

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«Харківський політехнічний інститут»

Ministry of Education & Science of Ukraine
National Technical University
«Kharkiv Polytechnic Institute»

1'2014

ВИСОКІ ТЕХНОЛОГІЇ
В МАШИНОБУДУВАННІ

HIGH TECHNOLOGIES
IN MACHINE ENGINEERING

Збірник наукових праць

Printed scientific works

Харків НТУ «ХПІ» – 2014 – Kharkiv NTU «KhPI»

ББК 34.63

УДК 621.91

Державне видання

Свідоцтво Державного комітету телебачення і радіомовлення України
КВ № 7839 від 8 вересня 2003 року

Друкується за рішенням Вченої Ради НТУ "ХПІ"

Редакційна колегія:

Верезуб М. В., д.т.н. (відповідальний редактор),

Пупань Л. І. (зам. відповідального редактора),

Добросок В. Л., д.т.н., Залога В. О., д.т.н., Зубар В. П., проф.,

Мовшович О. Я., д.т.н, Пермяков О. А., д.т.н., Тимофієв Ю. В. д.т.н.,

Турманідзе Р. С., д.т.н., Узунян М. Д., д.т.н., Фадсеев В. А., проф.,

Федорович В. О., д.т.н., Крюкова Н.В. (відповідальний секретар)

В збірнику представлені наукові праці, які присвячені вирішенню проблем в області високих технологій машинобудування. Розглянуті питання параметричної оптимізації та практичної реалізації високоточної механічної обробки, діагностування технічного стану верстатів та інструментів, технологічного моніторингу і менеджменту та ін. Для фахівців в області машинобудування, науково-технічних працівників і студентів.

Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Харків, НТУ “ХПІ”, 2014. – Вип. 1 (24). – 197 с.

В сборнике представлены научные труды, которые посвящены решению проблем в области высоких технологий машиностроения. Рассматриваются вопросы параметрической оптимизации и практической реализации высокоточной механической обработки, диагностики технического состояния станков и инструментов, технологического мониторинга и менеджмента и др.

Для специалистов в области машиностроения, научно-технических работников и студентов.

ББК 34.63

Матеріали відтворено з авторських оригіналів

ББК 34.63

УДК 621.91

© НТУ «ХПІ», 2014

Ю.І. Бабич, М.І. Бабич, канд. техн. наук,
В.М.Тонконогий, д-р техн. наук, Одеса, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУБ'ЄКТА КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ПРОЦЕС ВІДНОВЛЕННЯ ЙОГО КВАЛІФІКАЦІЙНИХ ЗНАНЬ В ЗНАННЯ-ОРИЄНТОВАНИХ СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

В статті проаналізовано вплив двох індивідуальних характеристик суб'єкта критичної інфраструктури: час забування та рівень мотивації на процес відновлення його кваліфікаційних знань в умовах ризику.

В статье проанализировано влияние двух индивидуальных характеристик субъекта критической инфраструктуры: время забывания и уровень мотивации на процесс восстановления его квалификационных знаний в условиях риска.

The article analyzes the influence of two individual characteristics of the subject of critical infrastructure: a time of forgetfulness and level of motivation in the process of restoring his skills and knowledge at risk.

В кожній критичній інфраструктурі (КІ) є свої посадові інструкції для кожного суб'єкта критичної інфраструктури (СКІ), які він повинен знати та дотримуватись при прийнятті рішень для запобігання виникнення аварійно-небезпечних ситуацій. Серед великої кількості рішень можна відокремити так звані управлінські рішення, які стосуються дій особи, що приймає рішення (ОПР), направлених на досягнення повної мети управління. Мінуси людського фактору виявляються в тому, що суб'єкти можуть допускати критичні помилки при виконанні професійної діяльності у зв'язку з втратою кваліфікаційних знань (КЗ). Саме тому індивідуально-орієнтований підхід в процесі відновлення КЗ набирає все більший пріоритет. А інформаційні технології, направлені на покращення процесу відновлення кваліфікаційних знань та підбір індивідуальної стратегії для цього процесу, стають все більше необхідними. Також слід зазначити, що у відповідності з передовими тенденціями, такий підхід дає змогу розглядати кваліфікаційні знання СКІ як капітал, який приносить прибуток КІ, а витрати на процес відновлення цих знань, як прибуткові капіталовкладення [3]. Зважаючи на актуальність розглянутої проблеми в роботі запропоновано розробити знання-орієнтовану систему підтримки прийняття рішень (СППР) при виборі індивідуальної стратегії відновлення кваліфікаційних знань СКІ.

Управлінські дії диференціюються в залежності від предмета, галузі,

важливості, часового горизонту, ступеня невизначеності ситуації, за якою приймається рішення, та ступеня повторюваності. Рішення, що приймаються на практиці, мають різний ступінь повторюваності – від одноразових рішень (унікальних) до рішень із високим ступенем повторюваності. У зв'язку з цим існує класифікація проблем прийняття рішення, яка враховує знання про їх структуру. Згідно з цією класифікацією в процесі аналізу факторів, які впливають на процес відновлення кваліфікаційних знань суб'єкта критичної інфраструктури, було прийнято рішення використовувати наступні індивідуальні характеристики суб'єкта критичної інфраструктури: час забування ($t_{заб}$); рівень мотивації (M); продуктивність роботи (U); рівень кваліфікаційних знань (V).

Аналіз рішень спирається на сучасну теорію прийняття рішень з багатьма цілями в умовах невизначеності або ризику. Даний підхід перш за все спрямований на розробку рекомендацій і розпоряджень щодо того, як приймати рішення. Він забезпечує методологію як для структуризації ситуацій, пов'язаних із прийняттям рішень, так і для визначення раціональних варіантів вибору. Суть аналізу рішень полягає у розбитті складних проблем на простіші компоненти, які підлягають керуванню. В рамках даної статті розглядається визначення двох з чотирьох індивідуальних характеристик: часу забування та рівня мотивації. При дослідженні показника час забування великий внесок зробив відомий вчений Г. Еббінгауз. Вперше, ним було розроблено методи дослідження запам'ятовування та забування, побудована крива зміни об'єму пам'яті в залежності від часу, що пройшов після запам'ятовування матеріалу. Експерименти Торндейка, пов'язані з навчанням, шляхом спроб і помилок, та досліди І.П. Павлова щодо затухання умовних рефлексів підтвердили закон забування Еббінгауза. Таким чином, з'явилася основа для формалізації, де крива забування представлена у вигляді аналітичної залежності (рис. 1).

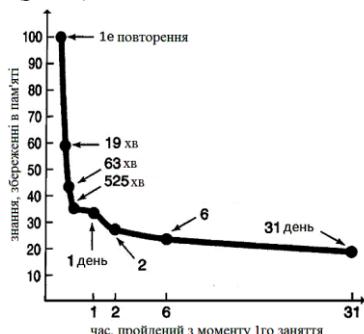


Рисунок 1 – Крива забування Еббінгауза

На відміну від Еббінгауза та його послідовників, дослідженнями осмисленого матеріалу займався американський психолог М.Джонс. Після проведеного ряду експериментів ним було отримано криву наближену до кривої Еббінгауза.

Зважаючи на досліди М. Джонса, припустимо, що процес забування матеріалу не безкінечний і по закінченні деякого проміжку часу в пам'яті суб'єкта містяться постійні залишкові знання, які більше не зменшуються з часом. Тоді лінійну ділянку на кривій забування можна приблизно представити у вигляді постійної величини.

Апроксимуємо залежність забування кваліфікаційних знань від часу за формулою:

$$V = (V_0 - V_k) e^{-kt} + V_k, \quad (1)$$

де V_0 – кількість питань кваліфікаційного тесту, прийнята за 100%; V_k – залишкові кваліфікаційні знання СКІ, %; V – поточні кваліфікаційні знання СКІ отримані після процесу відновлення; k – масштабний коефіцієнт часу; t – оптимальний час після якого необхідно проводити відновлення, тижні.

Для визначення часу забування використовуються показники отримані експериментально. В якості вихідних даних для розрахунку використовуються V_0 і V_k , які визначаються експериментально шляхом тестування суб'єктів критичної інфраструктури. Для показника час забування задаємо точність $\Delta V = V_{\text{заб}} - V_k$ в проміжку $0,05 \div 0,3$, де $V_{\text{заб}}$ – розрахункові кваліфікаційні знання, які залишились в пам'яті суб'єктів після закінчення $t_{\text{заб}}$. Обираємо $\Delta V = 0,05$.

Відомо, що експонента наближається до осі абсцис з точністю $\approx +0,05$ при $t = 3 \div 3,5$. Відповідно, для розрахунку $t_{\text{заб}}$ використовуємо формулу

$$\Delta V = e^{-kt_{\text{заб}}}. \quad (2)$$

Звідки логарифмуючи, отримуємо:

$$t_{\text{заб}} = \frac{\ln(0,05)}{-k}. \quad (3)$$

Для розрахунку невідомого масштабного коефіцієнта k необхідно провести додатковий експеримент: задати довільне t і визначити шляхом тестування значення V . Надалі, перетворивши формулу (1), розраховуємо k .

$$k = \frac{\ln\left(\frac{V - V_k}{V_0 - V_k}\right)}{-t} \quad (4)$$

Підставляючи k в формулу (3) знаходимо $t_{заб}$.

Для апробації результатів перевірялись кваліфікаційні знання 93 суб'єктів критичної інфраструктури із розрахунку, що $t=4$ тижні. Використовуючи дані експерименту, за формулами (4) і (3) виконано розрахунок $t_{заб}$. Фрагмент результату експерименту наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунку $t_{заб}$ суб'єктів критичної інфраструктури

Дані експерименту			Дані розрахунку		
№ з/п	V_o	V	V_k	t	$t_{заб}$
1	100	77	71	4	7,6
2	100	70	68	4	3,9
3	100	97	94	4	17,3
4	100	69	65	4	5,5
5	100	75	61	4	11,7
6	100	95	92	4	12,2
7	100	73	70	4	5,2
8	100	97	95	4	13,1
9	100	95	87	4	24,8
...
93	100	88	83	4	12,8
Середнє значення	100	83,7	78,5	4	12,2

Виходячи з експерименту, середній час забування суб'єктів критичної інфраструктури дорівнює 12,2 тижня. Для перевірки достовірності отриманих результатів через 12 тижнів після відновлення провели повторну перевірку відновлених кваліфікаційних знань, яка показала, що КЗ суб'єктів, здебільшого, не змінилися. На основі отриманих в ході досліджень даних були визначені значення для лінгвістичних термів і відповідна функція приналежності (рис. 2).

Користуючись даними, отриманими експертним шляхом та даними з професійно-кваліфікаційних джерел та відкритих публікацій було визначено, що процес відновлення кваліфікаційних знань суб'єкта потрібно проводити від 4 до 8 тижнів.

Також в даній статті розглянуто визначення такої індивідуальної характеристики, як рівень мотивації.

Визначення мотиваційного рівня СКІ включає два етапи. Перший етап полягає у виявленні мотиваційних потреб суб'єктів, другий – у вимірюванні задоволеності виявлених потреб [1].

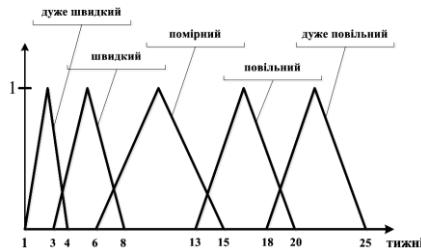


Рисунок 2 – Функція належності для характеристики “Час забування”

Суб’єктам було запропоновано анкету, яка допомагає визначити їх відношення до дванадцяти мотиваційних факторів. Перелік факторів визначення рівня мотивації СКІ з поясненням їх сутності представлено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Мотиваційні фактори суб’єктів критичної інфраструктури

№	Мотиваційні фактори	Сутність мотиваційних факторів
1	Високий заробіток	Потреба мати високу заробітну плату, матеріальні винагороди, набір пільг та надбавок
2	Фізичні умови праці	Потреба мати прекрасні умови праці та комфортне навколошнє середовище
3	Структурування роботи	Потреба мати чітко структуровану роботу, встановлені правила та директиви виконання
4	Соціальні контакти	Потреба спілкуватися з багатьма людьми, мати тісні стосунки з колегами
5	Стійкі взаємовідносини	Потреба формувати і підтримувати довгострокові стабільні стосунки з невеликою кількістю колег
6	Визнання	Потреба в тому, щоб оточуючі цінували досягнення та успіхи індивідуума
7	Прагнення до досягнень	Потреба ставити для себе складні цілі та досягати їх
8	Влада і впливовість	Прагнення керувати іншими, прагнення до конкуренції та впливовості
9	Різноманітність і зміни	Потреба в постійних змінах, бажання постійно бути готовому до дій
10	Креативність	Бажання бути постійно думаючим працівником, відкритим до нових ідей
11	Самовдосконалення	Потреба в самовдосконаленні та розвитку особистості
12	Цікава та корисна робота	Потреба мати суспільно корисну роботу

Сама технологія виявлення цих факторів для кожного суб'єкта пов'язана зі спеціальним тестуванням [2]. Тест запропонували Річі Ш. та Мартін П. Коли СКІ відповідає на питання цього тесту, він виражає свою думку з приводу того, який із наведених вище факторів для нього є значимішим за інший через кількість балів [4].

Для здійснення наступного етапу потрібно виявити в процесі опитування ступінь задоволеності потреб суб'єктів для кожного фактора. Для цього запропоновано ступінь задоволеності фактора розмістити на шкалі від 0 до 1 з кроком 0,1. При цьому значення 0 – відповідає визначеню цілком незадоволений, а 1 – цілком задоволений.

Для подальшого аналізу необхідно бали, отримані під час спеціального тестування, також перевести на шкалу від 0 до 1. Для цього максимальний бал приймається за 1, а інші визначаються через відношення до нього (табл.3).

Таблиця 3 – Кваліметричні значення значимості факторів і їх задоволеності

Номер фактору	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Значимість фактору (m)	0,7	0,3	0,3	0,7	0,4	0,9	0,9	0,7	0,9	0,8	1,0	0,8
Ступінь задоволеності(s)	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	0,7	1,0	0,5	0,5	0,6	0,9

Для визначення мотиваційного рівня M даного СКІ необхідно додати всі значення ступеню задоволеності S . Мотиваційний рівень через ступінь задоволеності мотиваційних потреб визначається з формули:

$$M = s_1 + s_2 + \dots + s_{12}. \quad (5)$$

Шкала значень мотиваційного рівня має вигляд (рис. 3).



Рисунок 3 – Шкала значень мотиваційного рівня

Підставивши у формулу значення таблиці 3, отримаємо значення мотиваційного рівня опитаного СКІ, яке становить 9,4. На основі отриманих в ході досліджень даних були визначені значення для лінгвістичних термів і відповідна функція принадлежності для характеристики – мотиваційний рівень (рис. 4).

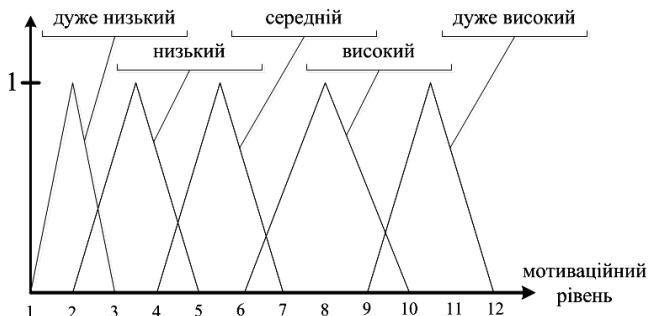


Рисунок 4 – Функція принадлежності для характеристики “Мотиваційний рівень”

Отримавши наведені вище результати, можна бути впевненим, що опитаний СКІ мотивований. Але не можна гарантувати, що така ситуація триватиме довго. У кожної людини може щось змінитися в особистому житті, може змінитися атмосфера в колективі, може змінитися керівник, і тоді для працівника на перше місце виходять інші мотиваційні потреби, які раніше здавалися не важливими. Тому керівництву критичної інфраструктури необхідно не зупинятися на отриманих позитивних результатах, а відслідковувати рівень мотивації суб'єктів регулярно [5].

Для підвищення результативності управління процесом отримання КЗ, умінь та навичок суб'єкта критичної інфраструктури необхідно впроваджувати інструментальні середовища, здатні витягувати з загальної бази знань середовища навчання персоніфіковану інформацію і визначати індивідуальні стратегії відновлення кваліфікаційних знань. Запропонований підхід дозволить, на погляд авторів, спроектувати і реалізувати варіативний підхід при прийнятті рішення щодо вибору індивідуальної стратегії для відновлення КЗ і створення електронної інформаційної підтримки курсу навчання.

Список використаних джерел: 1. П.С. Носов, Ю.И. Косенко. Управление мотивацией субъекта обучения в задачах восстановления знаний // Сб. научных трудов по матер. МНПК «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте 2012» Том 5. Технические науки.– Одесса: Черноморье, 2012. — С. 28 – 31. 2. Косенко Ю.І. Комплексна

система оцінки мотивації студентів. // Збірник наукових праць за матеріалами Всеукраїнської науково-методичної конференції. ВНПК «Перспективні інновації у підготовці педагогічних та інженерних кадрів: теорія, методологія, досвід». — Херсон: Видавництво ХДУ, 2010. — С. 69 – 71. 3. Реформування системи підготовки і підвищення кваліфікації персоналу підприємств як складова інноваційного розвитку промисловості м. Києва // Матеріали Київської міської науково-практичної конференції. — К.: ЦНТЕІ, 2005. — С. 88. 4. Ричі Ш., Мартин П. Управление мотивацией: учебное пособие для ВУЗов/Пер. с англ. под ред. проф. А.Е.Климова. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. — 399 с. 5. [Ефективний менеджер](#): Мотивація вашого колективу. Уч. Посібник "The Open University". М: Дека. - 2002. - 289 с.

Bibliography (transliterated): P.S. Nosov, Ju.I. Kosenko. Upravlenie motivacij sub#ekta obuchenija v zadachah vosstanvlenija znanij // Sb. nauchnyh trudov po mater. MNPK «Perspektivnye innovacii v nauke, obrazovanii, proizvodstve i transporte 2012» Tom 5. Tehnicheskie nauki.– Odessa: Chernomor'e, 2012. — S. 28 – 31. 2. Kosenko Ju.I. Kompleksna sistema ocinki motivacij studentiv. // Zbirnik naukovih prac' za materialami Vseukraїns'koї naukovo-metodichnoї konferencij. VNPK «Perspektivni innovacii u pidgotovci pedagogichnih ta inzhenernih kadrov: teorija, metodologija, dosvid». — Herson: Vidavnictvo HDU, 2010. — S. 69 – 71. 3. Reformuvannja sistemi pidgotovki i pidvishhennja kvalifikaciї personalu pidprietstv jak skladova innovacijного rozvitku promislovosti m. Kieva // Materiali Kiїvs'koї mis'koї naukovo-praktichnoї konferencij. — K.: CNTEI, 2005. — S. 88. 4. Richi Sh., Martin P. Upravlenie motivacij: ucheb.posobie dlja VUZov/Per. s angl. pod red .prof. A.E.Klimova. — M.: JuNITI-DANA, 2004. — 399 s. 5. Efektivnij menedzher: Motivacija vashogo kolektivu. Uch. Posibnik "The Open University". M: Deka. - 2002. - 289 s.

Надійшла до редколегії 23.10.2014

Т.М. Брижан, Минчев Р.М., Мариуполь, Украина

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫСОКОТОЧНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

В роботі теоретично обґрунтовані умови підвищення точності обробки глибоких отворів у зв'язку з виникненням в технологічній системі пружніх переміщень стосовно до процесів лезової і абразивної обробіці, включаючи процеси розточування, розсвердлювання, розгортання, фрезерування та шліфування. Теоретично доведені принципові відмінності у формуванні похибок обробки отворів для розглянутих процесів. Встановлено, що при зніманні нерівномірних припусків можна на основі використання методу внутрішнього шліфування і високошивидкісного фрезерування кінцевими фрезами на верстатах зі ЧПУ.

В работе теоретически обоснованы условия повышения точности обработки глубоких отверстий в связи с возникновением в технологической системе упругих перемещений применительно к процессам лезвийной и абразивной обработке, включая процессы растачивания, рассверливания, развертывания, фрезерования и шлифования. Теоретически доказаны принципиальные отличия в формировании погрешностей обработки отверстий для рассмотренных процессов. Установлено, что при съеме неравномерных припусков добиться наилучших показателей точности и производительности обработки отверстий можно на основе использования метода внутреннего шлифования и высокоскоростного фрезерования концевыми фрезами на станках с ЧПУ.

In this paper theoretically grounded conditions increase the accuracy of the machining of deep holes on the occurrence in the technological system of elastic displacements in relation to the processes of cutting and abrasive machining processes including boring, boring, reaming, milling and grinding. Theoretically proved fundamental differences in the formation of the hole machining errors for the considered processes. It is found that when removing irregular allowances to achieve the best performance and the accuracy of the processing performance of holes can be using the method of internal grinding and high speed end mills milling on CNC machines.

Введение. Изготовление высокоточных глубоких отверстий является наиболее сложными операциями технологии машиностроения в связи с возникновением при обработке значительных погрешностей. Поэтому совершенствованию данных операций на основе применения новых технологий, инструментов и оборудования уделяется большое внимание. В последние годы широко применяются технологии высокоскоростной обработки отверстий, позволяющие уменьшить силовую и тепловую напряженность процесса резания и соответственно повысить точность и производительность обработки. Вместе с тем, возможности этих технологий в полной мере не изучены, что затрудняет их практическое использование. В связи с этим актуальным является теоретическое обоснование условий

повышения точности и производительности обработки глубоких отверстий в деталях, изготовленных из труднообрабатываемых материалов.

Анализ основных достижений и литературы. Научные основы точности и производительности механической обработки отверстий отражены в учебниках и монографиях по технологии машиностроения и теории резания материалов [1 – 4]. Однако в них выбор методов обработки отверстий и рациональных технологических параметров рекомендуется производить в основном с использованием результатов экспериментальных исследований, т.к. отсутствуют общие аналитические решения, с единых позиций описывающие технологические закономерности и возможности всего многообразия существующих методов обработки отверстий. В особой мере это относится к современным методам высокоскоростной обработки глубоких отверстий. Поэтому установление общих теоретических решений по формированию погрешностей обработки глубоких отверстий для основных методов лезвийной и абразивной обработки, в том числе высокоскоростной обработки, имеет важное теоретическое и практическое значение.

Цель исследования, постановка задачи. Целью работы является определение путей повышения точности и производительности обработки глубоких отверстий на основе установления общих технологических закономерностей формирования погрешностей обработки и условий их уменьшения для различных процессов лезвийной и абразивной обработки отверстий. Используя данные решения, можно будет научно обоснованно подходить к выбору наиболее эффективных методов обработки глубоких отверстий и направлений их дальнейшего совершенствования.

Материалы исследования. В общем случае при механической обработке радиальная составляющая силы резания P_y , определяющая упругое перемещение u , возникающее в технологической системе, и погрешность обработки, описывается аналитической зависимостью [5]:

$$P_y = \frac{\sigma \cdot F}{K_{pes}}, \quad (1)$$

где σ – условное напряжение резания, $\text{Н}/\text{м}^2$ (энергоемкость обработки); $K_{pes} = P_z / P_y$; P_z – тангенциальная составляющая силы резания, Н; F – площадь поперечного сечения среза, м^2 .

При точении и растачивании (рис. 1) с учетом соотношений [2]:

$$a = S \cdot \sin\varphi; \quad (2)$$

$$b = \frac{t}{\sin\varphi}, \quad (3)$$

площадь поперечного сечения среза F определяется:

$$F = a \cdot b = S \cdot t, \quad (4)$$

где a , b – соответственно толщина и ширина среза, м; S – подача, м/об.; t – глубина резания, м; φ – главный угол резца в плане.

При шлифовании площадь поперечного сечения среза F равна [5]:

$$F = \frac{Q}{V_{kp}}, \quad (5)$$

где Q – производительность обработки, $\text{м}^3/\text{с}$; V_{kp} – скорость круга, м/с.

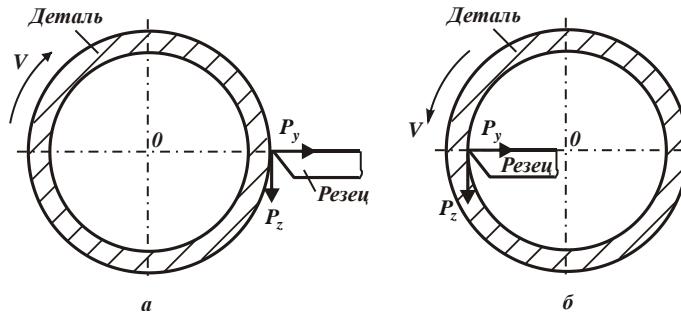


Рисунок 1 – Расчетные схемы параметров процессов точения (а) и растачивания (б)

По физической сути параметр F при шлифовании определяется мгновенную суммарную площадь поперечного сечения среза всеми одновременно работающими зернами шлифовального круга (рис. 2, а).

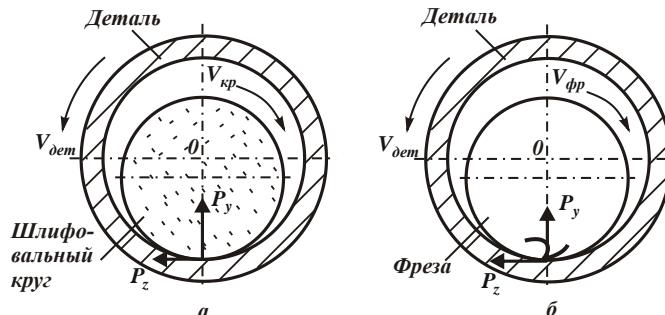


Рисунок 2 – Расчетные схемы параметров процессов шлифования (а) и фрезерования (б) отверстия

При круглом продольном шлифовании Q выражается:

$$Q = \pi \cdot D_{\text{dem}} \cdot S_{\text{прод}} \cdot t, \quad (6)$$

где D_{dem} – диаметр обрабатываемой детали, м; $S_{\text{прод}}$ – скорость продольной подачи, м/с; t – глубина шлифования, м.

Соответственно при круглом врезном шлифовании:

$$Q = S \cdot V_{\text{dem}} \cdot t, \quad (7)$$

где S – продольная подача, м/об.; V_{dem} – скорость вращения детали, м/с.

Как следует из зависимости (1), основными условиями уменьшения радиальной составляющей силы резания P_y и соответственно величины упругого перемещения y , возникающего в технологической системе, является уменьшение отношения $\sigma/K_{\text{рез}}$ и площади поперечного сечения среза F . Уменьшение отношения $\sigma/K_{\text{рез}}$ (энергоемкости обработки σ) предполагает повышение режущей способности инструмента и уменьшение интенсивности трения в зоне резания. При точении и растачивании уменьшение F по зависимости (4) предполагает уменьшение толщины a и ширины b среза и соответственно подачи S и глубины резания t . Однако, это приведет к уменьшению производительности обработки

$$Q = S \cdot V \cdot t, \quad (8)$$

где V – скорость резания (скорость вращения детали или инструмента), м/с.

Поэтому с целью поддержания на заданном уровне производительности обработки Q при решении задачи уменьшения величин P_y , y и соответственно повышение точности обработки, необходимо увеличивать скорость резания V , т.е. переходить в область высокоскоростного резания. Иными словами, необходимо уменьшать F , снижая тем самым величины P_y и y , и одновременно увеличивая скорость резания V , обеспечивая неизменной производительность обработки Q .

При шлифовании, исходя из зависимости (5), уменьшение площади поперечного сечения среза F (без снижения производительности обработки Q) может быть достигнуто за счет увеличения скорости круга V_{kp} . Данная закономерность справедлива и при фрезеровании, рассматривая в

зависимости (5) вместо скорости круга V_{kp} скорость вращения фрезы $V_{\phi p}$ (рис. 2,б). В этом случае производительность обработки Q , определяемая, например, при фрезеровании цилиндрической фрезой зависимостью (7), может оставаться неизменной, а за счет увеличения скорости вращения фрезы $V_{\phi p}$ будет достигаться уменьшение величин P_y , u и соответственно повышение точности обработки. Из этого вытекает, что применение высокоскоростного фрезерования открывает принципиально новые технологические возможности высокоточной и высокопроизводительной обработки. Причем, данные зависимости справедливы и при обработке отверстий методом фрезерования с использованием концевой фрезы (рис. 2,б), который подобен методу внутреннего шлифования. Этот метод осуществляется на современных высокооборотных станках с ЧПУ. Движение инструмента по контуру обрабатываемого отверстия может осуществляться инструментом или с помощью стола станка, на котором установлена обрабатываемая деталь. Система ЧПУ позволяет обеспечить точное движение инструмента по контуру обрабатываемого отверстия, что и предопределяет высокую точность обработки отверстия.

Таким образом показано, что при растачивании и шлифовании (или фрезеровании) отверстия условия снижения величин P_y и u за счет уменьшения площади поперечного сечения среза F различны. Так, при растачивании отверстия уменьшить площадь поперечного сечения среза

$$F = \frac{Q}{V} \quad (9)$$

при одновременном обеспечении постоянства производительности обработки $Q = S \cdot V \cdot t$ можно за счет увеличения скорости резания V при пропорциональном уменьшении подачи S или глубины резания t .

При шлифовании (или фрезеровании) отверстия уменьшить параметр F , определяемый зависимостью (5), при одновременном обеспечении производительности обработки Q можно уменьшением скорости круга V_{kp} или скорости вращения фрезы $V_{\phi p}$, не изменяя другие параметры режима резания, которые входят в зависимости (6) и (7) для определения производительности обработки Q . Это принципиальное отличие в механизме формирования параметров точности обработки при растачивании и шлифовании (или фрезеровании) отверстий. Из этого можно также сделать вывод о том, что процессы внутреннего шлифования и фрезерования

отверстий с точки зрения обеспечения требуемой производительности и точности обработки обладают большими технологическими возможностями, чем растачивание. В особой мере это проявляется при переходе в область высокоскоростной обработки, поскольку при шлифовании и фрезеровании, во-первых, можно обеспечить большие скорости резания, во-вторых, фреза – это многолезвийный инструмент, а резец – однолезвийный инструмент. Этим объясняется широкое применение процесса высокоскоростного фрезерования, в том числе и при обработке высокоточных отверстий в деталях из труднообрабатываемых материалов [6].

Необходимо отметить, что рассмотренные процессы механической обработки отверстий являются достаточно эффективными, однако они не позволяют полностью исключить радиальную составляющую силы резания P_y в процессе обработки, а это ограничивает возможности достижения высоких показателей точности глубоких отверстий. Вместе с тем, наряду с рассмотренными существуют и другие методы обработки глубоких отверстий – рассверливание, зенкерование и развертывание, которые осуществляются осевыми многолезвийными мерными инструментами и за счет симметричного расположения лезвий позволяют уравновесить в процессе обработки суммарную радиальную составляющую силы резания P_y , в результате она становится равной нулю [7]. Это означает, что величина упругого перемещения u , возникающего в технологической системе, также становится равной нулю и погрешности обработки отверстия отсутствуют, т.е. такими методами обработки фактически можно получить идеальную по точности поверхность обрабатываемого отверстия. Следовательно, можно сделать вывод, что методы обработки – рассверливание, зенкерование и развертывание – с точки зрения обеспечения точности обработки располагают наибольшими технологическими возможностями. Причем, условие уравновешивания в процессе обработки суммарной радиальной составляющей силы резания $P_y=0$ достигается независимо от производительности обработки, т.е. можно практически неограниченно производительность обработки увеличивать при гарантированном обеспечении заданной точности обработки глубокого отверстия. Это еще одно преимущество указанных методов обработки глубоких отверстий.

Вместе с тем, рассмотренные закономерности справедливы при съеме равномерного припуска, т.е. при одинаковой площади поперечного сечения среза F каждым лезвием инструмента. В случае невыполнения данного

условия, очевидно, суммарная радиальная составляющая силы резания P_y не будет равна нулю и поэтому все преимущества данных методов обработки глубоких отверстий исключаются. Собственно этим объясняются значительные проблемы на практике обеспечения точности обработки глубоких отверстий с применением методов рассверливания, зенкерования и развертывания. Этим также объясняется и то, что после рассверливания рекомендуется применять зенкерование, а затем развертывание, т.к. зенкер имеет больше лезвий, чем сверло, а развертка имеет больше лезвий, чем зенкер. Как показывает практика, с увеличением количества лезвий инструмента точность обработки повышается и поэтому развертывание из рассмотренных методов является завершающим технологическим переходом обработки отверстия. Хотя с увеличением неуравновешенности суммарной радиальной составляющей силы резания P_y проблемы обеспечения высокой точности обработки глубоких отверстий и при развертывании остаются актуальными, требующими изыскания новых технологических решений. Те же проблемы имеют место и при обработке отверстий с применением метода хонингования, поскольку неуравновешенность суммарной радиальной составляющей силы резания P_y при съеме неравномерных припусков не всегда позволяет добиться высоких показателей точности обрабатываемых отверстий.

Таким образом, на основе сказанного можно заключить, что при съеме равномерных припусков существуют возможности высокоточной обработки отверстий за счет применения осевых многолезвийных инструментов (сверл, зенкеров, разверток, хонов и т.д.). В этом случае методы рассверливания, зенкерования и развертывания располагают большими технологическими возможностями по сравнению с методами растачивания, шлифования и фрезерования отверстий. В условиях же съема неравномерных припусков, когда сложно уравновесить суммарную радиальную составляющую силы резания P_y и исключить упругие перемещения y , возникающие в технологической системе, появляется возможность более эффективного применения методов растачивания, шлифования и фрезерования отверстий, которые не так сильно связаны с таким понятием как “уравновешивание суммарной радиальной составляющей силы резания P_y ”. В этих условиях фактически с одинаковой эффективностью можно применять все вышеуказанные методы обработки глубоких отверстий. На рис. 3 приведена структурная схема условий повышения точности обработки отверстий с

неравномерно снимаемым припуском, в которой выделены 4 группы методов обработки отверстий, анализ которых проведен выше.



Рисунок 3 – Структурная схема условий повышения точности обработки отверстий с неравномерно снимаемым припуском

Выводы. В работе теоретически обоснованы условия повышения точности обработки глубоких отверстий в связи с возникновением в технологической системе упругих перемещений применительно к процессам лезвийной и абразивной обработке включая процессы растачивания, рассверливания, развертывания, фрезерования и шлифования. Теоретически доказаны принципиальные отличия в формировании погрешностей обработки отверстий для рассмотренных процессов. Установлено, что при съеме неравномерных припусков добиться наилучших показателей точности и производительности обработки отверстий можно на основе использования метода внутреннего шлифования и высокоскоростного фрезерования концевыми фрезами на станках с ЧПУ.

Список использованных источников: 1. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения / Б.С. Балакшин. – М.: Машиностроение, 1969. – 359 с. 2. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / В.Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 343 с. 3. Колев К.С. Точность обработки и режимы резания / К.С. Колев, Л.М. Горчаков. – М.: Машиностроение, 1976. – 144 с.

- 4.** Лурье Г.Б. Шлифование металлов / Г.Б. Лурье. – М.: Машиностроение, 1969. – 197 с.
5. Новиков Ф.В. Теоретический анализ формирования погрешностей при обработке отверстия с начальной значительной некруглостью / Ф.В. Новиков, И.Е. Иванов, И.А. Рябенков // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ 2008. – Вип. 68. – С. 119-135. **6.** Новиков Ф.В. Определение условий уменьшения погрешностей механической обработки отверстий / Ф.В. Новиков, А.Н. Ковалчук, И.А. Рябенков // Защита металургических машин от поломок. – Мариуполь: ПГТУ, 2009. – Вып. 11. – С. 273-279. **7.** Брижан Т.М. Условия повышения точности обработки отверстий / Т.М. Брижан // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях: сборник научных трудов 4-ой Международной научно-практической конференции (4-5 июня 2014 г.). В 3-х томах, Том 1. – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2014. – С. 104-109.

Bibliography (transliterated): **1.** Balakshin B.S. Osnovy tehnologii mashinostroeniya / B.S. Balakshin. – M.: Mashinostroenie, 1969. – 359 s. **2.** Bobrov V.F. Osnovy teorii rezaniya metallov / V.F. Bobrov. – M.: Mashinostroenie, 1975. – 343 s. **3.** Kolev K.S. Tochnost obrobotki i rezhimy rezaniya / K.S. Kolev, L.M. Gorchakov. – M.: Mashinostroenie, 1976. – 144 s. **4.** Lure G.B. Shlifovanie metallov / G.B. Lure. – M.: Mashinostroenie, 1969. – 197 s. **5.** Novikov F.V. Teoreticheskiy analiz formirovaniya pogreshnostey pri obrabotke otverstiya s nachalnoy znachitelnoy nekruglostyu / F.V. Novikov, I.E. Ivanov, I.A. Ryabenkov // Visnyk Kharkivskogo natsionalkogo tekhnichnogo universytetu silskogo gospodarstva im. Petra Vasylenska. – Kharkiv: KhNTUSG, 2008. – Vyp. 68. – S. 119-135. **6.** Novikov F.V. Opredelenie usloviy umensheniya pogreshnostey mekhanicheskoy obrabotki otverstiya / F.V. Novikov, A.N. Kovalchuk, I.A. Ryabenkov // Zashita metalurgicheskikh mashin ot polomok. – Mariupol: PGTU, 2009. – Vyp. 11. – S. 273-279. **7.** Brizhan T.M. Usloviya povysheniya tochnosti obrabotki otverstiy / T.M. Brizhan // Innovatsii, kachestvo i servis v tekhnike i tekhnologiyakh: sbornik nauchnykh trudov 4-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (4-5 iuunya 2014 g.). V 3 tomakh, Tom 1. – Kursk: Yugo-Zap. gos. un-t, 2014. – S. 104-109.

Поступила в редакцию 23.10.2014

УДК 005.8: 658

В.А. Вайсман, д-р техн. наук, В.М. Рязанцев, канд. экон. наук,
В.Д. Гогунский, д-р техн. наук, Ю.С. Чернега, Одесса, Украина

ПРОЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДОЛЖНОСТНЫМИ ОБЯЗАННОСТЯМИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЕНЕДЖЕРА

Процес управління персоналом, що працює в багатофакторних системах, організаціях часто може бути представлений тільки у вигляді якісних моделей. Пропонується використовувати побудову моделі діяльності менеджера в частині його посадових обов'язків з використанням ланцюгів Маркова, що дозволить дати кількісні оцінки діяльності менеджера.

Процесс управления персоналом, работающим в многофакторных системах, организациях часто может быть представлен только в виде качественных моделей. Предлагается использовать построение модели деятельности менеджера в части его должностных обязанностей с использованием цепей Маркова, что позволит дать количественные оценки деятельности менеджера.

Process management staff working in multi-factor systems, organizations often can be represented only in the form of high-quality models. Invited to serve as building a model of the manager as part of his duties with the use of a Markov chain that takes you to the quantitative estimates of the manager.

Введение. Глобальные тренды по проектированию бизнеса связаны с усложнением технологий, сокращением цикла производства и снижением стоимости изделий [1 – 3]. Так, для предприятий эффективность рыночной конкуренции определяется элементами среды, основными из которых являются: технологии, ресурсы, персонал, менеджмент, рынок и проекты. Доступность и потенциальные возможности воздействия на эти элементы, кроме менеджмента, почти одинаковы. Поэтому совершенствование менеджмента на основе новой философии проектно-управляемого управления организациями предоставляет потенциальные возможности улучшения результативности деятельности на порядок. Трансформация организаций в направлении проактивного управления программами и проектами, особенно в области обеспечения безопасности персонала, является приоритетным направлением развития предприятий [4 – 5].

Цель статьи. Разработать модель деятельности работника в проектно-ориентированной организации в соответствии с должностной инструкцией, определяющей перечень работ и обязанностей, направленных на обеспечение безопасности технических систем и работы персонала предприятия.

Актуальность исследования. Современное управление предприятиями, к сожалению, не ориентировано на проектно-управляемые формы

управления, предполагающие управление изменениями в организации при существенных возмущениях внутренних и внешних условий. При этом сдерживающим фактором является функциональный подход. Корпоративные цели в таких иерархических системах обеспечиваются только административным и организационным управлением высшего руководства, а оценка эффективности управления затруднена и ответственность за хозяйствственные и производственные результаты размыта.

Перестройка бизнеса при переходе на проектно-управляемые основы управления требует формирования новой производственной среды, включающей, прежде всего, совершенствование и согласование подсистем обеспечения задач управления качеством, подготовку персонала, в том числе, в области обеспечения безопасности оборудования и работы персонала [3]. В развитие положений Дж. Тернера [7] по управлению изменениями организациями с помощью проектов, необходимо рассматривать систему управления организацией как комплекс взаимосвязанных проектов / программ / портфелей в проектно-управляемой среде с непрерывным улучшением процессов и продуктов.

Постановка задачи исследования. Разработка проектов по обеспечению безопасности технических систем и работы персонала включает комплекс мероприятий, которые направлены на создание комфортных и безопасных условий труда работающих. Ключевым игроком в команде, обеспечивающей производственную деятельность предприятий, являются инженеры охраны труда (ИОТ). Охрана труда на предприятиях связана с реализацией проектов по снижению смертности и производственного травматизма в процессе трудовой деятельности, а также направлена на уменьшение числа рабочих мест с вредными и опасными условиями. При этом при нарушениях инструкций по охране труда могут применяться различные взыскания, в том числе, и по отношению к ИОТ - административный протокол, предписание, штрафные санкции за нарушение нормативных актов по охране труда, невыполнение распоряжений должностных лиц органов госнадзора за охраной труда. В общем случае нарушение правил охраны труда карается Законом в зависимости от степени опасности нарушения и следующих последствий в дисциплинарном, административном или уголовном порядке. Поэтому управление деятельностью инженера охраны труда путем регламентации его обязанностей, предписываемых должностной инструкцией, является актуальной задачей. Одним из способов решения этой научно-прикладной задачи является применение методов математического моделирования.

Множество факторов в слабо структурированных системах в области охраны труда в производственных условиях образует сложную «паутину» связей между состояниями, которые изменяются во времени в зависимости от

структурь системи и факторов внутреннего и внешнего окружения [8 – 10]. Развитие процессов в такой многофакторной системе часто удается представить только в форме качественных моделей [11]. Вместе с тем, применение цепей Маркова позволяет перейти к количественным оценкам хода и результатов деятельности [8 - 13]. При моделировании систем отображение структуры взаимодействия элементов процессов выполняется с помощью ориентированного взвешенного графа, в котором [12 - 14]:

- вершины соответствуют базисным факторам (состояниям) системы;
- непосредственные связи между состояниями отображают причинно-следственные цепочки, по которым распространяются воздействия (коммуникации).

