискретной модели зарождения сигналов АЭ в материале к континуальной модели распространения акустических волн в упругой среде производится путем экстраполяции функций, заданных в дискретных точках среды. При возникновении АЭ сигналов за счет образования структурных дефектов это должно проявляться в существовании продольных, сдвиговых и спиновых колебаний при образовании и в количественном перераспределении энергии от предвестников сигналов акустической эмиссии [1,2].

Предложена модель энергетического спектра сигналов акустической эмиссии в сложных структурах с внутренними степенями свободы. В механике сплошной среды простейшим аналогом такой модели может служить модель Коссера.

Кинематическими переменными в ней являются не только продольное и поперечное смещение масс в одной плоскости, но и угол поворота масс в той же плоскости. В настоящей работе сделана попытка перенести эти представления на распространение сигналов АЭ от развивающихся дефектов в средах сложной структуры.

Выполнен квантовомеханический расчет применимости модели сложной среды, инициирующей возникновения сигналов акустической эмиссии. Установлена трансляционная и ротационная инвариантность энергии в энергетическом спектре сигналов АЭ сред со сложной структурой. Представленная модель энергетического спектра сигналов акустической эмиссии позволяет определить отдельный вклад низкочастотной и высокочастотной составляющих энергетического спектра сигналов АЭ в средах сложной структуры.

Поскольку экспериментальное подтверждение модели характеристик предвестников возникновения сигналов АЭ, на атомном уровне выполнить невозможно, оценку их свойств может быть произведена посредством обработки данных рентгеноструктурного анализа [3].

Инициирование сигналов АЭ обуславливается структурными изменениями в

пространственной решетке. Эмиссия рентгеновского излучения обуславливается возбуждением внутренних оболочек атома внешними электронами.

Феноменологически среду возникновения сигналов АЭ на атомном уровне можно представить взаимодействием атомов *Fe*. В двухатомной цепочке железа существует ковалентная связь, образуемая путем объединения валентных электронов соседних атомов при перекрытии электронных оболочек. Механизм возникновения линейчатого спектра характеристического рентгеновского излучения может быть описан на основе электронных конфигураций атомов.

На примере однородной среды, состоящей из атомов *Fe* и экспериментальных данных рентгеноструктурного анализа доказана правомочность используемых подходов к описанию среды, инициирующей возникновение сигналов АЭ.

Спектральные линии, обусловленные переходами электронов в *K*-, *L*-, *M*-оболочки атома, образуют *K*-, *L*-, *M*-серии характеристического спектра.

Используя данные спектра атомов железа для *K*-серии можно определить скорости движения электронов в пространственной решетке атомов *Fe*.

$$v = \sqrt{\frac{2hc(\lambda_2 - \lambda_1)}{m\lambda_1\lambda_2}}$$

Доказано что изменение размеров пространственной решетки происходит в сторону ее сокращения, что является экспериментальным подтверждением предложенной модели энергетического спектра сигналов АЭ в сложной среде.

Возможный механизм образования внутренних напряжений в материалах, инициирующий возникновение сигналов АЭ, может быть описан с помощью эволюционных представлений теории дислокаций. При деформации металла изменяется расстояние между атомами под действием внешних сил, линии и плоскости, проходящие через атомы, искривляются, за счёт чего искажается кристаллическая решетка.

На основе современных представлений о строении атомного ядра атомов *Fe* выполнены расчеты характеристик среды предвестников АЭ сигнала: дефекта масс, энергии связи, удельной энергии связи, приходящаяся на один нуклон, а так же акустических параметров моделей АЭ сигналов: длины волны и скорости волн де Бройля, фазовой и групповой скорости, а так же граничных условий образования волн де Бройля. Выполненные расчеты являются основанием гипотезы о существовании корпускулярно-волнового дуализма сигналов АЭ от развивающихся дефектов.

### **Литература:**

1. Марасанов В.В., Шарко А.А. Наноструктурные модели инициирования сигналов акустической эмиссии // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник Луцьк 2017. – Вип.57 – С. 115 – 122.
2. Marasanov V., Sharko A. Mathematical Models for Interrelation of Characteristics of the Developing Defects with Parametr of Acoustic Emission Signals // International Fronter Science Letters Switzerland 2016 – V. 10 – P. 37 – 44.
3. Чубаров В.М. Определение соотношения двух- и трехвалентного железа в карбонатных горных породах по эмиссионным линиям К-серии рентгеновского флуоресцентного спектра Аналитика и контроль. 15, No3, 339 – 343 (2011).

УДК 621.9.048.6

**О.В. Шевченко, докт. техн. наук, проф.**

НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ ВИКОРИСТАННЯМ СПЕЦІАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОСНАЩЕННЯ**

**O. Shevchenko, Dr., Prof**

### **HEIGHTENING OF EFFICIENCY OF TURNING BY USE OF THE SPECIAL TOOLHOLDERS**

Підвищення ефективності токарної обробки є однією з важливих науково-технічних проблем сучасного машинобудування.

Безперервне зростання вимог до точності малих переміщень обмежує використання традиційних кінематичних ланок верстатів, які часто не забезпечують необхідної точності позиціонування робочих органів. Для позиціонування в мікрометричному, а особливо в нанометричному, діапазонах в приводах верстатів доцільно використовувати спеціальні пружні кінематичні пристрої, що виконують функції напрямних та виключають вплив зовнішнього тертя в останній передачі приводу на точність позиціонування.

Аналіз конструктивних особливостей відомих пристроїв з механізмами мікрорегулювання положення різального інструменту, технологічних можливостей автоматизованих токарних верстатів та типових деталей, що обробляються на них [1, 2], дозволяє встановити основні вимоги до таких пристроїв, а саме: - найбільший хід різального інструменту  $0,25 \div 0,3$  мм, що визначається за критерієм зносу різальних кромки і, наприклад, для твердосплавних різців при чистових операціях приймається  $h_3 = 0,2 \div 0,25$  мм; - стабільність положення вершини різального інструменту при позиціонуванні  $0,5 \div 1,0$  мкм; - крок підналадження в діапазоні  $1,0 \div 10,0$  мкм при дискретному позиціонуванні інструменту, що визначається вимогами до точності обробки із розрахунку  $\frac{1}{4}$  частини поля допуску на розмір поверхні, що обробляється; - жорсткість за напрямками дії складових сили різання не нижче  $10 \div 20$  Н/мкм; - лінійна залежність між переміщенням вершини інструмента (різця) та вхідною дією в приводі при позиціонування в напрямках до деталі та від деталі. У відповідності до вказаних вимог розроблено ряд конструкцій різцетримачів для верстатів токарної групи.

При обробці таких матеріалів, як високолеговані сталі і ряд сплавів кольорових металів, переміщення зливної стружки здійснюється в самих непередбачених напрямках, утрудняється спостереження за процесом різання, а сама стружка є потенційним джерелом важкого травматизму. Найбільшої уваги серед способів видалення стружки заслуговують способи її кінематичного дроблення, серед яких ефективністю і надійністю вирізняється вібраційне різання.

Сутність процесу вібраційного різання полягає в тому, що на прийнятну для даної операції кінематичну схему накладається додатковий направлений вібраційний рух інструменту відносно заготовки. При правильному виборі напрямку коливань, їх частоти та амплітуди вібраційне різання дозволяє надійно і ефективно дробити стружку. Суттєвим резервом підвищення ефективності вібраційного дроблення стружки є використання інструментального оснащення з пружними напрямними для зворотно-поступального вібраційного руху інструменту [3].

Сучасні методи різання дозволяють обробляти матеріали, що традиційно важко піддаються обробці і при цьому отримувати суттєво вищу якість обробленої поверхні. Однак значний розігрів різця при різанні корозійностійких та високоміцних сплавів,

необхідність в охолодженні спеціальними емульсіями є проблемами, що суттєво здорожують та ускладнюють процес обробки. Ефективним для обробки таких матеріалів є використання ультразвукового різання. Ультразвукове різання, це процес, при якому різцю за допомогою спеціального пристрою передаються високочастотні (ультразвукові) коливання, як правило, в напрямку швидкості різання. Серед відомих типів вібраційних приводів для ультразвукової обробки найбільше використовують електромагнітні та електро(магніто)стрикційні. Використання пружних елементів в інструментальному оснащенні для ультразвукової обробки реалізує переваги способу точіння з ультразвуком, забезпечуючи достатній рівень статичної жорсткості різцетримача, що дає можливість його використання в режимах із значними силами різання [4].