Цепи Маркова описывают случайные процессы, которые удовлетворяют свойству Маркова и принимают конечное или счетное число состояний [8 - 13]. Существуют цепи Маркова с дискретным и непрерывным временем. В данной статье рассматривается дискретный случай.

Результаты исследования. Должностная инструкция Инженера Охраны Труда (ИОТ) включает обязанности трех уровней ответственности и личного участия в проектах (мероприятиях) охраны труда (рис. 1). Первый уровень составляют должностные обязанности и процессы, в которых ИОТ является исполнителем или соисполнителем и несет персональную ответственность за результаты. Для обеспечения поддержки выполнения процессов указанных выше уровней ответственности служит третий уровень – коммуникационный, ИОТ информируется и знает необходимую информацию, данные, нормативы и условия.

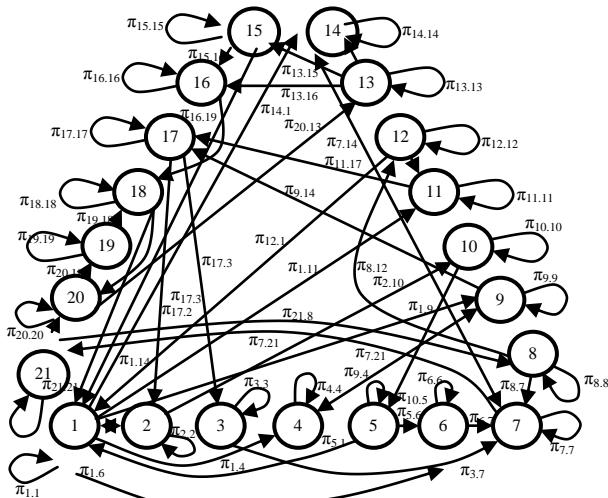


Рисунок 1 – Размеченный граф должностных обязанностей ИОТ

Поясним обозначения состояний на рис. 1 и их соответствие инструкции ИОТ, который несет *персональную ответственность* за процессы:

- 1 разработка приказов и указаний по охране труда;
- 2 документирование результатов обучения и аттестации работников;
- 3 аттестация рабочих мест, разработка мероприятий (проектов) для уменьшения числа рабочих мест с вредными и опасными условиями;
- 4 управление персоналом на основе анализа компетентности работников по охране труда, проведение инструктажей;
- 5 документирование несчастных случаев в производстве;
- 6 разработка мероприятий (проектов) по устраниению и предупреждению несчастных случаев;
- 7 контроль выполнения требований нормативно-правовой, организационно-распорядительной документации по вопросам охраны труда.

ИОТ в качестве соисполнителя *участвует в процессах*:

- 8 разработка должностных инструкций работников (раздел охраны труда);
- 9 повышение квалификации работников по охране труда, проведение инструктажей;
- 10 расследование несчастных случаев в производстве
- 11 аттестация оборудования и рабочих мест при технологической подготовке производства;
- 12 управление документацией и актуализация действующих инструкций в системе менеджмента качества (СМК) в области охраны труда;
- 13 анализ и улучшение СМК, разработка планов развития производства;
- 14 управление персоналом, выполнение контрольно предупредительных мероприятий.

ИОТ *информируется и знает*:

- 15 План Выпуска продукта, план Инновационной деятельности (ИД);
- 16 производственные мощности, средства измерительной техники;
- 17 техническую документацию на продукт;
- 18 условия рабочих мест по вопросам охраны труда, методы идентификации производственных опасностей;
- 19 специализацию подразделений, основные и вспомогательные технологические процессы производства;
- 20 организационную структуру Системы менеджмента качества, подчиненность, процедуры, ответственность;
- 21 основы трудового законодательства; Нормативную Документацию по охране труда, производственной санитарии, противопожарной и экологической безопасности.

Ориентированный граф состояний, представленный на рис. 1, может служить основой для построения марковской модели деятельности ИОТ. В

каждом из 21 состояний существует связь, которая характеризует возможность ИОТ оставаться в данном состоянии. Фактически эта связь соответствует переходу ИОТ в область компетенций – эту работу он выполняет сам. При этом, если у ИОТ нет знаний или предыдущего опыта, необходимых для решения задач процесса, то доля времени на «самостоятельную работу» в виртуальной области компетенций будет достаточно большой, в том числе, за счет обучения / самообучения или поиска примеров наилучшей практики.

Ориентированный граф может быть представлен с помощью матрицы смежности. Каждая строка матрицы смежности отображает переходы в другие состояния системы. При наличии связи между состояниями $i \rightarrow j$ элементы матрицы смежности принимают значение $c_{ij} = 1$. Как известно, все возможные переходы из некоторого состояния в другие состояния составляют полную группу событий – один из переходов должен быть реализован [13]. Это позволяет ввести норму для каждой строки матрицы $\|c_{ij}\|$ с заменой значений $c_{ij}=1$ на переходные вероятности $\pi_{ij}>0$ и выполнением условия, справедливого для полной группы событий:

$$\sum_{j=1}^m \pi_{ij} = 1, \quad \{i = 1, 2, \dots, m\}, \quad (1)$$

где $m = 21$ - число возможных состояний системы.

В однородной цепи Маркова с дискретными состояниями и при изменении времени (шага k) распределение вероятностей состояний $\{p_1(k), p_2(k), \dots p_m(k)\}$ изменяется. При этом вычисление распределения вероятностей на каждом следующем ($k+1$) шаге выполняется, в общем случае, по известной формуле полной вероятности [10 - 13]:

$$\begin{array}{c} \left| \begin{array}{c} p_1(k+1) \\ p_2(k+1) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ p_{20}(k+1) \\ p_{21}(k+1) \end{array} \right| \\ \text{T} \end{array} = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{c} p_1(k) \\ p_2(k) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ p_{20}(k) \\ p_{21}(k) \end{array} \right| \\ \text{T} \end{array} \cdot \begin{array}{c} \left| \begin{array}{ccccccccc} \pi_{1,1} & \pi_{1,2} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \pi_{1,20} & \pi_{1,21} \\ \pi_{2,1} & \pi_{2,2} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \pi_{2,20} & \pi_{2,21} \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \pi_{20,1} & \pi_{20,2} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \pi_{20,20} & \pi_{20,21} \\ \pi_{21,1} & \pi_{21,2} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \pi_{21,20} & \pi_{21,21} \end{array} \right| \end{array}. \quad (2)$$

где Т – знак транспонирования столбца $\|p_i(k+1); i = 1, 2, \dots, 21\|$.

$$\sum_{i=1}^m p_i(k) = 1, \quad (3)$$

где $p_i(k)$ вероятность i -го состояния на шаге k .

Распределение вероятностей состояний $\{p_1(k), p_2(k), \dots, p_{21}(k)\}$ однородной цепи Маркова с дискретным временем характеризуют феноменологическое отображение системы - то, чем объект проявляет себя.

В общем случае условное распределение последующих состояний цепи Маркова зависят только от текущего состояния, и не зависит от всех предыдущих состояний. Область значений величин $\{p_1(k), p_2(k), \dots, p_{21}(k)\}$ называется пространством состояний цепи, а номер k — номером шага.

Марковская цепь позволяет предложить метод усовершенствования деятельности ИОТ на основе определения вероятностей $\{p_1(k), p_2(k), \dots, p_{21}(k)\}$ его состояний в процессе деятельности с применением моделирования (рис. 2). Для принятых исходных данных, соответствующих некоторому уровню совершенства системы управления, на основе модели деятельности ИОТ, как цепи Маркова, в целом полученные результаты, адекватно отражают тенденции изменения состояний ИОТ (рис. 2). При этом уровень совершенства управления предполагает наличие совокупности для каждого из 21 состояний условных переходных вероятностей, зависящих от соотношения времени выполнения работ и операций переходов к другим работам. Для наглядности представления результатов моделирования выполнено разделение расчетных данных на соответствующие группы: изменение состояний 1 – 7 личной ответственности (рис. 2-*a*); состояния 8 – 14 соисполнителя (рис. 2-*б*), состояния 15 – 21, отвечающие состояниям информируемости (рис. 2-*в*).

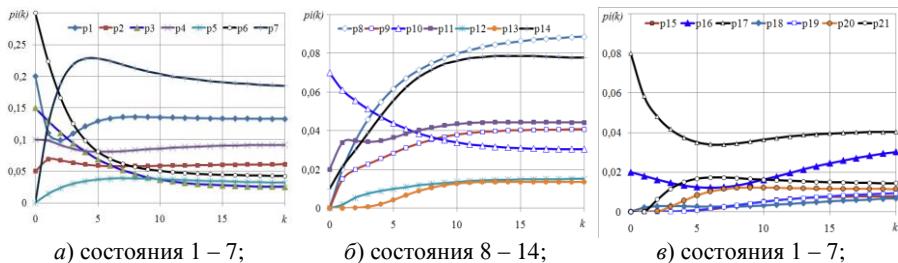


Рисунок 2 – Изменение вероятностей состояний по группам ответственности

В связи с тем, что переходные вероятности системы соотносятся с временем выполнения процессов можно оценить общую загруженность ИОТ. Для этого найдем соотношение сумм вероятностей состояний по группам процессов (рис. 3):

$$\Sigma_{1-7} p_i(k) : \Sigma_{8-14} p_i(k) : \Sigma_{15-21} p_i(k)_{15-21} = 0,56 : 0,31 : 0,13 = 4,4 : 2,4 : 1.$$

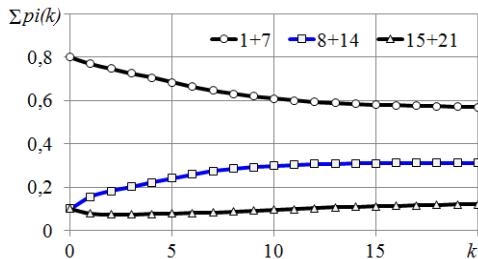


Рисунок 3 - Оценки загруженности ИОТ по выполнению групп процессов

Если принять условие, что смежные группы процессов различаются по затратам времени в два раза, то идеальным будет соотношение:

$$\Sigma_{1-7} pi(k) : \Sigma_{8-14} pi(k) : \Sigma_{15-21} pi(k)_{15-21} = 4 : 2 : 1.$$

Полученные результаты свидетельствуют, что имеет место некоторое увеличение доли времени, которое отводится информационным процессам в ущерб другим должностным обязанностям [15]. Математическое описание модели деятельности ИОТ цепями Маркова позволяет получать количественную характеристику его производственной загрузки, которая регламентируется стандартами предприятия [14 – 16].

Выводы и направления дальнейших исследований.

Разработанный способ оценки действенности проектного управления может использоваться для других должностных обязанностей. Основные направления дальнейших исследований связаны с определением зависимостей переходных вероятностей марковской модели от конкретных структурных и параметрических факторов системы, что позволит с большей достоверностью прогнозировать действенность проектного управления.

Список использованных источников: 1. Вайсман, В.О. Сучасна концепція проектно-орієнтованого командного управління підприємством / В.О. Вайсман, К.В. Колесникова, В.В. Натальшин // Сучасні технології в машинобудуванні : зб. наук. праць. – Вип. 8. – НТУ «ХПІ», 2013. — С. 246 – 253. 2. Вайсман, В. Нова методологія створення інноваційного розвитку проектно-керованих організацій / В.О. Вайсман, В.Д. Гогунський // Економіст. – 2011. – № 8 (298). – С. 11 – 13. 3. Вайсман, В. А. Методологические основы управления качеством: факторы, параметры, измерение, оценка / В. А. Вайсман, В. Д. Гогунский, В. М. Тонконогий // Сучасні технології в машинобудуванні. – 2012. – Вип. 7. - С. 160 – 165. 4. Гогунський, В.Д. Управління ризиками в проектах з охорони праці як метод усунення шкідливих і небезпечних умов праці / В.Д. Гогунський, Ю.С.Чернега // Вост.-Європ. журнал передових технологий. - 2013 – № 1/10 (61). – С. 83 – 85. 5. Markov model of risk in projects of safety / V.D. Gogunsky, Yu.S. Chernega, E.S. Rudenko // Тр. Одес. політехн. ун-та. – 2013. – № 2 (41). – С. 271 – 276. 6. Колесникова, К.В. Розробка посадових інструкцій проектних менеджерів за компетенціями національного стандарту / К.В. Колесникова, Д.В. Лук'янов, С.О. Величко // Шляхи реалізації кредитно-модульної системи . . . : наук.-метод. семінар ОНПУ. – 2012. – Вип. 6. – С. 61 – 65. 7. Тернер, Дж. Родни. Руководство по проектно-ориентированному управлению / Пер. с англ. – М.: Изд. Дом Гребенникова, 2007. – 552 с. 8. Колесникова, Е.В. Моделирование слабо структурированных систем

- проектного управління / Е.В. Колесникова // Тр. Одес. політехн. ун.-та. – 2013. - № 3 (42). – С. 127 – 131.
- 9.** Власенко, О.В. Марковські моделі комунікаційних процесів в міжнародних проектах / О.В. Власенко, В.В.Лебід', В.Д.Гогунський // Управління розвитком складних систем. – 2012. - № 12. – С. 35 – 39.
- 10.** Колесникова К.В. Розвиток теорії проектного управління: обґрунтування закону К.В. Кошкіна щодо завершення проектів / К.В. Колесникова // Управління розвитком складних систем. - № 16. – 2013. - С. 38 – 45.
- 11.** Колесникова К.В. Розвиток теорії проектного управління: обґрунтування закону ініціації проектів / К.В. Колесникова // Управління розвитком складних систем. - № 17. – 2014. - С. 24 – 31.
- 12.** Оборская, А.Г. Модель ефективності комунікацій для управління рекламними проектами / А.Г. Оборская, В.Д. Гогунский // Тр. Одес. політехн. ун.-та – Спецвипуск. — 2005. — С.31 – 34.
- 13.** Колесникова, Е.В. Розвитие теории проектного управления: закон Ю.Л. Вороб'єва о впливі ризику на успішність портфеля проектов / Е.В. Колесникова // Управління розвитком складних систем. - № 18. – 2014. - С. 62 – 67.
- 14.** Колесникова, Е.В. Построение автоматизированной системы тренинга персонала дуговой сталеплавильной печи / Е.В. Колесникова, Вайсман В.А., Тонконогий В.М., Лопаков О.С. // Сучасні технології в машинобудуванні : зб. – Вип. 7. – НТУ «ХПІ», 2012. — С. 304 – 311.
- 15.** Вайсман, В.О. Система стандартів підприємства для управління знаннями в проектно керованій організації / В.О. Вайсман, С.О. Величко, В.Д. Гогунський // Тр. Одес. політехн. ун.-та. – 2011. – Вип. 1(35).– С. 256 – 261.
- 16.** Колесникова, Е.В. Оценка компетентности персонала сталеплавильной печи в проекте компьютерного тренажера / Е.В. Колесникова // ВЕЖПТ. - № 5/1 (65). – 2013. - С. 45 – 48.

Bibliography (transliterated): 1. Vajsman, V.O. Suchasna koncepcija proektno-orientovanogo komandnogo upravlinnja pidpriemstvom / V.O. Vajsman, K.V. Kolesnikova, V.V. Natal'chishin // Suchasni tehnologii v mashinobuduvanny : zb. nauk. prac'. – Vip. 8. – NTU «HPI», 2013. — S. 246 – 253. 2. Vajsman, V. Nova metodologija stvorennja innovacijnjogo rozvitu proektno-kerovanih organizacij / V.O. Vajsman, V.D. Gogunskij // Ekonomist – 2011. № 8 (298). – S. 11 – 13. 3. Vajsman, V. A. Metodologicheskie osnovy upravlenija kachestvom: faktory, parametry, izmerenie, ocenka / V. A. Vajsman, V. D. Gogunskij, V. M. Tonkonojij // Suchasni tehnologij v mashinobuduvanni. – 2012. – Vip. 7. – S. 160 – 165. 4. Gogunskij, V.D. Upravlinnja rizikami v proektaх z horonoi praci jak metod usunennja shkilidivih i nebezpechnih umov praci / V.D. Gogunskij, Ju.S.Chermega // Vost.-Evrop. zhurnal peredovyh tehnologij. 2013 – № 1/10 (61). – S. 83 – 85. 5. Markov model of risk in projects of safety / V.D. Gogunsky, Yu.S. Chemega, E.S. Rudenko // Tr. Odes. politehn. un.-ta. – 2013. – № 2 (41). – S. 271 – 276. 6. Kolesnikova, K.V. Rozrobka posadovih instrukcij proektnih menedzheriv za kompetencijami nacional'nogo standartu / K.V. Kolesnikova, D.V. Luk'janov, S.O. Velichko // Shlyahi realizacij kreditno-modul'noj sistemi ... : nauk.-metod. seminar ONPU. □ 2012. – Vip. 6. □ S. 61 – 65. 7. Temer, Dzh. Rodni. Rukovodstvo po proektno-orientirovannomu upravleniju / Per. s angl. – M: Izd. Dom Grebennikova, 2007. – 552 s. 8. Kolesnikova, E.V. Modelirovaniye slabo strukturirovannyh sistem proektnogo upravlenija / E.V. Kolesnikova // Tr. Odes. politehn. un.-ta. – 2013. № 3 (42). – S. 127 – 131. 9. Vlasenko, O.V. Markovskie modeli komunikacijnih procesiv v mizhnarodnih proektaх / O.V. Vlasenko, V.V.Lebid', V.D.Gogun'skij // Upravlinnja rozvitkom skladnih sistem. – 2012. - № 12. – S. 35 – 39. 10. Kolesnikova K.V. Rozvitok teorii proektnogo upravlinnja: obruntuvannja zakonu K.V. Koshkina shhodo zavershennja proektiv / K.V. Kolesnikova // Upravlinnja rozvitkom skladnih sistem. № 16. – 2013. S. 38 – 45. 11. Kolesnikova K.V. Rozvitok teorii proektnogo upravlinnja: obruntuvannja zakonu iniciacij proektiv / K.V. Kolesnikova // Upravlinnja rozvitkom skladnih sistem. № 17. – 2014. S. 24 – 31. 12. Oborskaja, A.G. Model' jeffektov komunikacij dla upravlenija reklamnimi proektami / A.G. Oborskaja, V.D. Gogunskij // Tr. Odes. politehn. un.-ta – Specvypusk. — 2005. — S.31 – 34. 13. Kolesnikova, E.V. Razvitie teorii proektnogo upravlenija: zakon Ju.L. Vorob'eva o vlijanii riska na uspeshnost' portfelja proektov / E.V. Kolesnikova // Upravlinnja skladnih sistem. № 18. – 2014. S. 62 – 67. 14. Kolesnikova, E.V. Postroenie avtomatizrovannoj sistemy treninga personala dugovoj staleplavil'noj pechi / E.V. Kolesnikova, Vajsman V.A., Tonkonojij V.M., Lopakov O.S. // Suchasni tehnologii v mashinobuduvanni : zb. – Vip. 7. – NTU «HPI», 2012. — S. 304 – 311. 15. Vajsman, V.O. Sistema standartiv pidpriemstva dla upravlinnja znamjamji v proektno kerovanij organizacij / V.O. Vajsman, S.O. Velichko, V.D. Gogunskij // Tr. Odes. politehn. un.-ta. – 2011. – Vyp. 1(35).– S. 256 – 261. 16. Kolesnikova, E.V. Ocenna kompetentnosti personala staleplavil'noj pechi v proekte kompjuternogo trenazhera / E.V. Kolesnikova // VEZhPT. № 5/1 (65). – 2013. S. 45 – 48.

Поступила в редколлегию 01.09.2014

УДК 621.923

А.П. Гавриш, д-р техн. наук, Т.А. Ройк, д-р техн. наук,
Ю.Ю. Віцюк, канд. техн. наук, С.М. Зигуля, Київ, Україна

**ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ШЛІФУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ
ЗНОСОСТОЙКИХ ДЕТАЛЕЙ ТЕРТЬЯ З ЛЕГОВАНИХ ТИТАНОМ
ТА ВОЛЬФРАМОМ КОМПОЗИТИВ
ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ АБРАЗИВНИХ КРУГІВ**

У статті наведені результати експериментального дослідження щодо оптимізації вибору абразивних матеріалів для шліфування зносостійких деталей тертья технологічних комплексів, що виготовлені з нових композитних матеріалів типу 85Х6НФТ, 11Р3АМ3Ф, 4ХМФТС, Р6М5Ф3, 4Х2В5МФ, які леговані титаном, вольфрамом, молібденом і ванадієм та які синтезовані зі шламових відходів інструментальних сталей. Виявлені основні закономірності формування структури поверхневого шару композитних деталей, які повинні бути шліфованими з метою забезпечення високих вимог експлуатаційних параметрів якості поверхонь тертья та продуктивності оброблення.

В статье приведены результаты экспериментальных исследований по оптимизации выбора абразивных материалов для шлифования износостойких деталей трения технологических комплексов, которые изготовлены из новых композитных материалов типа 85Х6НФТ, 11Р3АМ3Ф, 4ХМФТС, Р6М5Ф3, 4Х2В5МФ, которые легированы титаном, вольфрамом, молибденом и ванадием и которые синтезированы из шламовых отходов инструментальных сталей. Выявлены основные закономерности формирования структуры поверхностного слоя композитных деталей, которые должны быть прошлифованы с целью обеспечения высоких требований эксплуатационных параметров качества поверхностей трения.

In the article the experimental research at choice of abrasive materials for grinding wear-resistant parts of the friction technological complexes, which were produced from new composite materials type 85Х6НФТ, 11Р3АМ3Ф, 4ХМФТС, Р6М5Ф3, 4Х2В5МФ which are alloyed by titanium, wolfram, vanadium and which were sintered on the using grinding wastes of instrumental steels has been presented. The main regularities of the formation of the high request exploitations parameters of the quality surfaces friction and, at first the productivity machining, have been determined.

Вступ

Однією з найголовніших проблем при створенні сучасного високоефективного обладнання для технологічних комплексів різних галузей народного господарства України є забезпечення високих показників їх надійності, довговічності, працездатності та ремонтоздатності. Особливо актуальною ця проблема постає, коли машини, їх деталі та механізми працюють у жорстких умовах експлуатації, коли температурне середовище забезпечує нагрівання поверхонь деталей тертья у межах 750 – 800 °C, питомих тисках 5 – 8 МПа, а робота складних машинних комплексів

відбувається при дії агресивного середовища (кисень повітря, виробничий пил з абразивною здатністю та ін.).

З цієї точки зору доцільно звернути увагу на створення за останні роки високозносостійких композиційних сплавів на основі штампових та швидкорізальних інструментальних сталей, легованих титаном, вольфрамом, ванадієм та молібденом [1 - 6]. Саме для забезпечення вимог зносостійкості були проведені широкопланові дослідницькі роботи з розробки технології синтезу заготовок деталей тертя верстатного обладнання зі шламових відходів високолегованих інструментальних сталей, у складі яких присутні цінні легуючі елементи (титан, вольфрам, ванадій, молібден, ніобій, никель тощо), і які є дешевою та вельми корисною вторинною сировиною для виготовлення різного типу конструкційних деталей. При цьому легуючі елементи нових високозносостійких сплавів утворюють в їх структурі чималу частку дрібнозернистих фаз-інтерметалідів. Усе це дозволило отримати високі фізико-механічні та антифрикційні властивості матеріалів, про що свідчать дані, наведені у таблиці.

Як відомо, параметри зносостійкості деталей тертя у машинах і механізмах сучасних технологічних комплексів визначаються не тільки функціональними можливостями матеріалів, з яких ці деталі виготовлено, а і параметрами якості їх поверхонь, що сформовані внаслідок механічного оброблення [6 - 9].

З цієї точки зору деталі з композитів, що мають у своєму складі зазначені вище легуючі елементи (в першу чергу титан і вольфрам) і належать до класу важкооброблюваних сплавів, вимагають особливого підходу до вибору типу абразивних інструментів, які мають бути застосовані для тонкої фінішної обробки робочих поверхонь тертя деталей.

Сьогодні призначення того, чи іншого абразивного інструмента (карбіду кремнію зеленого 63С, електрокорунду білого 32А, синтетичного алмазу АС чи кубічного нітриду бора ЛО, КНБ) здійснюється тільки з урахуванням умов формування найкращих параметрів якості оброблення (шорсткість, глибина та ступінь наклепу, рівень залишкових напруженів поверхневого шару) [5, 8, 10 - 13].

На жаль, розгалужених досліджень технологічних процесів тонкого абразивного оброблення важкооброблюваних композитних сплавів, легованих итаном, вольфрамом, ванадієм та молібденом, що базуються на нових досягненнях науки з теорії різання матеріалів та сучасних поглядах на вплив структурної побудови шліфувального кругу, однорідності зернового складу, кількості основної зеренної фракції і, найголовніше, типу ріжучого абразивного зерна і його особливостей застосування, на сьогоднішній день не існує. Це створює умови для розробки і впровадження у виробництво при виготовленні технологічних комплексів різних за технічним рівнем (і не

завжди оптимальних) технологічних процесів, які, як правило, базуються на досвіді технологів-практиків різних виробничих підприємств і які, найчастіше, створені для забезпечення конкретних потреб діючого виробництва без гарантій досягнення найкращих показників якості виготовлення деталей і відповідних умов їх надійності та зносостійкості.

Таблиця – Основні фізико-механічні та антифрикційні властивості композиційних сплавів, синтезованих зі шламових відходів інструментальних сталей легованих титаном, вольфрамом, ванадієм та молібденом

Матеріал	Межа міцності при згині, МПа	Твердість, НВ, МПа (20 °C)	Ударна вязкість, кДж/м ²	Коефіцієнт тертя	Інтенсивність зношування зразка, мкм/км	Інтенсивність зношування контроліла, мкм/кн
Композит на основі інструментальної сталі 85Х6НФТ	570-600	860-920	750-760	0,0055-0,0085	0,5-0,8	
Композит на основі інструментальної сталі 11РЗАМЗФ	590-620	850-910	770-790	0,0050-0,0080	0,45-0,70	
Композит на основі інструментальної сталі Р6М5К5	530-540	760-870	710-720	0,0014-0,0020	0,25-0,27	
Композит на основі інструментальної сталі Р6М5Ф3	520-530	770-880	670-680	0,0016-0,0023	0,29-0,32	Спід
Композит на основі інструментальної сталі 4ХМФТС	600-630	855-915	780-790	0,0055-0,0082	0,45-0,75	
Композит на основі інструментальної сталі 4Х2В5МФ	570-610	770-810	750-800	0,0015-0,0017	0,27-0,30	

Отже, виконання досліджень з підвищення якості поверхонь, що оброблені методом оздоблювального шліфування, шляхом удосконалення абразивних кругів при надтонкій обробці нових типів високозносостійких композиційних сплавів, легованих титаном, вольфрамом, ванадієм та молібденом, є важливою задачею, яка має незаперечне наукове і, що не менш важливо, практичне значення. Це ілюструє актуальність обраної теми досліджень.

Метою даної статті є забезпечення умов підвищення якості шліфування поверхонь зносостійких деталей тертя з легованих титаном та вольфрамом нових марок важкооброблюваних композитних сплавів шляхом удосконалення абразивних кругів.

Основний зміст та результати виконаних досліджень

Одним із шляхів суттєвого покращення оброблюваності та підвищення якості шліфування поверхонь деталей тертя зі сплавів, легованих титаном та вольфрамом є удосконалення характеристик шліфувальних кругів. З метою встановлення їх раціональних характеристик були виконані дослідження впливу матеріалу абразива, відсоткового складу основної зернової фракції в шліфувальному інструменті та типу зв'язки на ріжучу здатність шліфувальних кругів і якість поверхні деталей тертя, які виготовлені з сучасних марок зносостійких композитів і які містять у складі відповідну кількість титану, вольфраму, ванадію та молібдену.

В результаті аналізу сил шліфування [6, 11, 14] встановлено, що рівень енергетичних витрат при шліфуванні гострими кругами титано-вольфрамових композитів [1, 4, 5] та вуглецевої інструментальної сталі У8 приблизно однакові (рис. 1).

Закономірності змін питомої роботи шліфування в залежності від глибини різання принципово аналогічні раніше отриманим авторами даним [4 – 6, 10, 14] і які свідчать про те, що підвищення $A_{уд}$ зі зменшенням глибини різання пояснюється зростанням витрат на тертя .

Погана оброблюваність шліфуванням деталей, виготовлених з композитних сплавів з вмістом у якості легуючих елементів титану, вольфраму, ванадію та молібдену, обумовлюється швидкою втратою ріжучої здатності шліфувального круга внаслідок активного налипання титана, вольфрама, ванадію та молібдену, обумовлюється швидкою втратою ріжучої здатності шліфувального круга внаслідок активного налипання титана та вольфрама на ріжучі кромки абразивних зерен, що, в свою чергу, різко змінює формування та взаємодію силового та температурного полів шліфування у зоні зрізання стружки з відповідним зниженням параметрів якості поверхонь оброблення [6, 14, 15]. Важається, що явища налипання та зношування абразивних інструментів є наслідком дії особливих якостей титану чи вольфраму, їх хімічною активністю, низькою тепlopровідністю,

високою твердістю сполук (карбідів, нітридів, силіцидів та ін.), що утворюються при взаємодії легованих елементів з матрицею [1 - 4].

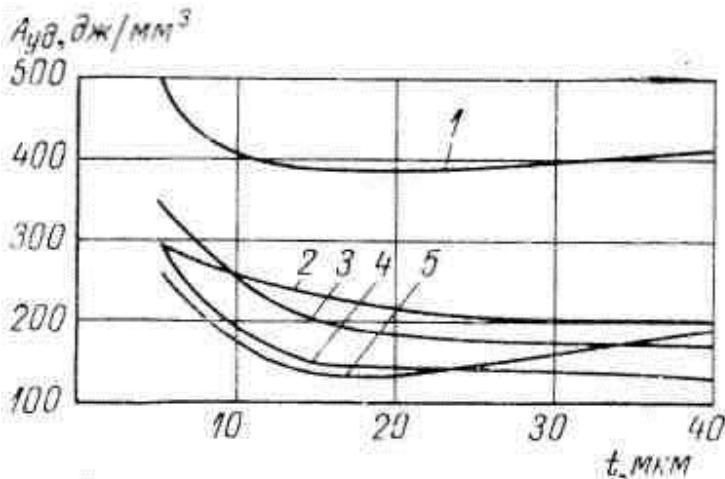


Рисунок 1 – Питома робота $A_{уд}$ при обробці гострими шліфувальними кругами композитних сплавів в залежності від глибини шліфування t :

- 1 – композитний сплав 85Х6НФТ (абразив 63СМ14СМ2Гл); 2 – композит на основі швидкорізальної сталі 4ХМФТС (абразив 63СМ14СМ2Гл); 3 – композит на основі інструментальної сталі 11Р3АМЗФ (абразив 63СМ28СМ2Гл); 4 – композитний сплав на основі швидкорізальної сталі 4Х2В5МФ (абразивний круг 63СМ14СМ2Гл);
5 – вуглецева інструментальна сталь У8 (шліфувальний круг - 63СМ20С1К9)

При металографічному та електронномікроскопічному дослідженні на шліфованих поверхнях композитних деталей тертя технологічних комплексів виявлені білі плями, в яких (на відміну від початкової структури – рис. 2) до глибини 5 – 10 мкм α – β – фази не визначаються. Мікротвердість матеріалу у білих шарах у 2 – 2,5 рази вище початкової (вихідні значення). Композит у зоні білих плям має більш низькі пластичні властивості, ніж вихідні (початкові) значення. Саме тому шліфувальні тріщини (в окремих випадках) утворюються, у першу чергу, у цих зонах.

Однією з визначальних особливостей рельєфа є високий ступінь диспергування фторидних включень – твердої складової мастильної речовини композиту ($\leq 0,5$ мкм). Це дозволяє припустити утворення дрібнодисперсної структури активного шару та максимальної локалізації у ньому поверхневої деформації при терті в умовах реальної експлуатації машини.

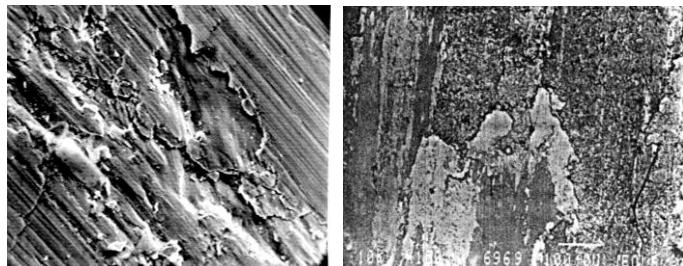


Рисунок 2 – Фрагменти поверхні тертя прошліфованої деталі тертя з композиційного сплаву 85Х6НФТ з вмістом у складі титану (Ti) вольфраму (W):

- а) топографічний рельєф плівки вторинних структур, $\times 400$;
- б) у зоні білого шару, $\times 1000$

Доцільно зазначити, що в результаті налипання титану та вольфраму на ріжучі кромки абразивних кругів під час реалізації технологічного процесу тонкого шліфування, ці утворення металевих контактів ведуть до того, що мікрорельєф шліфованої поверхні композитів, легованих титаном, суттєво відрізняється від шліфованої поверхні, наприклад, вуглецевої інструментальної сталі У8, яка є менш активною у адгезійному та хімічному відношенні. Ця різниця полягає також і в тому, що мікрорельєф шліфованої поверхні деталей з композитів, легованих титаном, характеризується нерівностями, зменшенням регулярних подряпин, майже повною відсутністю на дні лунки подряпини (при візуальному огляді з великим оптичним збільшенням) слідів мікрорізання мікросиступами поверхонь ріжучих абразивних зерен.

В роботах [1 - 5] показано, що з появою у складі зносостійких композитів (крім титану) легуючих елементів з молібдену, вольфраму та ванадію веде до утворення складних сполук, які викликають зниження оброблюваності шліфуванням.

За допомогою методу електронної дифракції вдалося виявити дві майже близькі за періодами гратки карбідів типу $Fe_{21}W_2C_6$ з розміром гратки $a = 1,064$ нм, $Fe_{21}Mo_2C_6$ з $a = 1,100$ нм з кубічною упорядкованою граткою, а також карбід хрому $Cr_{21}W_2C_6$ з кубічною граткою, у якого $a = 1,08$ нм.

Карбід $Me_{23}C_6$, що містить ванадій V, починає розчинятись при досягненні миттєвих контактних температур у зоні шліфування на межі 1050 – 1100 °C [6, 14]. При цьому розчинення карбіду супроводжується переведенням в аустеніт V, Mo та W. Наприклад, для композиційного сплаву на основі інструментальної сталі Р6М5К5 (табл. 1) одна частина карбіду, що міститься у складі сталі, нагріваючись до 1100 °C, розчиняється цілком, а друга частина зі збереженням дрібного зерна залишається нерозчиненою.

Карбід Me_{23}C_6 утворюється при температурі 400 – 500 °C, зазвичай, насиченням хромом цементитного карбіду, що виділяється, і його перетворенням у Me_{23}C_6 . Можливо і пряме виділення з легованого α – твердого розчину деякої кількості карбіду Me_{23}C_6 у композиті на основі сталі Р6М5К5, що містить W, Mo і V, складний карбід Me_{23}C_6 зберігає високу дисперсність через схильність до коагуляції (на відміну від цементиту).

Складний карбід хрому ($\text{Cr}, \text{Fe}, \text{Mo}, \text{W}, \text{V}$) $_{7}\text{C}_3$ типу Me_7C_3 може бути як вторинного походження, що виділився з аустеніту, так і евтектичного, що утворився під час твердіння. Кількість вуглецю в карбіді Me_7C_3 змінюється у певних межах, внаслідок чого він може утворюватись з дефіцитом або з надлишком вуглецю.

У карбіді Me_7C_3 розчиняються Mo, W, V, що підвищує його стійкість до розчинення в аустеніті (особливо в умовах непрогнозованого зростання миттєвих контактних температур у зоні зрізання стружок абразивними зернами). При підвищенні температур різання аустеніт (за рахунок розчинення такого карбіду) насичується ванадієм V, оскільки, як відомо, вміст ванадію в карбіді Me_7C_3 інтенсивно зростає зі збільшенням кількості хрому у швидкорізальних сталях. Отже, розчинність Mo та W у карбіді Me_7C_3 зменшується.

На рис. 3 показана одноступінчаста репліка карбіду Me_7C_3 , з якої видно, що карбід – складна сполука, до якої входять ($\text{Cr}_2, \text{Fe}_2, \text{Mo}, \text{W}, \text{V}$) C_3 .

Евтектичні ділянки (рис. 3) складаються зі складних карбідів типу Me_7C_3 , диспергованих у твердому розчині матриці. Дуже великі ділянки (білі) карбідів ($\text{Cr}_2, \text{Fe}_2, \text{Mo}, \text{W}, \text{V}$) C_3 (періоди гратки $a = 1,398$ нм) утворились в аустенітній матриці за температури 1150 °C. На рис. 3 видно дрібні карбіди складу Me_7C_3 .

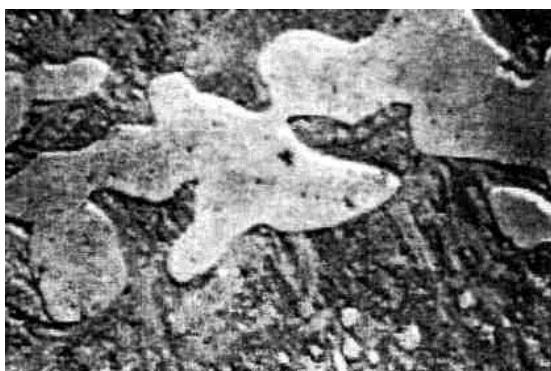


Рисунок 3 – Карбіди типу Me_7C_3 , $\times 10000$, відтінення Ge, 30

Враховуючи особливі властивості композиційних сплавів, які леговані титаном, вольфрамом, молібденом, ванадієм, а також особливості карбідно-фазового складу поверхневих шарів та їх формування під дією миттєвих контактних температур у зоні зрізання стружки абразивним зерном, були виконані дослідження процесу шліфування нових марок високозносостійких композитів з застосуванням кругів з абразивних матеріалів, що мають суттєво різні якості. Зокрема, проведені випробування абразивних зерен з боріду вольфрама (W_2B_3), боріду титана (TiB_2), карбіду цирконію (ZrC). Шліфувальні круги були виготовлені на еластичній бакелітовій зв'язці. Випробування виконані у порівнянні з кругами із серійного зерна карбіду кремнію зеленого (63С) на прецизійному плоско-шліфувальному верстаті FF – 350 «Abawerk» (Німеччина). Застосовувались такі режими шліфування: швидкість кругу – 27 – 30 м/с, поздовжня швидкість деталі (поздовжня подача) – 25 – 30 м/хв, глибина різання – 2 – 5 мкм. Критеріями для оцінки ріжучих властивостей шліфувальних інструментів були складові сил різання, продуктивність зрізання композиту абразивним кругом за одиницю часу, зношування круга, питома робота шліфування, питома продуктивність, широткість поверхні оброблення, залишкові напруження, ступінь наклепу та структура поверхневих шарів.

В результаті виконання розгалужених досліджень було встановлено, що основні показники процесу (для досліджуваних абразивних матеріалів) при шліфуванні гострими кругами (після їх правки) є практично однаковими. Різниця у ріжучих властивостях кругів із цих матеріалів починає проявляти себе лише на стадії їх затуплення. Так, наприклад, відзначається більш інтенсивне зростання (на 20 – 30 %) питомої роботи шліфування зі збільшенням затуплення кругів із зерен металоподібних сполук у порівнянні з кругами з карбіда кремнію (63С). За питомою продуктивністю шліфувальні круги з карбіда кремнію зеленого виявилися також дещо кращими, ніж круги з металоподібних сполук. Таким чином, для існуючого стану вивченості різних абразивних матеріалів основним абразивом для якісного шліфування композиційних важкооброблюваних сплавів, що леговані такими елементами як титан (Ti), вольфрам (W), молібден (Mo) та ванадій (V), може бути рекомендовано лише карбід кремнію зелений (63С), що співпадає з рекомендаціями, отриманими авторами раніше і опублікованими в роботах [1 – 6, 14, 15].

Для підвищення експлуатаційних характеристик шліфувальних кругів з карбіду кремнію зеленого (63С) були досліджені круги із зерен, що пройшли додаткову класифікацію на вібродинамічному класифікаторі WDKR – 1616 фірми General Electric (США). Цей спосіб класифікації підвищує відсотковий вміст основної фракції зерна з 45 – 50 % у серійних шліфувальних кругах до 75 – 85 % у нестандартних інструментах, дослідну партію яких було

спеціально виготовлено для виконання досліджень технологічного процесу тонкого абразивного шліфування нових марок високолегованих і вискооброблюваних композитів.

Одночасно була зроблена спроба зменшити кількість зв'язки в кругах з карбіду кремнію зеленого без зміни їх твердості шляхом введення пластифікуючих активних добавок [11], які сприяють більш міцному закріпленню абразивних зерен у шліфувальному інструменті. Вважалось, що зменшення кількості зв'язки у кругах дозволить зменшити складові сил шліфування і сприятиме покращенню якості оброблення поверхонь деталей у високолегованих композитів.

Експериментальна перевірка підтвердила ці прогнозування. Дослідження показали, що за рахунок зменшення кількості зв'язки на 30% у шліфувальних кругах твердості C2 питома робота шліфування (на різних стадіях затуплення інструментів) у середньому на 25% нижча у порівнянні зі стандартними кругами.

В результаті випробувань кругів при шліфуванні сплава 11РЗАМ3Ф було встановлено, що підвищення основної фракції зерен в інструменті на 30% пропорційно знижує питому роботу шліфування та зменшує рівень максимальних залишкових напружень поверхневого шару деталі оброблення. При цьому час шліфування до виникнення дефектів структури на поверхні оброблення (стійкість кругів) збільшується у 3 – 4 рази у порівнянні з серійними кругами, що виробляються підприємствами абразивної промисловості. Ці позитивні результати можливо пояснити покращенням стабільності умов мікрорізання і покращенням самозаточування кругів, що обумовлює зменшення налипання часток композитного матеріалу, легованого титаном, вольфрамом, молібденом і ванадієм на вершину ріжучого абразивного зерна та, відповідно, зниження складових сил шліфування і рівня залишкових напружень. Позитивний вплив підвищення однорідності зерен також підтверджують дані, отримані в роботах [10 – 13, 16].