Одним з розповсюджених видів обробки на токарних верстатах є обробка консольним інструментальним оснащенням, до якого належать оправки, різцетримачі, борштанги. Особливістю обробки консольним інструментом є висока ймовірність виникнення вібрацій при різанні, що знижує точність, якість та продуктивність обробки деталей, обмежує технологічні можливості верстатів.

Одним із ефективних способів підвищення вібростійкості процесу розточування є підвищення демпфіруючої здатності борштанг. Одним із недоліків борштанг з демпфером є їх низька радіальна жорсткість в точці розміщення різальної пластини внаслідок наявності порожнини значного діаметру в корпусі для розміщення демпфіруючого пристрою. Для забезпечення в точці різання радіальної жорсткості консольної частини борштанги з порожниною на рівні жорсткості суцільного тіла консольної частини необхідно витримати умову, щоб діаметр порожнини  $d$  не перевищував половини діаметра  $D$  консольної частини корпусу борштанги, а саме:  $d/D \leq 0,5$  При виконанні цієї умови втрачається не більше  $3\div 5$  % радіальної жорсткості консольної частини борштанги і є можливість встановлення демпфера в її поздовжній порожнині. Крім того, забезпечення умов вібростійкої обробки консольним інструментом може здійснюватись шляхом раціонального вибору конструктивних параметрів оснащення з врахуванням відповідної орієнтації головних осей жорсткості пружної системи інструменту по відношенню до напрямку дії сили різання та вибором раціонального співвідношення жорсткостей оснащення за головними осями жорсткості [5].

На основі виконаних досліджень розроблені методика проектування, нові ефективні конструкції інструментального оснащення для мікрорегулювання різця, ефективного дроблення стружки в процесі різання, ультразвукової обробки, вібростійкого точіння та визначені основні вимоги до цього оснащення і розроблені рекомендації щодо його ефективного використання при токарній обробці.

#### **Література:**

1. Шевченко О.В., Гримуд Т.Г. Підвищення точності обробки на токарних автоматизованих верстатах шляхом мікрорегулювання положення різця. Вісник НТУУ "Київський політехнічний інститут", Машинобудування, вып. 59, Київ, 2010. с. 59 – 64.
2. Повышение производительности и надежности токарно-револьверных станков / В.Н. Шишкин, В.Е. Лоев, Л.И. Новицкий, А.В. Шевченко. – Киев: Техніка, 1986. - 95с.
3. Шевченко О.В., Беляєва А.Ю. Ефективне дроблення стружки при токарній обробці // Технологія і техніка друкарства / Збірник наукових праць – Київ: НТУУ „КПІ”, 2010. Вып. 4 (30). – с.131 – 137.
4. Шевченко О.В., Бальченко М.Ю. Пристрій для ультразвукової обробки / Матеріали 5 міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем», – Чернігів: 19-22.05.2015. с 114 – 115.
5. Шевченко О.В. Методи підвищення сталості процесу різання при токарній обробці нежорстким інструментальним оснащенням. Машинознавство № 8 (146). Київ, 2009. с. 16 – 23.

УДК 637.3

**М.М. Шинкарик, канд. техн. наук, доц.; О.І. Кравець, канд. техн. наук;**

**В.Г. Юкало, докт. біол. наук, проф.**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

### **ПРУЖНИЙ ФІЛЬТРУВАЛЬНИЙ ЕЛЕМЕНТ**

**M. Shynkaryk , Ph.D., Assoc. Prof., O. Kravets, Ph.D., V. Yukalo, Dr., Prof.**

#### **THE ELASTIC FILTER ELEMENT**

Важливою умовою ефективної роботи фільтрів є якісна регенерація фільтрувального елемента. В існуючому фільтрувальному обладнанні це вирішується по-різному.

Часто очистку фільтрувального елемента здійснюють шляхом його продування стиснутим повітрям, проте така регенерація передбачає зупинку процесу фільтрування, що є не бажаним.

Також одним із найбільш поширених способів очистки є протитечійна регенерація, проте її застосування призводить до ускладнення конструкції фільтра.

Існують фільтри для розділення суспензій, в яких, з метою відновлення фільтрувальної поверхні, застосовують вібраційні коливання. Така регенерація не потребує зупинки процесу фільтрування, але недоліком даного способу є руйнування частинок осаду під дією вібрацій фільтрувального елемента, що призводить до потрапляння осаду у фільтрат.

Представляє інтерес спосіб регенерації, що полягає у деформації пружного фільтрувального елемента. Деформації може здійснюватися під дією перепаду тисків: при закупорюванні пор такого фільтрувального елемента достатньо зменшити тиск процесу фільтрування. Також використовують фільтри з примусовою деформацією фільтрувального елемента.

Запропоновано конструкцію пружного фільтрувального елемента, що має вигляд циліндричної пружини, зазори між витками якої служать у якості фільтрувальних отворів. Даний фільтрувальний елемент можна використовувати у патронних фільтрах різних розмірів.

Регенерація здійснюється шляхом подачі зусилля стиску на фільтрувальний елемент, в результаті чого розміри зазорів між окремими витками пружини зменшуються, і частки, що закупорюють ці зазори, видаляються звідти (рис.). Регенерація триває менше 1 с та не передбачає зупинки роботи фільтра.

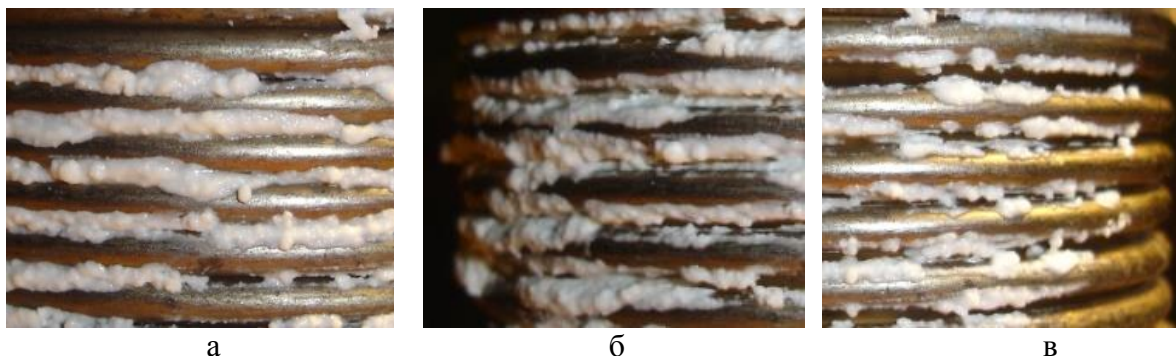


Рис. Фото пружного фільтрувального елемента:  
а) до регенерації; б) під час регенерації; в) після регенерації.

УДК 535.625.5

**В.В. Щиренко<sup>1</sup>; В.А. Андрійчук<sup>2</sup>, докт. техн. наук, проф.;**

**Я.М. Осадца<sup>2</sup>, канд. техн. наук; Р.Б. Кріль<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ООСП «Корпорація ВАТРА»;

<sup>2</sup>Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## **СВІТЛОДІОДНІ ОСВІТЛЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ В МАШИНОБУДУВАННІ**

**V. Shchyrenko; V. Andriychuk, Dr., Prof.; Y. Osadtsa, Ph.D; R. Krilj**

### **LED LIGHTING SYSTEMS IN MECHANICAL ENGINEERING**

Підвищення ефективності виробництва, покращення якості продукції, зниження втрати працівників машинобудівної галузі в значній мірі залежить від систем освітлення як приміщень, так і окремих робочих місць. Правильне вирішення питань штучного освітлення є важливим при виконанні точних зорових навантажень і особливо при наявності ахроматичних металевих виробів. В даний час широко впроваджуються в системи штучного освітлення напівпровідникові джерела світла. Це зумовлено як високою їх енергетичною ефективністю (до 200 лм/Вт), так і широкою гамою спектрального розподілу випромінювання. Відсутність пульсацій світлового потоку, дозволяє повністю позбутися стробоскопічного ефекту при токарних, фрезерувальних та інших роботах з рухомими об'єктами. При цьому показники зорової роботоздатності значно вищі, ніж при використанні люмінесцентних ламп та ламп розжарення з галогенним циклом. Використання світлодіодних ламп показує зниження протягом робочого дня показника адіспаропії, що характеризує зорову втому.

Найбільш широкого поширення в машинобудуванні набули світлодіоди білого свічення. При виконанні робіт, при яких вимагається значне зорове навантаження важливим параметром джерела світла в світловому приладі є корельована кольорова температура (ККТ).