Результати виконаних досліджень апробовані у виробничих умовах при виготовленні деталей з новітніх марок композитів на операціях плоского, круглого внутрішнього та зовнішнього шліфування.

Узагальнюючи комплекс виконаних досліджень необхідно зробити наступні висновки:

1. Вперше досліджено технологічні процеси абразивного шліфування нових високозносостійких композиційних сплавів, що синтезовані зі шламових відходів інструментальних сталей типу 85Х6НФТ, 11РЗАМ3Ф, 4ХМФТС, Р6М5Ф3, 4Х2В5МФ і які містять у складі основних легуючих елементів титан та вольфрам під кутом зору забезпечення високих параметрів якості і продуктивності обробки шляхом поліпшення структури шліфувальних абразивних кругів та їх складу.

2. Показано, можливо суттєво покращити результати оброблення підвищеннем однорідності зернового складу абразиву, оптимізації кількісного складу зв'язки та кількості абразивних зерен у шліфувальних кругах.

3. Доведено, що найкращі параметри якості поверхонь оброблення, показники продуктивності зрізання абразивом шару матеріалу зносостійких титано-вольфрамових композитів та розмірної стійкості абразивних інструментів можуть бути отримані при застосуванні для процесів тонкого шліфування робочих поверхонь тертя деталей кругів на базі карбіду кремнію зеленого (63С) на еластичних зв'язках.

4. Подальші дослідження будуть спрямовані на виконання експериментів і встановлення відповідних закономірностей при формуванні тонким шліфуванням параметрів якості поверхонь деталей тертя машин, які виготовлені з новітніх марок композитів на основі кольорових металів (мідь, нікель, алюміній).

Список використаних джерел: 1. Ройк Т.А. Композиційні підшипникові матеріали для підвищених умов експлуатації [Текст]: Монографія / Т. А. Ройк, П. О. Киричок, А. П. Гавриш - К.: НТУУ „КПІ”, 2007.- 404 с. 2. Гавриш А.П. Влияние технологии получения на свойства порошковых материалов для тяжелых режимов трения [Текст] / А. П. Гавриш, Т. А. Роик / Вестник НТУУ «КПИ». Машиностроение. – К.: НТУУ «КПИ», 2002. – Вып. 43. – С. 67 – 71. 3. Аналіз триботехнічних властивостей матеріалів і стан тertiaльних поверхонь [Текст] / [Ройк Т.А., Гавриш А.П., Віцюк Ю.Ю. та ін.]. - Междунар. сб.науч.трудов «Прогрессивные технологии и системы машиностроения». – Донецк: ДонНТУ, 2009. – Вып.37. – С.199-206. 4. Ройк Т.А. Сучасні системи технологій заготівельного виробництва в машинобудуванні [Текст]: Монографія / Т.А. Ройк, А.П. Гавриш, О.А. Гавриш. - К.: ЕКМО, 2010.- 212 с. 5. Новітні технології виробництва стандартизованих виробів: Монографія / [О. А. Гавриш, Ю. Ю. Віцюк, Т. А. Ройк та ін.]. - К.: НТУУ „КПІ”.-2012.-204 с. 6. Технология полиграфического машинобудования [Текст]: навчальний посібник / [П. О. Киричок, Т. А. Ройк, А. В. Шевчук та ін.]. - К.: НТУУ „КПІ“ ВПІ ВПК «Політехніка», 2014.- 504 с. 7. Маталин А.А. Технологические методы повышения долговечности деталей машин [Текст] / А.А. Маталин. – К.: Техника, 1971. – 144 с. 8. Маталин А.А. Качество поверхности и эксплуатационные свойства машин [Текст] / А. А. Маталин. – Л.: Машизд, 1976. – 384 с. 9. Надежность и долговечность машин [Текст] / [Б.И. Костецкий, И.Г. Носовский, Л.И. Бершадский и др.]. – К.: ИПП НАН України, 2013. – 456 с. 10. Лавриненко В.І. Надтверді абразивні матеріали в механообробці [Текст]: енциклопедичний довідник [Текст] / [під заг. ред. акад. НАН України М. В. Новікова]. – К.: ІПП НАН України, 2013. – 456 с. 11. Богуслаев В.О. Основи технології машинобудування [Текст]: навчальний посібник / В. О. Богуслаев, І. В. Ципак, В.К. Яценко. – Запоріжжя: вид-во ВАТ «Моторсіч», 2003. – 335 с. 12. Сверхтвердые материалы. Получение и применение [Текст]: монография в 6 т. / [под общ. ред. акад. Н. В. Новикова]. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН України, 2007. – Т. 6.: Алмазно-абразивный инструмент в технологиях обработки / [под ред. А.А. Шепелева]. – 340 с. 13. Инструменты из сверхтвердых материалов [Текст] / [под общ. ред. акад. Н.В. Новикова, д.т.н. С.А. Клименко]. – 2-е перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2014. – 608 с. 14. Фінішне оброблення зносостійких деталей друкарських машин [Текст]: навчальний посібник / [П.О. Киричок, Т.А. Роик, А.П. Гавриш та ін.]. – К: НТУУ «КПІ», 2014. – 514 с. 15. Оптимізація вибору абразивних матеріалів для шліфування зносостійких деталей з легованих титаном композитів для технологічних комплексів [Текст] / [А.П. Гавриш, Т.А. Роик, О.І. Лотоцька та ін.] // Технологічні комплекси. – № 2 (10) – Луцьк:

ЛНТУ, 2014. – С. 121 – 131. **16. Косторнов А.Г.** Триботехническое материаловедение [Текст]: монография / А.Г. Косторнов. – Луганск: изд-во «Ноули», 2012. – 701 с.

Bibliography (transliterated): **1.** Royik T.A. Kompozytsiyni pidshypnykovi materialy dlya pidvyshchenykh umov ekspluatatsiyi [Tekst]: Monohrafiya / T.A. Royik, P.O. Kyrychok, A.P. Havrysh - K.: NTUU „KPI”, 2007.- 404 s. **2.** Gavrish A.P. Vlijanie tehnologii poluchenija na svojstva poroshkovykh materialov dlja tjazhelyh rezhimov trenija [Tekst] / A.P. Gavrish, T.A. Roik / Vestnik NTUU «KPI». Mashinostroenie. – K.: NTUU «KPI», 2002. – Vyp. 43. – S. 67 – 71. **3.** Analiz tribotehnichnih vlastivostej materialiv i stan tert'ovih poverhon' [Tekst] / [Roik T.A., Gavrish A.P., Vicjuk Ju.Ju. ta in.]. - Mezhdunar. sb.nauch.trudov «Progressivnye tehnologii i sistemy mashinostroenija». – Doneck: DonNTU, 2009. – Vyp.37 . – S.199-206. **4.** Royik T.A. Suchasni systemy tekhnolohiy zahotivel'noho vyrobnytstva v mashynobuduvanni [Tekst]: Monohrafiya / T.A. Royik, A.P. Havrysh, O.A. Havrysh. - K.: EKMO, 2010.- 212 s. **5.** Novitni tekhnolohiyi vyrobnytstva standartyzovanykh vyrobiv: Monohrafiya / [O.A. Havrysh, Yu.Yu. Vitsyuk, T.A. Royik ta in.]. - K.: NTUU „KPI”.-2012.-204 s. **6.** Tekhnolohiya polihrafichnoho mashynobuduvannya [Tekst]: navchal'nyy posibnyk / [P.O. Kyrychok, T.A. Royik, A.V. Shevchuk ta in.]. - K.: NTUU „KPI” VPI VPK «Politekhnika», 2014.- 504 s. **7.** Matalin A.A. Tehnologicheskie metody povyshenija dolgovechnosti detaley mashin [Tekst] / A.A. Matalin. – K.: Tehnika, 1971. – 144 s. **8.** Matalin A.A. Kachestvo povernosti i jekspluatacionnye svojstva mashin [Tekst] / A.A. Matalin. – L.: Mashgiz, 1976. – 384 s. **9.** Nadezhnost' i dolgovechnost' mashin [Tekst] / [B.I. Kosteckij, I.G. Nosovskij, L.I. Bershadskij i dr.]. – K.: IPP NAN Ukrayiny, 2013. – 456 s. **10.** Lavrynenko V.I. Nadverdi abrazivni materialy v mekhanoobrobtsci [Tekst]: entsyklopedychnyy dovidnyk [Tekst] / [pid zah. red. akad. NAN Ukrayiny M.V. Novikoj]. – K.: YPP NAN Ukrayny, 2013. – 456 s. **11.** Bohuslaev V.O. Osnovy tekhnolohiyi mashynobuduvannya [Tekst]: navchal'nyy posibnyk / V.O. Bohuslaev, I.V. Tsypak, V.K. Yatsenko. – Zaporizhzhya: vyd-vo VAT «Motorsch», 2003. – 335 s. **12.** Sverhtverdye materialy. Poluchenie i primenie [Tekst]: monografija v 6 t. / [pod obshh. red. akad. N.V. Novikova]. – K.: ISM im. V. N. Bakulja NAN Ukrayiny, 2007. – T. 6.: Almazno-abrazivnyj instrument v tehnologijah obrabotki / [pod red. A.A. Shepeleva]. – 340 s. **13.** Instrumenty iz sverhtverdyh materialov [Tekst] / [pod obshh. red. akad. N.V. Novikova, d.t.n. S.A. Klimenko]. – 2-e pererab. i dop. – M.: Mashinostroenie, 2014. – 608 s. **14.** Finishne obroblennya znosostiykykh detaley drukars'kykh mashyn [Tekst]: navchal'nyy posibnyk / [P.O. Kyrychok, T.A. Royik, A.P. Havrysh ta in.]. – K: NTUU «KPI», 2014. – 514 s. **15.** Optymizatsiya vyboru abrazivnykh materialiv dlya shlifuvannya znosostiykykh detaley z lehovanykh tytanom kompozitiv dlya tekhnolohichnykh kompleksiv [Tekst] / [A.P. Havrysh, T.A. Royik, O.I. Lotots'ka ta in.] // Tekhnolohichni kompleksy. – № 2 (10) – Luts'k: LNTU, 2014. – S. 121 – 131. **16.** Kostornov A.G. Tribotehnicheskoe materialovedenie [Tekst]: monografija / A.G. Kostornov. – Lugansk: izd-vo «Nouli», 2012. – 701 s.

Надійшла до редколегії 30.10. 2014

УДК 620.1:678.7:534.083

М.О. Голофєєва, В.М. Тонконогий, д-р техн. наук,
Т.О. Редько, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ДИСИПАТИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СИНТЕГРАНУ ВІД ЧАСТОТИ ВИМУШЕНИХ КОЛИВАНЬ

Дослідження залежності дисипативних властивостей синтеграну від частоти вимушених коливань. Розглянуто метод дослідження характеристик розсіювання енергії, заснований на зв'язку декременту затухання коливань та швидкості розповсюдження ультразвуку в матеріалі. Отримана залежність декременту затухання коливань від швидкості розповсюдження ультразвукових хвиль в синтеграні. Доведена можливість використання описаного методу дослідження при визначені частотної залежності дисипативних характеристик матеріалу та отримана залежність декременту затухання в синтеграні від частоти вимушених коливань.

Исследование зависимости дисипативных свойств синтеграна от частоты вынужденных колебаний. Рассмотрен метод исследования характеристик рассеивания энергии, основанный на связи декремента затухания колебаний и скорости распространения ультразвука в материале. Получена зависимость декремента затухания колебаний и скорости распространения ультразвуковых волн в синтегране. Доказана возможность использования описанного метода исследования при определении частотной зависимости дисипативных характеристик материала и получена зависимость декремента затухания в синтегране от частоты вынужденных колебаний.

The studing of the dependence of the dissipative properties of sintegran and the frequency of forced oscillations. The method of investigating the characteristics of energy-firing, based on the relationship of the damping decrement of oscillations and the propagation velocity of ultrasound in the material are considered. The dependence of the damping rate of the oscillations and the propagation velocity of ultrasonic waves in sintegran are received. The possibility of using this method of research in determining the frequency dependence of the dissipative properties of the material are proved and the dependence of the damping rate in sintegran the frequency of forced oscillations are received.

Дослідження демпфуючої спроможності синтеграну за допомогою відомих методів може привести до суттєвих похибок. Це пов'язано з неоднорідністю матеріалу, а відповідно, із складними процесами розсіювання енергії. У зв'язку з цим виникає необхідність розробки методів експериментального визначення дійсних значень характеристик дисипації енергії [1].

Метод дослідження динамічних властивостей синтеграну заснований на взаємозв'язку декременту затухання коливань та швидкості розповсюдження ультразвуку в матеріалі. При виявленні залежності дисипативних властивостей від модуля пружності використовувався метод регресійного аналізу, тобто

статистичний метод дослідження впливу однієї або декількох незалежних змінних на залежну змінну. Отримана в результаті аналізу залежність декременту затухання коливань від модуля пружності синтеграну, наведена на рисунку 1.

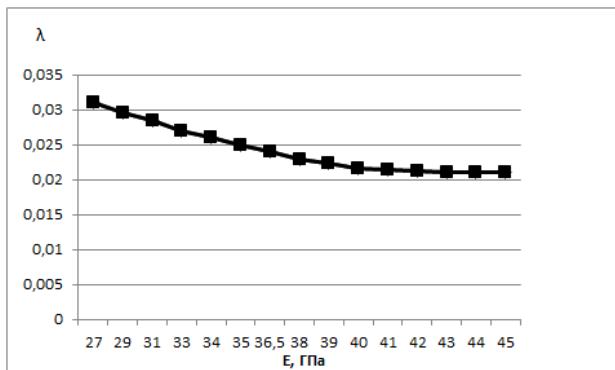


Рисунок 1 – Залежність декременту затухання коливань від модуля пружності синтеграну

В результаті аналізу було встановлено, що найкраще зв'язок декременту затухання коливань в синтеграні та модуля пружності описується поліноміальною моделлю:

$$\lambda = 6 \cdot 10^{-5} \cdot E^2 - 0.0017 \cdot E + 0.0328 , \quad (1)$$

де λ – декремент затухання коливань;
 E – модуль пружності матеріалу, ГПа.

Стосовно швидкості розповсюдження поперечної ультразвукової хвилі в контролюваному середовищі, тобто в синтеграні, то її можна розрахувати за формулою, наведеною в [2].

$$C = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}} , \quad (2)$$

де C – швидкість розповсюдження поперечної ультразвукової хвилі в синтеграні, м/с;

ρ – щільність синтеграну, кг/м²,

ν – коефіцієнт Пуассона.

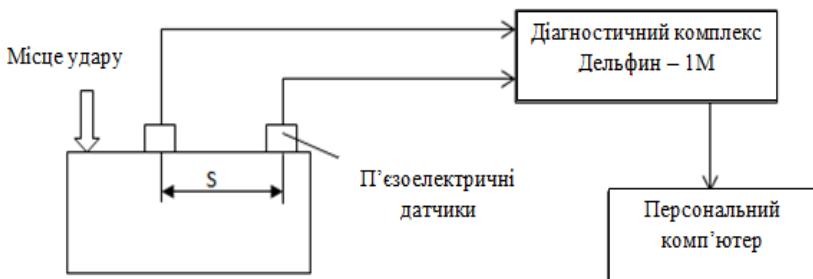
Підставивши формулу (2) у формулу (1) отримуємо залежність декремента затухання коливань від швидкості ультразвукових хвиль в синтеграні:

$$\lambda = 24 \cdot 10^{-5} \cdot \rho^2 \cdot (1 + \nu)^2 \cdot C^4 - 0.0034 \cdot \rho \cdot (1 + \nu) \cdot C^2 + 0.0328 , \quad (3)$$

На рисунку 2 представлена схема вимірювання швидкості ультразвукової поперечної хвилі, що проходить через зразок матеріалу.

З літературних джерел відомі частотні залежності модулю пружності матеріалів, а відповідно і швидкості ультразвукових хвиль, що розповсюджуються в них. Тому можна констатувати чутливість методу вимірювання декременту затухання коливань до змінення параметрів коливань об'єкту дослідження.

Зразок із синтеграну консольно закріплюється на вібростолі, який дозволяє змінювати частоту коливань. На зразкові, на фіксованій відстані S (база прозвучування) встановлюються ідентичні за розмірами та масою віброакустичні п'єзоелектричні датчики АВС 117, за допомогою яких отримуються сигнали, що пропорційні переміщенню. Вимірювання декременту затуханні коливань проводиться ударним ультразвуковим методом. Під час вимірювання зразок здійснює коливальний рух з частотою, що задається вібростолом.



S – база прозвучування

Рисунок 2 – Схема вимірювання швидкості ультразвуку

Сигнали з датчиків вводяться до блоку електроніки діагностичного комплексу «Дельфин – 1М», що забезпечує комутацію, узгодження, попередню фільтрацію та введення вимірювальних даних до комп’ютера за

допомогою аналогово-цифрового перетворювача. Частота опитування кожного каналу – 70000 раз на секунду.

Швидкість розповсюдження ультразвукових хвиль в синтеграні визначається імпульсним методом за різницею в часі сигналів від вібраакустичних датчиків у відповідності із формулою:

$$C = \frac{S}{\Delta t}, \quad (4)$$

де S – відстань між датчиками (база прозвучування), м;

$\Delta t = t_1 - t_2$ – різниця в часі сигналів від вібраакустичних датчиків, с;

t_1 і t_2 – час надходження ультразвукового сигналу на перший та другий датчик відповідно, с.

Дослідження декременту затухання коливань проводилися на частотах 1750 Гц, 1800 Гц, 1850 Гц та 1920 Гц. На кожній частоті виконано по п'ять вимірювань. Результати наведені в таблиці.

Таблиця – Результати вимірювання декременту затухання коливань λ на різних частотах

Частота коливань, Гц	1750	1800	1850	1920
λ , дослід 1	0,025	0,026	0,028	0,029
λ , дослід 2	0,025	0,026	0,028	0,030
λ , дослід 3	0,026	0,027	0,029	0,031
λ , дослід 4	0,026	0,027	0,029	0,028
λ , дослід 5	0,026	0,027	0,028	0,030
Середнє значення	0,0256	0,0266	0,0284	0,0296
Стандартне відхилення	0,00055	0,00055	0,00055	0,00114

Обробка результатів вимірювання була проведена при довірчій ймовірності 0,95. Випадкова похибка вимірювання становить:

$\Delta\lambda = 0,0015$ – при вимірюваннях з частотою вимушених коливань 1750 Гц, 1800 Гц та 1850 Гц;

$\Delta\lambda = 0,0032$ – при вимірюваннях з частотою вимушених коливань 1920 Гц.

З результатів вимірювання видно, що декремент затухання коливань збільшується з ростом частоти коливань зразка. На рисунку 3 представлена залежність вказаних величин.

В результаті аналізу було виявлено, що найкраще залежність декремента затухання коливань від частоти описується поліноміальною моделлю:

$$\lambda = 5 \cdot 10^{-5} f^2 + 0.0011f + 0.0244, \quad (4)$$

де f – частота вимушених коливань.



Рисунок 3 – Залежність декремента затухання коливань від частоти

Висновки:

Розглянутий метод дослідження характеристик розсіювання енергії заснований на зв'язку декременту затухання коливань та швидкості розповсюдження ультразвукових хвиль в матеріалі. Отримана залежність декременту затухання коливань від швидкості ультразвукових хвиль.

Доведена можливість використання описаного методу дослідження при визначені частотної залежності дисипативних характеристик матеріалу та отримана залежність декременту затухання в синтеграні від частоти вимушених коливань.

Список використаних джерел: 1. Экспериментальные методы исследования динамических свойств композиционных структур / Пелех Б.Л., Саляк Б.И.; Отв. ред. В.В. Васильев; АН УССР Ин-т прикладных проблем механики и математики. – Киев: Наук. думка, 1990. – 136 с. – ISBN 5-12-0011312-0. 2. Голофеева М.А. Акустический метод контроля синтеграновых изделий // Проблемы техники. - 2013. - №3. - С. 119 – 124.

Bibliography (transliterated): 1. Jeksperimental'nye metody issledovanija dinamicheskikh svojstv kompozicionnyh struktur / Peleh B.L., Saljak B.I.; Otv. red. V.V. Vasil'ev; AN USSR In-t prikladnyh problem mehaniki i matematiki. – Kiev: Nauk. dumka, 1990. – 136 s. – ISBN 5-12-0011312-0. 2. Golofeeva M.A. Akusticheskij metod kontrolja sintegranovyh izdelij // Problemy tehniki. - 2013. - №3. - S. 119 – 124.

Надійшла до редколегії 01.09.2014

Ю.Г. Гуцаленко, Харків, Україна

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Розглядається проблема порівняння експлуатаційних можливостей інструментальних матеріалів і ріжучих пластин з них. Прийнята до уваги розширенна система критеріїв працездатності включає швидкість об'ємного знімання, стійкість, робочий шлях різання, площа обробленої поверхні, об'ємний з'єм. Запропоновано системну аналітична модель і виконаний розрахунок для надтвердих композитів на основі кубічного нітриду бору в стандартних непереточуваних ріжучих пластинах. Розрахунок виконаний у системі умов і нормативів стандартних стойкостів випробувань.

Рассматривается проблема сравнения эксплуатационных возможностей инструментальных материалов и режущих пластин из них. Принятая во внимание расширенная система критерии работоспособности включает скорость объемного съема, стойкость, рабочий путь резания, площадь обработанной поверхности, объемный съем. Предложена системная аналитическая модель и выполнен расчет для сверхтвердых композитов на основе кубического нитрида бора в стандартных неперетачиваемых режущих пластинах. Расчет выполнен в системе условий и нормативов стандартных стойкостных испытаний.

The problem of comparing the operational capabilities of the tool materials and cutting inserts of them is considered. Taken into account the extended system of working capacity criteria include the speed of volumetric removable, tool life, cutting work path, area of processed surface, volumetric removal. The systematic analytical model is proposed, and the calculation is made for the superhard composites in conventional disposable cutting inserts based on cubic boron nitride. The top level of the hierarchical model is an analytical description of the processed material volumetric removal for the tool life. The highest rating is determined by the maximum material volumetric removal. The calculations on the model established the superiority of Tomal-10 composite over others in grouping accordance with the interstate standard GOST 28762-90 that is applied in Ukraine. Calculation has been made under the conditions and norms of the standard tests for tool life. Development is based on the database of the conditions and tool life norms for tests of the superhard materials on regulations accordance with GOST 28762-90. Development carried out in the framework of the tasks of the state research project 0113U000425.

Введение и постановка задачи. Преподнесенная заголовком данной статьи необходимость сравнительной оценки работоспособности режущих пластин из сверхтвердых инструментальных материалов возникает в различных задачах предпочтения. Прежде всего, разумеется, в организационно-технологической подготовке производства и превентивных расчетах его экономических показателей. Но не только. Например, при выборе базовых объектов научных исследований для формирования информационных систем поддержки внедрения в промышленность новых и перспективных технологий механической обработки [1].

Конкретным посылом к такому исследованию в данном случае послужила разработка экспертной системы прогнозирования шероховатости труднообрабатываемых материалов после алмазно-искрового шлифования как составляющей задания на выполнение в НТУ «ХПИ» в 2013-2014 гг. темы М2240 «Разработка технических решений специальной модернизации универсальных станков и технологических баз данных для алмазно-искрового шлифования труднообрабатываемых материалов» (номер государственной регистрации 0113U000425).

В рамках этой разработки, преимущественно следующей технологические возможности метода алмазно-искрового шлифования применительно к формообразованию режущих пластин отечественного производителя, а именно алмазно-твердосплавных, известных в аббревиатурном представлении АТП (разработчик – Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины [2]), возникла необходимость обоснованного выбора некоторого базового представителя среди нитридборных сверхтвердых композитов как потенциальной технологической альтернативы алмазным, наиболее очевидной в особенности в обработке сталей, химический состав которых роднит с алмазом углерод в различных аллотропах, и это родство привносит известные ограничения теплофизической природы в технологические возможности механического контакта алмаза при резании стали.

Синтетические сверхтвердые материалы на основе кубического нитрида бора, открытого в 1957 году Робертом Венторфом для американской многоотраслевой корпорации Дженерал Электрик, и в нынешнем веке продолжают оставаться топ-уровневым товаром инструментального назначения на мировом рынке техники и технологий механической обработки [3]. Межгосударственный стандарт [4] рассматривает применение семи нитридборных сверхтвердых композитов: 01 (К01 – эльбор-Р), ЗАО «Завод “Композит”», Россия [5]; 02 (белбор), Институт физики твердого тела и полупроводников, Беларусь [6]; 05 (К05ИТ), ЗАО «Завод “Композит”», Россия [5]; 06, Научно-техническая фирма ООО «КНБ» (ОАО «ВНИИинструмент»), Россия [7]; 10Д (К10Д – двухслойные пластины: гексанит-Р с подложкой из безвольфрамового сплава), ЗАО «Завод “Композит”», Россия [5]; 11 (киборит), Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля, Украина [8]; Научно-техническая фирма ООО «КНБ» (ОАО «ВНИИинструмент»), Россия [7]; Томал-10 [9]. В соответствие каждой из этих инструментальных альтернатив стандартом [4] оговорена рекомендуемая область применения.

Выбор конкретной марки как базового объекта в ряду других нитридборных альтернатив в связи с эксплуатационными предпочтениями нуждается в разработке соответствующей методики и аналитической модели

сравнительной оценки. В открытых источниках информации, в том числе в сети Интернет, такая постановка задачи или данные, прямо удовлетворяющие разрешению такой постановки, отсутствуют.

В выполняемой разработке, частично представленной [10], априорно постулируется приоритетность баз данных действующих в Украине государственных стандартов. В ее основу положен стандартный регламент испытаний пластин на стойкость [4].

Стандартные основы и концепция модели. По [4] следует (табл. 1), что в испытаниях рассматриваемых нитридборных режущих пластин «своей» норматив стойкости каждая марка должна обеспечивать с некоторой «своей» производительностью обработки, определенной строго оговоренными режимами проведения испытаний. Значения подачи S_o в табл. 1 приведены для испытаний пластин круглой формы, при работе с многогранными пластинами эти значения уменьшаются против табличных с коэффициентом пропорциональности от 0,5 (для пластин правильной трехгранной формы) до 0,75 (для квадратных пластин).

Как видно из табл. 1 и показано в [10], стандартная практика стойкостных испытаний по [4] весьма затрудняет ясный учет твердости обрабатываемого материала (стали) в построении расчетной модели функционального рейтинга рассматриваемых нитридборных композитов.

Таблица 1 – Исходные данные [4]

Условия испытаний и рассчитываемые показатели		Марка композита					
		01, 02	05	06	10Д	11	Томал-10
Твердость обрабатываемой стали, HRC ₃	Нижн. граница	61	52	61	57	56	50
	Верхн. граница	63	54	63	59	61	56
Процесс обезжидки		Без удара		С ударом		Без удара	
		75		60		110	
Подача (S_o), мм/об		0,20	0,15	0,10	0,07	0,10	
Глубина (t), мм		0,8	2,0	0,5	0,4	0,5	1,0
Стойкость, мин	Средняя, T_{cp}	20	15	40	30	60	50
	95%-ная, $T_{95\%}$	8	6	16	12	24	20

Как видно из табл. 1 и показано в [10], стандартная практика стойкостных испытаний по [4] весьма затрудняет ясный учет твердости обрабатываемого материала (стали) в построении расчетной модели функционального рейтинга рассматриваемых нитридборных композитов.

К тому же, установленный [4] регламент проведения испытаний на стойкость исходит из неравных нормативов стойкости для рассматриваемых нитридборных композитов (табл. 1), поэтому информация об относительной номинальной производительности

$$k_{Qi} = Q_i / Q_{\max}, \quad (1)$$

где

$$Q = v S_o t, \quad (2)$$

недостаточна для оценки сравнительной работоспособности материалов рассматриваемых композитных пластин.

Если прибегнуть к такой оценке по относительной стойкости

$$k_{Ti} = T_i / T_{\max}, \quad (3)$$

то такая оценка в системе баз данных [4] (табл. 1) имеет аналогичный недостаток, что и оценка (1) по k_{Qi} , так как режимы проведения стойкостных испытаний по [4] (табл. 1) различны для разных композитов.

В качестве интегральных оценок сравнительной работоспособности текущих инструментов из различных материалов могут быть рассмотрены также относительные характеристики, опирающиеся на все независимые оценки ресурса инструмента в трактовке [11], а именно рабочий путь резания

$$L = v T, \quad (4)$$

площадь обработанной поверхности

$$F = v T S_o, \quad (5)$$

объемный съем

$$W = Q \cdot T \quad (6)$$

(использование W предложено и представлено в этом же применении в [10]).

Как это видно из табл. 1, стандарт [4] устанавливает два норматива периода стойкости, 95-процентный ($T_{95\%}$) и средний (T_{cp}), которые для каждого из композитов связывает один и тот же коэффициент пропорциональности: $T_{95\%} / T = 0,4$. Поэтому в расчетах относительных показателей в рамках представленного исследования выбор того или иного нормативного периода стойкости T , среднего или на 95% гарантированного пластинам в партиях, чьи представители прошли испытания (табл. 1), не влияет на конечный результат расчета.

Аналогично (1) и (3) имеем:

$$k_{Li} = L_i / L_{\max}, \quad (7)$$

$$k_{Fi} = F_i / F_{\max}, \quad (8)$$

$$k_{Wi} = W_i / W_{\max}, \quad (9)$$

или

$$k_W = k_{Q(Q-T)} \cdot k_{T(Q-T)}, \quad (10)$$

с учетом (2) и после подобно (1) и (3) введения

$$k_{Q(Q-T)i} = Q_i / Q_{(Q-T)\max} \quad (11)$$

и

$$k_{T(Q-T)i} = T_i / T_{(Q-T)\max}, \quad (12)$$

что не получило должного пояснения в [10].

В определении рейтинга работоспособности в общем случае предпочтение следует отдавать оценке по (9) или, равнозначно, (10), поскольку она учитывает большее число независимых факторов влияния, чем (7) с учетом (4) или (8) с учетом (5); см. (6) с учетом (2).

Аналитическое описание (6) объемного съема обрабатываемого материала за период стойкости инструмента, вовравшее наибольшее число учитываемых независимых факторов влияния в ряду базисных уравнений (4)-(6) предложенной системы аналитических выражений относительных оценок работоспособности (7)-(9), соответственно определяет (9) как оценку высшего уровня в иерархии (7)-(9).

Расчет рейтинговых рядов и обсуждение полученных результатов. В табл. 2 представлены результаты расчетов интегральных оценок k_L , k_F и k_W сравнительной работоспособности для группировки нитридборных сверхтвердых композитов по стандартным данным [4] (см. табл. 1).

Таблица 2 – Относительная работоспособность композитов

Оценочный показатель	Марка композита					
	01, 02	05	06	10Д	11	Томал-10
k_L	0,22	0,17	0,45	0,27	1	0,68
k_F	0,45	0,25	0,45	0,19	1	0,68
k_W	0,53	0,75	0,33	0,11	0,73	1

Как следует из табл. 2, кибрит и Томал-10 получили верхние позиции по всем относительным характеристикам, опирающимся на независимые оценки ресурса инструмента по [11], и при этом заметно выделяются по уровню оценок на фоне остальных композитов: по данным табл. 2 средняя их относительных оценок k_L , k_F и k_W (0,85) значительно превосходит среднюю оценок остальной четверки композитов (0,40), регламент стойкостных испытаний которых по [4] также исходит из безударного характера работы

(см. табл. 1). При этом средняя k_L , k_F и k_W каждого композита из этой четверки пребывает в весьма узком интервале значений, от 0,39 до 0,41.

Визуализация полученных расчетных данных об относительных оценках k_L , k_F и k_W в рейтинговой линейке по k_W , в выполняемом исследовании априори определенной иерархически предпочтительной, приведена на рис.

Полученный рейтинговый ряд из семи рассмотренных нитридборных сверхтвердых композитов представляет следующую последовательность (рис. 1, в; в порядке убывания расчетных значений рейтинговой оценки): 1) композит Томал-10 (1); 2) композит 05 (0,75); 3) композит 11 (0,73); 4-5) композиты 01 и 02 (0,53); 6) композит 06 (0,33); 7) композит 10Д (0,11).

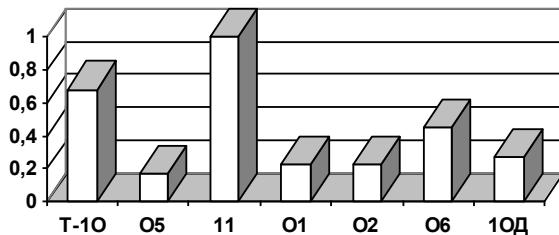
Объективность обращения к критериальным оценкам (7)-(9) в рассматриваемой и подобных задачах возрастает с унификацией критерия и допустимой величины износа для пластин из разных материалов. Регламент [4] таким унифицированным критерием во всех испытаниях определяет износ пластин по задней поверхности. Допустимая величина износа по задней поверхности (h_3) в стойкостных испытаниях определяется [4] равной, $h_3 = 0,4$ мм, вне зависимости от марки композита, угла при вершине пластины и предназначения для работы в автоматических линиях, станках с ЧПУ и ГПС, как это имеет место в регламентировании [4] контроля пластин после испытания их режущих свойств.

Помимо полученной высшей интегральной рейтинговой оценки k_W (рис. 1, в), в пользу композита Томал-10 свидетельствует также его универсальность в применениях, подтверждаемая рекомендательной практикой использования и стандартной практикой проверки режущих свойств этого композита соответственно его организацией-разработчиком [9] и министерством-разработчиком [4].

Основным назначением пластин из композита Томал-10 согласно [9] является оснащение токарных проходных, подрезных, расточных и специальных резцов, а также торцовых фрез, применяемых при обработке закаленных сталей и чугунов, в т. ч. для прерывистого точения „по корке”, включая отбеленные чугуны. С другой стороны, установленным [4] регламентом проведения испытаний на режущие свойства пластинам из композита Томал-10 определен режим наименьшей глубины резания (0,1 мм), т. е. чистовой обработки, тогда как остальным – в 2-5 раз больший.

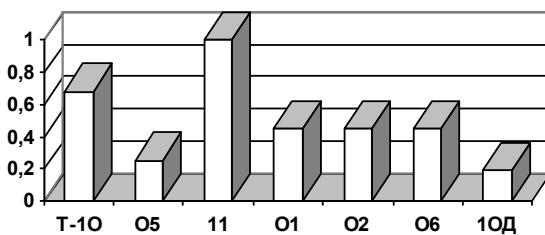
Максимальный съем обрабатываемого материала за время рабочей жизни режущей пластины из сверхтвердого материала как рейтинговый критерий – это одновременно и минимизация затрат в расчете на объемную единицу снимаемого припуска при формообразовании изделий из труднообрабатываемых материалов, максимальное использование уникальных режущих свойств сверхтвердых материалов, инструментальных композитов и режущих пластин на их основе.

k_L



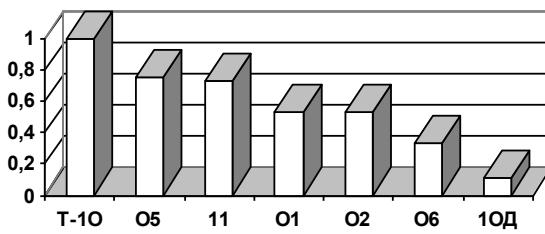
a

k_F



б

k_W



в

Идентификатором T-10 обозначен композит Томал-10

Рисунок – Относительные показатели работоспособности сверхтвердых композитов на основе кубического нитрида бора по производительности (k_Q), стойкости (k_T), пути резания (k_L), площади обработанной поверхности (k_F) и объемному съему (k_W) в рейтинговой линейке относительного объемного съема

Выводы. 1. Предложена опирающаяся на стандартную методику стойкостных испытаний режущих пластин из сверхтвердых материалов система аналитических моделей рейтинговой оценки работоспособности лезвийных инструментов. 2. Разработка реализована на примере группы композитов из нитридборных сверхтвердых материалов (композиты 01, 02, 05, 06, 10Д, 11, Томал-10) с использованием баз данных режимов резания и нормативов их стойкостных испытаний по действующему в Украине межгосударственному стандарту. 3. В результате расчетов по модели в наиболее значимой рейтинговой оценке (по объемному съему) предпочтение первого порядка в исследовательской и последующей промышленной практике заслуживает композит Томал-10. Стабильно высокими результатами среди других сверхтвердых композитов на основе кубического нитрида бора выделяется также композит 11 (киборит), имеющий третью позицию в приоритетном рейтинге по объемному съему и первые позиции в других основных рейтингах – по рабочему пути резания и площади обработанной поверхности. 4. Представленный подход к рейтинговой оценке работоспособности рабочей части лезвийных инструментов, реализованный применительно к сменным режущим пластинам из нитридборных сверхтвердых композитов, может использоваться и применительно к другим группировкам в иерархии инструментальных материалов, в том числе используемым в виде перетачиваемых режущих пластин, поскольку разработанная модель является открытой для дальнейшего совершенствования и имеет перспективу развития на своей собственной основе как в направлении создания аналитического продукта повышенного уровня обобщения, так и в направлении разработки частных аналитических решений.

Список использованных источников: 1. Гуцаленко, Ю. Г. Исторический опыт и современные перспективы алмазно-искрового шлифования / Ю. Г. Гуцаленко // Техника и технологии : пути инновационного развития : Сб. науч. тр. 4-ой междунар. науч.-практ. конф. 30 июня 2014 г., посвящ. 50-летию Юго-Зап. гос. ун-та, г.Курск, Россия. – Курск : Юго-Зап. гос. ун-т, 2014. – С. 264–270. 2. Пластины алмазно-твердосплавные для режущего инструмента. Технические условия : ТУ 88 Украины 90.1244-91. – Киев : ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 1991.– 21 с. 3. Инструменты из сверхтвердых материалов : [Справочник] / Под. ред. Н. В. Новикова и С. А. Клименко. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2014. – 608 с. 4. Пластины режущие сменные из сверхтвердых материалов. Технические условия : ГОСТ 28762-90 [Межгос. стандарт]. Введ. 1991-07-01. – Переизд. – М. : Стандартинформ, 2005. – 25 с. 5. ЗАО «Завод “Композит”» : [Официальный сайт ; Санкт-Петербург, Россия]. – Режим доступа : <http://www.kompozit.spb.ru>. – Дата обращения : 29 августа 2014. 6. Институт физики твердого тела и полупроводников НАН РБ : [Официальный сайт ; Минск, Беларусь]. – Режим доступа : <http://www.iftp.bas-net.by>. – Дата обращения : 29 августа 2014. 7. Научно-техническая фирма ООО «КНБ» : [Официальный сайт ; Москва, Россия]. – Режим доступа : <http://www.knb.su>. – Дата обращения : 29 августа 2014. 8. Научно-технологический алмазный концерн “АЛКОН” : [Официальный сайт ; Киев, Украина]. – Режим доступа : <http://wwwalcon.com.ua>. – Дата обращения : 29 августа 2014. 9. ОАО «Московское производственное объединение по выпуску

алмазного инструмента» : [Официальный сайт ; пгт Томилино, Люберецкий район, Московская область, Россия]. – Режим доступа : <http://www.tomaltools.ru>. – Дата обращения : 29 августа 2014.

- 10.** Гуцаленко, Ю. Г. Аналитическая модель и расчет рейтинговой оценки нитридборных сверхтвердых композитов / Ю. Г. Гуцаленко // Вісн. Нац. техн. ун-ту "Харк. політехн. ін-т": 36. наук. пр. Темат. вип. : Технології в машинобудуванні. – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – № 42. – С. 192–196. **11.** Грановский, Г. И. Резание металлов: Учебник для машиностр. и прибостр. спец. вузов / Г. И. Грановский, В. Г. Грановский. – М. : Высш. шк., 1985. – 304 с.

Bibliography (transliterated): **1.** Gutsalenko, Yu. G. "Istoricheskij opyt i sovremennye perspektivy almazno-iskrovogo shlifovanija" *Tehnika i tehnologii: puti innovacionnogo razvitiya*. Proceedings. The 4th scientific-practical conference dedicated to the 50th anniversary of the Southwest State University. June 30, 2014. Kursk, Russia. 264–270. Print. **2.** Plastiny almazno-tverdosplavnye dlja rezhushhego instrumenta. *Tehnickeskie uslovija*. TU 88 Ukraine 90.1244-91. V. Bakul Institute for Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine. Kiev, Ukraine, 1991, 21 p. **3.** Bogatyreva, G. P., et al. *Instrumenty iz sverhtverdyh materialov*. Ed. N. V. Novikov and S. A. Klimenko. 2nd ed. Biblioteka instrumental'shchika. Moskva, Mashinostroenie, 2014, 608 p. Print. **4.** Plastiny rezhushchie smennye iz sverhtverdyh materialov. *Tehnickeskie uslovija*. GOST 28762-90. Moskva, Standartinform, 2005, 25 p. Reprint. **5.** Zakrytoe akcionernoje obshhestvo Zavod Kompozit. Zavod Kompozit, Closed Joint Stock Company, Sankt-Peterburg, Russia. 2014. Web. August 30, 2014. <<http://www.kompozit.spb.ru>>. **6.** Nacional'naja akademija nauk Belarusi. Institut fiziki tverdogo tela i poluprovodnikov. Joint Institute for Solid State Physics and Semiconductors, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus', 2014. Web. August 30, 2014. <<http://www.iftp.bas-net.by>>. **7.** Nauchno-tehnicheskaja firma OOO KNB. KNB, Co.Ltd, Moskva, Russia. Web. August 30, 2014. <<http://www.knb.su>>. **8.** "ALKON diamond concern". V. Bakul Institute for Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine. V. Bakul Institute for Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine. Kiev, Ukraine. Web. August 30, 2014. <<http://www.alcon.com.ua>>. **9.** Joint Stock Company – Moscow Industrial Union for Diamond Tools Production. Moscow Industrial Union for Diamond Tools Production, Joint Stock Company, Tomilino, Ljuberetsky area, Moscow Region, Russia. Web. August 30, 2014. <<http://www.tomaltools.ru>>. **10.** Gutsalenko, Yu. G. "Analiticheskaja model' i raschet rejtingovoj ocenki nitridbornyh sverhtverdyh kompozitov". Visnyk NTU "KhPI". No. 42. 2014. 192–196. Print. **11.** Granovskij, G. I., and V. G. Granovskij. *Rezanie metallov*. Moscow, Vysshaja shkola, 1985. Print.