В науково – дослідній лабораторії кафедри світлотехніки та електротехніки розроблено методику та змонтовано експериментальну установку на базі спектрофотометра СФ-46 по визначенню корельованої кольорової температури напівпровідникових джерел світла. Дана методика базується на експериментальних спектрах свічення світлодіодів та комп'ютерному розрахунку їх координат кольоровості та ККТ. Всі розрахунки проводяться в середовищі програми Matlab.

Спектральний склад випромінювання білих світлодіодів складається із двох смуг, розташованих в синій, з максимумом 440 нм, та в червоній, з максимумом 640 нм, областях. Синя смуга свічення зумовлена випромінюванням гетеропереходу на основі нітридів галію та індію. Червона смуга викликана свіченням люмінофору, яке збуджується світлодіодним свіченням. Сумарне свічення напівпровідникового джерела визначає його ККТ. Тому на сьогоднішній день номенклатура світлодіодних джерел світла за рахунок підбору люмінофора змінює ККТ від 3500 до 10000 К.

На основі проведених досліджень розроблені рекомендації по впровадженню напівпровідникових джерел світла для світлотехнічних систем машинобудівної галузі. Найбільш підходящими є джерела світла та світлові прилади на основі світлодіодів марок MTG2, XHP50.2, XP-G3, MKR, XM-L2, виробництва фірми Cree та марок LCW, LUW, виробництва фірми OSRAM, із корельованою кольоровою температурою від 3500 до 6000 К.

Також пропонується світлові прилади ДПП27-28У, ДСП07У, ДСП11 для освітлення виробничих приміщень машинобудівної галузі що виготовляє підприємство ВАТРА.

Для освітлення території найбільш підходящими можуть бути світлові прилади, які виготовляються на підприємстві SCHREDER, а саме CITEЯ NG, NEOS LED-ROAD & URBAN, OMNISTAR.

УДК 678.5

І.Т. Ярема, канд. техн. наук, с.н.с.; Ю.І. Наконечний

Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, Україна

## РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПЕРА ПЛАСТМАСОВОЇ ЛОПАТКИ ПУСКОВОГО ТУРБОДЕТАНДЕРА

I. Yarema, Ph., Assoc. Prof.; Yu. Nakonetchnj

## STRESS-STRAIN STATE CALCULATION OF PEN PLASTIC BLADE OF TURBINE EXPANDER LAUNCHERS

Науково-дослідною лабораторією по застосуванню пластмас в газотранспортному обладнанні ТНТУ ім. Івана Пулюя розроблена конструкція, спроектована технологічна оснастка та виготовлені і випробувані в експлуатаційних умовах пластмасові лопатки пускових турбодетандерів газотурбінних установок ГТ-700-5. Лопатки виготовлені методом лиття під тиском із склонаповненого поліаміду марки ПА-66-КС. Оскільки фізико-механічні характеристики пластмас суттєво відрізняються від властивостей металів, то виникає необхідність в розрахунку на міцність пластмасових лопаток.

В даній роботі приведені результати аналітичного розрахунку пера пластмасової лопатки, оснащеної бандажною поличкою. Передбачається, що полички між собою не контактують (тобто лопатки закріплені консольно). Методика розрахунку показана на прикладі пластмасової лопатки першого робочого ряду. Відомо [1], що матеріал лопатки працює на згинання та розтягування від відцентрових сил. Найпростіше визначаються нормальні напруження від відцентрових сил. Оскільки відношення висоти лопатки  $l$  до середнього радіуса  $R_{cp}$  робочого ряду  $\frac{l}{R_{cp}} = \frac{19}{150} = 0,127 \ll 1$ , то перо можна розглядати як зосереджену масу, що обертається на віддалі  $R_{cp}$  від осі обертання. В цьому випадку нормальна сила  $N_{вц}$  в основі пера лопатки визначається по формулі

$$N_{вц} = m_{п} \cdot \omega^2 \cdot R_{cp},$$

де  $m_{п}$  – маса пера пластмасової лопатки разом з бандажною поличкою,  $\omega$  - кутова швидкість ротора турбодетандера. Нормальні напруження від  $N_{вц}$  в основі пера лопатки, що має площу поперечного перерізу  $F$ , розраховуються по формулі

$$\sigma_p = \frac{N_{вц}}{F}.$$

Результати розрахунку напружень в основі пера лопатки першого робочого ряду в залежності від числа обертів турбодетандера наведені в табл.1.

Таблиця 1.

п, об/хв	1000	3000	6000	9000
$\sigma_p$ , МПа	0,048	0,430	1,720	3,871

При визначенні напружень від згинального моменту приймемо постійність осьової складової швидкості потоку газу перед і за робочою лопаткою. Тоді згинальний момент в основі пера лопатки буде рівним [1]

$$M_{зг}^{max} = \frac{P \cdot l}{2 \cdot \omega \cdot m \cdot R_{cp}}.$$



Тут  $P$  – потужність ступеня турбодетандера,  $n$ - число робочих лопаток, що знаходяться в секторі соплового апарату. Максимальні нормальні напруження від  $M_{зг}^{max}$  визначаються по формулі

$$\sigma_{зг}^{max} = \frac{M_{зг}^{max}}{W_{yc}} = \frac{P \cdot l}{2 \cdot \omega \cdot m \cdot R_{cp} \cdot W_{yc}},$$

де  $W_{yc} = 29,43 \text{ мм}^2$  – осьовий момент опору поперечного перерізу пера лопатки відносно осі  $O_3z_3$  (рис. 1). Розрахунок осьових моментів інерції та моментів опору для перерізів із складною конфігурацією є досить трудомісткою задачею і в даному розрахунку не розглядається. Для лопаток першого робочого ряду при  $\omega = 942,5 \text{ с}^{-1}$  ( $n = 9000 \text{ об/хв}$ ) нормальні напруження від згину будуть рівні

$$\sigma_{зг}^{max} = \frac{127 \cdot 10^3 \cdot 19 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 942,5 \cdot 43 \cdot 0,15 \cdot 29,43 \cdot 10^{-9}} = 6,7436.$$

Максимальні сумарні нормальні напруження в небезпечній точці основи пера лопаток

$$\sigma^{max} = \sigma_p + \sigma_{зг}^{max} = 3,871 + 6,745 = 10,615 \text{ МПа}$$

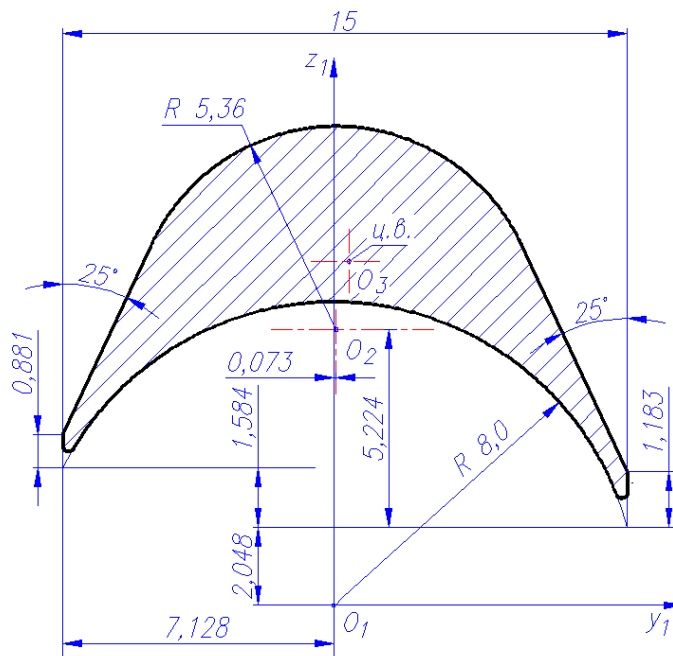


Рисунок 1 – Профіль пера пластмасової лопатки

Поскільки границя міцності для склонаповненого поліаміду ПА-66-КС рівна 90МПа, а також враховуючи, що навантаження на лопатку в часі наростає повільно (розгін турбіни відбувається в середньому на протязі 30 хвилин), то коефіцієнт запасу міцності по границі міцності  $K_B$  можна прийняти рівним 2. Тоді допустиме напруження на сумарну дію розтягування та згинання буде рівним  $[\sigma] = \frac{\sigma_B}{K_B} = \frac{90}{2} = 45 \text{ МПа}$ , що більше сумарних нормальних напружень, які виникають в перерізі при основі пера лопатки. Тобто міцність пера пластмасової лопатки забезпечена.