Поступила в редакцию 30.10.2014

О.Г. Дерев'янченко, д-р техн. наук,
Д.О. Криницін, Одеса, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ГЛИБИНІ ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНІВ РІЗАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ РІЗЦІВ З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ

Розроблено підхід до комбінованого розпізнавання відколів різальної частини різців на основі їх контролю з використанням системи технічного зору. Отримано відповідну модель відмови та алгоритм. Це забезпечило суттєве підвищення глибини діагностування станів цих різальних інструментів.

Разработан поход к комбинированному распознаванию сколов режущей части резцов на основе их контроля с применением системы технического зрения. Получена соответствующая модель отказа и алгоритм. Это обеспечило существенное повышение глубины диагностирования состояний этих режущих инструментов.

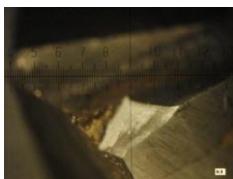
An approach to the combined recognition of cutting part splitting on the basis of their control with the use of the system of technical sight is developed. The proper failure model and algorithm are got. It provided the substantial increasing of diagnosing depth of cutting tools state.

Аналіз попередніх досліджень. В ОНПУ розроблено основні модулі інтелектуальної системи діагностування поточних станів ріжучої частини (РЧ) різальних інструментів (РІ) та прогнозування їх залишкового ресурсу (СДПРРІ), відповідні стенди моніторингу інструментів з використанням систем технічного зору (СТЗ) [1]. У структурі СДПРРІ розроблено модулі, що забезпечують розпізнавання різноманітних класів зношування РІ (зокрема – різців) та їх поступових відмов – внаслідок зношування або втрати якості обробки. Разом з тим системою може бути пропущена відмова РІ внаслідок руйнування РЧ. Такі відмови (зокрема – відколи РЧ) іноді трапляються при чистовій обробці (внаслідок розвитку внутрішніх дефектів РЧ) і досить часто – при напівчистовій обробці. Внаслідок помилкового діагнозу у СДПРРІ інструмент не передається в модуль відновлення РЧ, а повертається до інструментального магазину (ІМ) верстата для подальшого використання. Наслідком цього є брак деталі, аварії верстата. Отже необхідність розпізнавання відколів РЧ є очевидною.

Метою даної статті є викладення деяких результатів розробок підходу, алгоритму та класифікатору діагностування відмов різальної частини різців внаслідок руйнування – відколів РЧ, що суттєво підвищує глибину діагностування РІ з використанням СТЗ.

Розглянемо основні результати дослідження. Глибина діагностування – важлива характеристика якості процесу розпізнавання станів інструментів. В контексті даної роботи вона визначається не тільки кількістю дефектів РЧ, що розпізнає СДПРРІ, а в першу чергу “вагомістю” певного дефекту – з позицій наслідків його пропуску діагностичною системою. Наслідки пропуску дефектів класу відколів зазначені вище (чим, наприклад, відмова РЧ внаслідок зношування). Типові цифрові зображення зон відколів у двох різців приведені в таблиці.

Таблиця – Цифрові зображення зон сколів РЧ РІ у двох проекціях

Цифрові зображення зон відколів	Стан РЧ, що визначає експерт
	Відкол РЧ (з поглибленим до вершини РІ)
	Відкол РЧ (з поглибленим до вершини РІ та рівномірний з боку передньої поверхні)

Модель відмови різальної частини різця, отримана за наслідками його контролю з використанням СТЗ, наведена на рис. 1. Вона є заключним елементом в ряду поточних моделей станів, що належать до комбінованої динамічної моделі РЧ [1].

Очевидно, що на сучасних верстатах повинні функціонувати системи діагностування станів РІ двох типів. Перша з них (система непрямого контролю РІ) орієнтована на розпізнавання фактів руйнування РЧ за скачками сигналів системи різання (що реєструються сенсорами складових сили різання, вібрацій та ін.). Але ж такі відомі системи не забезпечують 100% діагностування названих відмов. При цьому друга система – система прямого контролю з використанням СТЗ (що оцінює поточні стани РЧ та відмови внаслідок зношування поза процесом обробки – у ІМ верстату) є додатковим гарантом розпізнавання відколів РЧ різців.

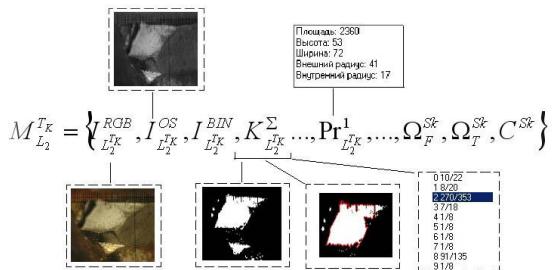


Рисунок 1 – Модель ріжучої частини в стані відмови внаслідок відколу - заключний елемент комбінованої динамічної моделі РЧ

Розроблено спеціальний алгоритм (рис. 2), що забезпечує розпізнавання відмов РЧ різців як внаслідок зношування та втрати якості обробки, так і внаслідок руйнування (відколів РЧ).

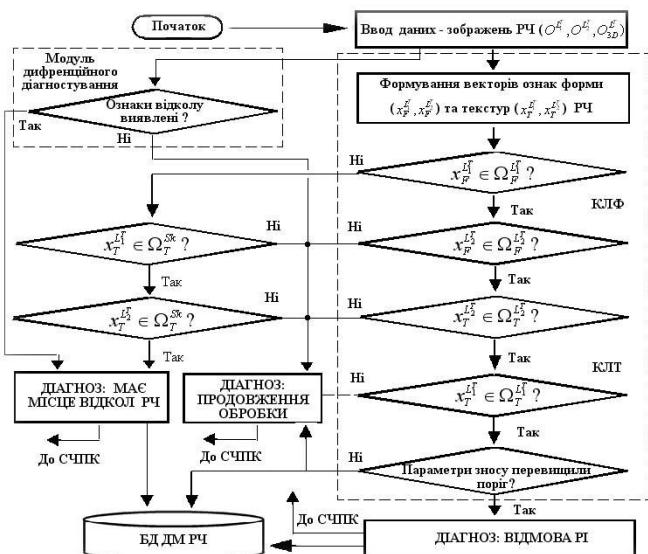


Рисунок 2 – Фрагмент блок-схеми алгоритму діагностування станів РЧ РІ з підвищеною глибиною: розпізнавання відмов РЧ різців як внаслідок зношування та втрати якості обробки, так і внаслідок руйнування (відколів РЧ)

В структурі блок – схеми використано позначення:

$O^{L_1^T}, O^{L_2^T}, O_{3D}^{L^T}$ – цифрові зображення – проекції поверхонь РЧ на основну та на робочу площини та 3D - зображення РЧ; $x_F^{L_1^T}, x_F^{L_2^T}$ – відповідно вектори ознак форм дефектів на передній та задніх поверхнях РЧ;
 $x_T^{L_1^T}, x_T^{L_2^T}$ – відповідно вектори ознак текстур зон дефектів на передній та задніх поверхнях РЧ [2]; $\Omega_T^{L_1^T}, \Omega_T^{L_2^T}$ - класи текстур зон дефектів на передній та на задніх поверхнях РЧ; $\Omega_F^{Sk}, \Omega_T^{Sk}$ - класи форм та текстур відколів РЧ. C^{L^T} – поточний стан РІ; C^{Sk} - стан руйнування (відколу) різальної частини. В структурі бази знань СДПРПІ відповідно формуються вирішальні правила типу:

If $x_F^{L_1^T} \in \Omega_F^{Sk}$ and $x_F^{L_2^T} \in \Omega_F^{Sk}$, then $C^{L^T} \in C^{Sk}$.

Класифікатори форм (КЛФ) та текстур (КЛТ) постійно використовуються для комбінованого розпізнавання відмов РЧ різців внаслідок зношування, втрати якості обробки та для розпізнавання текстур відколу РЧ (рис. 2). Класифікатор форм контуру відколу функціонує у структурі модулю диференційного діагностування.

Набув подальшого розвитку метод диференційного діагностування станів РЧ, який засновано на виділенні контурів робочих зон різальної частини (зон відколів чи зон зношування), виконання операцій їх диференціювання та обробки отриманих даних. Відповідні матеріали представлені на рис. 3.

Аналіз багатьох зображень зон відколів (у тому числі наведених у таблиці) показав, що контури зон відколів в багатьох випадках мають характерні властивості: гострі кути та близькі до прямолінійних границі. На відміну від цього границі контурів зон зношування РЧ мають гладкі криволінійні форми. Це дозволило висунути гіпотезу про можливість відокремлення зон зносу від зон сколів з використанням методу диференціювання.

Підтвердженням цієї гіпотези є матеріали, які представлено на рис. 3.

Розглянемо рис. 3. а як приклад роботи алгоритму діагностування. Його було протестовано на обробці штучного контуру – геометричного п'ятигранника. Особливістю цієї фігури є те, що він має п'ять прямолінійних ділянок, похідна яких є константним значенням,

Додатковою особливістю є розрив похідної функції у точках, відповідних до кутів п'ятигранника. Іншою ілюстративною фігурою є еліпс

(рис. 3.г), під час диференціювання якого відсутні розриви похідної - за винятком лівої та правої граничних точок еліпса.

При обробці фактичних контурів зони відколу (рис. 3.б) та контуру зони зношування задньої поверхні різця (рис 3.в), визначено, що кількість перетинів функції похідної контуру дозволяє відокремити дефекти типу «відкол» від дефектів типу «поверхня РЧ зношена».

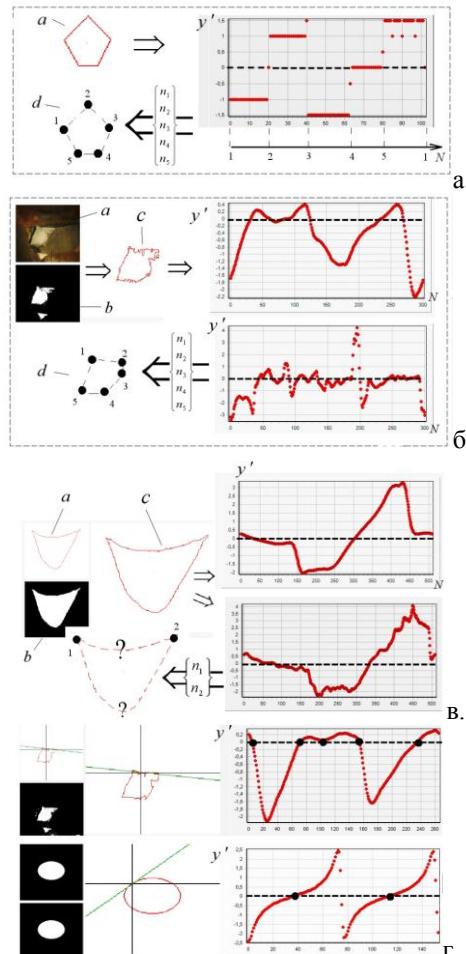


Рисунок 3 – Зображення схем та робочих панелей диференційного діагностування зон зносу, відколів РЧ РІ та тестових геометрических фігур

Висновки

1. Розроблено підхід, алгоритм та класифікатори для комбінованого діагностування відмов РЧ різців внаслідок зношування та руйнування (відколів), підтверджено їх працевздатність. Використання розробок в загальній структурі СДПРР суттєво підвищує глибину діагностування РІ з використанням СТЗ.
2. Набув подальшого розвитку метод діагностування відмов РІ на базі диференційної обробки контурів зон зношування та руйнування різців для чистової та напівчистової обробки. Це поширило універсальність розроблених методів оцінки станів РІ з використанням СТЗ.

Список використаних джерел: 1. Деревянченко А.Г. Подход к формированию моделей состояний РЧ в структуре интеллектуальной системы диагностирования состояния инструментов/ Деревянченко А.Г., Криницын Д.А. //Сучасні технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць – Вип. 9, Харків НТУ «ХПІ», 2014. – С. 153-163. 2. Информационное обеспечение системы поддержания работоспособности режущих инструментов. / [А.Г. Деревянченко, О.Ю. Бабилунга, Д.А. Криницын, И.В. Вахромеев] - Електромашинобудування та електрообладнання: міжвідомчий науково-технічний збірник, ОНПУ, Одеса, 2009. - Вип. 74. - С. 100-104.

Bibliography (transliterated): 1. Derevjanchenko A.G. Podhod k formirovaniyu modeley sostojaniij RCh v strukture intellektual'noj sistemy diagnostirovaniya sostojaniija instrumentov/ Derevjanchenko A.G., Krinicin D.A. //Suchasni tehnologii v mashinobuduvanni: Zbirnik naukovih prac' – Vip. 9, Harkiv NTU «HPI», 2014. – S. 153-163. 2. Informacionnoe obespechenie sistemy podderzhanija rabotosposobnosti rezhushhih instrumentov. / [A.G. Derevjanchenko, O.Ju. Babilunga, D.A. Krinicyn, I.V. Vahromeev] - Elektromashinobuduvannja ta elektroobladnannja: mizhvodomchij naukovo-tehnichnj zbirnik, ONPU, Odesa, 2009. - Vip. 74. - S. 100-104.

Надійшла до редколегії 23.12.2014

УДК 621.91.015-185-531.7

В.О. Залога, д-р техн. наук, Р.М. Зінченко, канд. техн. наук,
Ю.В. Шаповал, Суми, Україна

ПІДВИЩЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ ШЛЯХОМ ЗМІНИ ШВИДКОСТІ РІЗАННЯ В ПРОЦЕСІ ОБРОБКИ

В даній статті проаналізовано можливість підвищення вібростійкості процесу різання при точенні за рахунок керування швидкістю різання в процесі обробки. Розроблено методику дослідження вібраційних процесів при точенні. В результаті обробки експериментальних даних встановлено, що при накладенні коливального руху на обертання шпинделя зменшується загальний рівень коливань по всій довжині спектру, що відображається на якості обробленої поверхні.

В данной статье проанализирована возможность повышения виброустойчивости процесса резания при точении за счет управления скоростью резания в процессе обработки. Разработана методика исследования вибрации при точении. В результате обработки экспериментальных данных установлено, что при наложении колебательного движения на вращение шпинделя уменьшается общий уровень колебаний по всей длине спектра, что отражается на качестве обработанной поверхности.

This article examines the possibility of increasing vibration in cutting process in turning control by cutting speed in processing. A technique for examining the vibration when turning processes. As a result of experimental data revealed that the imposition of the vibrational motion in spindle decreases the overall level fluctuations along the entire length of the spectrum, as shown on the treated surface.

При обробці металів різанням відомі як позитивні, так і негативні дії коливань, - як тих, що виникають в технологічній системі безпосередньо в процесі різання (автоколивань), так і вимушених, що спеціально вводяться в зону різання [1]. З одного боку, при певних амплітудах й частотах ці коливання можуть призводити до покращення процесу руйнування й відділення від заготовки зрізуваного шару та зменшення інтенсивності зношування інструменту і підвищенню його стійкості за рахунок: полегшення пластичної деформації, зменшення коефіцієнта тертя на передній і задніх поверхнях леза інструменту, покращенню відведення стружки, помітного зниження сил різання і виділення тепла, зменшення адгезійних явищ тощо [2-5]. З іншого боку, циклічне навантаження інструменту, що обов'язково супроводжує процес різання при наявності вібрацій, може викликати, як правило, при збільшених амплітудах коливань, втомне руйнування тих ділянок різальних кромок інструменту, що знаходяться в контакті зі зрізуваним шаром, стружкою та поверхнями на оброблюваній деталі (заготовці). Тому при перевищенні деякого граничного значення амплітуди коливань починає швидко підвищуватися інтенсивність зношування

інструменту і, відповідно, знижується його стійкість [1-5]. Цьому сприяє і суттєве збільшення довжини шляху, який проходить інструмент у контакті зі стружкою і поверхнями на оброблюваній деталі [1]. Крім того, при збільшенні амплітуди коливань погіршується (збільшується) шорсткість обробленої поверхні. Слід зазначити, що при чистовій обробці будь-яких матеріалів будь-які коливання у технологічній системі мають негативний вплив на якість поверхні. Одним з ефективних напрямків управління вібраційними процесами при механічній обробці є зміна швидкості різання. Метою даної роботи є розробка методики управління вібростійкістю інструменту при точінні шляхом зміни швидкості різання.

Відомо [2], що одним з найбільш перспективних методів керування стабільністю (вібростійкістю) процесу точіння є зміна частоти обертання шпинделя. Для дослідження впливу зміни швидкості головного руху на вібрації при точінні на базі токарного верстату 16К20 з ЧПК розроблено експериментальний стенд (рис.1).

Експериментальний стенд оснащений датчиками обертів шпинделя, вібрацій, току та напруги силового перетворювача приводу головного руху, за допомогою яких можна вимірювати миттєву потужність двигуна та оцінювати зміну крутного моменту.

За допомогою модулятора (рис. 1) сигнал завдання, який подається системою числового програмного керування (ЧПК), перетворюється за синусоїdalальним законом, причому амплітуду та частоту коливань можна змінювати (рис. 2).

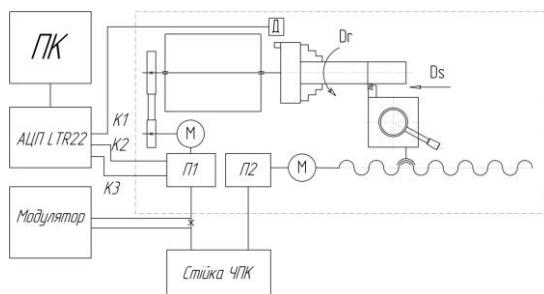


Рисунок 1 – Схема експериментального стенду для змінювання швидкості головного руху при точінні:

ПК – персональний комп’ютер, АЦП – аналогово-цифровий перетворювач,

Модулятор – перетворювач сигналу завдання приводу головного руху по

синусоїdalальному закону, П1 – силовий перетворювач приводу головного руху,

П2 – силовий перетворювач приводу подач, Д – індуктивний датчик Balluff 516-324,

К1 – канал підключення БВК, К2 – канал підключення датчика току силового

перетворювача, К3 – канал підключення датчика напруги якоря двигуна

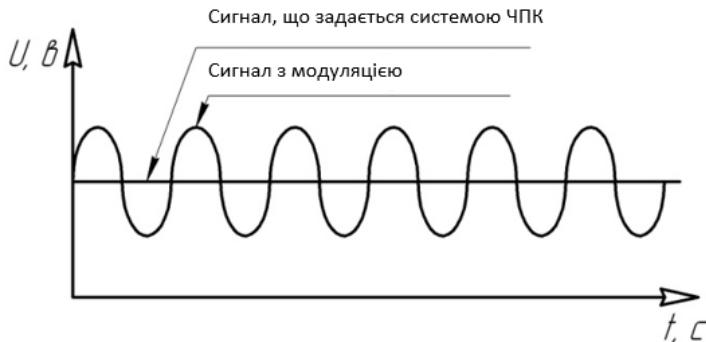


Рисунок 2 – Перетворення сигналу завдання модулятором

Принцип роботи експериментального стенду полягає в наступному. Вібрація, що генерується в системі «верстат - інструмент – деталь», реєструється датчиком і у вигляді аналогового сигналу передається на АЦП, який в свою чергу перетворює сигнал в цифровий вигляд і передає на комп'ютер. Далі за допомогою розробленої авторами програмою проводиться обробка даних, в ході якої будуються спектри сигналів і розраховується потужність вібраційного сигналу. Блок - схема розрахунку представлена на рис. 3.



Рисунок 3 – Блок-схема обробки сигналу

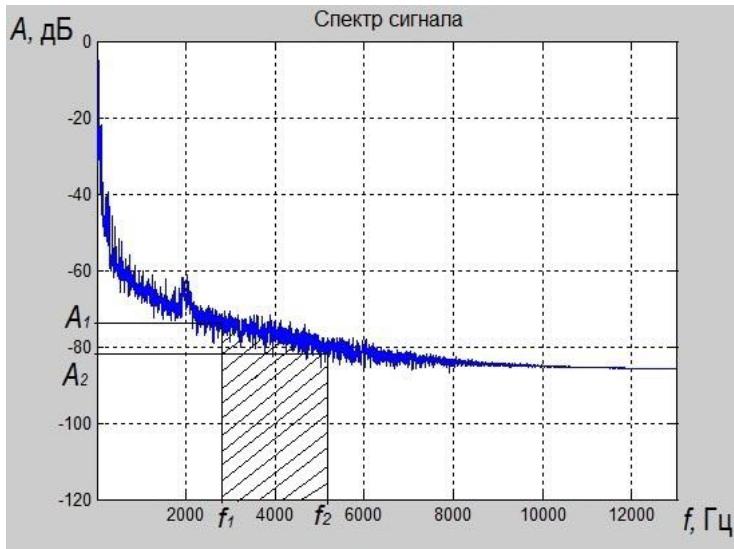


Рисунок 4 – Графічна інтерпретація потужності вібраційного сигналу

Потужність вібраційного сигналу - це інтегральна характеристика спектра, що обчислюється за формулою:

$$E = \int_{f_1}^{f_2} A(f) df. \quad (1)$$

Графічно це не що інше, як площа фігури, обмежена кривою між точками A_1 та A_2 (рис. 4), які відповідають потужностям вібраційних сигналів у системі, і прямими, що відповідають частотам f_1 та f_2 (ділянкам тимчасового інтервалу), отриманих методом швидкого перетворення Фур'є.

На аналогово-цифровий перетворювач від датчика струму Ш-40-0,02 і дільника напруги подається сигнал який перетворюється в цифровий вигляд і передається на вхід в комп'ютер.

Для дослідження вібростійкості процесу точіння розроблено з використанням індуктивного датчика Balluff BES 516-324 [6] методику визначення реальної у даний час частоти обертання шпинделя, алгоритм якої зображенено на рис.5.

Для перевірки даної методики змінювали частоту обертання шпинделя, а також частоту та амплітуду коливання швидкості обертання.

Методика визначення фактичної частоти обертання шпинделя

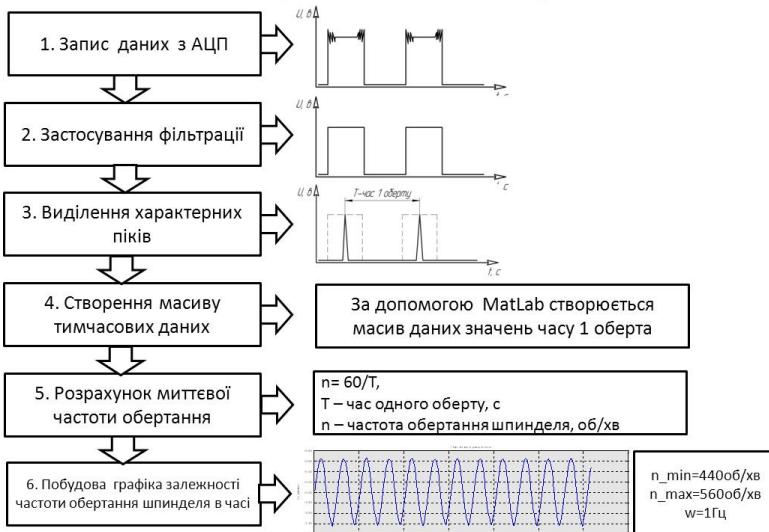


Рисунок 5 – Алгоритм визначення реальної частоти обертання шпинделя

За допомогою АЦП сигнали всіх датчиків оцифровуються та передаються на персональний комп’ютер. За допомогою програми MathLab розраховується миттєве значення швидкості обертання та будуються відповідні графіки.

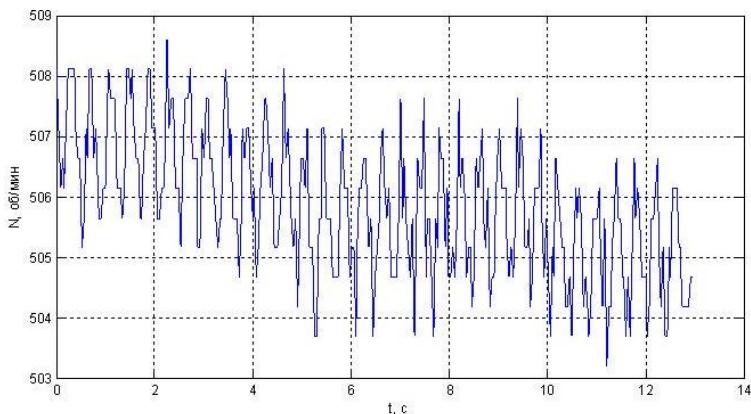


Рисунок 6 – Швидкість обертання шпинделя без модуляції заданої частоти

На рис. 6 зображений графік зміни частоти обертання в часі без використання модулятора. На графіку можна побачити незначні коливання частоти обертання шпинделя під час роботи силового перетворювача головного приводу.

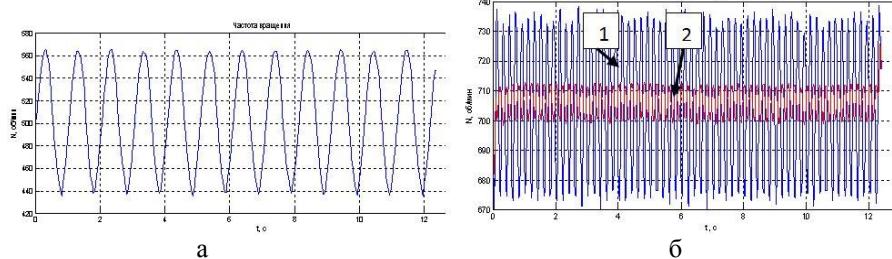


Рисунок 7 – Модуляція частоти обертання при:
 $n = 500$ об/мин; $\omega = 1$ Гц (а) та $n = 700$ об/мин; $\omega = 5$ Гц (б)

На рис. 7 показано промодульовані частоти обертання шпинделя при різних несучих частотах обертів, амплітудах та частотах модуляції. На рисунках: 1 - частоту обертання шпинделю по датчику; 2 – усереднена лінія по методу застосування вікна «ковзного середнього» (розмір вікна 10 точок). Таким чином з рис. 7 видно, що за допомогою розробленої методики можна змінювати реальну частоту обертання шпинделя за синусоїdalним законом.

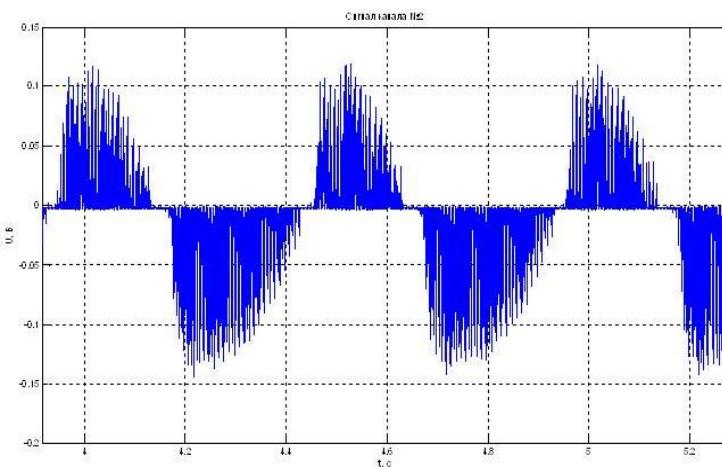


Рисунок 8 – Динаміка роботи силового перетворювача приводу головного руху під час коливального обертання

На рис. 8 показано динаміку роботи силового перетворювача приводу головного руху. Графік відображає зміну значення функції, яка пропорційна крутному моменту головного двигуна. З графіка видно, що без навантаження верстата різанням розгін і гальмування шпинделя відбувається за рахунок реверсу полярності на якорі головного двигуна.

Для дослідження вібростійкості процесу точіння було розроблено методику, алгоритм практичної реалізації якої представлено на рис. 9: спочатку проводиться налагодження верстата і встановлення режимів обробки (подача, глибина різання, частота обертання шпинделя у відповідності з потрібною швидкістю різання); проводиться експеримент із фіксацією даних з давача вібрації та давача обертів шпинделю послідовно для обробки із модуляцією частоти обертання та без модуляції; обробка даних за розробленими методиками і побудова спектрів та графіків, які характеризують процес обробки; оцінювання рівня вібрацій при ввімкненій та вимкненій модуляції; оцінювання якості обробки поверхні шляхом порівняння зі зразками (шаблонами) шорсткості.

Дана методика була перевірена експериментально. Дослідження проводилися в два паралельні етапи. На першому етапі проводилась реєстрація сигналу без модуляції і відразу, не зупиняючи процес різання, проводився запис сигналу із модуляцією. При цьому в якості оброблюваного матеріалу використовувалася загартована сталь 40Х (твердість HRC 52-57). Різець - PDJNR2525P15. Ріжуча пластина (рис.10) - DNMG150608 (виробництво SANDVIK Coromant), матеріал пластини - сплав CT35M.

У якості режимів обробки використовували перебором наступні значення: подачі – 0.15, 0.3, 0.4, 0.5 мм/об; глибини різання – 0.1, 0.5, 1 мм; частоти обертання шпинделю – 250, 300, 500 об/хв. Діаметр оброблюваної поверхні – 60мм. Коливальні процеси фіксувались за допомогою вібраційного датчика 8 (рис.2) та записувались на два канали: канал 1 – коливання в напрямі від передньої бабки до задньої; канал 2 – вгору – вниз у головній січній площині.

Результати проведених експериментів оброблялись за розробленою методикою і будувались відповідні графіки спектрів. Всі дослідження проводилися із модуляцією частоти обертання шпинделя 10 Гц. Для наглядності і забезпечення можливості порівняння отриманих графіків спектрів за допомогою операції зменшення прозорості у програмному продукті Photoshop виконано накладення одне на одного зображень спектрів, отриманих з модуляцією та без неї. Приклади отриманих графіків занедено на рис.11 та 12.



Рисунок 9 – Методика досліджень вібростійкості процесу точіння

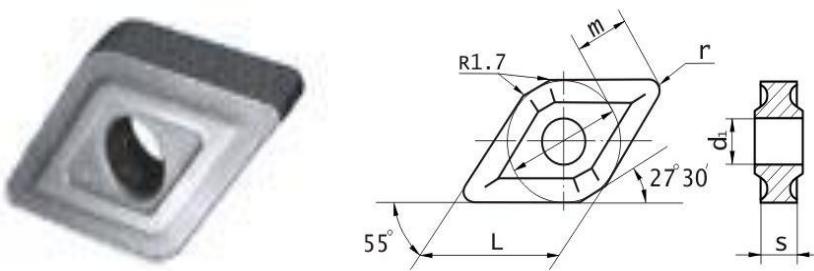


Рисунок 10 – Ріжуча пластина

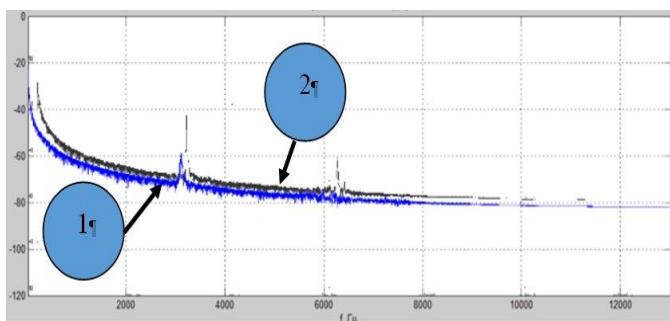


Рисунок 11 – Порівняння спектрів із модуляцією (1) та без модуляції (2) при:
 $S=0.5 \text{ мм/об}$; $n=300 \text{ об/хв}$; $t=0.5 \text{ мм}$; канал 2

Аналіз результатів, отриманих за запропонованим алгоритмом, показав, що при накладенні модуляції виникають два варіанти: по-перше, зменшується загальний рівень коливань при модуляції в середньому на 5дБ по всій довжині спектру; по-друге, в середньому зменшується амплітуда як піків на 20дБ (рис. 12, поз.1 та 2) так і коливань по всьому спектру на 5-10дБ (рис.12, поз. 4). Встановлено також і той факт, що, чим більший рівень звуку при у процесі різання (тобто є «писк»), тим більшою є різниця між спектрами вібрацій до та після модуляції.

Результати проведених досліджень показали, що процес модуляції суттєво впливає на якість (шорсткість) обробленої поверхні. На рис.13, представлено фотографію обробленої поверхні без модуляції і з ввімкненою модуляцією.

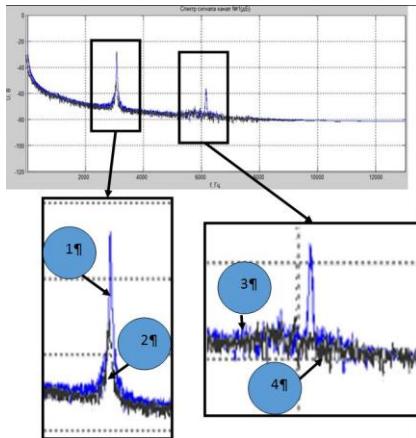


Рисунок 12 – Порівняння спектрів із модуляцією (2) та без модуляції (1) при:
S-0.5мм/об; n – 300об/хв; t – 0.5мм; канал 1

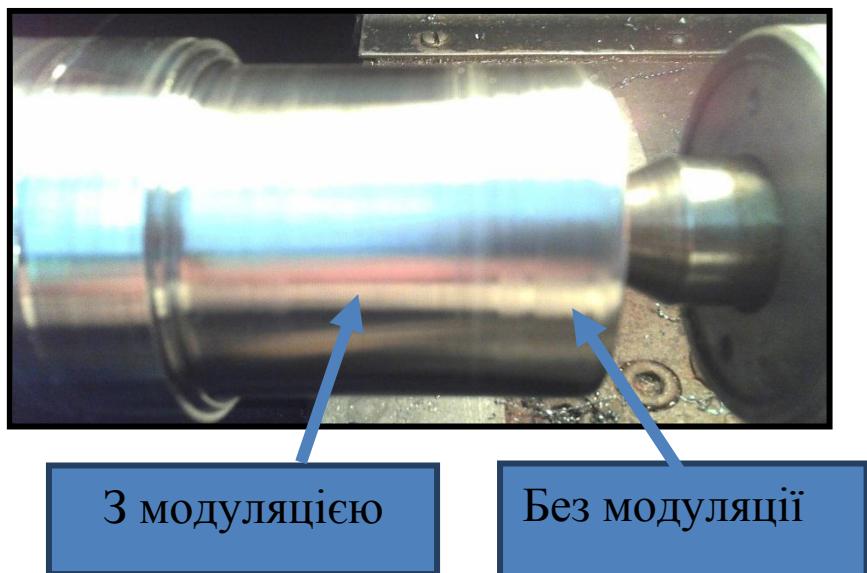


Рисунок 13 – Фотографія обробленої поверхні

Як видно з фотографії, оброблена поверхня без використання коливального руху деталі має риски та хвилясту поверхню. Поверхня, яка оброблена з промодульованим сигналом заданої частоти руху головного двигуна не має цих дефектів.

Висновки

1. На базі токарного верстата з ЧПК розроблено експериментальний стенд, оснащений модулятором та первинними датчиками обертів шпинделя, току та напруги силового перетворювача приводу головного руху, вібрацій. За допомогою модулятора сигнал, який подається системою числового програмного керування, перетворюється за синусоїдальним законом, причому амплітуду та частоту коливань можна змінювати.

2. Для дослідження вібростійкості процесу точіння розроблено методику визначення реальної частоти обертання шпинделя, яка включає в себе: зчитування даних, примінення фільтрації, виділення характерних піків, створення масиву часових даних, розрахунок миттєвої частоти обертання шпинделю.

3. Розроблені методики дозволили виконати аналіз динамічного стану системи у процесі роботи силового перетворювача приводу головного руху. Експериментально підтверджено, що зміна значення функції потужності вібраційного сигналу пропорційна крутному моменту головного двигуна, а саме: без навантаження верстата різанням, розгин і гальмування шпинделя відбувається за рахунок реверсу полярності на якорі головного двигуна.

4. Розроблено методику дослідження вібраційних процесів за наступним алгоритмом: проводиться налагодження верстата і встановлення режимів оброблення (подача, глибина різання, швидкість різання – частота обертання шпинделю); проводиться експеримент із фіксацією даних з датчиків вібрацій та обертів шпинделю послідовно для обробки із модуляцією частоти обертання та без модуляції; обробка даних за розробленими методиками і побудова спектрів та графіків, які характеризують процес обробки; оцінювання рівню вібрацій при ввімкненій та вимкненій модуляції; оцінювання якості обробленої поверхні по зразкам (шаблонам) шорсткості.

5. В результаті обробки експериментальних даних встановлено, що при накладенні модуляції виникають два варіанти: перший –зменшується амплітуда коливань як по всьому спектру (у середньому на 5-10 дБ), так і деяких піків (у середньому на 20 дБ); другий – зменшується загальний рівень коливань по всій довжині спектру в середньому на 5 дБ.

Список використаних джерел: 1. Жарков И. Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом / И. Г. Жарков. – Л.: Машиностроение, 1986. – 184 с. 2. Кудинов В. А. Динамика станков / В. А. Кудинов. – М.: Машиностроение, 1967. – 367 с. 3. Тлустый И. Автоколебания в металлорежущих станках / И. Тлустый. – М.: Машгиз, 1956. – 359 с. 4. Ташицкий Н.И.

Первичный источник энергии возбуждения автоколебаний при резании металлов / Н. И. Ташицкий //Вестник машиностроения. – 1960. – № 2. – С. 10–20. 5. Кучугуров М.В., Внуков Ю.Н., Дядя С.И. Способ и устройство для исследования регенеративных автоколебаний при точении / М. В. Кучугуров, Ю. Н. Внуков, С. И. Дядя. // Резание и инструмент в технологических системах. – 2013. – №83. – С.42-54. 6. Каталог Бесконтактных датчиков BALLUFF [Электронный ресурс]. – URL: <http://westsidedelivers.com/BALLUFF-BES516324S4C.asp>

Bibliography (transliterated): 1. Zharkov I. G. Vibracii pri obrabotke lezvijnym instrumentom / I. G. Zharkov. – L.: Mashinostroenie, 1986. – 184 c. 2. Kudinov V. A. Dinamika stankov / V. A. Kudinov. – M.: Mashinostroenie, 1967. – 367 c. 3. Tlustyj I. Avtokolebanija v metallorezhushhih stankah / I. Tlustyj. – M.: Mashgiz, 1956. – 359 c. 4. Tashlickij N.I. Pervichnyj istochnik jenergii vozbuздheniya avtokolebanij pri rezanii metallov / N. I. Tashlickij //Vestnik mashinostroenija. – 1960. – № 2. – С. 10–20. 5. Kuchugurov M.V., Vnukov Ju.N., Djadja S.I., Sposob i ustrojstvo dlja issledovaniya regenerativnyh avtokolebanij pri tochenii / M. V. Kuchugurov, Ju. N. Vnukov, S. I. Djadja. // Rezanie i instrument v tehnologicheskikh sistemah. – 2013. – №83. – S.42-54. 6. Katalog Beskontaktnyh datchikov BALLUFF [Jelektronnyj resurs]. – URL: <http://westsidedelivers.com/BALLUFF-BES516324S4C.asp>

Надійшла до редакції 23.12.2014

УДК 621.924

В.О. Залога, д-р. техн. наук, В.В. Нагорний, Суми, Україна

ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МЕТАЛЮОБРОБНОГО ВЕРСТАТУ

Важливою складовою підвищення ефективності металооброблення є впровадження сучасних методів діагностиування технічного стану верстатного обладнання, що дозволяє обслуговувати обладнання за його фактичним станом. У статі розглянуто спосіб діагностиування технічного стану верстата, що дозволяє розширити перелік його контролюваних дефектів, підвищити точність визначення дефекту з одночасним прогнозуванням моменту досягнення дефектами свого гранично допустимого ступеню. Це дає можливість своєчасно зупинити верстат на ремонт і уникнути його непередбаченої аварії і браку оброблюваної деталі.

Важкой составляющей повышения эффективности металлообработки является внедрение современных методов диагностирования технического состояния станочного оборудования, обеспечивающее обслуживание оборудование в зависимости от его фактического состояния. В статье рассмотрен способ диагностирования технического состояния станка, который позволяет расширить перечень его контролируемых дефектов и повысить точность определения дефектов с одновременным прогнозированием момента достижения дефектами своего предельно допустимого состояния. Это даёт возможность своевременно остановить станок на ремонт и избежать его непредвиденной аварии и брака обрабатываемой детали.

An important part of improving the efficiency of metalworking is the introduction of modern methods of diagnostics of technical condition of machining equipment, providing maintenance equipment depending on its actual condition. The article describes the method of diagnosis of the technical state of the machine, which allows it to expand the list of controlled defects and improve the accuracy of prediction of defects while it reaches its maximum allowable defect state. This enables timely stop the machine for repair and to avoid unexpected accidents and defect of the workpiece.

Вступ. В даний час підприємства проводять обслуговування верстатів або за системою планового-попереджувального ремонту (ППР) або експлуатують обладнання до його відмови або в деяких випадках навіть і поломки [1]. При проведенні капітальних ремонтів відбувається повне розбирання верстатів, з подальшою дефектацією деталей і комплектуючих на основі їх огляду. Даний підхід вимагає значних витрат трудових ресурсів, що, однак, не гарантує безаварійність роботи верстата в міжремонтний період. Тому важливою складовою підвищення ефективності металооброблення є впровадження сучасних методів діагностиування технічного стану верстатного обладнання, що дозволяє обслуговувати обладнання за його фактичним станом.

Методи, які засновані на тому, що технічний стан верстата оцінюється без його розбирання, називаються методами безрозбірної дефектації [2].

При цьому визначаються окремі вузли і деталі, які мають дефекти, і тому ремонт проводиться цілеспрямовано з метою усунення конкретних дефектів.

Це забезпечує стабільність роботи виробництва, дозволяє прогнозувати час безаварійної роботи обладнання, заздалегідь замовити необхідні комплектуючі для проведення ремонту, а вартість обслуговування обладнання може знижуватися до 40-50% [3].

Впровадження безрозвірної дефектації дозволяє:

1) в період експлуатації і технічного обслуговування обладнання:

- проводити експрес-аналіз технічного стану верстата;
- визначати і при необхідності підвищувати технологічну точність верстата;
- визначати дефекти, у тому числі приховані, і усувати їх на етапі виникнення;
- прогнозувати зношування вузлів і деталей верстата;
- планувати терміни проведення ремонту, замовлення комплектуючих і запчастин для ремонту;

2) при проведенні ремонтних робіт:

- планувати обсяг ремонтних робіт;
- підвищити якість ремонту;
- знизити вартість ремонту в 1,5-2 рази;
- скоротити терміни виконання ремонтних робіт в 1,5 рази.