#### Література:

1. Малинин, Н.Н. Прочность турбомашин. [Текст] / Н.Н. Малинин. – М.: Машиностроение, 1962. – 190 с.

УДК 678.5.067

**І.Т. Ярема, канд. техн. наук, с.н.с.; Ю.І Наконечний; Н.П. Кашуба; В.М. Буховець**  
Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя, Україна

## **КОНСТРУКЦІЇ ПЛАСТМАСОВИХ ДЕТАЛЕЙ. ВПЛИВ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ НА ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ**

**I. Yarema Ph.D., Assoc. Prof.; Y. Nakonetchnj; N. Kashuba; V. Byhovets**  
**STRUCTURE DESIGNS OF PLASTIC PARTS. THEIR MANUFACTURING  
INFLUENCE ON WORKING CAPACITY**

Працездатність деталей та вузлів із полімерних композиційних матеріалів залежать від конструкції, властивостей матеріалу, який використовується та технології їх виготовлення. Вдосконаленням конструкції виробу можна підвищити та змінити функціональне призначення, властивості та техніко-економічну ефективність. Відомо, що просте копіювання конструкції металевої деталі при переході на виготовлення її із пластмас не дозволяє отримати бажаного результату, а в деяких випадках приводить і до негативних результату. Раціональна заміна одного матеріалу на інший тільки тоді дає позитивний ефект, коли одночасно змінюється конструкція деталі таким чином, щоб максимально могли проявитись позитивні властивості вибраного полімерного матеріалу. В той же час, змінена конструкція деталі не повинна перешкоджати прояву негативних властивостей того чи іншого полімерного матеріалу.

Нааявність в пластмасах пружних та пружно-пластичних деформацій є в багатьох випадках їх перевагою перед деталями із металів. В тих випадках, коли необхідно підвищити жорсткість виробу, використовують відомі прийоми конструювання: передбачаються ребра жорсткості, проектується січення деталі з великим моментом опору, створюються багатошарові конструкції та ін. Використання таких конструктивних засобів дозволяє змінити величину деформації елементів деталі у 2÷2,5 рази. Завдяки хорошим деформаційним властивостям пластмас відбувається рівномірне розподілення навантажень, які до них прикладаються. Так, наприклад, зубчасті колеса виготовленні із наповнених поліамідів не виходять із ладу через змінання поверхонь зубів по поверхні контакту, тоді як металеві колеса часто виходять із ладу по цій причині. При проектуванні пластмасових підшипників ковзання важливе значення має правильна та раціональна конструкція вузла. Оскільки полімерні матеріали мають малу теплопровідність, що перешкоджає відведенню тепла із зони тертя через корпус підшипника, то товщина втулки повинна бути мінімальною. Модуль пружності і теплопровідність антифрикційних матеріалів повинні бути максимальними; густина та твердість матеріалу – великою, шорсткість робочої контактної поверхні мінімальною.

Конструкція пластмасової деталі суттєво впливає на проектування прес-форми для її виготовлення методом лиття під тиском. Від її конструкції, відповідно, залежить як технологічний процес виготовлення, так і якісні і функціональні показники виробу в цілому. При проектуванні пластмасових виробів необхідно забезпечувати оптимальні умови заповнення розплавленого полімеркомпозиційного матеріалу у форму для заповнення формуютьорюючих порожнин. Вироби повинні мати технологічні ухили та незначні радіуси скруглення для збільшення механічної міцності та зменшення концентрації напружень. Стінки виробу, по можливості, повинні бути рівнотовщинні без значних переходів та уникати внутрішніх проточок і виступів. Для запобігання появи внутрішніх залишкових напружень, тріщин і раковин в матеріалі деталі, а також коробленню виробів після їх відливання на ливарних машинах товщина стінки бажано щоб не перевищувала 5 мм. Ливарні канали потрібно розміщувати таким чином, щоб

сліді їх видалення не впливали на функціональну призначенність, працездатність, точність і міцність деталі.

Раціональний підхід до конструювання виробів із пластмас дозволяє часто із різноманітних багатотоннажних полімеркомпозитних матеріалів, освоєної технології їхньої переробки, отримувати нові якісні показники виробу. Так, при розробці пластини впускного та впускного клапана газомоторного компресора ГМК-8 станцій підземного зберігання газу із склонаповненого поліаміду запропонована така конструкція, яка суттєво вплинула на експлуатаційні властивості як самої деталі, так і роботи вузла та компресора в цілому. В пластмасовій пластині для самодіючого клапана діаметром 160 мм чотири окремих металевих кільця замінені двома двохкільцевими пластинами із склонаповненого поліаміду. Концентричні кільця з'єднані між собою трьома перемичками. Поперечний переріз кожного кільця має складний профіль, який забезпечує йому підвищену поперечну жорсткість та покращені газодинамічні характеристики клапана. Пластина із склонаповненого поліаміду на відміну від штатної металевої менше зношує та пошкоджує металеве сидло клапана, понижує рівень шуму при його роботі, збільшує термін працездатності клапана у  $2,5 \div 3,2$  рази.

У відцентрових компресорних агрегатах (нагнітачах газу компресорних станцій магістральних газопроводів) застосовуються лабіринтні ущільнення які запобігають перетокам газу між камерами високого і низького тиску. Ефективність роботи безконтактного лабіринтного ущільнення, насамперед, залежить від раціональності його конструкції та точності виготовлення. Так, для відцентрового нагнітача фірми «Нуово Піньоне» (Франція) газотурбінного компресора ГТК-25I була розроблена нова пластмасо-металева конструкція ущільнення, яка складається з металевої обойми 1 та пластмасової вставки 2, яка закріплена до обойми прижимним кільцем (рис. 1).

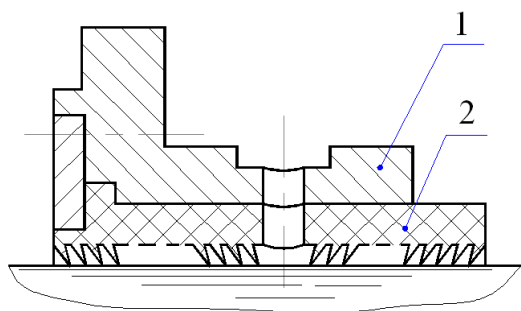


Рисунок 1 – Конструкція пластмасо-металевого лабіринтного ущільнення відцентрового нагнітача фірми «Нуово Піньоне» ГТК-25I

В якості металевої обойми 1 використовується штатне алюмінієве ущільнення, в якому збережені усі приєднувальні розміри та фіксуючі елементи та у яку запресовується пластмасове кільце. Виготовлення лабіринтних гребенів здійснюється механічним способом на токарному верстаті спеціальними профільними різцями. Пластмасова вставка являє собою лабіринтне ущільнення із нахиленими назустріч один одному гребінцями. Довжина робочої ущільнюючої поверхні лабіринтного ущільнення збільшена на 20 мм у порівнянні із штатним, змінені розміри і профіль лабіринтних гребенів. Випробування в експлуатаційних умовах компресорних станцій показали, що така конструкція лабіринтного ущільнення працює ефективно і дає можливість суттєво скоротити втрати мастила та перекачаного нагнітачем газомоторного природнього газу.

УДК 621.791

**Ч.В.Пулька докт. техн. наук проф.; М.В Шарик; В.С. Сенчишин; С.Ю.Мариненко**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## **ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧА ТЕХНОЛОГІЯ ІНДУКЦІЙНОГО НАПЛАВЛЕННЯ ПЛОСКИХ ДЕТАЛЕЙ**

**C. Pul'ka, Dr., Prof.; M. Sharyk; V. Senchyshyn; S. Marynenko**  
**ENERGY-EFFICIENT TECHNOLOGY OF FLAT PARTS INDUCTION HEAT  
FACING**

Індукційне наплавлення – це високопродуктивний процес, який легко піддається автоматизації, що досить ефективно в умовах крупносерійного виробництва. Основними перевагами цього процесу є мала глибина проплавлення основного металу і можливість наплавлення тонких шарів, а до недоліків індукційного наплавлення можна віднести невисокий коефіцієнт корисної дії та надмірне перегрівання основного металу в зоні наплавлення.

Основною причиною невисокого ККД процесу індукційного наплавлення є надмірні витрати електроенергії, оскільки в магнітне поле індуктора попадають поверхні, нагрівання яких є небажане і непередбачене технологією. Тому для усунення цих небажаних явищ використовують електромагнітні екрани, які виготовлені із листової червоної міді, що має високу тепло – і електропровідність.

Основною умовою, яка повинна виконуватись при встановленні екрану є обмежена відстань між екраном та індуктором, яка повинна бути більшою ніж відстань між індуктором і поверхнею деталі, що підлягає наплавленню. Такі екрани можуть мати будь-яку форму в залежності від форми поверхні деталі, яку захищають від небажаного нагрівання.

Згідно вищесказаного, нами було запропоновано використовувати електромагнітні екрани для індукційного наплавлення тонких плоских деталей, які забезпечують більш рівномірну температуру по ширині зони наплавлення, оскільки порошкоподібний твердий сплав розплавляється від поверхні основного металу, та перешкоджають перегріванню торця диска і наплавленого металу. Ще стабільніше температурне поле в зоні наплавлення можна отримати, якщо крім індуктора і електромагнітного екрану додатково вводити Щек тепловий екран, що дозволяє значно зменшити тепловіддачу з торця диска і нижньої його поверхні, протилежній зоні наплавлення, в оточуюче середовище і тим самим скоротити час наплавлення з 32 с до 22 с, а також зменшити витрати електроенергії до 0,293 кВт/г од на один виріб.

Використання електромагнітного і теплового екранів дозволяє підвищити енергетичну ефективність процесу індукційного наплавлення тонких плоских деталей та стабільність геометричних характеристик наплавлених шарів, а також покращити якість наплавленого металу.

УДК 658.52

Б.О. Пальчевський, докт. техн. наук, проф.

Луцький національний технічний університет, Україна

## СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ В ПРОЕКТУВАННІ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

B. Palchevskyi, Dr., Prof.

## SYSTEMS ANALYSIS IN DESIGN OF THE PROCESS OF MACHINING OPERATIONS

Основною особливістю системного аналізу є поєднання неформальних і формалізованих методів для розв'язання складних задач машинобудування. При автоматизації процесу розв'язання використовують спеціалізовані експертні системи (ЕС), побудова яких вимагає здійснення інженерії знань в конкретній області.

Для створення ЕС для проектування процесу механічної обробки використано поєднання методу експертних оцінок для побудови системи евристичних правил задання послідовності обробки поверхонь деталі з формальним методом оптимізаційного синтезу процесу.

В основу побудови системи евристичних правил покладена системна модель деталі як поєднання її поверхонь  $\{P_i\}$  і розмірних зв'язків між ними  $\{R_j\}$ , що описані її кресленням. Тоді зв'язки між поверхнями включають такі види розмірів: **розміри заготовки**, що зв'язують необроблені поверхні між собою; **розміри чорнкової обробки**, що зв'язують поверхні, оброблені начорно; **розміри чистові**, що зв'язують поверхні, оброблені начисто; **координаційні розміри**, що зв'язують необроблені поверхні з чорновими, або чорнові з чистовими.

Наявність координаційних розмірів дає змогу розглядати деталь як поєднання підсистем різних стадій обробки: підсистема заготовки, чорнова підсистема, чистова підсистема тощо.

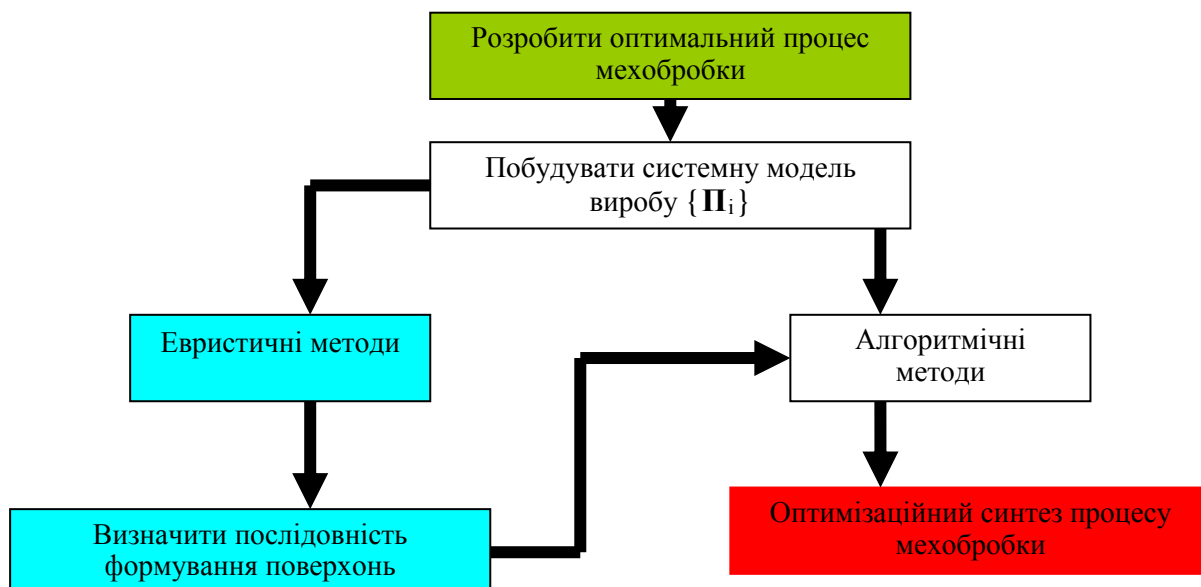


Рис.1. Схема застосування системного аналізу

Відповідно до нього розроблено перший блок основних евристичних правил задання розмірів деталі:

1. Поверхні  $P_i$ , що перебувають на однаковій стадії обробки, зв'язують розмірами тільки між собою (тобто в межах відповідної підсистеми).
2. Кожну підсистему деталі зв'язують із сусідньою тільки за допомогою одного координаційного розміру по кожній з координат. Тобто, поверхні заготовки, наприклад, зв'язують із поверхнями чорнової підсистеми тільки за допомогою одного розміру по кожній із координатних осей.

Аналіз структури процесів механічної обробки, проведений експертами, показує, що на послідовність обробки деталі впливають функціональні, конструкторські та технологічні обмеження. Це дозволяє виділити три групи відношень передування між поверхнями деталі, а саме:

- **функціональні відношення передування**, що накладаються умовами функціонування деталі;
- **конструкторські відношення передування**, що накладаються умовами просторового розташування окремих поверхонь в деталі;
- **технологічні відношення передування**, що накладаються умовами обробки деталі.

Аналіз системної моделі деталі відповідно до цих вимог дозволяє побудувати інформаційний образ причинно-наслідкових відношень передування між поверхнями деталі  $\{P_i\}$  в вигляді матриці  $M_{п}$  (на перетині  $i$ -го стовпчика та  $j$ -го рядка ставиться одиниця, якщо  $i$ -та поверхня передує при обробці  $j$ -ій, або нуль – в протилежному випадку).

Поверхня, яка повинна бути попередньо оброблена

<i>П-поверхня, що обробляється</i>	<i>П1</i>	<i>П2</i>	<i>П3</i>	<i>П4</i>	<i>П5</i>	<i>Во Ступінь залежності поверхні</i>
<i>П1</i>						<i>0</i>
<i>П2</i>	<i>1</i>					<i>1</i>
<i>П3</i>	<i>1</i>					<i>1</i>
<i>П4</i>		<i>1</i>	<i>1</i>			<i>2</i>
<i>П5</i>				<i>1</i>		<i>1</i>
<i>Ступінь наслідування поверхні</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>0</i>	<i>5</i>

При визначенні послідовності обробки, що першою на обробку подається поверхня, яка має в стовпчику ступені залежності нульове значення (не вимагає попередньої обробки інших поверхонь). Після її обробки віднімаються її зв'язки і знову відшукується поверхня із нульовими зв'язками. І так аж до отримання послідовності обробки всіх поверхонь. За допомогою цієї евристичної процедури кількість можливих варіантів структури процесу механічної обробки скорочується настільки, що на другому етапі стає можливим здійснити перебирання і оцінювання цих варіантів.

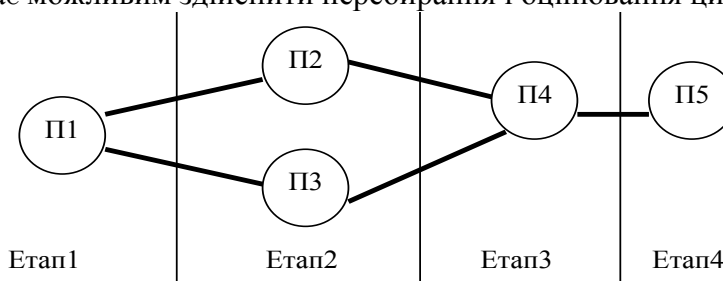


Рис.2. Приклад отриманої послідовності

Ми отримали за допомогою формалізованої процедури послідовність технологічних переходів обробки поверхонь деталі (рис. 2), які створюють чотири етапи обробки.