Безрозвірна дефектація виконується за допомогою різноманітних методів вібродіагностики технічного стану верстата, один з яких і розглядається в даній статті.

Постановка проблеми. Найбільш інформативним інструментом для ідентифікації дефектів верстата є отримання його вібраційних характеристик [2]. Так відомо, що амплітуди вібрацій відповідних елементів верстатів безпосередньо позначаються на якості обробленої деталі, що і визначає точнісні показники [4]. При роботі верстатів виникає широкий спектр коливань, природа яких має як стаціонарний, так і нестаціонарний характер. Можуть мати місце як вимушені коливання, так і автоколивання. У свою чергу автоколивання розрізняються: а) при продуктивній роботі (різанні); б) при роботі на холостих ходах. Оскільки динамічні складові сил різання в більшості випадків мають нелінійний характер, то для ідентифікації дефектів власне верстата найбільш доцільним є режим його функціонування на холостому ході [3]. У цьому режимі вібраційні характеристики верстата в цілому визначаються роботою саме тих деталей і вузлів, що вимагають діагностування.

Вібродіагностика дозволяє визначати дефекти тих чи інших

конструктивних елементів верстата, наприклад: підшипників (зношування зовнішнього або внутрішнього кільця, перекіс зовнішнього кільця, зношування кульок або роликів); биття або перекіс валів і шпинделів; зношування шестерень у коробках швидкостей або подач, а також похибка зачеплення кожної передачі; зношування деталей кулько-гвинтової пари (гайок, гвinta, кульок, перекіс гвinta кулько-гвинтової передачі) тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз відомих і найбільш прийнятних для діагностування технічного стану металообробного обладнання показав, що вони мають такі недоліки, що суттєво знижують як перелік контролюваних дефектів, так точність їх визначення. Наприклад, у відомому способі [5] діагностування елементів технологічної системи, як замкнутої динамічної системи «верстат - пристосування - інструмент - заготовка», пропонується встановлювати «слабкий» (дефектний) елемент конструкції верстата шляхом аналізу записаної колограми поперечного перерізу оброблюваної заготовки. По цій колограмі можна отримати як спектр відносних коливань між інструментом і заготовкою, так і виявити домінуючі частоти власних коливань елементів замкнутої динамічної системи верстата при різанні. Дефектний елемент конструкції верстата встановлюють шляхом порівняння домінуючих частот із частотами заздалегідь знайдених власних коливань основних елементів верстата. До основних недоліків цього способу, що можуть призводити до суттєвих помилок в діагностуванні слабкого елементу, можна віднести:

- 1) необхідність зняття колограми для виявлення з її допомогою спектра відносних коливань між інструментом і заготовкою;
- 2) необхідність математичної обробки спектра відносних коливань між інструментом і заготовкою з метою отримання домінуючих частот;
- 3) діагностування здійснюється в процесі різання, коли динамічна система верстата є замкнутою, що істотно спотворює вібраційний сигнал, що встановлюється за допомогою колограми.

Існує також спосіб визначення люфтів приводу верстата [6], який полягає в тому, що вимірюють спектр обвідної вібраційного сигналу при переміщеннях приводу верстата на всьому робочому діапазоні, після чого визначають спектр обвідної вібраційного сигналу при переміщенні приводу верстата в величинах, що відповідають тим можливим люфтам в приводі верстата, які треба знаходити. Далі визначають середні значення пікфакторів при двох режимах роботи верстата на частотах, що відповідають частоті тіл кочення або кратних ній. Фактичний люфт у відповідному приводі верстата знаходять шляхом порівняння отриманих двох режимах роботи верстата середніх значень пікфакторів. Недолік даного способу полягає в тому, що, по-перше, перелік дефектів, які при цьому виявляються, обмежений лише дефектами підшипників кочення у відповідному приводі і, по-друге, він не

дозволяє прогнозувати момент досягнення дефектами свого гранично допустимого ступеню для своєчасної зупинки верстата на ремонт і уникнення таким чином його можливої аварії.

Мета дослідження. Метою даної роботи є розроблення способу діагностування технічного стану верстата, який би дозволив підвищити точність визначення відповідного дефекту з одночасним прогнозуванням моменту досягнення ним свого гранично допустимого ступеню, що дозволить уникнути можливої аварії верстата за рахунок його своєчасної зупинки на ремонт.

Основні матеріали дослідження. Запропонований спосіб діагностування дозволяє уникнути недоліків існуючих методів діагностування за рахунок розширення переліку контролюваних дефектів верстата з одночасним прогнозуванням моменту досягнення дефектами свого гранично допустимого ступеню. Останнє дає можливість для своєчасної зупинки верстата на ремонт і уникнути таким чином його і уникнути таким чином його ймовірної аварії. Діагностування проводиться за допомогою датчика вібрації (акселерометра), накопичувача - перетворювача сигналу (комп'ютера) і програми розшифровування отриманих даних. У процесі функціонування технологічної системи проводиться зняття вібросигналів з певних точок верстата, перетворення і трансляція їх у комп'ютерну програму для розшифровування і встановлення діагнозу технічного стану як того чи іншого вузла, так верстата в цілому.

Зазначений технічний результат досягається тим, що у запропонованому способі вібродіагностування технічного стану верстата проводиться при роботі верстата на холостому ході в усьому допустимому його кінематикою робочому діапазоні швидкостей або подач відповідно. При цьому почергово здійснюють спочатку вимірювання спектру обвідної вібраційного сигналу при роботі приводу подач, а потім - при роботі приводу шпинделя.

Результати вимірювань піддають аналізу, під час якого виділяють інформаційні дискретні складові спектру на частотах, що свідчать про наявність дефектів відповідних вузлів верстату і визначають поточне значення їх амплітуд. На основі цих даних та інформації про попередні вимірювання та час їх проведення, що зберігається в базі даних, складають часові ряди для кожної інформаційної складової.

Ці ряди піддають апроксимації, шляхом мінімізації функціонала U з визначенням величини прогнозованого ресурсу верстата

$$U = \sum_{i=1}^m \left[A_K^\phi(\tau_i) - A_K^p(\tau_i, \alpha, \gamma, \beta, \eta, T_{BT}^K, T_{3H}^K) \right]^2, \quad (1)$$

де $A_K^p(\tau_i, \alpha, \gamma, \beta, \eta, T_{BT}^K, T_{3H}^K) = A_K^\phi(\tau_0) - \alpha \cdot \left(\frac{\tau_i - \tau_0}{T_{BT}^K - \tau_i} \right)^\gamma + \beta \cdot \left(\frac{\tau_i - \tau_0}{T_{3H}^K - \tau_i} \right)^\eta -$

апроксимаційна модель;

$A_K^\phi(\tau_i), A_K^\phi(\tau_0)$ – поточне і початкове значення рівня амплітуд k -тої інформаційної частотної складової, яка входить в інформаційну базу даних верстата і реагує на k -тий дефект;

τ_i, τ_0 – поточне і початкове значення часу контролю технічного стану верстата;

m – кількість вимірювань рівня амплітуд k -тої інформаційної частотної складової;

α, β – коефіцієнти форми графіка апроксимаційної моделі;

γ, η – показники ступеня;

T_{BT}^K i T_{ZH}^K –прогнозований ресурс верстата, який обмежується розвитком k -того дефекту, природа появі якого пов'язана, відповідно, з розвитком механічної втоми або зношування.

За отриманими результатами приймають рішення про наявність і ступінь розвитку контролюваних дефектів верстата, яку оцінюють за величиною прогнозованих ресурсів, знайдених для кожного з дефектів. Напрацювання верстата до ремонту і причину ремонту визначають мінімальним ресурсом найбільш розвиненого дефекту і природою його появи.

Виконання даного способу вібродіагностики технічного стану металообробного верстата дозволяє:

–підвищити точність і достовірність діагностики технічного стану верстатів, виявляючи окремо дефекти приводу подач і приводу шпинделія, уникуючи їх взаємного спотворення ;

–контролювати повний перелік властивих верстатному обладнанню дефектів;

–перейти на експлуатацію верстата за його фактичним станом, уникуючи непередбачені зупинки або аварії верстата і істотно скорочуючи тривалість ремонту за рахунок прогнозування напрацювання верстата до ремонту з вказівкою причин цього ремонту;

–збільшити надійність та продуктивність верстата за умов безперервності роботи в заданому режимі, ефективності та мінімізації витрат часу на ремонт.

Приклад виконання запропонованого способу. Запропонований спосіб вібродіагнозування технічного стану металообробного верстата розглянемо на прикладі діагнозування типових вузлів токарно-

гвинторізного верстата 16К20Т1: шарикопідшипниковых опор 1 та 3, шпинделя 2 (рис.1) і кінематичної пари «гвинт-гайка» 1 в приводі подач (рис.2). Точки 4 контролю вібрації опор 1,3 шпинделя 2 розміщувалися на корпусі передньої бабки верстата в зонах передньої та задньої шарикопідшипниковых опор 1 та 3 (рис.1), а точка контролю 3 стану пари «гвинт-гайка» 1 – на супорті 2 (рис.2).

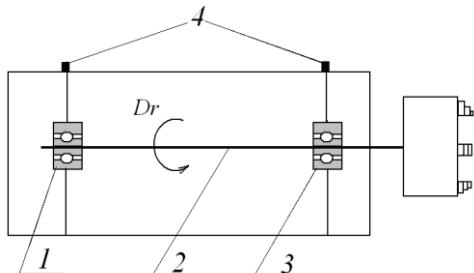


Рисунок 1 – Схема розміщення точок контролю вібрації опор шпинделя : 1 - задня опора, 2- шпиндель, 3- передня опора, 4 - точки контролю вібрації.

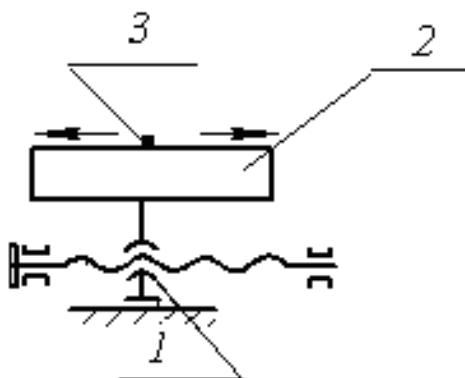


Рисунок 2 – Схема розміщення точок контролю стану пари «гвинт-гайка»: 1 - пара «гвинт-гайка», 2 - супорт, 3 - точка контролю вібрації

Контроль за станом верстата і в тому числі за зазначеними його вузлами здійснювався регулярно кожен раз перед початком процесу механічної обробки на холостому ході верстата.

Контроль стану підшипників проводився протягом 7 місяців до настання прогнозованого моменту заміни одного з них, а за приводом подач – протягом 50 місяців до моменту виявлення дефекту пари «гвинт - гайка». Запис вібросигналу здійснювався за допомогою комп’ютера, де огинаюча вібросигналу піддавалася спектральному аналізу (рис.3 і 4).

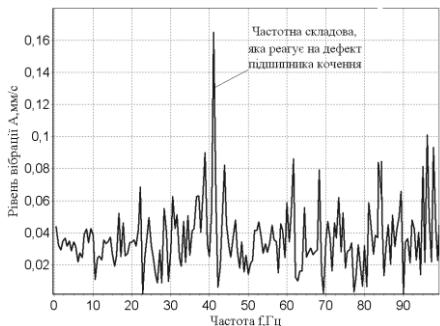


Рисунок 3 – Приклад спектру вібрації передньої опори шпинделя

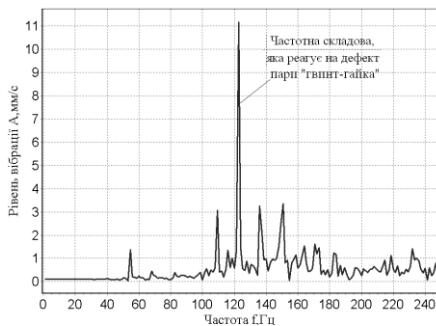


Рисунок 4 – Приклад спектру вібрації супорта

В отриманих за цей час спектрах виділялися інформаційні частотні складові, що реагують на дефекти, що з'являються у підшипниках кочення і пари «гвинт-гайка» (рис. 3 і 4), а також визначалися поточні значення амплітуд кожної з інформаційних складових. На основі цих даних та інформації про попередні вимірювання та час їх проведення, що зберігалися в базі даних, складали часові ряди для кожної інформаційної складової, що піддавали апроксимації з метою прогнозування ресурсу верстату шляхом мінімізації функціоналу (1) (рис. 5 і 6).

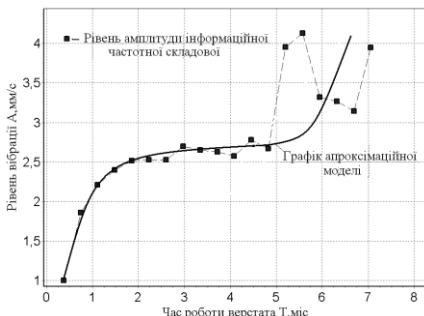


Рисунок 5 – Часовий ряд, що характеризує зміну технічного стану передньої опори шпинделя і графік його апроксимуючої функції

В результаті мінімізації знаходилися параметри апроксимаційної моделі, головними з яких є два параметри $T_{\text{вт}}^K$ і $T_{\text{зж}}^K$, які в даному прикладі представляють ресурси підшипників і пари «гвинт - гайка», що

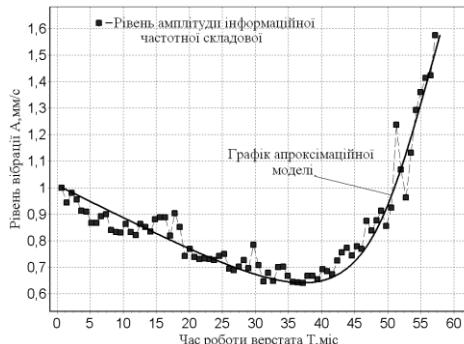


Рисунок 6 – Часовий ряд, що характеризує зміну технічного стану кінематичної пари «гвинт - гайка»

визначаються, відповідно, втомую міцністю і зношуванням цих вузлів верстата. Величини прогнозованих і фактичних ресурсів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Прогнозне напрацювання верстата до ремонту і його причина

Контрольований вузол верстата	Напрацювання до ремонту ^{*)}				Причина ремонту	
	T_{BT} , міс		T_{ZH} , міс			
	Прогноз	Факт.	Прогноз	Факт.		
Підшипник передньої опори шпинделя	27	- **)	7.5	7.0	Зношування обоймі тіл кочення підшипника	
Підшипник задньої опори шпинделя	35	- **)	10	9.5	Підшипник у задовільному стані	
Кінематична пара «гвинт-гайка»	78	- **)	58	57	Зношування гайки кінематичної пари «гвинт-гайка»	

^{*)} Напрацювання верстата τ_{POT} на момент контролю становив: підшипників - 7 місяців, пари «гвинт-гайка» – 50 місяців. ^{**)} Напрацювання до втомного руйнування не було реалізовано, тому що ресурс верстата лімітувався механічним зносом.

Дефектація верстата, яка була проведена в ході зупинок його на ремонті через вичерпання прогнозованих ресурсів приводу шпинделя і приводу подач, свідчили кожен раз про своєчасність зупинки верстата на ремонт і підтверджували виявлену при діагностуванні причину появи і ступінь розвитку дефектів, які були розглянуті в прикладі.

Так, дефектація виявила неприпустиме зношування обойм і тіл кочення підшипника, встановленого в передній опорі шпинделя, а так само граничний стан зношування гайки, що входить до кінематичної пари «гвинт-гайка», що підтвердило результати діагностування.

Напрацювання до втомного руйнування кожного разу не було реалізовано, тому що ресурс з причини втомного руйнування перевищував ресурс розглянутих вузлів верстата, який був обмежений їх механічним зносом (табл.1).

Висновки і перспективи розвитку. Запропоновано спосіб діагностування технічного стану верстата, який дозволяє розширити перелік його контролюваних дефектів, підвищити точність визначення дефекту з одночасним прогнозуванням моменту досягнення дефектами свого гранично допустимого ступеню. Останнє дозволяє уникнути можливої аварії верстату за рахунок його своєчасної зупинки на ремонт.

Надалі становить науковий і практичний інтерес розробка методики адаптивного управління режимом роботи верстата, яка б дозволила виконати поточну технологічну операцію навіть у разі виявлення дефекту верстата.

Список використаних джерел: 1. Клягин В. И. Типовая система технического обслуживания и ремонта металлорежущего и деревообрабатывающего оборудования / В. И. Клягин, Ф. С. Сабиров. М.: Машиностроение, 1988.– 672 с.2. Савинов Ю. И. Определение параметров механических систем станков / Ю. И. Савинов // Станки и инструмент. 2010. № 10. С. 8-10. 3.Савинов Ю. И. Удаленная диагностика деталей станков / Ю.И. Савинов // РИТМ. 2012. № 1. С. 58-61. 4. Барков А. В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации /А. В. Барков, Н. А. Баркова, А. Ю. Азовцев. С.Петербург: Изд. Центр СПбГМТУ, 2000.–159 стр. 5. Способ диагностики элементов замкнутой динамической системы СПИД: а. с. СССР N 1296370 , заявл. 02.07.1985; опубл. 15.03.87 , Бюл. 10. 3 с. 6. Способ определения люфтов в приводе станка : пат. 2399033 Рос. Федерации. № 2009103084/28, заявл. 02.02.2009; опубл. 10.09.2010, Бюл. № 39. 3 с.

Bibliography (transliterated): 1. Kljagin V.I. Tipovaja sistema tehnicheskogo obsluzhivaniija i remonta metallorezhushego i derevoobrabatyvajushhego oborudovaniya / V.I. Kljagin, F.S. Sabirov. M.: Mashinostroenie, 1988.– 672 s. 2. Savinov Ju.I. Opredelenie parametrov mehanicheskikh sistem stankov / Ju.I. Savinov // Stanki i instrument. 2010. № 10. S. 8-10. 3. Savinov Ju. I. Udalennaja diagnostika detalej stankov / Ju.I. Savinov // RITM. 2012. № 1. S. 58-61. 4. Barkov A. V. Monitoring i diagnostika rotornyh mashin po vibracii /A. V. Barkov, N. A. Barkova, A. Ju. Azovcev. S.Peterburg: Izd. Centr SPbGMTU, 2000.–159 str. 5. Sposob diagnostiki jelementov zamknutoj dinamicheskoj sistemy SPID: a.s. SSSR N 1296370, zajavl. 02.07.1985; opubl. 15.03.87, Bjul. 10. 3 s. 6. Sposob opredelenija ljuftov v privode stanka: pat. 2399033 Ros. Federacija. № 2009103084/28, zajavl. 02.02.2009; opubl. 10.09.2010, Bjul. № 39. 3 s.

Надійшла до редколегії 23.12.14

УДК 621.9

В.О. Залога, д-р техн. наук, О.Д. Пирогов, канд. техн. наук,
П.В. Рибалка, Є.В. Діденко, Суми, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ОТВОРІВ З ГЛУХИМИ ШПОНКОВИМИ ПАЗАМИ

Доказано, що наявність внутрішніх закритих переривчастих поверхонь суттєво впливає на якість (точність) механічного оброблення різанням робочих колес, а, відповідно, і на основні експлуатаційні показники машини в цілому: економічність, надійність і довговічність роботи.

Доказано, что наличие внутренних закрытых прерывистых поверхностей существенно влияет на качество (точность) механической обработки резанием рабочих колес, а, соответственно, и на основные эксплуатационные показатели машины в целом: экономичность, надежность и долговечность работы.

Proved that the presence of intermittent internal closed surfaces significantly affects the quality (accuracy) machining machining impellers, and, respectively, and the main performance indicators machines in general, efficiency, reliability and durability.

У машинобудуванні існує широка номенклатура деталей із шліщевими та шпонковими з'єднаннями. Наприклад, для насособудування характерними прикладами є: робочі колеса (РК), диски розгрузочні, напівмуфти, втулки дистанційні тощо. В процесі обробки шліщевих та шпонкових пазів (ШП) можуть виникати такі відхилення форми та розмірів отворів, які в подальшому спричиняють труднощі у забезпеченні необхідної точності відповідних складальних одиниць, наприклад, роторів відцентрових насосів або компресорів, що у багатьох випадках може супроводжуватися як неможливістю складання тієї або іншої машини в цілому, так і суттєвим зниженням її працездатності та довговічності. Тому підвищення якості складальних процесів за рахунок удосконалування технологічних процесів виготовлення усіх деталей основних складальних одиниць енергетичних машин є задачею актуальною і своєчасною. Особливо це стосується сучасних високооборотних роторних машин (насосів, компресорів) у зв'язку з постійним ростом вимог до їх функціональних характеристик, що пов'язані з підвищенням показників вібронадійності та зменшенням радіальних зазорів між деталями, які є нерухомими (статором) та обертаються (ротором). Метою цієї роботи є аналіз виробничих технологічних процесів та удосконалення технології фінішної обробки центрального отвору з глухим ШП однієї з основних деталей ротора відцентрової машини високого тиску – РК.

Ротор відцентрової машини є однією з тих основних складальних

одиниць, що в значній мірі забезпечує його основні експлуатаційні показники: економічність, надійність і довговічність роботи. Ротори можуть бути одноступінчасті (рис. 1) та багатоступінчасті (рис. 2). Базовою деталлю ротора є вал, на якому встановлюють робочі колеса, захисні втулки, деталі гідравлічного розвантажувального пристрою, напівмуфта та інші деталі (рис. 2).



Рисунок 1 – Одноступінчастий ротор відцентрового насосу

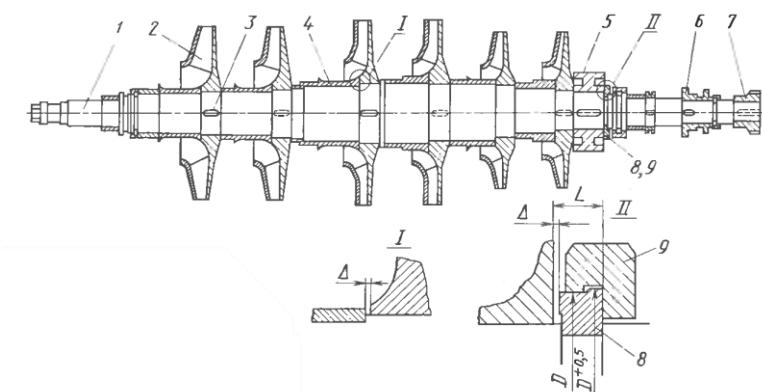


Рисунок 2 – Багатоступінчастий ротор відцентрового компресору високого тиску:

- 1 – вал, 2 – робоче колесо, 3 – шпонка, 4 – дистанційна втулка,
5 – розвантажувальний поршень, 6 – диск напірний, 7 – зубчаста втулка
(частина муфти), 8 – стяжне кільце, 9 – стопорне кільце

Для зменшення перетоків робочого середовища (рідини, повітря тощо), що перекачується, по валу між ступенями, завдяки у т.ч. і наявності зазору Δ , що може суттєво впливати на коефіцієнт корисної дії роторної машини, ШП в отворі маточини РК виконують не на всю її довжину, тобто виконують отвори з глухими шпонковими або шліцевими пазами (рис. 3).

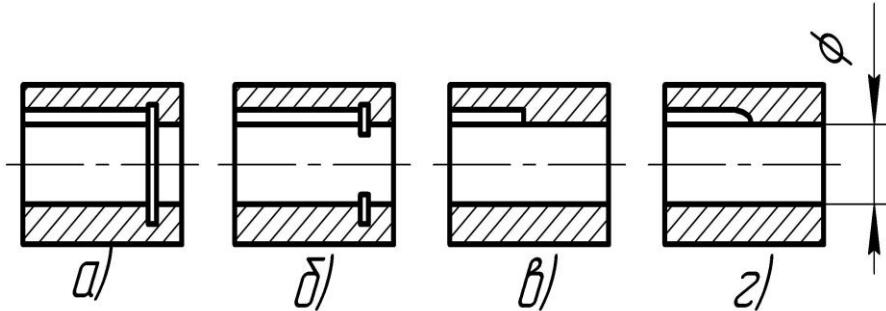


Рисунок 3 – Різновиди закритих шпонкових пазів в отворах

Такий конструктивний елемент відноситься до нетехнологічних і є серйозною проблемою у компресоро- та насособудуванні, тому що при виготовленні РК:

- необхідно застосовувати (найчастіше) низькопродуктивну довбальну операцію (рис. 4) замість протяжної у разі, коли паз є відкритим;
- для виходу довбального різця, як правило, необхідна додаткова токарна операція по виготовленню кільцевої канавки (рис. 3а) або вифрезерування сегмента (рис. 3б), що спричиняє додаткові напруження навантаженої маточини і ускладнює послідуочу чистову обробку отвору;
- для врівноваження при балансуванні додатково повинна виконуватись протилежна (під 180°) (рис. 2 б) «холоста» канавка, ШП повинен «заповнюватися» шпонкою;
- при довбальній операції складно забезпечити без адаптерів вимоги по зміщенню та перекосу ШП;
- при довбальній операції необхідно, щонайменше, 3 переходи: чорновий, чистовий та зняття завусенців. Останній переход, як правило, виконують вручну;
- строгання по копіру (рис. 2 г) потребує спеціальних пристроїв.



Рисунок 4 – Довбальна операція

Практична реалізація такої технології спричиняє наступні неточності отвору:

1) обробка пазу руйнує сформовану в процесі механічної та термічної обробки отвору рівновагу внутрішніх напружень в РК, що приводить до їх перерозподілу та, відповідно, деформації маточини, в результаті чого знижується точність отвору;

2) в результаті перших проходів довбача, за рахунок малих подач (малих товщин різання) і наявності радіусу округлення різальної кромки, на бокових поверхнях пазу пластичне «відтиснення» матеріалу з різуваного шару утворює «спущення» матеріалу (рис. 5 а), які впливають на круглість поверхні отвору. Крім того, завдяки наявності такого явища, як технологічна спадковість, протягом всього подальшого маршруту фінішної обробки центральних отворів РК цей дефект буде позначатися на їхніх точнісних показниках;

3) при закріпленні колеса в трьохкулачковому патроні при формуванні пазу (шліців) поверхня отвору може бути деформована, тобто може виникати її «огранка» (рис. 5 б).

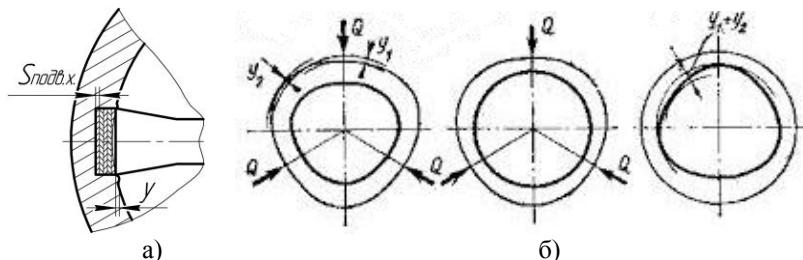


Рисунок 5 – Схема виникнення похибок форми отвору:

Q – сили зажиму у трьохкулачковому патроні; у, u_1 та

u_2 – відхилення отвору від кругlosti

Дослідження [1] показали, що неточність отвору в маточині РК є одним із важливих елементів комплексу факторів, що призводять до перекосу вісей валу та РК відцентрової машини, формування невеликих виступів поверхні – місця «зародження» задирів, в результаті чого відбувається пошкодження («загризання») матеріалу при складанні / розбиранні ротора (рис. 6).

Разом з тим, зважаючи на високі робочі частоти обертання ротора (зазвичай працює в «за критичній» області частот), однією з основних вимог, що пред'являються до цієї складальної одиниці (ротора) є необхідність забезпечення високої динамічної збалансованості вузла. Невиконання цієї вимоги на робочих частотах обертання ротора може привести до виникнення вібрацій, додаткових ударних навантажень на опори ротора, підвищеного зносу і, як наслідок, до передчасного виходу машини з ладу або виникнення аварійної ситуації.

По розробленій методиці були проведені контрольні вимірювання (безпосередньо у цехових умовах, після виконання операцій відповідно до існуючого (традиційного) технологічного процесу) виділеної партії РК для визначення ступеня впливу різних факторів на точність отвору Ø95H7.

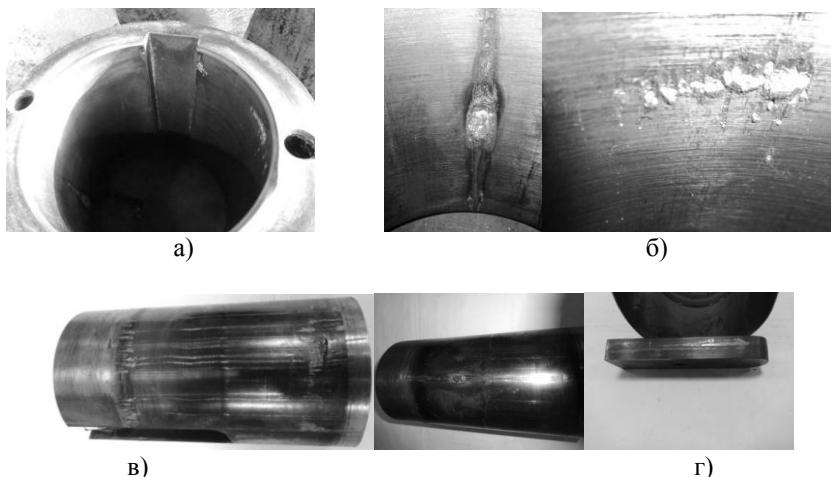


Рисунок 6 – Пошкоджені при складанні елементи ротора конденсатного насосу КСВА 1500-120-2:

а – задири біля ШП; б – задири на поверхні отвору РК; в – пошкодження на зрізаній частині валу; г – задири, схоплення і перенося на робочій боковій поверхні шпонки

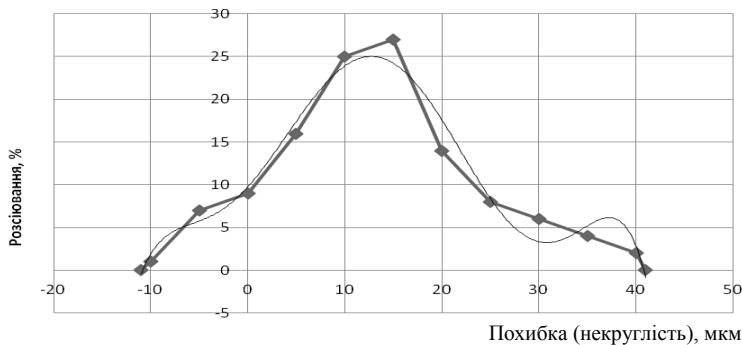


Рисунок 7 – Розподіл похибки розмірів отвору РК контролльованої партії оброблених за заводським (традиційним) маршрутом

В результаті аналізу встановлено, що розсіювання похибки отвору підкорюється закону, близькому до нормального (закон Гауса), причому розмах похибки складає 50 мкм (від (-10) до (+40) мкм) (рис. 7). Крім того, виявлено зв'язок між технологічною спадковістю та якістю вихідних параметрів РК, і як наслідок, ротора і відцентрової машини (насосу або компресора) в цілому. Відносно велика вихідна похибка геометричної форми при токарній обробці отвору та формуванні пазу на довбалльному верстаті, високі твердість поверхні (HRC 36-43) і технічні вимоги до якості отворів РК викликають значні труднощі при їх фінішній обробці і потребують (щонайменше) поліпшення конструкцій інструменту для успішної реалізації процесу хонінгування, який також майже не використовується у традиційній (заводській) технології обробки отворів з переривчастими поверхнями (рис. 8).



Рисунок 8 – Хонінгування отворів на вертикально-хонінгувальному верстаті

Обмеження на використання традиційних конструкцій хонінгувальних голівок при обробці ШП в РК пов'язано з ударами брусків при контакті з краями пазів і втрати радіального зусилля при проходженні бруском «пустоти» (пазу), що призводить до зміни форми отвору як у поперечному, так і повздовжньому перетинах. Для забезпечення посадки основних деталей ротора без перекосів, задирів, а також використання сторонніх тіл між посадочними поверхнями при забезпеченні необхідних натягів і зазорів (теплових зазорів), що сприяє збалансованій, мало-або безвібраційній роботі ротора [2], запропоновано обробку переривчастих поверхонь отворів на чистовій операції новим комбінованим інструментом для хонінгування та притирки та проведені експерименти на робочих зразках з визначенням можливостей їхнього застосування. З урахуванням рекомендацій [3], при хонінгуванні шпонкових (рис. 9) та шліцевих (рис. 10) отворів для підвищення їхньої якості запропоновано використання спеціальних брусків, ширини яких залежить від ширини ШП, та їх розташування у наступних співвідношеннях:

- для отворів зі шпонковими пазами -

$$B\delta = (1,5 - 2) \cdot Bn; \quad (1)$$

- для отворів зі шліцевими пазами -

$$B\delta = (2 - 2,5) \cdot (bn + b_{sh}), \quad (2)$$

де $B\delta$ (B) – ширина бруска, Bn (bn) і b_{sh} – ширина впадини (пазу) та шліщю (виступу), відповідно.

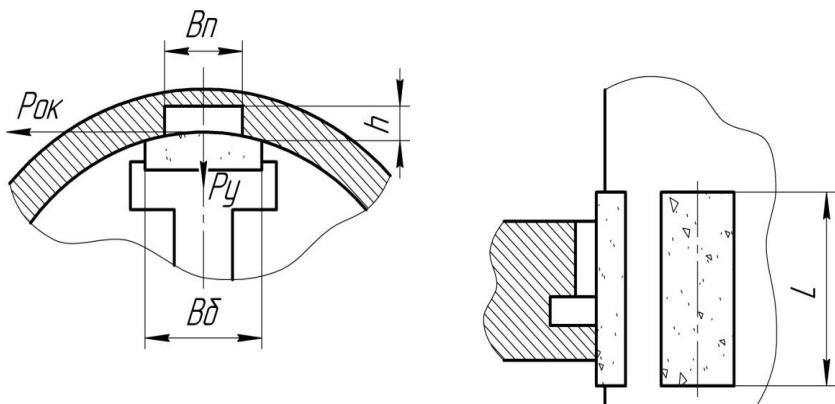


Рисунок 9 – Схема хонінгування отворів з глухим ШП

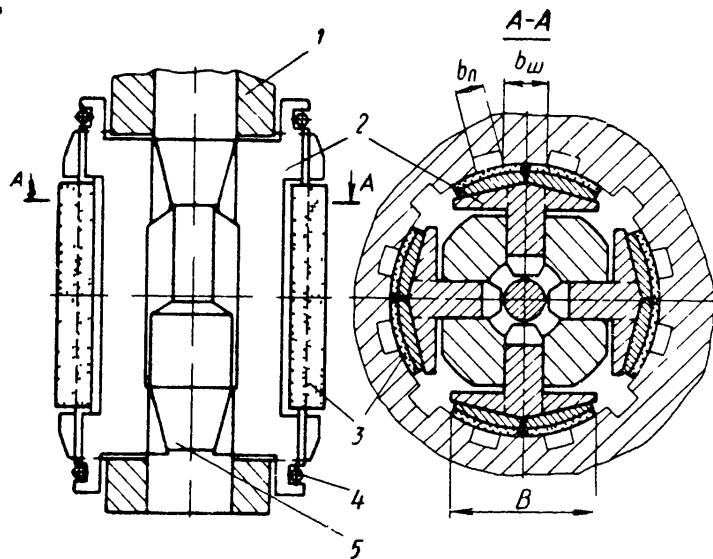


Рисунок 10 – Хонінгувальна голівка для обробки шліцевих отворів:

- 1 – державка головки; 2 – колодка; 3 – хонінгувальний брусков; 4 – пружина; 5 – притискний конус

До недоліків даної схеми можна віднести можливе заклинювання головки у зв'язку зі значно збільшеною площею контакту брусків з поверхнею отвору і навіть в деяких випадках поломка брусків, особливо при зніманні підвищених припусків. Крім того, достатньо трудомістким є також і процес установки брусків на заданий розмір, що часто супроводжується погіршенням якісних показників процесу чистової (фінішної) обробки отворів з переривчастими поверхнями.

З метою покращення якості оброблених РК випробувана додаткова ручна притирка отвору $\varnothing 95H7$ цільним чавунним притиром з абразивним порошком (рис. 11). Притиру надавалося обертання з частотою 15 об/хв. і повздовжнє переміщення зі швидкістю $V_s = 2$ м/хв. У процесі притирання знімався припуск 0,03 мм на сторону.

Результати обробки отворів у РК із Стali 20Х13 наступні:

- 1) некруглість з 0,05мм скоротилася до 0,01мм;
- 2) шорсткість з $R_a=2.5$ знизилась до $R_a=1.0$ мкм;
- 3) машинний час обробки одного РК складав 13хв.

Таким чином, додаткова операція (притирка) дозволила дещо підвищити якісні показники чистової обробки хонінгувальними брусками. Разом з тим, були виявлені і деякі недоліки. По-перше, цей варіант не підходить для серійного виробництва, бо стійкість притира складає всього 8-10 РК. Крім того, ручна притирка є занадто трудомісткою та вимагає робітників високої кваліфікації і досить часто не забезпечує надійності при складанні виробу, бо відбувається шаржування обробленої поверхні абразивом, який не завжди вдається видалити.



а)



б)

Рисунок 11 – Використання притира (а) для фінішної обробки отворів (б) в РК

Аналіз результатів, проведених за розробленою технологією експериментів, дозволив об'єднати позитивні властивості вказаних методів хонінгування та притирки-доводки з метою виключення недоліків, що їх супроводжують. Розроблено новий «гіbridний» інструмент, який отримав назву «хонопрітири». Цей інструмент працює з використанням прицезійної абразивно-шліфувальної шкурки з точною товщиною та направленими зернами (рис. 12, 13).

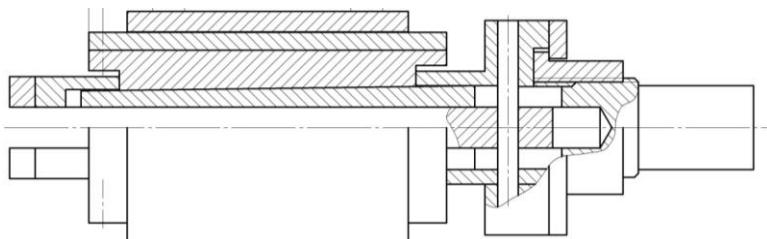


Рисунок 12 – Схематичне зображення загального вигляду нового інструменту

Складається новий інструмент із наступних основних елементів: корпусу, на якому закріплюються сегменти зі шкуркою; механізму розжиму і оправки для установки у шпіндель верстату.



Рисунок 13 – Хонопритир: а – загальний вигляд; б – у розібраному вигляді



Рисунок 14 – Обробка хонопритиром втулки ротора на верстаті (а)
та ручним методом (б)

Результати дослідно-експериментальних робіт підтвердили ефективність обробки РК хонопритиром (рис. 14) навіть при серійному типі виробництва. Контроль РК з розмірами отворів $\varnothing 95H7$ показав підвищення точності оброблених отворів, про що свідчить зміна кривої розсіювання (блізька до закону ексцентризу (закон Релея)) їх розмірів (рис. 15) і зменшення

розмаху похибок (від 0 до (+35) мкм), та підтверджив відповідність практично усіх деталей, що контролювалися, вимогам креслення.

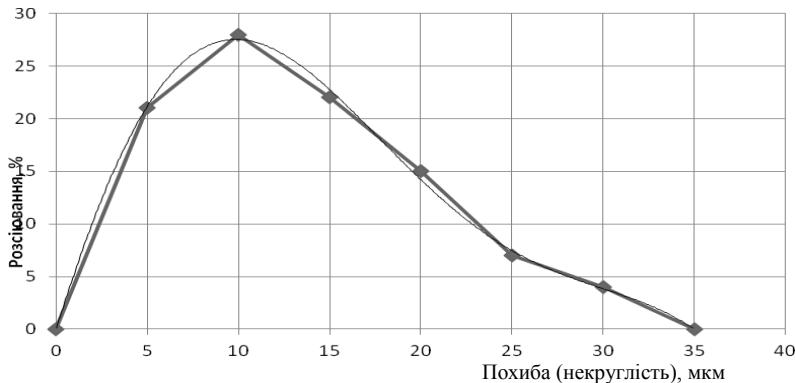


Рисунок 15 – Графічна залежність результатів обмірів РК після обробки згідно запропонованої технології

Висновки. У результаті виконаної роботи можна зробити наступні висновки:

- 1) якість однієї з основних складальних одиниць високооборотних роторних машин (відцентрових насосів та компресорів) ротора в значній мірі залежить від якості отворів у РК, які мають, як правило, закриті переривчасті поверхні (шпонкові або шліцьові);
- 2) наявність внутрішніх закритих переривчастих поверхонь суттєво впливає на якість (точність) механічної обробки різанням РК, а, відповідно, і на основні експлуатаційні показники машини в цілому: економічність, надійність і довговічність роботи;
- 3) аналіз існуючих (заводських) технологічних процесів і фактичних виробничих умов виготовлення РК, центральні отвори яких мають закриті шпонкові та шліцеві пази, підтверджив їхні недоліки у забезпеченні потрібної якості (точності) та показав необхідність їх удосконалення;
- 4) підтверджена наявність зв'язків технологічної спадковості протягом всього маршруту виготовлення центральних отворів РК;
- 5) визначені найбільш значущі фактори, що впливають на ключові вихідні параметри відцентрових роторних машин, та запропоновані шляхи зменшення (або усунення) їх впливу на величину похибок;
- 6) запропоновані удосконалені конструкції хонінгувальних головок та технологічні процеси обробки центральних отворів робочих колес із закритими шпонковими та шліцевими пазами;

7) запропонована конструкція нового гібридного інструменту («хонопрітира»), використання якого дозволило сумістити дві технологічні операції (хонінгування та притирку) і підвищити точність оброблених поверхонь із закритими пазами.

Список використаних джерел: 1. Пирогов, А.Д. Совершенствование технологии изготовления роторов многоступенчатых насосов. Безопасность эксплуатации компрессорного и насосного оборудования: монография; под ред. В.С. Марцинковского, В.Б. Тарельника, А.В. Загорулько. – Сумы: ООО «ПД Папирус», 2014. - С. 240-245. 2. Технология компрессоростроения / Н.А. Ястребова [и др.]. - М.: Изд-во Машиностроение, 1987. – 336 с. 3. Бабичев, А.П. Хонингование / А.П. Бабичев. - М. : Изд-во Машиностроение, 1965. - 96 с.

Bibliography (transliterated): 1. Pirogov, A.D. Sovershenstvovanie tehnologii izgotovlenija rotorov mnogostupenchatyh nasosov. Bezopasnost' jekspluatacii kompressornogo i nasosnogo oborudovanija: monografija ; pod red. V.S. Marcinkovskogo, V.B. Tarel'nika, A.V. Zagorul'ko. – Sumy: OOO «PD Papirus», 2014. - S. 240-245. 2. Tehnologija kompressorostroenija / N.A. Jastrebova [i dr.]. - M.: Izd-vo Mashinostroenie, 1987. – 336 s. 3. Babichev, A.P. Honingovanie / A.P. Babichev. - M. : Izd-vo Mashinostroenie, 1965. - 96 s.

Надійшла до редколегії 23.12.2014

УДК 621.914.2

Ю.С. Краснощек, канд. техн. наук, Харьков, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИНСТРУМЕНТА ПРИ СВОБОДНООБКАТНОМ РЕЗАНИИ

Встановлені геометричні параметри різальних інструментів при вільнообкатуваному різанні, що дає змогу вибору оптимальних умов обробки.

Установлены геометрические параметры режущих инструментов при свободнообкатном резании, что дает возможность выбора оптимальных условий обработки

Set geometrical parameters of cuttings instruments at the vil'noobkata-tuvanomu cutting which enables the choice of optimum terms of treatment.

Постановка проблемы. Свободнообкатное резание является высокоеффективным методом финишной обработки [1, 2, 3]. Этот метод позволяет с высокой точностью и низкой шероховатостью получать сложнопрофильные поверхности. При выборе условий обработки важным этапом является выбор геометрических параметров инструмента.

Анализ исследований и публикаций. Для свободнообкатного резания используются чашечные резцы круглой и других форм, которые имеют собственные геометрические параметры. При этом следует иметь в виду, что в отличие от традиционных методов лезвийной обработки (точение, фрезерование и др.) фактические геометрические параметры инструментов как статические, так и кинематические будут существенно отличаться от исходных вследствие специфики процесса резания.

Особенности свободнообкатной обработки связаны, прежде всего, с отличием кинематики резания [2, 3]. В литературных источниках отсутствуют данные о геометрических параметрах инструментов при свободнообкатном резании.

Целью работы является установление статических геометрических параметров инструментов при свободнообкатном резании в соответствии с ГОСТ 25762-83 [4].

Изложение основного материала. Для определения геометрических параметров свободнообкатного инструмента устанавливаем поверхности на обрабатываемых заготовках, элементы резца и координатные плоскости.

В процессе резания на заготовке различают следующие поверхности: обрабатываемую, обработанную и поверхность резания [5]. Обрабатываемая поверхность 1 (рис. 1) удаляется в результате обработки. Обработанная

поверхность 2 получается на заготовке после срезания припуска. Поверхностью резания называют промежуточную или переходную поверхность, временно существующую в процессе резания между обрабатываемой и обработанной поверхностями. Эта поверхность образуется режущей кромкой инструмента в процессе реализации главного и податочного движений.

При свободнообкатном резании в первом приближении можно считать, что поверхность резания 3 представляет собой часть круговой поверхности. Она образуется режущей кромкой 6 круговой формы при ее равномерном поступательном перемещении со скоростью подачи V_S и равномерном вращательном движении заготовки ω_3 . В отличии, например, от точения, здесь поверхность резания не касательная к вектору скорости резания, а может составлять с ним угол, близкий к 90° .

Свободнообкатной режущий инструмент, представляющий собой тело вращения, устанавливается в шпинделе инструментального приспособления и состоит из головки резца длиной L_1 и хвостовика длиной L_2 (рис. 1). Режущая часть головки образуется специальным профилированием при заточке и имеет в соответствии с ГОСТом 25762-83 следующие рабочие поверхности и элементы:

- переднюю поверхность 4, контактирующую в процессе резания со срезаемым слоем и стружкой;
- заднюю поверхность 5, контактирующую в процессе резания с обработанной поверхностью;
- режущую кромку 6, производящую основную работу резания, образованную пересечением передней и задней поверхностей резца.

По сравнению с традиционным лезвийным, свободнообкатной инструмент имеет следующие геометрические особенности: в общепринятом понятии отсутствует вершина резца, имеется необычное геометрическое расположение угла наклона главной режущей кромки, связанное с нетрадиционной конструкцией режущего инструмента и кинематикой процесса резания. Особенностью профилирования свободнообкатного инструмента является то, что здесь необходима корректировка инструментального профиля с учётом угла V , т.е. его ориентации относительно профиля обработанной поверхности.

Учитывая вышеизложенное, можно отметить, что действительные геометрические параметры свободнообкатного инструмента зависят только от угла установки V оси инструмента относительно образующей линии обработанной поверхности и не зависят от всех прочих условий обработки, как это происходит при всех традиционных видах резания лезвийным инструментом.

В связи с перечисленными выше конструктивными особенностями свободнообкатного инструмента углы заточки его необходимо определять в инструментальной системе координатных плоскостей, ориентированной относительно оси вращения резца, а действительные углы резца, имеющие место в процессе свободнообкатного резания и зависящие от установки инструмента, можно измерять в статической системе координатных плоскостей, связанной с направлением скорости главного движения (ГОСТ 25762-83). Эти две системы координатных плоскостей повернуты друг относительно друга на угол V , равный углу установки оси инструмента к направлению подачи.

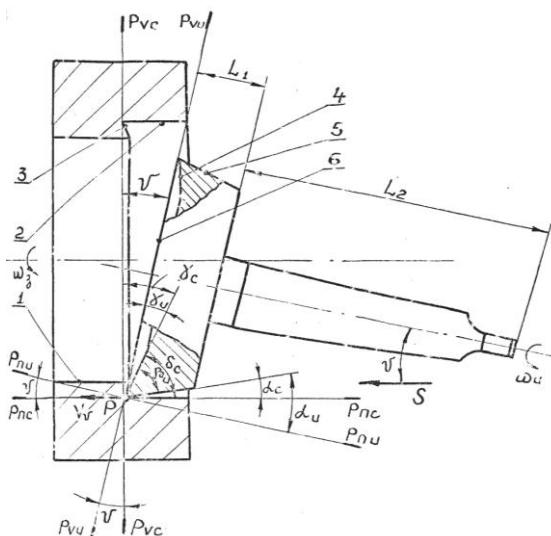


Рисунок 1 – Геометрия свободнообкатного инструмента

У свободнообкатного инструмента за начало отсчёта координатных плоскостей в рассматриваемый момент времени можно принять крайнюю нижнюю точку режущей кромки, на рис. 1 совпадающую с полюсом профилирования P . Для определения геометрических параметров при заточке и контроле инструмента введём инструментальную систему координат по ГОСТу 25762-83 (рис. 1).

Инструментальная основная плоскость P_{vu} - координатная плоскость, проведенная через рассматриваемую точку режущей кромки

перпендикулярно оси вращения инструмента. В этой плоскости производится профилирование производящей инструментальной линии резца.

Инструментальная плоскость резания P_{ni} - координатная плоскость,

касательная к режущей кромке в рассматриваемой точке и перпендикулярная инструментальной основной плоскости.

Инструментальная главная секущая плоскость $P_{\tau u}$ - координатная

плоскость, перпендикулярная линии пересечения инструментальных основной плоскости и плоскости резания, проходящая через рассматриваемую точку режущей кромки. На рис. 1 - совпадает с плоскостью чертежа.

У свободнообкатного резца различают следующие углы заточки режущего клина, измеренные в инструментальной главной секущей плоскости.

Инструментальный главный передний угол γ_u - угол в инструментальной главной секущей плоскости между передней поверхностью резца и инструментальной основной плоскостью. Передний угол можно задавать: положительным $\gamma_u > 0$, когда передняя поверхность в секущей плоскости лежит ниже инструментальной основной плоскости; равным нулю $\gamma_u = 0$, когда передняя поверхность резца в секущей плоскости совпадает с инструментальной основной поверхностью; и отрицательным, когда передняя поверхность в секущей плоскости лежит выше инструментальной основной плоскости.

Инструментальный главный задний угол α_u угол в инструментальной главной секущей плоскости между задней поверхностью резца и инструментальной плоскостью резания.

Инструментальный главный угол заострения режущего клина β_u - угол в инструментальной главной секущей плоскости между передней и задней поверхностями резца.

Углы заточки режущего клина свободнообкатного инструмента, также как и у других известных лезвийных инструментов, связаны между собой зависимостью: $\alpha_u + \beta_u \pm \gamma_u = 90^\circ$.

Для осуществления процесса резания свободным обкатом ось вращения инструмента устанавливается в главной секущей плоскости под углом V (рис.1) к образующей линии обработанной поверхности или к направлению продольной подачи S . Значение угла V может лежать в пределах

$0 < V \leq \alpha_u$. При значении V , приближающемуся к нулю, ось инструмента занимает положение близкое к параллельному с образующей линией обработанной поверхности или направлению подачи S . В этом случае скорость резания v уменьшается до нуля, и процесс резания с отходом стружки, в общепринятом понимании, прекращается, а происходит процесс аналогичный холодной высадке, протекающий в условиях вращения инструмента и заготовки. В настоящей работе вопросы холодной высадки в чистом виде не затрагиваются.

При значениях $V = \alpha_u$ задняя поверхность занимает положение касательной к уже обработанной поверхности и за счёт упругого последействия сил резания происходит выпучивание последней на некоторую величину (это явление, наблюдающееся и при всех других известных видах лезвийной обработки). В результате может происходить упруго-пластическое заглаживание (выглаживание) обрабатываемой поверхности задней поверхностью инструмента с улучшением свойств её поверхностного слоя. В этом случае скорость резания v принимает наибольшее значение, что определяет максимальную эффективность обработки. По мнению автора, последнее условие является наиболее благоприятным для протекания процесса резания свободным обкатом.

Действительные геометрические параметры инструмента, имеющие место при резании, полученные в результате ориентации оси инструмента относительно направления подачи, можно измерять в статической системе координатных плоскостей по ГОСТу 25762-83 (рис. 1). Особенностью процесса является то, что действительная геометрия инструмента зависит только от ориентации его оси и не зависит от кинематических характеристик формообразующих движений при резании. Поэтому статическая система координат свободнообкатного резания совпадает с кинематической системой и статические геометрические параметры режущего клина будут идентичны кинематическим.

Статическая основная плоскость P_{vc} - координатная плоскость, проведенная через рассматриваемую точку режущей кромки перпендикулярно направлению скорости резания.

Статическая плоскость резания P_{nc} - координатная плоскость, касательная к режущей кромке в рассматриваемой точке и перпендикулярная к статической основной плоскости.

Статическая главная секущая плоскость $P_{\tau c}$ - координатная плоскость, перпендикулярная линии пересечения статических основной плоскости и

плоскости резания, проходящая через рассматриваемую точку режущей кромки (на рис. 1 - совпадает с плоскостью чертежа).

В процессе свободнообкатного резания различают следующие действительные углы инструмента (рис. 1), измеренные в статической главной секущей плоскости.

Статический главный передний угол γ_c - угол в статической главной секущей плоскости между передней поверхностью резца и статической основной плоскостью. Этот угол связан с главным инструментальным передним углом заточки режущего клина соотношением:

$$\gamma_c = \gamma_u + v.$$

Статический главный задний угол α_c - угол в статической главной секущей плоскости между задней поверхностью и статической плоскостью резания. Этот угол связан с инструментальным задним углом заточки соотношением $\alpha_c = \alpha_u - v$, при $\alpha_u = v$ - получим $\alpha_c = 0$.

Статический главный угол заострения режущего клина β_c остается неизменным, поэтому он совпадает с инструментальным углом заострения β_u , получаемым в результате заточки режущего клина.

Статический главный угол резания δ_c (ГОСТ 25762-83 не регламентируется) - угол в статической главной секущей плоскости между передней поверхностью резца и статической плоскостью резания. Он связан с другими геометрическими параметрами резца следующими соотношениями:

$$\delta_c = \beta_u + \alpha_c = \beta_u + \alpha_u - v = 90^\circ - \gamma_c = 90^\circ - \gamma_u - v.$$

Геометрические параметры инструмента в статической системе координат связаны между собой и с инструментальными углами заточки зависимостью:

$$\gamma_c + \beta_u + \alpha_c = \gamma_u + \beta_u + \alpha_u = \pm(\gamma_u + v) + \beta_u + \alpha_u - v = 90^\circ.$$

Угол наклона режущей кромки измеряется в статической плоскости резания и в отличии от традиционных режущих инструментов образуется не специальной заточкой режущей кромки, а смещением оси инструмента в ту или другую сторону относительно направления подачи в плоскости параллельной плоскости резания. При этом возможно, что оси инструмента и заготовки или скрещиваются в пространстве, или пересекаются. На рис. 2 представлена проекция на статическую плоскость резания места контакта режущей кромки с обрабатываемой поверхностью при пересекающихся осях.

Согласно ГОСТу 25762-83, статическим углом наклона режущей кромки λ_c называется угол в статической плоскости резания между касательной к режущей кромке в рассматриваемой точке и статической основной плоскостью.

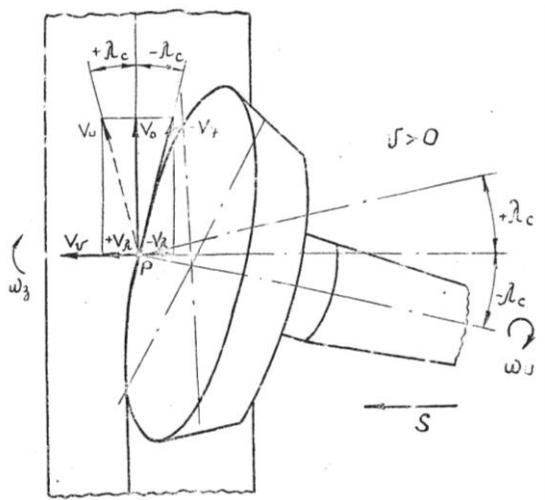


Рисунок 2 – Проекция на статическую плоскость резания места контакта режущей кромки с обрабатываемой поверхностью при пересекающихся осях

Угол наклона режущей кромки λ_c может иметь как положительное, так и отрицательное значение. При этом положительный угол $\lambda_c > 0$ считаем, когда вектор окружной скорости инструмента \bar{V}_u направлен в сторону вектора скорости резания \bar{V}_v , а отрицательным - $\lambda_c < 0$, когда эти векторы направлены в противоположные стороны (рис. 2). В первом случае общая скорость резания увеличивается на величину V_λ , во втором уменьшается на ту же величину. При $\lambda_c = 0$, составляющая скорости V_λ равна нулю, и тогда общая скорость резания становится равной $V = V_v$,

В рассматриваемом процессе углы в плане также имеют отличия от традиционных методов лезвийной обработки. В соответствии с ГОСТ [4] угол в плане рассматривается в основной плоскости между плоскостью резания и рабочей плоскостью. Плоскость резания - это касательная к режущей кромки

в рассматриваемой точке и перпендикулярна основной плоскости. Исходя из этого, для резца с круговой режущей кромкой след плоскости резания на основную площадь в каждой точке будет иметь свое направление и поэтому угол в плане представляет переменную величину.

Выводы.

1. Установлены фактические геометрические параметры инструментов при свободнообкатном резании.
2. Полученные данные позволяют в дальнейшем изучить влияние геометрических параметров на особенности физических явлений в зоне свободнообкатного резания - процесс стружкообразования, тепловыделения, формирование обработанных поверхностей и их качества и т.д.

Список использованных источников: 1. Патент RU 2311991 С.2 РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ/ А.В. Добровольский (ИА), С.И. Дмитриев (ИА). Способ высокоточной свободнообкатной обработки сферической поверхности/ - Заявка: 200413769/02, 23.12.2004. Опубликовано: 10.12.2007 Бюл. № 34. 2. Добровольский А.В., Краснощек Ю.С. Кинематика свободнообкатного резания с пересекающимися осями для обработки внутренних поверхностей// Резание и инструмент в технологических системах. Международный научно-техн. сборник. - Харьков: НТУ "ХПІ". - 2008. Вып. 74. - С.116-125. 3. Добровольский А.В., Краснощек Ю.С. Кинематика свободнообкатного резания при обработке наружной сферической поверхности// Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ "ХПІ", - Харків, 2009 -Вип. 1(18) - С. 38-46. 4. ГОСТ 25762-83. Обработка резанием. Термины, определения и обозначения общих понятий. 5. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. - М.: Машиностроение, 1975. - 334 с.

Bibliography (transliterated): 1. Patent RU 2311991 S.2 ROSSIJSKAYA FEDERACIJA/ A.V. Dobrovols'kij (IA), S.I. Dmitriev (IA). Sposob vysokotochnoj svobodnoobkatnoj obrabotki sfericheskoy poverhnosti/ - Zajavka: 200413769/02, 23.12.2004. Opublikovano: 10.12.2007 Bjul. № 34. 2. Dobrovols'kij A.V., Krasnoshhek Ju.S. Kinematika svobodnoobkatnogo rezaniya s peresekajushchimijsja osjami dlja obrabotki vnutrennih poverhnostej// Rezanie i instrument v tehnologicheskikh sistemah. Mezhdunarodnyj nauchno-tehn. sbornik. - Har'kov: NTU "HPI". - 2008. Vyp. 74. - S.116-125. 3. Dobrovols'kij A.V., Krasnoshhek Ju.S. Kinematika svobodnoobkatnogo rezaniya pri obrabotke naruzhnoj sfericheskoy poverhnosti// Visoki tehnologii v mashinobuduvanni: Zbirnik naukovih prac' NTU "HPI", - Harkiv, 2009 -Vip. 1(18) - S. 38-46. 4. GOST 25762-83. Obrabotka rezaniem. Terminy, opredelenija i oboznachenija obshhih ponjatij. 5. Bobrov V.F. Osnovy teorii rezaniya metallov. - M.: Mashinostroenie, 1975. - 334 s.

Поступила в редакцию 10.10.2014

УДК 620.178: 539.4

В.К. Лобанов, д-р техн. наук,
Г.И. Пашкова, канд. техн. наук, Харьков, Украина

ІССЛЕДОВАННЯ СОПРОТИВЛЕННЯ УСТАЛОСТИ ЦАПФ ЗАДНИХ МОСТОВ СПЕЦІАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ СРЕДСТВ

У роботі виконано дослідження опору втоми цапф заднього моста транспортного засобу «Дозор» різних варіантів виготовлення. Показано, що оптимальними є випробування деталей при спільній дії вигину і крутіння. Встановлено, що місце з'єднання цапфи з насадкою є менш навантаженим, ніж шлиці і зона кріплення цапфи до корпусу.

В работе выполнено исследование сопротивления усталости цапф заднего моста транспортного средства «Дозор» различных вариантов изготовления. Показано, что оптимальными являются испытания деталей при совместном действии изгиба и кручения. Установлено, что место соединения цапфы с насадкой является менее нагруженным и напряженным, чем шлицы и зона крепления цапфы к корпусу.

The study is related to the development of the special vehicle "Dozor". This work presents the researching of the fatigue resistance of rear axles trunnions for the vehicle "Dozor" from different variants of manufacturing. Totally, 20 different constructions of the trunnion, namely welded (11 variants) and mixed (9 variants) ones are examined. Universal testing machine, enabling to generate maximum static load of 500 kN and maximum cyclic load of 250 kN with an accuracy of $\pm 1\%$ is used for testing. Working load is simulated using loading conditions. It is shown that the test items are optimal under the combined action of bending and torsion. Examples of the tensometry results and final results of all tests are given. It was founded that the connection point of trunnion with nozzle is less loaded and less stressful than splines and zone, where trunnion is connected to the body. Approved test pattern for trunnion under the simultaneous action of the bending and torsional moments is recommended for further use in the development of technologies and standards in percentage check tests of trunnions in serial production for the purpose of intermittent monitoring of the level and stability of the quality of their manufacture.

Введение и постановка задачи. Актуальной задачей современного машиностроения является повышение эксплуатационной надежности транспортных средств. Использование быстроходных двигателей большой мощности обуславливает увеличение нагрузочных режимов основных агрегатов и деталей. При этом необходимо повышение надежности и долговечности этих узлов и деталей. Решение указанных проблем тесно связано с наиболее полным использованием свойств материалов и рациональным конструированием узлов транспортных средств [1].

Для анализа эксплуатационной долговечности узлов транспортных машин используют данные лабораторных и дорожных испытаний. Причем при лабораторных испытаниях иногда не все детали работают в условиях,

аналогичных эксплуатационным, поэтому в процессе испытания агрегата в целом может не выявиться истинная долговечность некоторых деталей. В этом случае соответствующий узел или деталь необходимо испытывать отдельно [1, 2].

Цапфы задних мостов транспортных средств относятся к числу наиболее ответственных деталей, подвергающихся в процессе эксплуатации высоким циклическим нагрузкам. Целесообразно определить влияние конструктивных особенностей изготовления цапф на их сопротивление усталости.

Целью настоящей работы являлась сравнительная оценка сопротивления усталости цапф заднего моста специального транспортного средства «Дозор», изготовленных по различным технологическим схемам, в условиях нагружения, имитирующего эксплуатационное.

Кроме того, представляло интерес исследование напряженного состояния цапф в условиях такого нагружения, и особенно определение значений напряжений в зоне соединения цапф с насадкой.

Объекты исследования. В качестве объектов исследования были использованы натурные цапфы заднего моста сварной или составной конструкции (по способу соединения непосредственно цапфы с насадкой). Общий вид цапф показан на рис. 1, а. Варианты изготовления цапф приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Варианты изготовления цапф

Конструкция цапф	Номер варианта	Характеристика варианта		
		Материал цапфы	Материал насадки	Примечание
1	2	3	4	5
Сварные	1-1	сталь 18Х2Н4МА	сталь 18Х2Н4МА	–
	1-2	сталь 18Х2Н4МА	сталь 18Х2Н4МА	с дефектами сварного шва
	1-3	сталь 18Х2Н4МА	сталь 12Х2Н4А	–
	1-4	сталь 18Х2Н4МА	сталь 18Х2Н4МА	без термообработки после сварки
	1-5	сталь 25ХГТ	сталь 12Х2Н4МА	без термообработки после сварки
	1-6	сталь 25ХГТ	сталь 25ХГТ	без термообработки после сварки
	1-7	сталь 20Х2Н4А	сталь 25ХГТ,	–
	3-1	сталь 20Х2Н4А	сталь 18Х2Н4МА	–
	3-2	сталь 18Х2Н4МА	сталь 18Х2Н4МА	с дефектами сварного шва
	3-3	сталь 18Х2Н4МА	сталь 18ХГТ	–
	3-4	сталь 18Х2Н4МА	сталь 20Х2Н4А	–

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
Составные	2-1	сталь 18Х2Н4МА	сталь 18Х2Н4МА	3 штифта
	2-2	сталь 45	сталь 45Х	3 штифта
	4-1	сталь 20Х2Н4А	сталь 38ХС	3 штифта
	4-2	сталь 20Х2Н4А	сталь 38ХС	4 штифта
	4-3	сталь 20Х2Н4А	сталь 38ХС	5 штифтов
	4-4	сталь 38ХС	сталь 38ХС	2 ряда штифтов по 3 в каждом ряду (6 шт.)
	4-5	сталь 38ХС	сталь 38ХС	2 ряда штифтов по 2 в каждом ряду (4 шт.)
	4-6*	сталь 20Х2Н4А	сталь 38ХС	3 штифта
	4-7*	сталь 20Х2Н4А	сталь 38ХС	4 штифта

* – вариант с усиленными шлицами

Сварка цапфы с насадкой осуществлялась с применением сварочной проволоки СВ08Г2С. Для снятия остаточных напряжений в сварном шве зона последнего подвергалась нагреву ТВЧ до температуры 650° С. После закалки и высокого отпуска твердость деталей находилась в пределах 285...341 НВ.

Составные цапфы изготавливали методом горячего прессования с натягом соединяемых поверхностей – 0,3 мм, т.е. сборка осуществлялась за счет разницы температур непосредственно цапфы и насадки. Кроме того, для дополнительной гарантии от проворачивания, обе части соединяли штифтами диаметром 12 мм.

Техника и методика испытаний и тензометрирования. Для проведения испытаний использовали универсальную испытательную машину типа МУП-50 (см. рис. 1, б), позволяющую создавать максимальную статическую нагрузку 500 кН и максимальную циклическую нагрузку 250 кН с точностью $\pm 1\%$. Испытания осуществляли при знакопостоянном цикле нагружения. База испытаний – $2 \cdot 10^6$ циклов.

На первом этапе проводили испытания цапф при действии изгибающего момента. Частота нагружения составляла 500 мин⁻¹.

Испытаниям при циклическом знакопостоянном изгибе подвергали одновременно две цапфы, расположенные симметрично относительно оси приложения нагружающего усилия (рис. 2).

Цапфы устанавливали в специальное приспособление. Нагрузка через центральный пулансон передавалась на два периферийных пулансона, которые обеспечивали нагружение в местах расположения подшипников качения.

В этом случае цапфы, как и в реальной конструкции, представляли собой консоли с нагрузкой, приложенной в месте расположения колес.

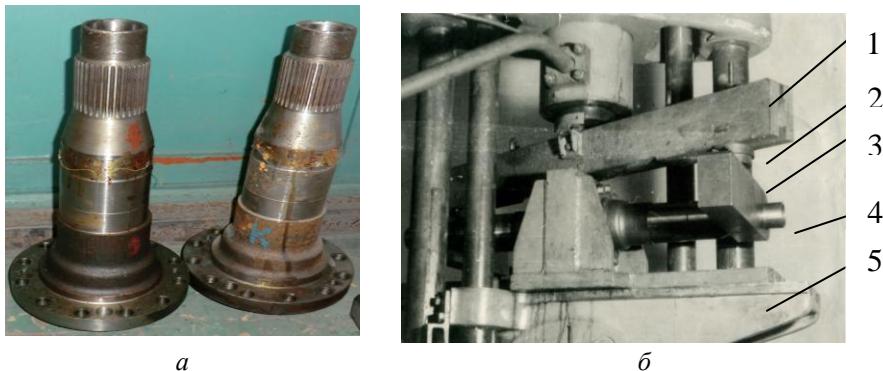


Рисунок 1 – Общий вид: *а* – испытываемые цапфы; *б* – испытательная машины МУП-50 с установленными в приспособление цапфами: 1 – траверса; 2 – пuhanсон; 3 – рычаг; 4 – испытываемая цапфа; 5 – основание приспособления

Такая схема позволяла оценить как опасные сечения самой цапфы, так и узла ее крепления. Максимальная нагрузка на каждую цапфу составляла 100 кН, минимальная – 40 кН. При разрушении одной из испытываемых цапф до достижения базового количества циклов проводилась замена разрушенной цапфы, и испытания продолжались. При таких параметрах испытывали цапфы вариантов 1 (сварные) и 2 (составные).

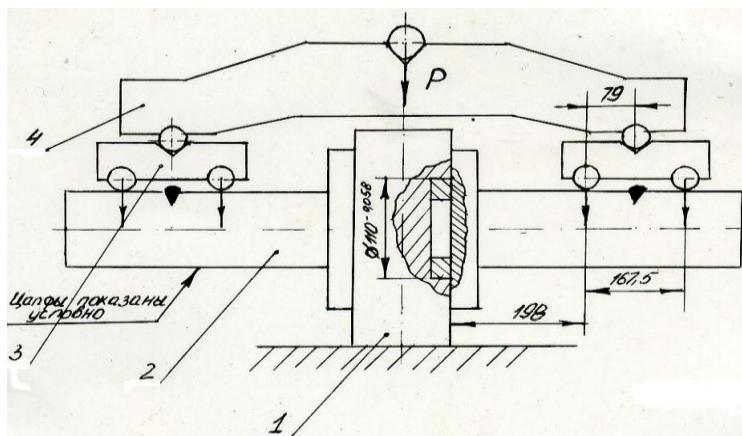


Рисунок 2 – Схема приспособления для циклических испытаний цапф при изгибе:
1 – основание приспособления; 2 – испытываемые детали;
3 – периферийные пuhanсоны; 4 – центральный пuhanсон

Перед проведением циклических испытаний производили исследование напряженного состояния цапф методом электротензометрии [3].

При тензометрировании использовали тензорезисторы типа ФКП: для резких переходов сечений и района сварного шва – с базой 3 мм, для гладких участков – с базой 5 мм. Определение деформаций производили с помощью полумостовых измерительных схем подключения тензорезисторов. Выходные сигналы тензорезисторов в исходном состоянии и при нагружении цапфы статическим усилием 100 кН фиксировали с помощью тензометрической системы СИИТ-3 с коэффициентом чувствительности равным $1,98 \cdot 10^{-6}$ единиц относительной деформации. Расчет напряжений производили по стандартным формулам для плоского напряженного состояния [4].

На втором этапе исследований оценивали работоспособность цапф при совместном действии изгибающего и крутящего моментов, т.е. в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным. Общий вид приспособления для проведения таких испытаний, размещенного на машине МУП-50, показан на рис. 1, б.

Две испытываемые цапфы крепились к корпусу приспособления с помощью штатных болтов. На шлицевых частях обеих цапф закрепляли рычаги, через которые посредством пuhanсонов, установленных в специальную траверсу, нагрузка передавалась на испытываемые детали. Таким образом, цапфы представляли собой консоли, нагруженные одновременно изгибающим и крутящим моментами.

В соответствии с расчетными данными максимальная нагрузка на каждую цапфу составляла 50 кН, минимальная – 15 кН, величина максимального крутящего момента 1000 кгс·м, минимального – 300 кгс·м. Частота нагружения – 500 мин⁻¹. Таким образом, испытывали цапфы вариантов 3 и 4 (соответственно сварные и составные).

Схема расположения тензорезисторов и распределение напряжений по длине цапфы сварной конструкции из стали 18Х2Н4МА при испытаниях на изгиб показаны на рис. 3.

Как видно из приведенного графика, наиболее нагруженной зоной в процессе испытаний является участок, прилегающий к месту крепления цапфы, что вполне объяснимо, учитывая консольный характер нагрузления.

Однако и в этих местах значения напряжений при заданном уровне максимальной нагрузки, находящиеся в пределах 200...256 МПа, существенно ниже предела выносливости материала цапфы, который составляет от 470 до 540 МПа [5, 6]. Следует также учесть, что величина напряжений в районе сварного шва еще ниже, что гарантирует малую вероятность усталостного разрушения в этой зоне.

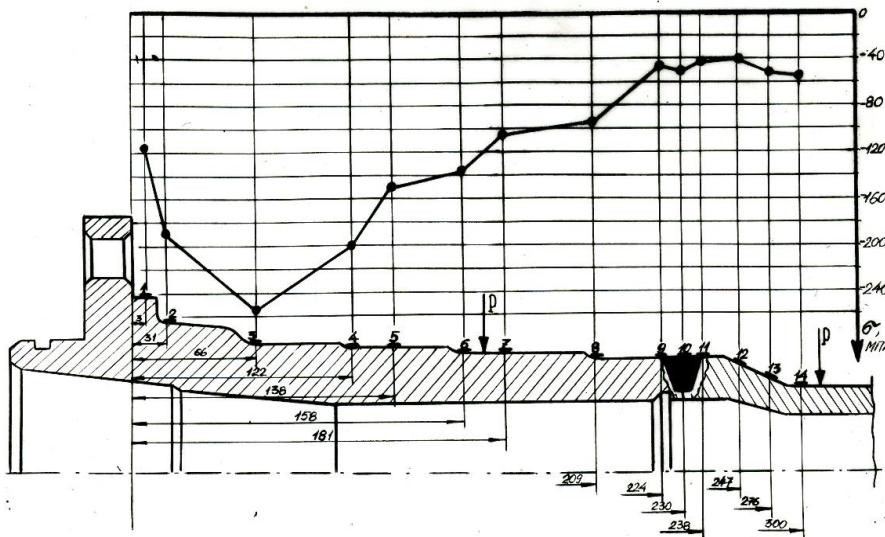


Рисунок 3 – Схема размещения тензорезисторов и распределение напряжений в цапфі сварной конструкции из стали 18Х2Н4МА (при испытаниях на изгиб)

Для тензометрирования при испытаниях на изгиб с кручением тензорезисторы наклеивали в наиболее нагруженном сечении цапф с двух противоположных сторон: по схеме розеток (два тензорезистора под углом 45°) – для измерения напряжений кручения, и друг напротив друга вдоль оси цапфы – для определения напряжений от изгиба. Значения напряжений рассчитывали по известным формулам [7].

Результаты тензометрирования при испытаниях на изгиб с кручением приведены в таблице 2. При этом экспериментально полученные значения сравнивались с расчетными для балки переменного сечения, подвергнутой изгибу с кручением [8].

Как следует из табл. 2, абсолютные значения напряжений, полученных экспериментальным путем, достаточно близки к расчетным, что свидетельствует о правильном выборе испытательной схемы, обеспечивающей условия нагружения, аналогичные эксплуатационным. При этом их величины также существенно меньше значения предела выносливости материала цапф.

Таблица 2 – Результаты тензометрирования цапф заднего моста при изгибе с кручением

Номера цапф	Номер тензорезистора или розетки	Значения напряжений, МПа			
		экспериментальные		расчетные	
		при изгибе	при кручении	при изгибе	при кручении
Цапфа 1	т/р № 1	+ 137	–	127	190
	т/р № 3	- 126	–		
	роз. 2-2'	–	217		
	роз. 4-4'	–	191		
Цапфа 2	т/р № 5	- 130	–		
	т/р № 7	+ 140	–		
	роз. 6-6'	–	190		
	роз. 8-8'	–	223		

Основные результаты и обсуждение. Результаты испытаний на усталость цапф различной конструкции приведены в табл. 3.

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о том, что при испытаниях на изгиб практически все цапфы, независимо от конструкции и использованных материалов, а также наличия дефектов сварного шва, выдерживают базовое количество циклов нагружения без разрушения. По-видимому, использованная схема испытаний недостаточно точно отражает характер нагружения цапф в эксплуатации.

Оптимизация схемы и параметров испытаний (совместное воздействие на цапфы изгибающего и крутящего моментов) приводит к принципиальному изменению результатов испытаний на усталость.

Как видно из табл. 3, в большинстве случаев происходит разрушение цапф по шлицам от действия крутящего момента. Такие результаты свидетельствуют о том, что места соединения цапф с насадками (независимо от варианта изготовления и количества штифтов) являются менее нагруженными, чем шлицевое соединение.

Указанный вывод подтверждают данные, полученные при испытаниях составных цапф с усиленными шлицами (варианты 4-6* и 4-7*). Все испытанные цапфы выдержали без разрушения базовое количество циклов.

Таблица 3 – Результаты испытаний цапф различной конструкции на усталость

Схема испытаний	Конструкция цапф	Номер варианта	Условные номера цапф	Количество циклов нагружения	Результат испытаний
Изгиб	Сварные	1-1	663-1...663-4	$2 \cdot 10^6$	выдержали
		1-2	667-1...667-4; 668-1, 668-2	$2 \cdot 10^6$	выдержали
		1-3	677-1, 677-2	$2 \cdot 10^6$	выдержали
		1-4	682-1, 682-2	$2 \cdot 10^6$	выдержали
		1-5	685-1, 685-2	$2 \cdot 10^6$	выдержали
		1-6	686-1, 686-2	$2 \cdot 10^6$	выдержали
		1-7	687-1, 687-2	$2 \cdot 10^6$	выдержали
	Составные	2-1	674-1, 674-2	$3 \cdot 10^6$	выдержали
		2-2	680-1...680-4	$3 \cdot 10^6$	выдержали
Совместное действие изгиба и кручения	Сварные	3-1	689-1	489 000	разрушилась по шлицам
			689-2	514 000	разрушилась по шлицам
		3-2	694-1	700 000	разрушилась по шлицам
			694-2	$2 \cdot 10^6$	выдержала
		3-3	704-1	1 112 000	разрушилась по шлицам
			704-2	1 690 000	разрушилась по шлицам
		3-4	706-1, 706-2	1 480 000	разрушились по шлицам
	Составные	4-1	688-1	350 000	разрушилась по шлицам
		4-2	688-3	418 000	разрушилась по шлицам
		4-3	688-4	443 000	разрушилась по шлицам
		4-4	690-1	790 000	разрушилась по шлицам
			690-2	1 431 000	разрушилась по шлицам
		4-5	693-1	$2 \cdot 10^6$	выдержала
			693-2	945 000	разрушилась по шлицам
		4-6*	695-1, 695-2	$2 \cdot 10^6$	выдержали
		4-7*	696-1, 696-2	$2 \cdot 10^6$	выдержали

Выводы. Впервые разработана и реализована в лабораторных условиях методика испытаний на усталость цапф заднего моста транспортного средства «Дозор» с различными вариантами изготовления.

Установлено, что нагружение цапф одновременно изгибающим и крутящим моментами отражает условия работы деталей в эксплуатации.

Данные, полученные при тензометрирования цапф в процессе статического нагружения показывают, что уровень напряжений во всех случаях существенно ниже предела выносливости материала цапф.

Результаты испытаний на усталость свидетельствуют о том, что при совместном действии изгиба и кручения разрушение цапф происходит по шлицам независимо от варианта изготовления деталей. При испытаниях деталей с усиленными шлицами все цапфы выдерживают заданное количество циклов нагружения.

На основе данных тензометрирования и усталостных испытаний, следует заключить, что выбранная схема испытаний цапф при одновременном действии изгибающего и крутящего моментов может служить основой разработки технологии и нормативов для проведения выборочных контрольных испытаний цапф в серийном производстве с целью периодического контроля уровня и стабильности качества их изготовления.

Список использованных источников: 1. Гольд Б.В. Основы прочности и долговечности автомобиля / Б.В. Гольд, Е.П. Оболенский, Ю.Г. Стефанович, О.Ф. Трофимов. – М.: Машиностроение, 1967. – 212 с. 2. Кугель Р.В. Испытания на надежность машин и их элементов. – М.: Машиностроение, 1982. – 182 с. 3. Шушкевич В.А. Основы электротензометрии. – Минск: Вышэйшая школа, 1975. – 352 с. 4. Биргер И. А. Остаточные напряжения. – М.: Mashgiz, 1963. – 232 с. 5. Троценко В.Т., Сосновский Л.А. Сопротивление усталости металлов и сплавов. – К.: Наукова думка, 1987. – 308 с. 6. Пруданцев М.В., Давыдов Л.Н., Тамарина И.А. Конструкционные стали: Справочник. – М.: Металлургия, 1980. – 288 с. 7. Тензометрирование деталей автомобиля / Под ред. И.С. Лунева. – М.: Mashgiz, 1962. – 231 с. 8. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов. – К.: Наукова думка, 1975. – 704 с.

Bibliography (transliterated): 1. Gol'd, B. V., E. P. Obolenskij, Yu. G. Stefanovich, and O. F. Trofimov. *Osnovy prochnosti i dolgovechnosti avtomobilja*. Moscow: Mashinostroenie, 1967. Print. 2. Kugel', R. V. *Ispytanija na nadezhnost' mashin i ih jelementov*. Moscow: Mashinostroenie, 1982. Print. 3. Shushkevich, V. A. *Osnovy jelektrotenzometrii*. Minsk: Vyshhejszaja shkola, 1975. Print. 4. Birger, I. A. *Ostatochnye naprjazhenija*. Moscow: Mashgiz, 1963. Print. 5. Troshchenko, V. T., and L. A. Sosnovskij. *Soprotivlenie ustalosti metallov i splavov*. Kiev: Naukova dumka, 1987. Print. 6. Pridancev, M. V., L. N. Davyдов, and I. A. Tamarina. *Konstrukcionnye stali*. Moscow: Metallurgija, 1980. Print. 7. *Tenzometrirovaniye detalej avtomobilja*. I. S. Luneva, ed. Moscow: Mashgiz, 1962. Print. 8. Pisarenko, G.S., A.P. Jakovlev and V.V. Matveev. *Spravochnik po soprotivleniju materialov*. Kiev: Naukova dumka, 1975. Print.

Поступила в редакцию 10.10.2014

Я.Б. Немировский, канд. техн. наук, Киев, Украина;

А.В. Чернявский, канд. техн. наук,

П.Н. Еремин, Кировоград, Украина

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА УСАДКИ ОТВЕРСТИЙ ПРИ ДЕФОРМИРУЮЩЕМ ПРОТЯГИВАНИИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЧУГУНА

У статті розроблені рівняння для розрахунку усадки отвору при деформуючому протягуванні заготовок із сірого чавуну. Показано, що усадка отвори не залежить від кута α і натягу на елемент, а визначається сумарною деформацією отвору.

В статье разработаны уравнения для расчета усадки отверстия при деформирующем протягивании заготовок из серого чугуна. Показано, что усадка отверстия не зависит от угла α и натяга на элемент, а определяется суммарной деформацией отверстия.

In the paper, we develop equations for calculating shrinkage holes in deforming pulling pieces of cast iron. It has been shown that the shrinkage of the holes does not depend on the angle and the preload on α element as determined by the total deformation of the openings.

При деформирующем протягивании отверстий в осесимметричных изделиях изменяются все размеры заготовки, а именно: пластически увеличивается диаметр отверстия, уменьшается толщина стенки и изменяется ее длина.

Рассмотрим вопрос определения диаметра обработанного отверстия после деформирующего протягивания. Этот вопрос является актуальным не только с научной, но и с практической точки зрения. Обусловлено это следующим. Когда деформирующее протягивание используется в качестве финишной операции, обработанный диаметр определяет размеры и погрешность обработанного отверстия. Если деформирующее протягивание является промежуточной операцией, то размер обработанного отверстия определяет припуск под последующую обработку. Особенно это важно при конструировании комбинированного деформирующее-режущего инструмента, где условия работы каждого последующего рабочего элемента напрямую зависят от предыдущего.

Этому вопросу посвящен целый ряд работ [1,2]. Основным подходом в этих работах, где рассматривается обработка заготовок из пластичных материалов, является определение размера отверстия исходя из схемы взаимодействия деформирующего элемента с обрабатываемой поверхностью (рис. 1).

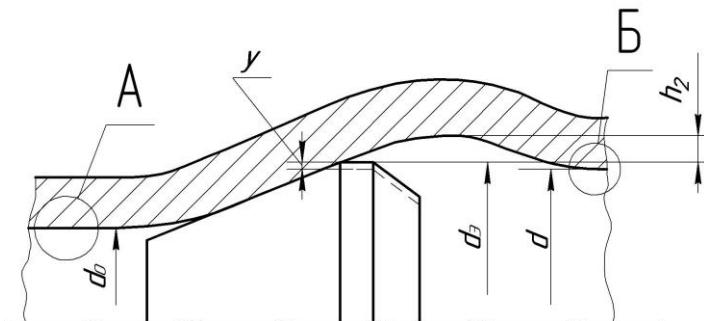


Рисунок 1 – Схема взаимодействия деформирующего элемента с обрабатываемой поверхностью, где А – зона с шероховатостью Rz_n , Б – зона с шероховатостью Rz_{n+1} .