## ЗМІСТ

<b>Луців І.В.</b> «ЖИТТЄВИЙ ШЛЯХ ТА НАУКОВА СПАДЩИНА ПРОФЕСОРА С.Г. НАГОРНЯКА»	5
<b>Гевко Б.М.</b> «СПОГАДИ ПРО ПРОФЕСОРА, ЗАСЛУЖЕНОГО ВІНАХІДНИКА СТЕПАНА ГРИГОРОВИЧА НАГОРНЯКА»	9
<b>Н.С. Равська, В.А. Пасічник, О.А. Охріменко,</b> «РОЗВИТОК СИСТЕМ І ПРОЦЕСІВ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ»	11
<b>В.Д. Ковальов, Я.С. Антоненко</b> «ПЕРЕХІД ВІД ПРОСТОРУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДО ТРАЕКТОРІЙ ФОРМОУТВОРЮЮЧИХ РУХІВ З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАДАНОЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ТОЧНОСТІ ВАЖКОГО ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА»	12
<b>П.М. Таланчук, В.Б. Струтинський, М. М.Кірюхін</b> «ЗАХОДИ АКАДЕМІЇ ІНЖЕНЕРНИХ НАУК УКРАЇНИ ТА СПІЛКИ НАУКОВИХ І ІНЖЕНЕРНИХ ОБ'ЄДНАНЬ УКРАЇНИ ПО РЕАЛІЗАЦІЇ ВСЕУКРАЇНСЬКОГО ПРОЕКТУ ПРОГРАМИ «ЄВРОІНЖЕНЕР»	14
<b>Ю.М. Кузнєцов</b> «МАЙБУТНЄ ВЕРСТАТОБУДУВАННЯ УКРАЇНИ – СЕРЦЕВИНИ МАШИНОБУДУВАННЯ В УМОВАХ INDUSTRY-4.0»	15
<b>В.О. Залого, О.В. Івченко, О.О. Залого, Р.В. Процай</b> «СУЧАСНИЙ СТАН ТА ШЛЯХИ РОЗВИТКУ ПИТАННЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ЩОДО ВИБОРУ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ЧИСТОВОГО ТОЧІННЯ»	19
<b>Ю.В. Петраков, О.С. Мацківський</b> «АДАПТИВНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ВЕРСТАТАМИ З ЧПК»	21
<b>Ю.М. Данильченко</b> «МОДЕЛЮВАННЯ ПРУЖНИХ ДЕФОРМАЦІЙ СИСТЕМИ «ШПИНДЕЛЬНИЙ ВУЗОЛ» ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ПЕРЕХІДНИХ МАТРИЦЬ»	23
<b>А.А. Пермьяков, М.Г. Ищенко</b> «ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА СОЗДАНИЯ СТАНКОВ И СИСТЕМ АГРЕГАТНО- МОДУЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ»	25
<b>М. Руплес, V. Vasylykiv, M. Radyk</b> «PERSPECTIVE DIRECTIONS IMPROVEMENT OF TECHNOLOGICAL METHODS MANUFACTURING WORM AND SCREWS BLANKS IN THE PRODUCTION OF SCREWS TYPE DETAILS»	27
<b>Акімов О.В.</b> «ЕКСПЛУАТАЦІЯ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК В ЗОНАХ СПЕЦІАЛЬНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ»	29
<b>В.Л. Алексенко, С.О. Сметанкін, Д.О. Зінченко, В.М. Яцюк, О.В. Акімов, П.С. Тарасов</b> «КВАРЦОВІ НАПОВНЮВАЧІ ДЛЯ ПОЛІМЕРНИХ ВІНІЛЕФІРНИХ КОМПОЗИТІВ»	32
<b>А.В. Бабій</b> «ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РІЗАННЯ СТЕБЕЛЬНИХ КУЛЬТУР»	35
<b>М.В. Бабій</b> «СИЛОВІ ПАРАМЕТРИ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ ВІДРІЗНИМ РІЗЦЕМ З БІЧНОЮ УСТАНОВКОЮ БАГАТОГРАННОЇ НЕПЕРЕТОЧУВАНОЇ ПЛАСТИНИ»	36

<b>Л.Г. Бодрова, Г.М. Крамар</b> «ЕКСПЛУАТАЦІЙНА СТІЙКІСТЬ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ, ЛЕГОВАНИХ НАНОНІКЕЛЕМ»	38
<b>Т.Є. Божко, Т.Н. Гальчук, Редько Р.Г.</b> «ЗМІНА РОЗМІРУ ЧАСТОК ОТРИМАНИХ ПРИ ШЛІФУВАННІ ШХ15 ЗАЛЕЖНО ВІД РЕЖИМІВ РІЗАННЯ»	39
<b>А. Борис, В. Малащенко,</b> «БУДОВА ТА ЧАС ВКЛЮЧЕННЯ КУЛЬКОВОЇ МУФТИ ВІЛЬНОГО ХОДУ ОСЬОВОЇ ДІЇ»	40
<b>М.В. Браїло, С.В. Якущенко, О.О. Сапронов, О.С. Кобельник</b> «СТВОРЕННЯ ПОЛІМЕРНОЇ МАТРИЦІ ДЛЯ РЕМОНТУ ЕЛЕМЕНТІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ»	42
<b>В.М. Буховець, В.Г. Кушик</b> «ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОБРОБКИ ЦИЛІНДРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ НА ТОКАРНИХ АВТОМАТАХ ТА ВЕРСТАТАХ З ЧПК»	43
<b>Я.В. Васильченко, М.В. Шаповалов</b> «ОЦІНКА КОНСТРУКЦІЙНОЇ МІЦНОСТІ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ОБРОБКИ ІМПУЛЬСНИМ МАГНІТНИМ ПОЛЕМ»	45
<b>Веселовська Н.Р., Іскович-Лотоцький Р.Д., Іванов М.І., Шаргородський С.А.</b> «ВПЛИВ ПАРАМЕТРИЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА РОБОТУ ГІДРАВЛІЧНИХ ПРИВОДІВ МЕТАЛОРІЗАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ»	47
<b>Г.М. Виговський, О.А. Громовий</b> «УДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБІВ ОБРОБКИ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ»	48
<b>Ю.Я. Вовк, І.П. Вовк</b> «ПРОЕКТУВАННЯ СУЧАСНИХ САМОУСТАНОВЛЮВАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ ОБРОБКИ ОТВОРІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ»	50
<b>А.В. Гагалюк</b> «ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ FUSION 360 В НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЦЕС»	52
<b>Б.М. Гевко, Ю.І. Пиндус, П.В. Босюк</b> «ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ОБРОБКИ ГАЛЬМІВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ОБГІННОЇ МУФТИ»	54
<b>Ів.Б. Гевко, Гудь В.З., Т.С. Дубиняк, І.М. Сливка</b> «КОНСТРУКЦІЇ МЕХАНІЗМІВ ЗАХИСТУ ГНУЧКИХ ГВИНТОВИХ КОНВЕЄРІВ»	56
<b>Л.Є. Глембоцька, П.П. Мельничук, Н.О. Балицька</b> «ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ АКТИВНОЇ ДІЛЯНКИ РІЗАЛЬНОЇ КРОМКИ ТОРЦЕВОЇ ФРЕЗИ З ЦИЛІНДРИЧНОЮ ПЕРЕДНЬОЮ ПОВЕРХНЕЮ НОЖІВ»	58
<b>І.Є. Грицай, С.І. Громнюк, В.І. Волошин</b> «ДОСЛІДЖЕННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС З АСИМЕТРИЧНИМИ ЗУБЦЯМИ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ»	59
<b>О.В. Грубнік, І.С. Березкін, Д.О. Дмитрієв</b> «ТЕХНОЛОГІЯ КОМПЛЕКСНОЇ ПЕРЕРОБКИ І ФОРМУВАННЯ НАДСКЛАДНИХ ВИРОБІВ З ПЛАСТИКУ В ЗАМКНЕНОМУ ЦИКЛІ»	61
<b>В.З. Гудь, М.Р. Коневич</b> «ПРИСТРІЙ ДЛЯ НАРІЗАННЯ РІЗИ У ВИТИХ ЗАГОТОВКАХ»	64
<b>Б.В. Гупка, А.Б. Гупка, І.Т. Ярема, І.В. Кушак</b> «ВИГОТОВЛЕННЯ ПОЛИЧКИ НА ГВИНТОВІЙ ЗАГОТОВЦІ»	66