В соответствии с этой схемой очаг деформации состоит из участка контакта и двух внеконтактных зон, которые примыкают к нему. Объективность этой схемы подтверждена многочисленными экспериментами [1]. Исходя из этой схемы, авторы предлагают следующую зависимость для определения диаметра обработанного отверстия

$$d = d_3 + 2 \cdot h_2 - \Delta - 2 \cdot y \quad (1)$$

где d_3 – наружный диаметр деформирующего элемента, мм;

$2 \cdot h_2$ – высота внеконтактной зоны за деформирующим элементом, мм;

Δ – упругое восстановление обработанного диаметра отверстия;

$2 \cdot y$ – упругое уменьшение диаметра деформирующего элемента под нагрузкой, мм.

В работе [2] отмечается, что рабочие элементы из металлокерамических твердых сплавов, которые наиболее часто используются в промышленности, имеют высокий модуль упругости E . Поэтому уменьшение наружного диаметра таких элементов будет незначительным, особенно в тех случаях, когда деформирующий элемент посажен на оправку протяжки без зазора. Следовательно, величиной $2 \cdot y$ можно пренебречь.

В случае протягивания изделий из пластических материалов со значительными деформациями большое влияние на размер обработанного отверстия оказывает высота внеконтактной зоны за деформирующим элементом. В зависимости от ее величины и значения упругого восстановления пластиически деформированного материала заготовки диаметр обработанного отверстия может оказаться меньше (усадка отверстия) или

больше (разбивка отверстия) диаметра деформирующего элемента.

При обработке изделий из чугуна, который, как известно, является полухрупким (малопластичным) материалом деформирование рекомендуется осуществлять при малых натягах на элемент по следующим причинам. Как известно [4], пластичность заготовок при деформирующем протягивании, кроме свойств обрабатываемого материала, существенно зависит от вида напряженного состояния, определяемого показателем напряженного состояния - η . Так, в зоне контакта даже при раздаче тонкостенных заготовок согласно данных [4] $\eta \approx 7$, что соответствует условиям, близкими к всестороннему сжатию. Наличие такого значения показателя η позволяет осуществлять без разрушения значительные пластические деформации даже для такого малопластичного материала как чугун. В тоже время, согласно данным [4], на наружной поверхности деформируемой заготовки показатель напряженного состояния $\eta = +2$, что соответствует условиям равномерного двухосного растяжения. Естественно, что при таком жестком значении показателя пластичности разрушение заготовки из чугуна начинается с наружной поверхности при появлении там даже малых пластических деформаций. Указанное положение определяет необходимые условия для раздачи заготовок из чугуна. Ими являются осуществление малых пластических деформаций поверхности отверстия и отсутствие их на наружной поверхности заготовки. Учитывая тот факт, что обработку изделий из чугуна необходимо производить с малыми натягами, при которых, как показали наши эксперименты [5], высота внеконтактной деформации незначительна, то следует ожидать, что при раздаче заготовок из чугуна независимо от степени деформации, геометрии инструмента и размеров заготовки, будут иметь место усадка отверстия. Величина усадки отверстия определяется как $\Delta = d_3 - d$, что с учетом вышесказанного наиболее близко к упругому восстановлению обработанного отверстия. Используя зависимость, предложенную авторами [2] для расчета величины упругого восстановления диаметра отверстия при обработке отверстий в пластичных материалах, получаем зависимость для расчета значений упругого восстановления отверстия в изделиях из такого малопластичного материала как чугун:

$$U_d = \frac{d \cdot \sigma_i}{\sqrt{3} \cdot E} \cdot [K_1^2 \cdot (1 - \mu) + (1 + \mu)] \quad (2)$$

где σ_i – напряжение, определяемое по кривой течения, которая получена при сжатии образца из чугуна, соответствующее суммарной деформации втулки e_{cp} по среднему диаметру; E – модуль упругости первого рода обрабатываемого материала, μ – коэффициент Пуассона; $K_1=d/D$;

$$e_{cp} = \frac{d + t}{d_0 + t_0} - 1 \quad (3)$$

Для использования выражения (2) необходимо знать зависимость интенсивности напряжений от интенсивности деформаций, полученных при сжатии образцов из обрабатываемого материала, что требует разработки специальной методики и проведения дополнительных опытов. Однако, учитывая незначительные пластические деформации отверстия, величиной высоты внеконтактной зоны, а также высотными параметрами обрабатываемой поверхности не следует пренебрегать. Поэтому усадка отверстия в нашем случае не равна упругому восстановлению обработанного материала, а определяет размер отверстия после обработки. В дальнейшем определение этого параметра будет напрямую связано с определением диаметра обработанного отверстия. Поэтому была поставлена задача по определению такого комплексного показателя, как усадка отверстия при обработке изделий из чугуна и установлению влияния факторов процесса на ее значение.

Для упрощения нашей задачи используем теорию подобия размерностей [4], которая позволяет свести к минимуму количество экспериментов, создав при этом эффективные расчетные модели, удобные для использования. Так как при деформирующем протягивании скорость обработки не превышает 5...7 м/мин, то динамическим эффектом можно пренебречь и процесс пластической раздачи отверстия можно считать статическим. Невысокие температуры в зоне контакта (не более 100°C) [1], позволяют отнести его к холодному пластическому деформированию.

Независимыми параметрами, влияющими на величину усадки, являются начальные геометрические параметры d_0 и t_0 (исходя из зависимости (3), они влияют на величину средней деформации e_{cp}), а также натяг на деформирующий элемент при одноцикловой обработке - α и суммарный натяг Σa при многоцикловой обработке, а также, возможно, угол α и механические характеристики обрабатываемого материала σ/E .

Проанализируем закономерности влияния этих параметров на усадку отверстия. Независимыми параметрами являются d_0 и t_0 . Так как история деформирования не влияет на упругое восстановление влияние собственно натяга на элемент можно не учитывать, а определять влияние такого технологического параметра через суммарный натяг Σa . Подобное утверждение относится к влиянию угла α . Его влияние также можно не учитывать. Так как мы рассматриваем процесс деформирования серых чугунов, у которых значение модуля упругости практически не зависит от их марки, а на значение σ_i влияют d_0 , t_0 и Σa , то значение соотношения σ_i/E

можно исключить. Тогда зависимость параметра Δ от геометрических факторов и начальных геометрических факторов заготовки будет иметь следующий вид:

$$\Delta = f(d_0, t_0, \Sigma a) \quad (4)$$

В качестве определяющего параметра выбираем d_0 , через который выражаем все остальные геометрические факторы в безразмерном виде:

$$\Delta = d_0^\alpha \cdot f\left(1, \frac{t_0}{d_0}, \frac{\Sigma a}{d_0}\right) \quad (5)$$

Чтобы уравнять размерности правой и левой частей этого равенства, принимаем $\alpha=1$. Тогда в безразмерном виде получаем:

$$\frac{\Delta}{d_0} = f\left(\frac{t_0}{d_0}, \frac{\Sigma a}{d_0}\right) \quad (6)$$

Для эффективного использования функции (6) необходимо учесть влияние высоты микронеровностей Rz на составляющие этой зависимости (6). На величину обработанного диаметра существенное влияние оказывает высотный параметр шероховатости например Rz , которая уменьшается по мере протягивания каждого деформирующего элемента, увеличивая тем самым величину диаметра обработанного отверстия. Увеличение диаметра за счет пластичного деформирования шероховатого слоя уменьшает усадку отверстия, что можно учесть, представив безразмерное значение усадки в виде:

$$\frac{\Delta - (Rz_n - Rz_{n+1})}{d_0},$$

где Rz_n , Rz_{n+1} – высота микронеровностей до и после обработки соответственно.

Исходная шероховатость оказывает влияние и на натяг. Мы рассматриваем процесс деформирования полухрупких материалов, который, как указывалось ранее, характерен применением малых натягов, сопоставимых с высотными параметрами обрабатываемой поверхности. Особенно эти влияние заметно на первых циклах деформации, когда параметр Rz весьма значителен. Далее, по мере снижения высоты параметров их влияние становится малозаметным. Учесть это влияние можно, представив суммарный натяг в виде:

$$\frac{\sum_{i=1}^N a_i - Rz_n}{d_0}$$

Тогда зависимость (6) представим в виде:

$$\frac{\Delta - (Rz_n - Rz_{n+1})}{d_0} = f\left(\frac{t_0}{d_0}, \frac{\Sigma a - Rz_n}{d_0}\right) \quad (7)$$

Расчетным путем можно учесть изменение параметра Rz . Ранее авторами [4,6] был сделан вывод, что при небольшом числе циклов деформирования параметр Rz обработанной поверхности зависит только от одного интегрального параметра – контактного давления q , которое в свою очередь зависит от всего комплекса технологических факторов процесса. Однако эти исследования касались обработки заготовок из пластичных материалов. Какие либо подобные вопросы при обработке полухрупких материалов, каким является чугун, в литературе не рассмотрены. Поэтому были проведены эксперименты по выявлению возможности использования этого вывода при обработке заготовок из чугуна.

Выполняя анализ схемы деформирования микронеровностей при деформирующем протягивании, авторами работы [4] сформулировано предположение, что среднее контактное напряжение при последовательном смятии микронеровностей должно быть постоянным. Ими были спланированы и проведены эксперименты по сжатию моделей разной формы, изготовленных из различных пластичных материалов. Эксперименты подтвердили выдвинутое предположение и позволили авторам создать теоретическую модель формирования параметров шероховатости при малоцикловом деформировании.

Нами была поставлена задача испытать указанную методологию при обработке заготовок из чугуна, а полученные результаты использовать при определении высотных параметров шероховатости, необходимых для применения в зависимости (7). Модельные испытания производились на образцах конической формы, изготовленных из серого чугуна марки СЧ20, с углом конусности $\beta=90^\circ$ согласно схемы (рис. 2).

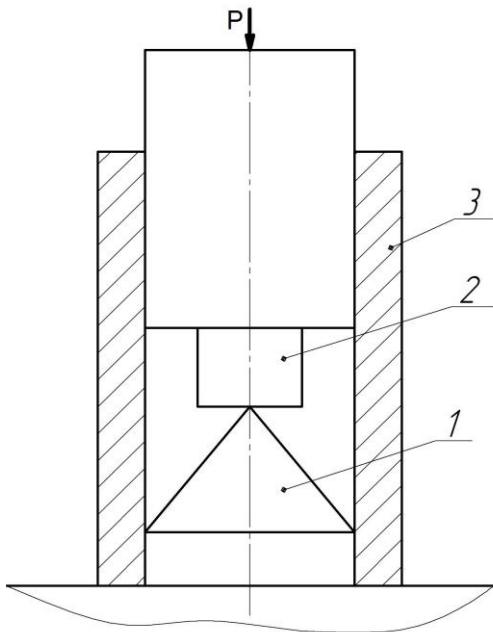


Рисунок 2 – Устройство для определения степени упрочнения исследуемых материалов: 1 – конический образец из исследуемого материала; 2 – твердосплавный боек; 3 – направляющая втулка

К вершине образца 1, который закреплен в обойме 2, через твердосплавный плунжер прикладывалась осевая нагрузка, достаточная для пластического деформирования его вершины, с последующей разгрузкой и изменением площадки отпечатка. Кроме этого посредством тензометрического динамометра известной конструкции фиксировалась осевая нагрузка. Опыты производились на гидравлической испытательной машине УИМ-50.

Как следует из приведенного графика (рис. 3), среднее контактное напряжение, определяемое как $\sigma_n = \frac{F}{S}$, до значительных степеней сжатия остается постоянным на каждом цикле.

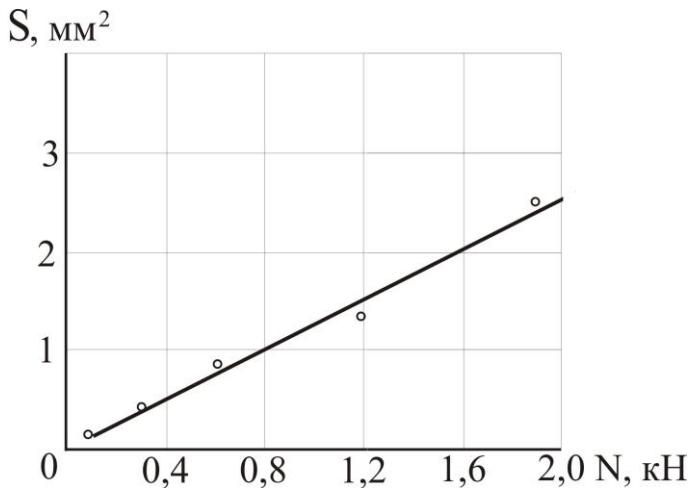


Рисунок 3 – Зависимость площади смятия от приложенной нагрузки, образец СЧ20, НВ170 ГПа, угол при вершине $\beta=90^\circ$

Более того, изменение высоты образца при его последующем деформировании пропорционально нагрузке (рис. 4), что в свою очередь указывает на функциональную связь высотных параметров шероховатости с суммарным контактным давлением.

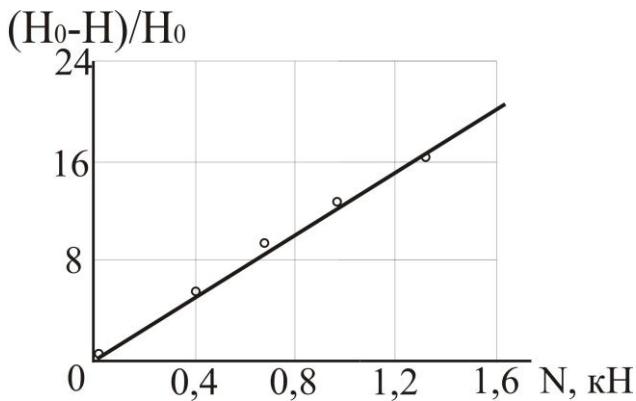


Рисунок 4 – Зависимость осевой деформации образца от приложенной нагрузки

Для определения этой связи при деформировании заготовок из чугуна проводились следующие эксперименты. Заготовки из чугуна СЧ20 с $d_0=35,5$ мм, $t_0=5,10$ и 20 мм, обрабатывались деформирующими элементами из твердого сплава ВК15 с натягами на элемент $a=0,05; 0,1$ и $0,15$ мм и углами $\alpha=2,4,8$ и 12° . При этом по известным методикам фиксировались силы протягивания, ширина контакта, а также параметры шероховатости. Контактные давления после прохода деформирующего элемента рассчитывались исходя из известной зависимости [1]. Сначала по известной осевой силе, ширине контакта и диаметру деформирующего элемента рассчитываем значение контактного давления:

$$q = \frac{Q \cdot \cos \rho}{\pi \cdot d_Y \cdot l \cdot \sin(\alpha + \rho)} \quad (8)$$

где $\rho = \arctg(f)$

Затем по известной экспериментальной зависимости для определения коэффициента трения при обработке графитсодержащих чугунов [5] уточняем значение коэффициента трения.

$$f = 0,079 \cdot Ra^{-0,11} \cdot q^{-1,09} \quad (9)$$

Далее, используя уточненное значение коэффициента трения, вновь рассчитываем значение f по зависимости (9). Цикл продолжаем до тех пор, пока значение коэффициента трения не будет соответствовать определенному контактному давлению.

Из рис. 5 следует, что при обработке заготовок из чугуна также имеет место функциональная связь высотных параметров шероховатости с суммарным контактным давлением. Чтобы учесть влияние исходной шероховатости в качестве высотного параметра использовалась относительная высота шероховатости $\frac{Rz}{Rz_0}$. Влияние исходной шероховатости

имеет место только на двух-трех циклах деформирования, когда процесс сминания соответствует нашим модельным экспериментам. Происходит это до суммарного контактного давления $\sum q \approx 3$ ГПа. При увеличении суммарных контактных давлений выше интенсивность снижения гребешков микронеровностей уменьшается из-за значительного их упрочнения [4] и деформация начинает распространяться в основной объем материала. В этом случае влияние параметра Rz на значение усадки отверстия незначительно.

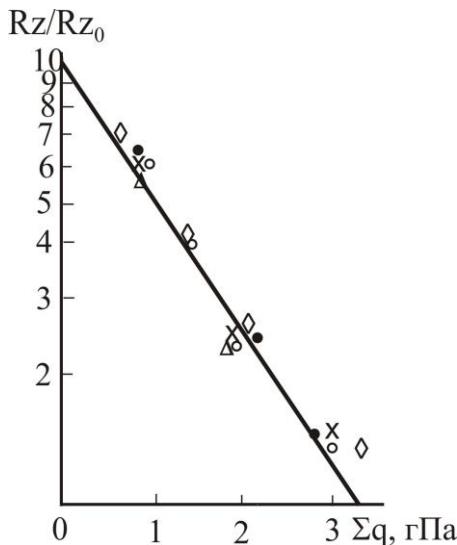


Рисунок 5 – Зависимость параметра $\frac{R_z}{R_{z_0}}$ от суммарных контактных давлений,

накопленных на всех циклах деформирования при обработке втулок из чугуна СЧ20, НВ 170 ГПа, $d_0=35,5$ мм, где
 \circ – ($a/d_0=0,0028$; $t_0/d_0=0,14$; $\alpha=4^\circ$); \bullet – ($a/d_0=0,0014$; $t_0/d_0=0,56$; $\alpha=4^\circ$);
 \diamond – ($a/d_0=0,0014$; $t_0/d_0=0,14$; $\alpha=4^\circ$); Δ – ($a/d_0=0,0028$; $t_0/d_0=0,56$; $\alpha=2^\circ$);
 x – ($a/d_0=0,0028$; $t_0/d_0=0,28$; $\alpha=4^\circ$)

Обработка экспериментальных данных, представленных на рис. 5, позволила получить инженерную зависимость для определения высотных параметров шероховатости при малоцикловом деформировании

$$\frac{R_z}{R_{z_0}} = \frac{0,95}{10^{0,32 \sum q}} \quad (10)$$

Из уравнения (10) можно решить и обратную задачу – по известным параметрам шероховатости определить действующие контактные давления.

На рис. 6 представим функцию, то есть зависимость относительной усадки от относительного суммарного натяга при обработке заготовок с различным отношением толщины стенки к диаметру t_0/d_0 : 0,14; 0,28 и 0,56; деформирующими элементами с углами $\alpha=2,4,8$ и 12° , которые обеспечивают натяг на элемент a/d_0 : 0,0014; 0,0028 и 0,0042

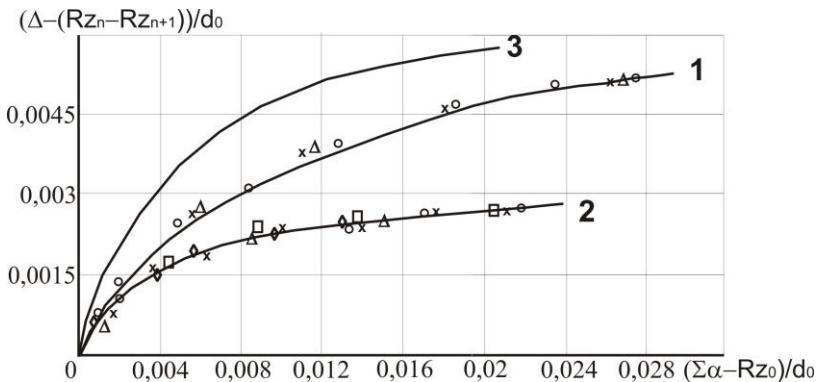


Рисунок 6 – Залежність відносичної усадки отвору від відносичної сумарної деформації отвору з урахуванням зниження шерохуватості при обробці заготовок з чугуна СЧ20 деформуючими елементами з кутами $\alpha=2,4,8$ і 12° , з натягами на елемент $a/d_0=0,0014; 0,0028; 0,0042$ та товщиною стінки t_0/d_0 :

1 – 0,56; 2 – 0,14...0,28; 3 – приклад розрахунків изделий з бесконечною товщиною за рівнянню [7].

1: $\circ - \alpha=4^\circ; a/d_0=0,0014$; $x - \alpha=4^\circ; a/d_0=0,0028$; $* - \alpha=8^\circ; a/d_0=0,0042$

2: $x - \alpha=4^\circ; t_0/d_0=0,56; a/d_0=0,0014; \alpha=4^\circ; t_0/d_0=0,28; a/d_0=0,0014; \alpha=4^\circ;$

$\bullet - t_0/d_0=0,28; a/d_0=0,0028; \alpha=4^\circ; \square - t_0/d_0=0,14; a/d_0=0,0028; \alpha=4^\circ;$

$\Delta - t_0/d_0=0,14; a/d_0=0,0042; \alpha=2^\circ; \diamond - t_0/d_0=0,28; a/d_0=0,42; \alpha=12^\circ$

Как следует из рис. 6 относительная усадка практически не зависит от угла α , а все ее значения в зависимости от относительного натяга ложатся на одну кривую (рис. 6, кривая 1 и 2). Кривую 2 можно аппроксимировать следующей зависимостью:

$$\frac{\Delta - (Rz_{n-1} - Rz_n)}{d_0} = \left[0,043 \cdot \left(\frac{\sum a_\phi - Rz_{n-1}}{d_0} \right)^{0,62} - 2 \cdot \left(\frac{\sum a_\phi - Rz_{n-1}}{d_0} \right)^2 \right] \quad (11)$$

Анализируя результаты экспериментов можно сделать вывод. Как следует из данных, приведенных на кривой 2, при отношении толщины стенки к диаметру $t_0/d_0=0,14\dots0,28$ влияние толщины стенки практически отсутствует. При увеличении толщины стенки выше значения $t_0/d_0>0,28$ она начинает влиять на значение относительной усадки. Причем, это влияние становится заметным после 2-х циклов деформации. Кривая 1, которая описывает значения относительной усадки для заготовок с отношением

толщины стенки к диаметру $t_0/d_0=0,56$, аппроксимируется зависимостью (12)

$$\frac{\Delta - (Rz_{n-1} - Rz_n)}{d_0} = \left[0,057 \cdot \left(\frac{\sum a_\phi - Rz_{n-1}}{d_0} \right)^{0,62} - 1,5 \cdot \left(\frac{\sum a_\phi - Rz_{n-1}}{d_0} \right)^2 \right] \quad (12)$$

Анализируя полученные уравнения (11) и (12) можно отметить их отличие в значениях коэффициентов в правой части уравнений. Значения этих коэффициентов зависят от толщины стенки. Для количественного учета влияния отношения толщины стенки к диаметру $t_0/d_0>0,28$ на значение относительной усадки получено уравнение (13):

$$\begin{aligned} \frac{\Delta - (Rz_{n-1} - Rz_n)}{d_0} = & 0,043 + 0,05 \cdot \left(\frac{t_0}{d_0} - 0,28 \right) \cdot \left(\frac{\sum a_\phi - Rz_{n-1}}{d_0} \right)^{0,62} - \\ & - 1,78 \cdot \left(\frac{t_0}{d_0} - 0,28 \right) \cdot \left(\frac{\sum a_\phi - Rz_{n-1}}{d_0} \right)^2 \end{aligned} \quad (13)$$

По нашему мнению, такое влияние толщины стенки обусловлено следующими причинами. Сравнивая значения усадки при различных толщинах стенки можно отметить, что с ростом величины значения $t_0/d_0>0,28$ значение усадки возрастает (кривая $t_0/d_0=0,56$ на рис. 6). При этом усадка достигает своего максимального значения при $t_0/d_0 \approx 1$, что соответствует заготовкам с бесконечной толщиной стенки (кривая 3, которая построена по данным работ [7]).

Можно предположить, что с увеличением толщины стенки высота внеконтактной зоны, имеющая максимальное значение в области $t_0/d_0 \approx 0,28$, начинает уменьшаться и при $t_0/d_0 \approx 1$ становится малозаметной, а усадка – максимальной. Приведенные данные показали, что выбор усадки в качестве основного параметра, определяющего размер обработанного отверстия, является наиболее приемлемым и учитывает особенности обработки изделий из чугуна деформирующем протягиванием. Изложенный материал позволяет сделать следующие выводы:

- на основании проведенных исследований разработаны уравнения для расчета усадки отверстия при деформирующем протягивании заготовок из серого чугуна;
- показано, что усадка отверстия не зависит от угла α и натяга на элемент, а определяется суммарной деформацией отверстия;
- влияние толщины стенки втулки наблюдается при соотношении $t_0/d_0 > 0,28$, причем с ее ростом усадка увеличивается. Максимальное значение

усадки наблюдается при обработке заготовок с бесконечной толщиной стенки;

– установлено, что на первых циклах деформирования имеет место существенное влияние высотных параметров шероховатости на величину усадки, которое в дальнейшем становится малозаметным. Влияние высотных параметров можно учитывать за счет установленной функциональной связи высотных параметров с суммарным контактным давлением, возникающим на каждом цикле деформирования изделий из серых чугунов.

Список использованных источников: 1. Розенберг А.М., Розенберг О.А. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания.– Киев: Наук. Думка, 1990.– 320 с. 2. Розенберг А. М., Посвятенко Э.К. и др. Расчет и проектирование твердосплавных деформирующих протяжек и процесса протягивания // – К.: Наук. думка, 1978. – 256 с. 3. Немировский Я. Б., Чернявский А. В. Геометрическая точность изделий, обработанных деформирующими протягиванием с малыми деформациями // Резание и инструмент в технологических системах. Международ. научн.-техн. сборн.; НТУ «ХПИ», 2005 – 69. – С.201-210. 4. Цеханов Ю.А., Шејкін С. Е. Механика формообразования заготовок при деформирующем протягивании // Воронеж, ВГТА, 2001. –203 с. 5. Чернявский А. В. Повышение эффективности обработки отверстий в деталях из чугуна деформирующим протягиванием: автореф. дис. на соискание степени канд. техн. наук спец. 05.03.01 «Процессы механической и физико-химической обработки, станки и инструмент» // – Киев, 1988. – 17 с. 6. Немировский Я.Б. Исследование процесса деформирующего протягивания отверстий с целью оптимизации инструмента с групповым расположением рабочих элементов: автореф. дис. на соискание степени канд. техн. наук спец. 05.03.01 «Процессы и машины обработки материалов резанием; автоматические линии» // – Киев, 1981. – 24 с. 7. Кривошея В.В. Влияние угла рабочего конуса деформирующего элемента на процесс деформирующего протягивания цилиндрических отверстий: автореф. дис. на соискание степени канд. техн. наук спец. 05.03.01 «Процессы механической и физико-химической обработки, станки и инструмент» // – Киев, 1988. – 16 с. – Вип. 87. – С.269-278

Bibliography (transliterated): 1. Rozenberg A.M., Rozenberg O.A. Mehanika plasticheskogo deformirovaniya v processah rezanija i deformirujushhego protjagivanija.– Kiev: Nauk. Dumka, 1990.– 320 s. 2. Rozenberg A. M., Posvjatenko Je.K. i dr. Raschet i proektirovanie tverdosplavnyh deformirujushhih protjazhek i processa protjagivanija // – K.: Nauk. dumka, 1978. – 256 s. 3. Nemirovskij Ja. B., Chernjavskij A. V. Geometricheskaja tochnost' izdelij, obrabotannyh deformirujushhim protjagivaniem s malymi deformacijami // Rezanie i instrument v tehnologicheskikh sistemah. Mezhdunarod. nauchn.-tehn. sborn.; NTU «HPI», 2005 №69. – S.201-210. 4. Cehanov Ju. A., Shejkin S. E. Mehanika formoobrazovaniya zagotovok pri deformirujushhem protjagivanii // Voronezh, VGTA, 2001. –203 s. 5. Chernjavskij A. V. Povyshenie effektivnosti obrabotki otverstij v detaljah iz chuguna deformirujushhim protjagivaniem: avtoref. dis. na soiskanije stepeni kand. tehn. nauk spec. 05.03.01 «Processy mehanicheskoy i fiziko-himicheskoy obrabotki, stanki i instrument» // – Kiev, 1988. – 17 s. 6. Nemirovskij Ja.B. Issledovanie processa deformirujushhego protjagivanija otverstij s cel'ju optimizacii instrumenta s gruppoverym raspolozheniem rabochih jelementov: avtoref. dis. na soiskanije stepeni kand. tehn. nauk spec. 05.03.01 «Processy i mashiny obrabotki materialov rezaniem; avtomaticheskie linii» // – Kiev, 1981. – 24 s. 7. Krivosheja V.V. Vlijanie ugla rabochego konusa deformirujushhego jelementa na process deformirujushhego protjagivanija cilindricheskikh otverstij: avtoref. dis. na soiskanije stepeni kand. tehn. nauk spec. 05.03.01 «Processy mehanicheskoy i fiziko-himicheskoy obrabotki, stanki i instrument» // – Kiev, 1988. – 16 s. – vip. 87. – S.269-278

Поступила в редколлегию 16.12.2014

УДК 621.923

Ф.В. Новиков, д-р техн. наук,
О.С. Кленов, канд. техн. наук, Харьков, Украина

ОПТИМИЗАЦІЯ ПАРАМЕТРОВ КРУГЛОГО НАРУЖНОГО ШЛИФОВАННЯ ПО КРИТЕРИЯМ ТОЧНОСТИ І ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ

У роботі теоретично доведено, що оптимальний автоматизований цикл круглого зовнішнього шлифування, що забезпечує найменший основний час обробки при заданій точності обробки, обумовлений величиною пружного переміщення в технологічній системі, здійснюється в один етап, який включає лише етап виходжування зі створенням у технологічній системі початкового натягу, рівного або кратного величині притиску, що знімається. Для його реалізації необхідне застосування високочастотних осцилюючих поздовжніх рухів стола верстата (або шлифувального круга) і встановлення максимально можливої швидкості деталі, виходячи з технічних характеристик круглошлифувального верстата.

В работе теоретически доказано, что оптимальный автоматизированный цикл круглого наружного шлифования, обеспечивающий наименьшее основное время обработки при заданной точности обработки, определяемой величиной упругого перемещения в технологической системе, осуществляется в один этап, включающий лишь этап выхаживания с созданием в технологической системе начального натяга, равного или кратного величине снимаемого притиска. Для его реализации необходимо применение высокочастотных осцилирующих продольных движений стола станка (или шлифовального круга) и установление максимально возможной скорости вращения детали, исходя из технических характеристик круглошлифовального станка.

The paper theoretically define the basic processing cycle time round longitudinal multipass grinding performed in 2 stages (rough grinding and nursing). Installs least most of the time when grinding processing to provide the desired accuracy, determines the magnitude of the elastic displacement occurring in the technological system. On the basis of this solution is theoretically proved that the optimal automated cycle round outer grinding, providing a basic minimum processing time for a given precision processing that determines the magnitude of the elastic displacement in the technological system, is carried out in one step, which includes only the stage of nursing with the establishment of a technological system of initial tightness, equal or multiples shoot allowance. For its implementation requires the use of high-frequency oscillating longitudinal movement of the machine table (or wheel) and the establishment of a poppy-greatest possible speed of rotation of the items based on the technical characteristics of cylindrical grinding machines. Practical recommendations for improving the efficiency of round outer grinding.

Введение. Шлифование является основным методом финишной обработки деталей машин, обеспечивающим высокие показатели точности и качества обрабатываемых поверхностей. Благодаря образованию тончайших срезов абразивными зернами резко снижается силовая напряженность процесса шлифования, что приводит к уменьшению упругих перемещений,

возникающих в технологической системе, и соответственно погрешностей обработки. В особой мере это относится к операциям круглого наружного шлифования, основанных на реализации автоматизированных циклов шлифования. Однако такой режим обработки, как правило, снижает производительность, что неэффективно. Поэтому актуальной задачей является поиск оптимальных условий шлифования, обеспечивающих одновременное повышение точности и производительности обработки. Это требует решения оптимизационных задач в технологии машиностроения.

Анализ последних достижений и литературы. Традиционно цикл круглого наружного шлифования выполняется в несколько этапов, включая черновое (чистовое) шлифование и выхаживание [1]. Это позволяет уменьшить и даже исключить отрицательное влияние упругих перемещений, возникающих в технологической системе, на точность обработки. С целью исключения переходного процесса в начале обработки и повышения производительности рекомендуется создание начального натяга в технологической системе. В этом случае этап чернового шлифования протекает в установившемся во времени процессе обработки, что позволяет автоматизировать цикл круглого наружного шлифования [1]. Однако, в работах [2, 3] теоретически показано, что данный автоматизированный цикл шлифования не является оптимальным с точки зрения обеспечения максимально возможной производительности обработки с учетом ограничения по точности обработки, определяемой упругими перемещениями в технологической системе. Это требует уточнения известных решений. Поэтому важно установить наименьшее основное время обработки при шлифовании, обеспечивающее заданную точность обработки, определяемую величиной упругого перемещения, возникающего в технологической системе.

Цель работы, постановка проблемы. Целью работы является повышение эффективности круглого наружного шлифования на основе оптимизации параметров шлифования по критериям точности и производительности обработки. Задача состоит в теоретическом обосновании оптимального автоматизированного цикла круглого наружного шлифования.

Материалы исследований. Для упрощения расчетов рассмотрим цикл круглого наружного многопроходного шлифования, выполняемый в два этапа (черновое шлифование и выхаживание), и аналитически определим основное время обработки τ на этих двух этапах. Затем, принимая в качестве ограничения заданную точность обработки, определяемую величиной упругого перемещения y_0 на этапе выхаживания, установим наименьшее основное время обработки цикла круглого наружного шлифования, рассматривая его в качестве критерия оптимизации.

На этапе чернового шлифования величина упругого перемещения y_1 , возникающего в технологической системе, определяется зависимостью [4]:

$$y_1 = \frac{P_y}{c} = \frac{P_z}{c \cdot K_{uw}} = \frac{\sigma \cdot S_{meh}}{c \cdot K_{uw}} = \frac{\sigma}{c \cdot K_{uw}} \cdot \frac{Q}{V_{kp}}, \quad (1)$$

где P_z , P_y – тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н; $K_{uw} = P_z / P_y$; σ – условное напряжение резания, Н/м²; $S_{meh} = Q / V_{kp}$ – суммарная мгновенная площадь поперечного сечения среза всеми одновременно работающими зернами круга, м²; Q – производительность обработки, м³/с; V_{kp} – скорость круга, м/с.

Для исключения переходного процесса на этапе чернового шлифования и повышения производительности обработки необходимо в технологической системе создать начальный натяг, равный величине y_1 .

Производительность обработки может быть представлена в виде

$$Q = \frac{\vartheta}{\tau_1}, \quad (2)$$

где ϑ – объем металла, снимаемого с обрабатываемой детали, м³; τ_1 – основное время обработки на этапе чернового шлифования, с.

Тогда с учетом зависимостей (1) и (2) получено

$$\tau_1 = \frac{\sigma}{c \cdot K_{uw} \cdot V_{kp}} \cdot \frac{\vartheta}{y_1}. \quad (3)$$

В полученной зависимости величина y_1 неизвестна, ее будем рассматривать в качестве основного параметра оптимизации.

Величина упругого перемещения y_0 , возникающего в технологической системе на этапе выхаживания при круглом продольном многопроходном шлифовании, может быть определена на основе известной зависимости [5]:

$$y_0 = \frac{y_1}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{uw} \cdot V_{kp}}{\sigma \cdot S \cdot V_{dem}} \right)^{n_2}}, \quad (4)$$

где S – продольная подача, м/об; V_{dem} – скорость вращения детали, м/с; n_2 – количество продольных ходов круга на этапе выхаживания.

Продольная подача S выражается:

$$S = \frac{S_m}{V_{dem}} \cdot \pi \cdot D_{dem}, \quad (5)$$

где S_m – скорость продольной подачи, м/с; D_{dem} – диаметр детали, м.

При круглом продольном многопроходном шлифовании детали длиной l основное время обработки на этапе выхаживания определяется:

$$\tau_2 = \frac{l}{S_m} \cdot n_2. \quad (6)$$

Откуда

$$S_m = \frac{l}{\tau_2} \cdot n_2. \quad (7)$$

Тогда зависимость (4) с учетом зависимостей (5), (6) и (7), выразится:

$$y_0 = \frac{y_1}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{uu} \cdot V_{kp}}{\sigma} \cdot \frac{\tau_2}{\pi \cdot D_{dem} \cdot l \cdot n_2}\right)^{n_2}}. \quad (8)$$

Разрешая зависимость (8) относительно τ_2 имеем

$$\tau_2 = \frac{\pi \cdot D_{dem} \cdot \sigma \cdot l \cdot n_2}{c \cdot K_{uu} \cdot V_{kp}} \cdot \left[\left(\frac{y_1}{y_0} \right)^{\frac{1}{n_2}} - 1 \right]. \quad (9)$$

Основное время обработки цикла круглого продольного многопроходного шлифования, выполняемого в 2 этапа (черновое шлифование и выхаживание), определяется:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = \frac{\sigma}{c \cdot K_{uu} \cdot V_{kp}} \cdot \left\{ \frac{\vartheta}{y_1} + \pi \cdot D_{dem} \cdot l \cdot n_2 \cdot \left[\left(\frac{y_1}{y_0} \right)^{\frac{1}{n_2}} - 1 \right] \right\}. \quad (10)$$

Используя зависимость (10), проведем оптимизацию данного цикла шлифования по критерию наименьшего основного времени обработки τ с учетом ограничения по точности обработки, определяемой величиной упругого перемещения y_0 на этапе выхаживания (принимая ее заданной).

Из зависимости (10) следует, что основное время обработки τ неоднозначно зависит от двух переменных величин y_1 и n_2 . Причем, величина y_1 входит в два слагаемых зависимости (10), а величина n_2 – лишь во второе слагаемое, определяющее основное время обработки на этапе выхаживания. Следовательно, эти две величины – y_1 и n_2 необходимо рассматривать в качестве параметров оптимизации (переменных величин). Для определения экстремального значения τ подчиним (10) необходимому условию экстремума $\tau'_{y_1} = 0$; $\tau'_{n_2} = 0$:

$$\tau'_{y_1} = \frac{\sigma}{c \cdot K_{uu} \cdot V_{kp}} \cdot \left(-\frac{\vartheta}{y_1^2} + \pi \cdot D_{dem} \cdot l \cdot \frac{\frac{1}{n_2}-1}{y_0^{\frac{1}{n_2}}} \right) = 0; \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \tau'_{n_2} &= \frac{\sigma}{c \cdot K_{uu} \cdot V_{kp}} \cdot \left\{ \pi \cdot D_{dem} \cdot l \cdot \left[\left(\frac{y_1}{y_0} \right)^{\frac{1}{n_2}} - 1 \right] - \pi \cdot D_{dem} \cdot l \cdot \frac{\ln y_1}{n_2} \cdot \left(\frac{y_1}{y_0} \right)^{\frac{1}{n_2}} \right\} = \\ &= \frac{\pi \cdot D_{dem} \cdot l \cdot \sigma}{c \cdot K_{uu} \cdot V_{kp}} \cdot \left[\left(\frac{y_1}{y_0} \right)^{\frac{1}{n_2}} - 1 - \left(\frac{y_1}{y_0} \right)^{\frac{1}{n_2}} \cdot \frac{\ln y_1}{n_2} \right] = 0 \end{aligned} \quad (12)$$

Как показали расчеты, вторые производные τ''_{y_1} и τ''_{n_2} в точках экстремумов положительны. Следовательно, имеют место минимумы основного времени обработки τ (рис. 1). Решая уравнения (11) и (12) с учетом $\vartheta = \pi \cdot D_{dem} \cdot l \cdot \Pi$ получено:

$$y_{1\text{эксп}} = \Pi^{\frac{n_2}{1+n_2}} \cdot y_0^{\frac{1}{1+n_2}}; \quad (13)$$

$$\left(\frac{y_1}{y_0} \right)^{\frac{1}{n_2}} \cdot \left(1 - \frac{\ln y_1}{n_2} \right) = 1, \quad (14)$$

где Π – величина снимаемого припуска, м.

Очевидно, уравнение (14) выполняется при условии $n_2 \rightarrow \infty$. Тогда, исходя из зависимости (13), имеем

$$y_{1\text{эксп}} = \Pi. \quad (15)$$

Таким образом, показано, что на этапе чернового шлифования съем обрабатываемого материала отсутствует, т.к. величина упругого перемещения, возникающего в технологической системе, равна величине снимаемого припуска Π . Съем металла и формирование заданной точности обработки происходит на этапе выхаживания. Следовательно, для того чтобы существенно уменьшить основное время обработки на этапе чернового шлифования, необходимо его выполнять с ускоренной радиальной подачей, создавая в технологической системе начальный натяг, равный величине снимаемого припуска Π . В этом случае $\tau_1 \approx 0$, тогда минимальное основное время обработки рассматриваемого цикла шлифования определится:

$$\tau_{min} \approx \tau_2 = \frac{\pi \cdot D_{dem} \cdot l \cdot \sigma \cdot n_2}{c \cdot K_{uw} \cdot V_{kp}} \cdot \left[\left(\frac{\Pi}{y_0} \right)^{\frac{1}{n_2}} - 1 \right]. \quad (16)$$

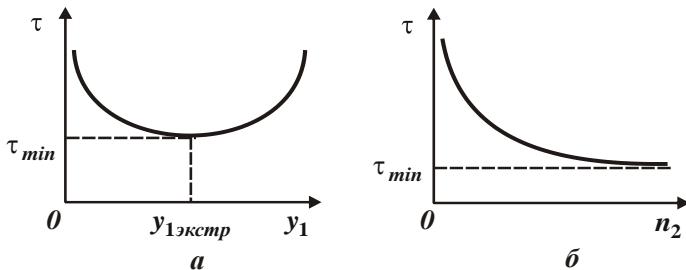


Рисунок 1 – Залежність τ від y_1 (а) і n_2 (б)

Подставляя в залежність (16) умову $n_2 \rightarrow \infty$, приходим до неопределеності $(0 \cdot \infty)$. Для її розкриття використовуємо правилом Лопітала. В итоге отримано:

$$\tau_{min} = \frac{\pi \cdot D_{dem} \cdot l \cdot \sigma}{c \cdot K_{uw} \cdot V_{kp}} \cdot \lim_{n_2 \rightarrow \infty} \frac{\left[\left(\frac{\Pi}{y_0} \right)^{\frac{1}{n_2}} - 1 \right]}{\left(\frac{1}{n_2} \right)} = \frac{\pi \cdot D_{dem} \cdot l \cdot \sigma}{c \cdot K_{uw} \cdot V_{kp}} \cdot \ln \left(\frac{\Pi}{y_0} \right). \quad (17)$$

Як видно, в залежності (16) преобладає множник, заключений в квадратні скобки, який з збільшенням n_2 призводить до зменшення основного часу обробки τ_{min} . Поскольку $\tau_{min} \approx \tau_2$, то згідно залежності (6), зменшити τ_2 з збільшенням $n_2 \rightarrow \infty$ можна збільшенням $S_m \rightarrow \infty$, а відповідно з збільшенням $V_{dem} \rightarrow \infty$. Очевидно, в реальних умовах шліфування збільшення параметрів режиму різання $S_m \rightarrow \infty$ і $V_{dem} \rightarrow \infty$ обмежено технічними можливостями круглошлифувального станка. Поэтому параметр n_2 буде приймати не нескінченні, а конечні значення. Це вказує на недопользовання технологічними можливостями процесу круглого наружного шліфування, т.к. основне время обробки τ_{min} буде приймати значення, відповідно

превышающие значения, рассчитанные по зависимости (17). В этом случае величина τ_{min} может быть рассчитана по зависимости (16) для вполне конкретного значения n_2 . Причем, значения τ_{min} и τ_2 , рассчитанные по зависимостям (6) и (16), должны совпадать. Это будет свидетельствовать о правильности выполненных расчетов.