<b>В.І. Гурей, Т.А. Гурей, І.В. Гурей</b> «ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ВТОРИННИХ СТРУКТУР В ЗОНІ ТЕРТЯ ЗМІЩЕНИХ ПОВЕРХОНЬ»	68
<b>Л.М. Данильченко, М.Д. Радик</b> «ОСОБЛИВОСТІ НАГРІВАННЯ ЛИСТОВИХ ЗАГОТОВОК В ПРОЦЕСАХ ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ»	70
<b>Л.М. Данильченко, І.М. Кучвара</b> «ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСІВ РІЗАННЯ СТРІЧОК ІЗ ЛИСТОВОГО МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ГВИНТОВИХ ЗАГОТОВОК»	72
<b>Л.В. Дзюбик, Я.А. Зінько</b> «ГРАНИЧНІ ВИПАДКИ ПОДАТЛИВОСТІ ОПОР ТА ЖОРСТКОСТІ КОРПУСУ ОБЕРТОВИХ АГРЕГАТІВ»	74
<b>Т.А. Довбуш, А.Д. Довбуш</b> «ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ РОБОТИ БОКОВОГО ЛОНЖЕРОНУ РАМИ ПРТ-9»	76
<b>І.Д. Дубецький, Ю.М. Геть</b> «ВИСОКОБОРОТНІ ШПИНДЕЛЬНІ ВУЗЛИ ВЕРСТАТІВ ТА ЇХ ДОВГОВІЧНІСТЬ»	77
<b>С.Ф. Дячук, М.М. Михайлишин</b> «ОПТИМІЗАЦІЯ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВУ ЦИЛІНДРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ»	78
<b>А.Є. Дячун, І.С. Яким, Ю.Б. Капаціла</b> «ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЇ СВЕРДЛА В ПРОЦЕСІ СВЕРДЛІННЯ ОТВОРІВ В МЕТАЛАХ ІЗ ЗМІННОЮ ТВЕРДІСТЮ»	80
<b>П.В. Казмірчук, І.Б. Гевко</b> «ОПРАВКА З РОЗТОЧУВАЛЬНИМ КУЛІСНИМ МЕХАНІЗМОМ»	82
<b>Ю.Б. Капаціла</b> «АНАЛІЗ СФЕРИ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМІВ З ГВИНТОВИМИ ПРИСТРОЯМИ»	84
<b>А.М. Кириченко, Аль Ібрахімі Метак М.А.</b> «КОМПОНОВКА ВЕРСТАТА ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ІЗ СПЕЦІАЛЬНИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ»	85
<b>А.О. Кичма, В.А. Драгілев</b> «ОЦІНКА МІЦНОСТІ НАДЗЕМНИХ ДІЛЯНОК МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ ПІД ЧАС РЕМОНТУ ЇХ ОПОРНИХ ВУЗЛІВ»	86
<b>Г.П. Клименко, В.В. Квашнин</b> «ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА»	88
<b>Я.О. Ковальчук, Н.Я. Шингера</b> «ВПЛИВ ЦИКЛІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ПОШКОДЖЕННЯ ВУЗЛІВ ЗВАРНОЇ ФЕРМИ»	90
<b>Р.М. Котик</b> «БАГАТОСТУПЕНЕВА ОПРАВКА ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ КІЛЕЦЬ І ВТУЛОК»	91
<b>П.Д. Кривий, А.А. Сенік, Н.М. Тимошенко, О.І. Яловий</b> «НОВА ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗГОРТНИХ ВТУЛОК ПРИВОДНИХ РОЛИКОВИХ ЛАНЦЮГІВ НА ОСНОВІ ІМОВІРНІСНОГО ПІДХОДУ»	92
<b>П.Д. Кривий, В.Р. Кобельник, Н.М. Тимошенко, Ю.О. Апостол</b> «СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ШОРСТКОСТІ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ СФОРМОВАНИХ НАПІВЧИСТОВИМ І ЧИСТОВИМ ТОРЦЕВИМ ФРЕЗЕРУВАННЯМ»	94

<b>П.Д. Кривий, М.Г. Дичковський, А.А. Сеник, О.І. Яловий</b> «ІМОВІРНІСНО-СТАТИСТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КАЛІБРУВАННЯ ЗГОРТНИХ ВТУЛОК ПРИВОДНИХ РОЛИКОВИХ І ВТУЛКОВИХ ЛАНЦЮГІВ»	95
<b>В.В. Крупа, А.І. Лешків</b> «ВИКОРИСТАННЯ СЕРЕДОВИЩА FEATURECAM ПРИ ПРОЕКТУВАННІ І ВИГОТОВЛЕННІ ЕЛЕКТРОДІВ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ФАСОННИХ ПОСАДОЧНИХ МІСЦЬ В ДЕРЖАВКАХ ІНСТРУМЕНТУ ПІД ПЛАСТИНИ»	97
<b>Ю.М. Кузнєцов, В.Н. Волошин, І.В. Луців</b> «ЗАТИСКНІ МЕХАНІЗМИ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТІВ З АДАПТИВНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ»	99
<b>Р.Я. Лещук, Г.С. Нагорняк</b> «ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ВЕРСТАТІВ ДЛЯ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ ВІЛЬНИМ АБРАЗИВОМ»	101
<b>О.В. Литвин, О.М. Кравець, І.Р. Ящук</b> «СТРУКТУРНО – МОРФОЛОГІЧНИЙ СИНТЕЗ ЗАТИСКНИХ ПАТРОНІВ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТІВ»	103
<b>І.В. Луців, Ів.Б. Гевко, Т.С. Дубиняк, В.З. Гудь, І.М. Сливка</b> «ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИВОДІВ ГВИНТОВИХ КОНВЕСЕРІВ»	106
<b>І.В. Луців, С.П. Штогрин, О.О. Стахурський, Н.П. Кашуба</b> «ПОДРІБНЕННЯ СТРУЖКИ НА ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ»	108
<b>О.Л. Ляшук, В.М. Клендій, О.Л. Третьяков</b> «ЗМІЦНЕННЯ ГВИНТОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ЕКСТРУДЕРІВ»	109
<b>О.П. Маруніч, В.О. Тесля</b> «ШНЕКОВИЙ КОМПЕНСАЦІЙНИЙ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТЕР»	111
<b>Н.М. Марчук</b> «ЗАПОБІЖНИЙ РЕВЕРСИВНИЙ ПАТРОН ДЛЯ НАРІЗАННЯ РІЗЬБИ В КОРПУСНИХ ДЕТАЛЯХ»	112
<b>С.Л. Мельничук, М.Г. Левкович</b> «ПРИСТРІЙ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ГВИНТОВИХ ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА КРОК»	114
<b>Є.В. Мироненко, Д.Є. Гузенко</b> «ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ НА БАЗІ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОЇ МОДЕЛІ»	115
<b>Є.В. Мироненко, С.Л. Міранцов</b> «МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ВАЖКИХ КАРУСЕЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ»	116
<b>Т.Д. Навроцька, В.М. Клендій, М.Д. Радик</b> «СЕКЦІЙНА ДВОХШАРНІРНА ГВИНТОВА СПІРАЛЬ»	118
<b>І.С. Нагорняк</b> «ОЦІНКА РОЗВИТКУ МАШИНОБУДІВНОГО КОМПЛЕКСУ ЯК ОСНОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ»	119
<b>С.Г. Нагорняк</b> , <b>К.В. Зеленський</b> «МЕТОДОЛОГІЯ СТРУКТУРНО-СХЕМНОГО СИНТЕЗУ ВУЗЛІВ МАШИН НА ПРИКЛАДІ ЗІРНИХ ТОРЦЕВИХ ФРЕЗ»	122

<b>В.О. Настасенко</b> «ЗБІРНІ СВЕРДЛА З БІЧНИМИ БАГАТОГРАННИМИ НЕПЕРЕТОЧУВАНИМИ ПЛАСТИНАМИ ТА ЇХ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ МОЖЛИВОСТІ»	128
<b>Ю.М. Нікіфоров</b> «ФІЗИКО-ТЕХНІЧНІ ЗАДАЧІ ЛАЗЕРНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ, ЩО РОЗВ'ЯЗУВАЛИСЬ УСПІВПРАЦІ ІЗ ПРОФЕСОРОМ С.Г. НАГОРНЯКОМ»	130
<b>О.Р. Онисько; Ю.В. Медвідь</b> «ДЕЯКІ АСПЕКТИ ТОЧНОСТІ У ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ПРОЦЕСІ ВИГОТОВЛЕННЯ КОНІЧНИХ ЗАМКОВИХ НАРІЗЕЙ»	131
<b>А.А. Пермяков, А.А. Клочко, М.И. Гасанов</b> «АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ С ПЕРЕКРЕЩИВАЮЩИМИСЯ И НЕПЕРЕСЕКАЮЩИМИСЯ ОСЯМИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ТЯЖЕЛЫХ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ»	133
<b>А.В. Петриков; Д.В. Волощук</b> «СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ГОРЯЧЕСТАМПОВАННЫХ ПОКОВОК В САПР КОМПАС-3D»	135
<b>М.І. Пилипець, О.М. Лясота</b> «ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ НАВИВНИХ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ МАШИН»	137
<b>М.І. Подольський, Є.Е. Бергер</b> «РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ СПЕЦІАЛЬНОЇ ФРЕЗИ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМИ ФОРМОУТВОРЕННЯ ГІПЕРБОЛОЇДНИХ ПОВЕРХОНЬ»	139
<b>М.В. Потапенко, В.М. Барановський</b> «ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА СЕПАРАЦІЇ ВІЛЬНИХ ДОМШОК ЗАВАНТАЖУВАЛЬНОГО ТРАНСПОРТЕРА ОЧИСНОЇ СИСТЕМИ»	141
<b>В.О. Проценко, О.Ю. Клементьєва</b> «ДИНАМІКА СПРАЦЬОВУВАННЯ ЗАПОБІЖНИХ КАНАТНИХ МУФТ ДЛЯ ЗАХИСТУ МАШИН ВІД ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПЕРЕВАНТАЖЕНЬ»	143
<b>Н.С. Равська, В.В. Вовк, С.П.Воробйов</b> «ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ЕВОЛЬВЕНТНОГО ЗУБЧАСТОГО КОЛЕСА НА КУТ У ПЛАНІ ІНСТРУМЕНТУ»	145
<b>Т.І. Рибак, М.І. Підгурський, М.Я. Сташків</b> «ОЦІНКА МІЦНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ МАШИН ЗА КРИТЕРІЯМИ МЕХАНІКИ ВТОМНОГО РУЙНУВАННЯ»	147
<b>В.Д. Рудь, І.В. Савюк, Ю.С. Повстяна, Л.М. Самчук</b> «РОЗРОБКА УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ ЕКЗОТЕРМІЧНИХ СУМІШЕЙ»	149
<b>В.Д. Рудь, Н.А. Христинець</b> «ВПЛИВ ФОРМИ ЧАСТОК І ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ НА ПРОЦЕС ВІБРАЦІЙНОЇ СЕГРЕГАЦІЇ ПОРОШКОВИХ СУМІШЕЙ»	151
<b>А.В. Сапронова, Н.М. Букегова, О.В. Лешенко, М.Ю. Амелін</b> «ДОСЛІДЖЕННЯ АКТИВНОСТІ ПОВЕДХНІ ДИСПЕРСНОГО КОНВЕРТЕРНОГО ШЛАМУ МЕТОДОМ ІЧ-СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ»	152
<b>І.А. Селіверстов, С.Р. Селіверстова</b> «ВИКОРИСТАННЯ ПЛАКОВАНИХ ПОРОШКІВ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ПЛАЗМОВИХ ПОКРИТТІВ»	153
<b>Р.А. Склярів, В.В. Шанайда</b> «ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ПРИВОДУ АВТОМАТИЧНОЇ ЗАМІНИ ІНСТРУМЕНТІВ	155

<b>БАГАТОЦІЛЬОВИХ ВЕРСТАТИВ»</b>	
<b>А.М. Сліпчук, Р.С. Яким</b> «ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВСТАВНОГО ПОРОДОРУЙНІВНОГО ОСНАЩЕННЯ ШАРОШОК ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ»	157
<b>Л.М. Слободян, Т.Б. Пиндус</b> «ГВИНТОВИЙ ЗАВАНТАЖУВАЧ-ЗМІШУВАЧ З ПЕРЕСИПОМ»	159
<b>В.Ю. Солод, Д.Г. Музичка, С.П. Сапон</b> «ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШИРИНИ РІЗАЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ ШЛІФУВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ НА ФОРМУ ЙОГО ПРОФІЛЮ»	161
<b>В.Б. Струтинський, О.Я. Юрчишин, В.В. Синьов</b> «ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДИНАМІЧНИХ КОЛИВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ОБРОБЦІ ПОВЕРХОНЬ ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ СПЕЦІАЛЬНИМ ІНСТРУМЕНТОМ»	162
<b>С.В. Струтинський</b> «ОСОБЛИВОСТІ ІМПУЛЬСНИХ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ, ЩО СУПРОВОДЖУЮТЬ ПОЗИЦІЮВАННЯ ПРОСТОРОВОЇ СИСТЕМИ ПРИВОДІВ»	163
<b>В.В. Ступницький, Н.В. Ступницька</b> «ВИКОРИСТАННЯ ІМІТАЦІЙНОГО РЕОЛОГІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ФОРМОУТВОРЕННЯ ВИРОБІВ МАШИНОБУДУВАННЯ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ОРІЄНТОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ»	164
<b>Н.І. Хомик, Н.А. Рубінець</b> «ВИКОРИСТАННЯ ТРАКТОРІВ ІНТЕГРАЛЬНОЇ СХЕМИ»	165
<b>В.В. Хорошайло, І.І. Полупан</b> «ЗМЕНШЕННЯ АМПЛІТУДИ КОЛИВАНЬ ПРИ ОБРОБЦІ ОТВОРІВ НА ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ»	167
<b>В.В. Шанайда, Р.А. Склярів</b> «ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРІЇ ЗУБІВ МІТЧИКА НА СИЛОВІ ПАРАМЕТРИ У ПРОЦЕСІ РІЗЕНАРИЗАННЯ»	168
<b>А.А. Шарко</b> «ФИЗИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУКТУРЫ ПРЕДВЕСТНИКОВ РАЗРУШЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ»	170
<b>О.В. Шевченко</b> «ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ ВИКОРИСТАННЯМ СПЕЦІАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОСНАЩЕННЯ»	172
<b>М.М. Шинкарик, О.І. Кравець, В.Г. Юкало</b> «ПРУЖНИЙ ФІЛЬТРУВАЛЬНИЙ ЕЛЕМЕНТ»	174
<b>В.В. Щиренко, В.А. Андрійчук, Я.М. Осадца, Р.Б. Кріль</b> «СВІТЛОДІОДНІ ОСВІТЛЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ В МАШИНОБУДУВАННІ»	175
<b>І.Т. Ярема, Ю.І. Наконечний</b> «РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПЕРА ПЛАСТМАСОВОЇ ЛОПАТКИ ПУСКОВОГО ТУРБОДЕТАНДЕРА»	176
<b>І.Т. Ярема, Ю.І. Наконечний, Н.П. Кашуба, В.М. Буховець</b> «КОНСТРУКЦІЇ ПЛАСТМАСОВИХ ДЕТАЛЕЙ. ВПЛИВ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ НА ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ»	178
<b>Ч.В. Пулька, М.В. Шарик, В.С. Сенчишин, С.Ю. Мариненко</b> «ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧА ТЕХНОЛОГІЯ ІНДУКЦІЙНОГО НАПЛАВЛЕННЯ ПЛОСКИХ ДЕТАЛЕЙ»	180
<b>Б.О. Пальчевський</b> «СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ В ПРОЕКТУВАННІ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ»	181



Науково-методична література

# **МАТЕРІАЛИ**

Всеукраїнської науково-практичної конференції

## **ОБЛАДНАННЯ І ТЕХНОЛОГІЇ СУЧАСНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ**

присвяченої пам'яті заслуженого винахідника України,  
академіка АН вищої школи України, доктора технічних наук, професора  
**Нагорняка Степана Григоровича**

**11-12 ТРАВНЯ 2017 р.  
Тернопіль, Україна**

Комп'ютерне макетування та верстка: *Н.П. Кашуба*

Формат 60×90 Папір ксероксний.  
Обл.вид.арк 12,42  
Наклад 300 прим. Зам. № 2858

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя.  
46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56.  
**E-mail: vydavnytstvo@tu.edu.te.ua**

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4226 від 08.12.11.