Согласно зависимости (5), скорость продольной подачи на этапе выхаживания определяется:

$$S_m = V_{dem} \cdot \frac{S}{\pi \cdot D_{dem}}. \quad (18)$$

Следовательно, увеличить S_m можно установлением максимально возможных значений скорости вращения детали V_{dem} и подачи S .

Фактическая глубина шлифования в начальный момент обработки на этапе выхаживания равна величине припуска Π . С течением времени обработки она уменьшается, что способствует снижению тепловой напряженности процесса и обеспечению высококачественной обработки. Очевидно, чем меньше величина Π , тем ниже тепловая напряженность процесса. Поэтому Π необходимо уменьшать или периодически создавать в технологической системе натяги, кратные величине припуска. Этим можно регулировать тепловую напряженность процесса.

Из зависимости (17) следует, что уменьшить основное время обработки τ_{min} можно уменьшением D_{dem} , l , Π , σ и увеличением c , K_u , V_{kp} , y_0 . Учитывая то, что переменными параметрами являются σ и K_u , уменьшить основное время обработки τ_{min} можно главным образом за счет повышения режущей способности шлифовального круга.

Таким образом, теоретически обоснована эффективность осуществления автоматизированного цикла круглого наружного шлифования в один этап, включающий лишь этап выхаживания с созданием в технологической системе начального натяга, равного или кратного величине снимаемого припуска, и применением высокочастотных осциллирующих продольных движений стола станка (или шлифовального круга). При этом скорость вращения детали должна быть установлена максимально возможной, исходя из технических характеристик круглошлифовального станка. Данный режим обработки обеспечит получение требуемых показателей точности и качества поверхности при наименьшем основном времени обработки цикла круглого наружного продольного шлифования.

Выводы. Получено новое теоретическое решение об определении наименьшего основного времени обработки при шлифовании, которое обеспечивает заданную точность обработки, определяемую величиной упругого перемещения, возникающего в технологической системе.

Установлено, что оптимальный (с точки зрения наименьшего основного времени обработки) автоматизированный цикл круглого наружного шлифования осуществляется в один этап, включающий лишь этап выхаживания с созданием в технологической системе начального натяга, равного или кратного величине снимаемого припуска. При этом необходимо применение высокочастотных осциллирующих продольных движений стола станка (или шлифовального круга) и установление максимально возможной скорости вращения детали, исходя из технических характеристик круглошлифовального станка. Полученное теоретическое решение позволило уточнить известное решение, согласно которому применяемый на практике автоматизированный цикл круглого наружного шлифования выполняется в несколько этапов, включая черновое (чистовое) шлифование и выхаживание. Как установлено теоретически, этот цикл менее производительный по сравнению с рекомендуемым в работе циклом.

Список использованных источников: 1. Лурье Г.Б. Шлифование металлов / Г.Б. Лурье. – М.: Машиностроение, 1969. – 197 с. 2. Ковалчук А.Н. Оптимизация структуры и параметров операций шлифования ответственных валов приводов шахтных конвейеров: автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук: спец. 05.02.08 “Технология машиностроения” / А.Н. Ковалчук. – Одесса, 2008. – 21 с. 3. Рябенков И.О. Підвищення ефективності фінішної обробки деталей гідроапаратури на основі вибору раціональної структури і параметрів операцій: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.08 “Технологія машинобудування” / І.О. Рябенков. – Одеса, 2009. – 21 с. 4. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 10. ”Концепции развития технологии машиностроения” – Одесса: ОНПУ, 2005. – 565 с. 5. Новиков Ф.В. Теоретичні основи механічної обробки високоточних деталей : монографія / Ф.В. Новиков, І.О. Рябенков. – Х. : Вид. ХНЕУ, 2013. – 352 с.

Bibliography (transliterated): 1. Lure G.B. Shlifovanie metallov / G.B. Lure. – M.: Mashinostroenie, 1969. – 197 s. 2. Kovalchuk A.N. Optimizatsiya struktury i parametrov operatsiy shlifovaniya otvetstvennykh valov privodov shakhtnykh konveyerov: avtoref. dis. na soiskanie nauchn. stepeni kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.08 “Tekhnologiya mashinostroeniya” / A.N. Kovalchuk. – Odessa, 2008. – 21 s. 3. Ryabenkov I.O. Pidvyshennia efektyvnosti finishnoi obraboky detalei gidroaparatury na osnovi vybora ratsionalnoi struktury i parametrov operatsiy: avtoref. dis. na zdobutтя nauk. stupenia kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.08 “Tekhnologiya mashynobuduvannia” / I.O. Ryabenkov. – Odesa, 2009. – 21 s. 4. Fiziko-matematicheskaya teoriya protsessov obrabotki materialov i tekhnologii mashinostroeniya / Pod obsh. red. F.V. Novikova i A.V. Yakimova. V 10 tomakh. – T. 10. ”Konseptsiia razvitiya tekhnologii mashinostroeniya” – Odessa: ONPU, 2005. – 565 s. 5. Novikov F.V. Teoretychni osnovy mehanichnoi obraboky vysokotochnykh detaley: monografiya / F.V. Novikov, I.O. Ryabenkov. – Kh. : Vyd. KhNEU, 2013. – 352 s.

Поступила в редакцию 23.10.2014

УДК 005.8: 658

Г.А. Оборский, д-р техн. наук, В.М. Тонконогий, д-р техн. наук,
В.Д. Гогунский, д-р техн. наук, Одесса, Украина

НАУКОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПУБЛИКАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ УНИВЕРСИТЕТА

Інтеграція в Європейське і світове спітвоварство є невід'ємною складовою інноваційного розвитку університетів України. Подання в інформаційному просторі результатів наукових досліджень на рівні вченого, колективу і організації, регіону та країни сприяє комунікації спітвоварства вчених у всьому світі. Кількісний та порівняльний аналіз публікаційної активності, що відбиває активність і продуктивність наукової діяльності, доцільно оцінювати за допомогою наукометрических показників. Стаття присвячена таким оцінкам для видань і підрозділів ОНПУ.

Интеграция в Европейское и мировое сообщество является неотъемлемой составляющей инновационного развития университетов Украины. Представление в информационном пространстве результатов научных исследований на уровне ученого, коллектива и организации, региона и страны способствует коммуникации сообщества ученых во всем мире. Количество-и сравнительный анализ публикационной активности, отражающей активность и продуктивность научной деятельности, целесообразно оценивать с помощью научометрических показателей. Статья посвящена таким оценкам для изданий и подразделений ОНПУ.

Integration into the European and world community is an integral part of innovative development of Ukrainian universities. Presentation of the research results in information space at the level of scientist, team and organization, region and country promotes the communication of community of scientists on a worldwide scale. It is advisable to evaluate quantitative and comparative analysis of the publication activity, reflecting the activity and productivity of scientific activities, using scientometric indicators. The paper is devoted to such evaluations for the editions and departments of ONPU.

Введение. Теоретические, функциональные и структурные изменения в различных областях знаний, транслируясь через научные публикации во всемирном интернет-пространстве, отражают тенденции развития научных направлений, новые полученные данные и достижения конкретных исследователей [1 - 3]. Наличие доступного множества публикаций в мировой паутине создает условия для развития научометрических исследований по обоснованию и применению измерений в такой слабо структурированной области, как научные исследования [4 – 6]. Мировой опыт коммуникации сообщества ученых через научные публикации в информационном пространстве всемирной паутины свидетельствует о целесообразности применения некоторых показателей научной деятельности, которая выражается в публикационной активности [7 – 9].

Цель статьи. Исследовать практические аспекты работы с некоммерческими программными продуктами “Publish or Perish” и “Google Академия” с расширением их области применения для отображения результатов публикационной активности преподавателей кафедр.

Актуальность исследования. Для активизации публикационной активности ВУЗов Министерство образования и науки Украины принимает ряд мер, направленных на интеграцию в Европейское и мировое сообщество университетов за счет представления результатов исследований ученых ВУЗов в виде статей в зарубежных журналах или в изданиях Украины, включенных в зарубежные научометрические базы данных [2 – 4].

Первый шаг. По приказу МОН Украины (от 17 октября 2012 № 1111) изменены требования к изданиям при включении в перечень специализированных изданий для создания условий соответствия этих изданий международным требованиям [1].

Второй шаг. Конкурс по финансированию проектов научных исследований и разработок с 2013 года проводится с учетом числа публикаций, индексованных в Scopus и других международных научометрических базах (Приказ МОН Украины от 30.08.2012 г. № 956).

Третий шаг. Усилены требования «к планированию диссертационных исследований, формулировкам их тематики, в частности относительно формулировки темы, новизны, предмета и объекта исследования» (Письмо МОН Украины от 14.02.2013 № 1 / 9-116).

Четвертый шаг. Существенной составляющей диссертационных исследований являются публикации в профессиональных журналах, а также в электронных изданиях [2]. Новые требования к публикациям устанавливают: для докторской диссертации в целом не менее 20 профессиональных публикаций, из них «не менее четырех публикаций в научных периодических изданиях других государств по научному направлению диссертации»; для кандидатской диссертации – соответственно - не менее 5 профессиональных публикаций и одной статьи в изданиях других государств. К публикациям в изданиях других государств могут приравниваться публикации в профессиональных изданиях Украины, включенных в международные научометрические базы». (Приказ МОН Украины от 03.12.2013 № 1380) [3, 4].

Пятый шаг. В качестве одного из критериев оценки деятельности ВУЗов включен показатель «численность научно-педагогических работников, имеющих публикации в изданиях иностранных государств или в изданиях Украины, включенных в международные научометрические базы в отчетном учебном году» (Приказ МОН Украины от 20.06.1013 № 809) [5].

Шестой шаг. Создана рабочая группа МОН по разработке и подготовке предложений для включения показателей цитирования в изданиях, входящих

в международные научометрические базы, в государственные требования по аккредитации специальностей и ВУЗов (Приказ МОН от 22.10.2013 № 1461).

Указанные требования к научным публикациям результатов диссертационных исследований, непосредственное оценивание ВУЗов по числу публикаций, входящих в международные научометрические базы, а также формирование новых государственных требований по аккредитации трансформируют публикационную активность ученых ВУЗов из личной заинтересованности профессорско-преподавательского состава в один из важнейших показателей деятельности вузов. Это означает, что планирование набора абитуриентов, выборы преподавателей, финансирование научных исследований будут базироваться на данных о публикациях и показателях цитирования. Поэтому очевидно, что для управления этим проектом необходимо создать информационно-аналитическую систему мониторинга публикационной активности ученых вузов Украины [9 – 11]. Именно эта деятельность должна стать седьмым шагом активизации выхода на международный уровень: «Каждый ученый должен знать число своих публикаций и их оценку коллегами в виде цитирования. Обобщенным показателем уровня цитирования научных публикаций является индекс Хирша» [12].

Актуальность исследования публикационной активности ВУЗов связана еще и с тем, что существуют системы проведения рейтинга лучших университетов мира по версии ARWU (Академический рейтинг университетов мира) составляемой Институтом высшего образования Шанхайского университета Цзяо Тун [7] и версии QS World University Rankings [8]. Обе системы составления рейтинга университетов обязательно учитывают качество и число публикаций. В Шанхайском рейтинге удельный вес публикационной активности университетов составляет 60%; в рейтинге QS – 20 %. К сожалению, украинские университеты в этих рейтингах значительно отстают от ведущих университетов США, Канады, Англии и Германии.

Доступ к множеству публикаций мирового сообщества ученых формирует новое отношение к такой слабо структурированной области как базы данных научных публикаций [1 – 5]. Особое внимание следует уделить качеству публикаций – не только с точки зрения новизны и практической значимости исследований, но и в плане оформления и представления текста статей на приемлемом английском языке.

Параметры оценки публикационной активности.

В последнее время чаще всего применяются: импакт-фактор, индекс цитирования и *h*-индекс [12].

Индекс Хирша или *h*-индекс является количественной характеристикой продуктивности одного автора, группы ученых, университета или страны в целом, что определяется на основе количества публикаций и числа цитирований этих публикаций [12]. Для определения индекса Хирша публикации ранжируют по уменьшению числа ссылок. Затем, определяют ту статью, ранг которой совпадает с числом ее цитирований. Это число и является *h*-индексом, который, в общем-то, не имеет физического толкования. Этот показатель разделяет статьи на две части. Статьи в первой части имеют число цитирований, превышающей ранг статьи. Вторая часть включает остальные статьи.

Индекс Хирша может исчисляться с использованием как открытых научометрических баз в Интернете (например, Google Scholar, Science Index (eLIBRARY.ru), ADS NASA), так и баз данных с платной подпиской (например, Scopus или Web of Science) [9].

Индекс цитирования имеет двойное толкование [3]. В Украине и России это понятие определяет число цитирований публикаций. Современное толкование индекса цитирования связано с англоязычной калькой этого понятия. Под индексом цитирования понимается реферативная база данных научных публикаций, в которой выполняется индексация ссылок, указанных в пристатейных списках публикаций и предоставляемая количественные показатели этих ссылок (общее число цитирований, индекс Хирша и др.).

Импакт-фактор (ИФ или IF) – численный показатель научного уровня журналов [4]. С 1960-х годов он ежегодно рассчитывается Институтом научной информации (Institute for Scientific Information, ISI) и публикуется в журнале «Journal Citation Report». Расчет импакт-фактора основан на трехлетнем периоде. Например, импакт-фактор журнала в 2013 году I_{2013} вычисляется по формуле:

$$I_{2013} = A / B,$$

где А – число цитирований в 2013 году статей, опубликованных в данном журнале в 2011-2012 годах;

В – число статей, опубликованных в данном журнале в 2011-2012 годах.

На основе ИФ (в основном в других странах, но в последнее время и в Украине) оценивают уровень журналов, качество статей, опубликованных в них, дают финансовую поддержку исследователям и принимают сотрудников на работу. Импакт-фактор имеет хотя и большое, но неоднозначно оцениваемое влияние на оценку результатов научных исследований.

Наукометрические базы.

Международная практика научометрических исследований сегодня наиболее часто базируется на использовании двух баз данных: Web of Science

и Scopus. Широко известны также научометрические базы данных: Springer, Begell House Inc., Pleiades Publishing, Kluwer и др. Все они являются коммерческими базами.

Среди некоммерческих научометрических баз по техническим наукам можно назвать следующие: Science Direct, Copernicus, Science Index, DOAJ, BASE, Driver, MLibrary, WorldCat, FreeFullPDF, arXiv, Google Serch и др. [2].

Широко применяется известная программа Publish or Perish, которая является поисковой системой и позволяет выполнять поиск публикаций по фамилии автора [13]. Результатом работы системы является полный комплект научометрических показателей по публикациям автора – от индекса Хирша до числа соавторов в найденных статьях.

Достоинства и недостатки.

В табл. 1, на примере издания «Труды Одесского политехнического университета», приведены эти данные с учетом того, что авторы в своих пристатейных списках литературы не всегда придерживаются общепринятых правил написания названия издания. Множество публикаций в этом издании является слабо структурированным множеством данных. Только один атрибут – название издания – имеет 16 различных значений. Если добавить к этой неопределенности еще и разные варианты написания (перевода) фамилий, поскольку указанное издание содержит статьи на трех языках (русском, украинском и английском), то неопределенность и вариабельность атрибутов статей может увеличиться на порядок.

Результаты, приведенные в табл. 1, показывают, что следует обращаться к другим поисковым системам, в которых можно осуществлять поиск по многим атрибутам. При этом следует отметить, что поиск по фамилии автора является наиболее достоверным.

Покажем результаты оценки публикационной активности на примере кафедр Института промышленных технологий, дизайна и менеджмента (ИПТДМ) в базе публикаций Google Академия [6]. Поскольку этот программный продукт широко применяется отдельными учеными, рассмотрим способ расширения возможностей Google Академия для отображения результатов публикационной активности преподавателей кафедр.

Были зарегистрированы 6 аккаунтов на веб-сайте Google, в соответствии с числом кафедр ИПТДМ (табл. 2). В результате поиска данных для каждого из сотрудников кафедр ИПТДМ получили результаты публикационной активности всех кафедр института. На рисунке показана схема определения Индекса Хирша для кафедр ИПТДМ.

Таблица 1 - Показатели цитирования для издания «Труды ОНПУ» в поисковой системы Publish or Perish (данные 4.09.2014)

№	Варианты названия издания в статьях	Статей	Цитат	H-індекс
1	Труды Одесского политехн. ун-та	165	513	8
2	Труды Одесского политехнического ун-та	304	373	7
3	Праці Одеського політехнічного університету	390	91	4
4	Труды Одесского политехн. ун-та	16	71	4
5	Труды ОНПУ	12	22	3
6	Праці Одеського політехн. ун-ту	2	3	1
7	Праці Одеського політехн. ун-ту	1	0	0
8	Праці ОНПУ	1	2	1
9	Праці ОПУ	1	1	1
10	Праці Одес. держ. політехн. ун-ту	1	2	1
11	Труды ОГПУ	42	21	3
12	Труды ОГПУ	1	4	1
13	Труды ОПУ	6	10	2
14	Труды ОПУ	2	5	2
15	Odes'kyi politechnichnyi universytet. Pratsi	2	5	2
16	Сборник ОНПУ	1	4	1

Таблица 2 – Перечень аккаунтов кафедр ИПТДМ

№	Кафедра	Акаунт
1	Информационные технологии проектирования в машиностроении (ИТПМ)	<i>kafedra.itpm@gmail.com</i>
2	Металлорежущие станки, метрология и сертификация (МСМС)	<i>kafedra.mcmc@gmail.com</i>
3	Технологии и управления литейными процессами (ТУЛП)	<i>kafedra.tulp@gmail.com</i>
4	Технологии машиностроения (ТМ)	<i>kafedra.tex.mash@gmail.com</i>
5	Управление системами безопасности жизнедеятельности (УСБЖД)	<i>kafedra.ysbjd@gmail.com</i>
6	Технологии конструкционных материалов и материаловедения (ТКММ)	<i>kafedra.tkmm@gmail.com</i>

К достоинствам данного метода определения результативности научных публикаций следует отнести, прежде всего, отсутствие корреляции между числом публикаций и уровнем оценки коллег по научному направлению новизны и значимости публикации. Более того, увеличение автором

количества статей с близкой тематикой ведет к уменьшению индекса Хирша из-за распределения цитирований между всеми статьями, которые содержат близкие по содержанию данные. Хотя при этом общее число цитирований может даже увеличиться.

Второе преимущество оценки научной результативности подразделений с помощью Google Академия состоит в том, что автоматически исключается проблема двойного учета публикаций, что имеет место при простом суммировании данных о публикациях отдельных сотрудников кафедр. Это объясняется тем, что основной информационной единицей в базе данных является статья, а не автор. Поэтому при большом числе соавторов кафедре идет в засчет именно статья. Простое суммирование данных по публикациям кафедр в табл. 3 не совпадает итоговым результатом для ИПТДМ - из-за наличия совместных статей сотрудников разных кафедр.

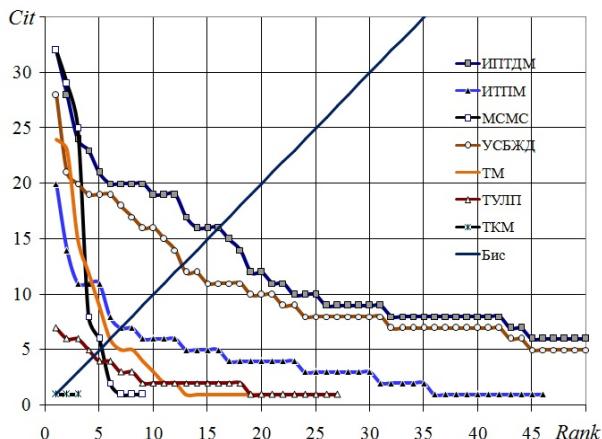


Рисунок – Определение индекса Хирша для кафедр ИПТДМ

Несомненным достоинством Google Академия является возможность выполнения расширенных запросов с записью результатов поиска в один общий список публикаций. При этом полученные данные можно корректировать и уточнять в ручном режиме с помощью интуитивно понятного пользовательского интерфейса.

Открытость и прозрачность данных позволяют приглашать своих коллег в свою библиотеку. Это особенно полезно при работе с аспирантами, магистрами, а также при общении с коллегами из других стран. Более полная картина публикационной активности коллективов кафедр, по сравнению с данными рис. 1, представлена в табл. 3 (данные 1.09.2014). Заметим при этом,

что в данном сравнении результативности и весомости научных публикаций мы не приводим данные об общем числе публикаций – нет смысла анализировать балласт (научный шум). Следует оценивать научный результат, который выражается в признании научной ценности наших публикаций коллегами в форме цитирования. Для формирования общего представления об уровне публикационной активности кафедр в табл. 3 показаны также данные по институту (ИПТДМ) и университету (ОНПУ).

При оценке данных табл. 3 обращает на себя внимание изменение интенсивности цитирований за последние 5 лет. Наверное, не следует вводить себя в заблуждение, связывая это с улучшением нашей работы. За период с 2009 года существенно изменились условия представления материалов публикаций в среде Интернет: большинство научных изданий разработали свои Веб-порталы, активно расширяются различные репозитарии, многие научные издания Украины начали работу по входению в наукометрические базы данных, которые ориентированы на платное либо бесплатное предоставление информационных услуг. Это приводит к тому, что наше присутствие в Интернет-пространстве становится более заметным.

Таблица 3 – Итоговые результаты цитирования статей (Google Академия)

№	Кафедра	Данные цитирования		Индекс Хирша	
		все статьи	с 2009 г.	все статьи	с 2009 г.
1	ИТПМ	201	185	7	7
2	МСМС	70	60	4	4
3	ТУЛП	62	44	4	4
4	ТМ	124	71	6	5
5	УСБЖД	565	528	12	12
6	ТКММ	3	2	1	1
7	Институт ПТДМ	767	628	16	13
8	ОНПУ	3326	2157	20	15

Доступ к множеству публикаций мирового сообщества ученых формирует новое отношение к такой слабо структурированной области, как наукометрические базы данных публикаций. Даже мировые лидеры в предоставлении наукометрических услуг, такие как Scopus, представляют данные в форме: «as is» (как есть). Такой подход не является продуктивным из-за отсутствия обратной связи между авторами и командой сопровождения наукометрических баз. Для повышения достоверности определения числа статей для университетов и организаций авторам публикаций следует предоставить возможность интерактивного уточнения метаданных своих статей.

- Список использованных источников:** 1. Костирко, Т. Н. Університети України: приєднання до руху відкритого доступу // Вісник ОНУ. – Том 16. – Випуск 1/2 (5/6). – 2011. – С. 283 – 289. 2. Оборський, Г.О. Нові тенденції і завдання щодо підготовки науковців вищої кваліфікації / Г.О. Оборський, В.Д. Гогунський // Інформ. технології в освіті, науці та виробництві : зб. наук. праць. – Вип. 2. – Одеса: АО Бахва, 2013 - С. 15 – 22. 3. Бурков, В. Н. Параметри цитируемости научных публикаций в научометрических базах данных / В. Н. Бурков, А. А. Белоццкий, В. Д. Гогунский // Управління розвитком складних систем. – 2013. – № 15. – С. 134 – 139. 4. Бушев, С.Д. Наукометричні бази: характеристика, можливості і завдання / С.Д. Бушев, А.О. Білоцький, В.Д. Гогунський // Управління розвитком складних систем. – 2014. – № 18. – С. 145 – 152. 5. Буй, Д.Б. Scopus та інші наукометричні бази: прості питання та нечіткі відповіді / Д.Б. Буй, А.О. Білоцький, В.Д. Гогунський // Вища школа. – 2014. - № 4. – С. 37 – 40. 6. Моніторинг публікаційної активності науковців та кафедр вищих навчальних закладів / В.М. Тонконогий, К.В. Колесникова, К.О. Логінова, А.О. Негрі // Інформ. технології в освіті, науці та виробництві. – 2013. - С. 196 -209. 7. Шанхайский рейтинг лучших вузов мира: ARWU [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.education-medelle.com/articles/schankhauskij-reiting-luchschikh-vuzov-mira-arwu.html>. 8. Рейтинг лучших университетов мира по версии QS [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://gtmarket.ru/ratings/qs-world-university-rankings/info>. 9. Колядя, А. С. Автоматизация извлечения информации из научометрических баз данных / А. С. Колядя, В. Д. Гогунский // Управління розвитком складних систем. – 2013. – № 16. – С. 96 – 99. 10. Лизунов, П.П. Проектно-векторное управление высшими учебными заведениями / П.П. Лизунов, А.О. Белоцький, С.В. Белоцька // Управління розвитком складних систем. – 2011. - № 6. – С. 135 – 139. 11. Негрі, А.А. Концепція проекта агрегуючої аналітическої інформаціонної системи для роботи з наукометрическими базами даних / А. А. Негрі, Е. В. Колесникова, Ю.С. Барчанова // Інформ. технології в освіті, науці та виробництві: зб. наук. праць. – 2013. - № 4(5). - С. 52 – 56. 12. Hirsch, J. E. An index to quantify an individual's scientific research output // arXiv: physics/0508025. - v5. - 29 Sep. 2005. – 5 р. 13. Harzing, Anne-Wil. The Publish or Perish Book. - Tarma Software Research Pty Ltd, Мельбурн, Австралія. - 2010. - 266 с.

Bibliography (transliterated): 1. Kostirkо, Т. N. Universiteti Ukrayni: priednannja do ruhu vidkritogo dostupu // Visnik ONU. – Tom 16. – Vipusk 1/2 (5/6). – 2011. – S. 283 – 289. 2. Obors'kij, G.O. Novi tendencii i zavdannja shhodo pidgotovki naukovciv vishhoi kvalifikaci / G.O. Obors'kij, V.D. Goguns'kij // Inform. technologii v osviti, nauci ta virobniictvi : zb. nauk. prac'. – Vip. 2. – Odesa : AO Bahva, 2013 S. 15 – 22. 3. Burkov, V.N. Parametry citiruemosti nauchnyh publikacij v naukometricheskikh bazah dannyh / V. N. Burkov, A. A. Beloshshickij, V. D. Gogunkskij // Upravlinnja rozyvitkom skladnih sistem. – 2013. – № 15. – S. 134 – 139. 4. Bushuev, S.D. Naukometrichni bazi: harakteristika, mozhlivosti i zavdannja / S.D. Bushuev, A.O. Biloshhic'kij, V.D. Goguns'kij // Upravlinnja rozyvitkom skladnih sistem. – 2014. № 18. – S. 145 – 152. 5. Buj, D.B. Scopus ta inshi naukometrichni bazi: prosti pitannja ta nechitki vidpovidzi / D.B. Buj, A.O. Biloshhic'kij, V.D. Goguns'kij // Vishcha shkola. – 2014. № 4. – S. 37 – 40. 6. Monitoring publikacijnoi aktivnosti naukovciv ta kafedr vishnih navchal'nih zakladiv / V.M. Tonkonogij, K.V. Kolesnikova, K.O. Loginova, A.O. Negri // Inform. technologii v osviti, nauci ta virobniictvi. – 2013. S. 196 – 209. 7. Shanhajskij rejting luchshih vuzov mira: ARWU [Jelektronnyj resurs] — Rezhim dostupa: <http://www.education-medelle.com/articles/schankhauskij-reiting-luchschikh-vuzov-mira-arwu.html>. 8. Rejting luchshih universitetov mira po versii QS [Jelektronnyj resurs] — Rezhim dostupa: <http://gtmarket.ru/ratings/qs-world-university-rankings/info>. 9. Koljadja, A. S. Avtomatizacija izvlechenija informacii iz naukometricheskikh baz danih / A. S. Koljadja, V. D. Gogunkskij // Upravlinnja rozyvitkom skladnih sistem. – 2013. № 16. – S. 96 – 99. 10. Lizunov, P.P. Proektno-vektornoe upravlenie vysshimi uchebnymi zavedenijami / P.P. Lizunov, A.O. Belo-shhickij, S.V. Beloshshickaja // Upravlinnja rozyvitkom skladnih sistem. – 2011. № 6. – S. 135 – 139. 11. Negri, A.A. Koncepcaja projekta agregirujushhej analiticheskoy informacionnoj sistemy dlja raboty s naukometricheskimi bazami dannijah / A.A. Negri, E.V. Kolesnikova, Ju.S. Barchanova // Inform. technologii v osviti, nauci ta virobniictvi: zb. nauk. prac'. – 2013. № 4(5). S. 52 – 56. 12. Hirsch, J. E. An index to quantify an individual's scientific research output // arXiv: physics/0508025. v5. 29 Sep. 2005. – 5 r. 13. Harzing, Anne-Wil. The Publish or Perish Book. Tarma Software Research Pty Ltd, Mel'burn, Avstralija. 2010. 266 s.

Поступила в редколлегию 10.06.2014

Роп'як Л. Я., канд. техн. наук, Левчук К. Г., канд. техн. наук,
Цідило К. І., Івано-Франківськ, Україна

ВПЛИВ ЕЙЛЕРОВИХ СІЛ НА ТОЧНІСТЬ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ОТВОРІВ ПРИ СВЕРДЛІННІ

Вивчається вплив прецесійного руху та гіроскопічних явищ, що виникають при свердлінні на розбивку отвору. Отримані результати дослідження дозволяють оцінити похиби зміни відхилення у просторі осі просвердленого отвору від заданого положення, різницю діаметрів отвору і сверла відносно базового.

Ключові слова: сверло, гіроскопічний ефект, точність обробки отворів, шпиндельний вузол.

Изучается влияние прецессионного движения и гирокопических явлений, возникающих в процессе сверления на разбивку отверстия. Полученные результаты исследования позволяют оценить погрешности изменения ухода в пространстве оси просверленного отверстия от заданного положения, разницу диаметров отверстия и сверла относительно базового.

Ключевые слова: сверло, гирокопический эффект, точность обработки отверстий, шпиндельный узел.

This paper studies effect of gyroscopic precession movement and the phenomena that occur when drilling holes in the breakdown. The resulting study to assess the error changes in space axis deviation drilled holes from the set position, the difference diameter drill hole and relative to the baseline.

Keywords: drill, gyroscopic effect, precision hole making, spindle hub.

Вступ. У сучасному машинобудуванні підвищення точності, якості та продуктивності механічної обробки деталей машин і механізмів є головною запорукою створення конкурентноспроможної продукції. На даний час деталі з отворами займають вагоме місце в складі машинобудівної продукції різного призначення, а трудомісткість виготовлення отворів у таких деталях може досягати за різними даними близько 20 % від загальної трудомісткості всієї механічної обробки. Технологічні процеси оброблення отворів можна розділити на два класи: заготовка із сущільного матеріалу; заготовка має отвори з припуском для подальшої механічної обробки. У залежності від функціонального призначення отворів у деталях ставляться вимоги до їх точності, шорсткості та взаємного розташування. В зв'язку з цим актуальним завданням є забезпечення високої точності лезової обробки отворів у деталях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Механічній обробці отворів приділяється велика увага багатьох дослідників. Підвищенню точності отворів при свердлінні присвячена робота [1], в якій запропоновано конструкторсько-технологічні умови забезпечення якості оброблення за рахунок використання раціональних схем та розташування ріжучих елементів

© Л.Я. Роп'як, К.Г. Левчук, К.І. Цідило, 2014

і поділу припуску на обробку. Дослідження, проведене у [2] розглядає шляхи зменшення вібрацій при обробці отворів.

Проблема точності обробки деталей певною мірою пов'язана із впливом ейлеревих сил інерції: відцентрових та корілісових. Особливо це актуально при обробці отворів в заготовках із алюмінієвих сплавів. Дія таких сил посилюється зі збільшенням кутової швидкості свердління. Це може привести до похибок в процесі свердління [3], точіння, свердління, розточування або шліфування [4].

У роботах [3, 4] зроблена спроба дослідити вплив гіроскопічних ефектів, пов'язаних з прецесійним рухом осі шпиндельного вузла верстата і свердла, на розміщення осі отвору відносно заданої бази з використанням наближеної моделі. Однак, вибрана в цих роботах лінійна модель для дослідження виникнення похибок при свердлінні отворів не в повній мірі відображає реальні умови роботи інструменту, не може описати нутаційні рухи.

Метою дослідження є теоретичне обґрунтuvання умов суттєвого зменшення похибки при свердлінні отворів з урахуванням оцінки впливу гіроскопічного ефекту шляхом побудови нелінійної моделі.

Постановка задачі. Якщо до осі обертання системи шпиндельний вузол верстата – свердло прикладена постійно діюча сила, то згідно гіроскопічній теорії (теорема Резала) ця вісь зміщається у напрямку, перпендикулярному напряму дії прикладеної сили – явище прецесії [5]. З теорії гіроскопів відомо, що зі збільшенням кутової швидкості свердління зменшується кутова швидкість прецесії, а отже кут відхилення осі обертання від заданого положення.

У випадку зовнішніх збурень на вісь обертання свердла, окрім прецесійного руху, виникає додатковий нутаційний рух. У цьому випадку спостерігаються пульсаційні тремтіння осі обертання.

Однією з основних похибок при свердлінні є відхилення розміщення осі свердла відносно заданої проектної бази. Розглянемо вплив гіроскопічного ефекту на зміну напряму цієї осі. Введемо дві системи координат: нерухому $Ox_0y_0z_0$, вісь Ox_0 котрої спрямуємо вздовж осі свердла в положенні статичної рівноваги, і рухому Ox_uz , осі котрої збігаються з поточним положенням рухомої частини (рис. 1).

Рухома система координат обертається навколо вертикальної осі шпинделя верстата Ox зі сталою кутовою швидкістю ω . Центральні осьові моменти інерції відносно осей, паралельних рухомій системі координат, позначимо $J_{Cx} = J_O$, а $J_{Cy} = J_{Cz} = J_e$. Відцентрові моменти інерції внаслідок симетричності системи дорівнюють нулеві. Відстань між центром ваги системи і ріжучою кромкою свердла позначимо $CK = l_1$, відстань між нижнім

торцем шпинделя і центром ваги системи $AC = l_2$, а відстань між нерухомою точкою і нижньою гранню шпинделя $OA = l_3$ (рис. 1).

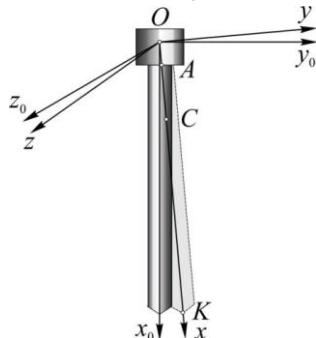


Рисунок 1. Системи координат

Динамічні рівняння руху системи шпиндельний вузол верстата – свердло.

Складемо матрицю перетворення координат і кутової швидкості системи шпиндельний вузол – свердло. Позначимо через γ кут повороту осі свердла в площині Ox_0y_0 (навколо осі Oz_0), через β – кут повороту в площині Ox_1z_1 (навколо осі Oy_1) та через ωt – кут повороту в площині Oy_2z_2 (навколо осі Ox_2). Положення осі OK розглядуваної системи після трьох поворотів зображенено на рис. 2.

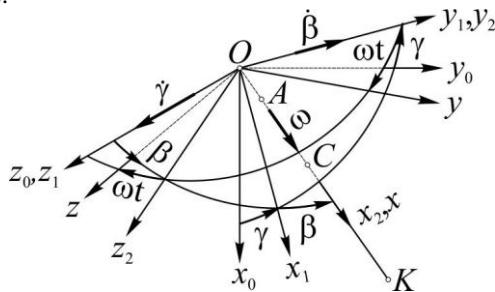


Рисунок 2. Кути повороту осі свердла

Координати довільної точки шпиндельного вузла на осі $Oxyz$ і $Ox_0y_0z_0$ зв'язані між собою спiввiдношеннями

$$x = (x_0 \cos \gamma + y_0 \sin \gamma) \cos \beta - z_0 \sin \beta;$$

$$y = (-x_0 \sin \gamma + y_0 \cos \gamma) \cos \omega t + (x_0 \cos \gamma + y_0 \sin \gamma) \sin \beta \sin \omega t + z_0 \cos \beta \sin \omega t;$$

$$z = (x_0 \sin \gamma - y_0 \cos \gamma) \sin \omega t + (x_0 \cos \gamma + y_0 \sin \gamma) \sin \beta \cos \omega t + z_0 \cos \beta \cos \omega t,$$

а кутові швидкості залежностями

$$\begin{aligned}\omega_x &= \omega - \dot{\gamma} \sin \beta; \\ \omega_y &= \dot{\beta} \cos \omega t + \dot{\gamma} \cos \beta \sin \omega t; \\ \omega_z &= -\dot{\beta} \sin \omega t + \dot{\gamma} \cos \beta \cos \omega t.\end{aligned}\quad (2)$$

Відповідно до співвідношень (1) координати точки A , що визначає нижнє положення шпинделя, центра ваги C і ріжучої кромки свердла K у рухомій системі координат набувають вигляду

$$\begin{aligned}x_A &= l_3 \cos \gamma \cos \beta; \quad y_A = l_3 (-\sin \gamma \cos \omega t + \cos \gamma \sin \beta \sin \omega t); \\ z_A &= l_3 (\sin \gamma \sin \omega t + \cos \gamma \sin \beta \cos \omega t); \\ x_C &= (l_2 + l_3) \cos \gamma \cos \beta; \quad y_C = (l_2 + l_3) (-\sin \gamma \cos \omega t + \cos \gamma \sin \beta \sin \omega t); \\ z_C &= (l_2 + l_3) (\sin \gamma \sin \omega t + \cos \gamma \sin \beta \cos \omega t); \\ x_K &= (l_1 + l_2 + l_3) \cos \gamma \cos \beta; \\ y_K &= (l_1 + l_2 + l_3) (-\sin \gamma \cos \omega t + \cos \gamma \sin \beta \sin \omega t); \\ z_K &= (l_1 + l_2 + l_3) (\sin \gamma \sin \omega t + \cos \gamma \sin \beta \cos \omega t).\end{aligned}\quad (3)$$

До системи шпиндельний вузол верстата – свердло прикладені (рис. 3): \vec{P} – осьова сила подачі свердла, прикладена вздовж його осі, \bar{M}_{kp} – крутний момент, $\vec{F}_{pr} = -c \cdot \Delta \vec{r}$ – пружна реакція, розміщена у площині Oyz) і прикладена до шпиндельного вузла в точці A , $m\vec{g}$ – вага системи, \vec{R}_2 (розміщена в площині Oyz , перпендикулярній осі свердла) і \vec{R}_1 – рівнодійні сили на ріжучих кромках свердла.

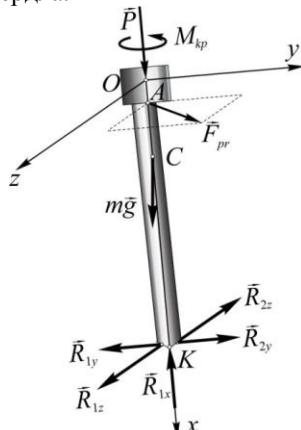


Рисунок 3. Навантаження, прикладені до системи шпиндель верстата – свердло

Для складання диференціальних рівнянь руху скористаємось рівнянням Лагранжа другого роду. Кінетична енергія й елементарна робота системи шпиндельний вузол – свердло на заданих можливих кутових переміщеннях з урахуванням виразів для кутових швидкостей (2) та координат точок (3), в яких прикладені сили, мають вигляд

$$T = \frac{1}{2} J_o (\omega - \dot{\gamma} \sin \beta)^2 + \frac{1}{2} [J_e + m(l_2 + l_3)^2] (\dot{\beta}^2 + \dot{\gamma}^2 \cos^2 \beta); \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \delta A = & -mg(l_2 + l_3)(\sin \beta \cos \gamma \delta \beta + \cos \beta \sin \gamma \delta \gamma) - cl_3^2 \left[\begin{array}{l} \sin \beta \cos \gamma \delta \beta + \\ + \cos \beta \sin \gamma \delta \gamma \end{array} \right] \times \\ & \times (1 - \cos \beta \cos \gamma) + \left(\cos \beta \cos \gamma \sin \omega t \delta \beta - \begin{pmatrix} \cos \gamma \cos \omega t + \\ + \sin \beta \sin \gamma \sin \omega t \end{pmatrix} \delta \gamma \right) \times \\ & \times \left(\begin{array}{l} -\sin \gamma \cos \omega t + \\ + \sin \beta \cos \gamma \sin \omega t \end{array} \right) + \left(\cos \beta \cos \gamma \cos \omega t \delta \beta + \begin{pmatrix} \cos \gamma \sin \omega t \\ - \sin \beta \sin \gamma \cos \omega t \end{pmatrix} \delta \gamma \right) \times \\ & \times \left(\begin{array}{l} \sin \gamma \sin \omega t + \\ + \sin \beta \cos \gamma \cos \omega t \end{array} \right) + (l_1 + l_2 + l_3) [R_{1x} (\sin \beta \cos \gamma \delta \beta + \cos \beta \sin \gamma \delta \gamma) + \\ & + (R_{2y} - R_{1y}) \left(\begin{array}{l} \cos \gamma \cos \omega t - \\ - \sin \beta \sin \gamma \sin \omega t \end{array} \right) \delta \gamma + \cos \beta \cos \gamma \sin \omega t \delta \beta] + (R_{2z} - R_{1z}) \times \\ & \times (\cos \beta \cos \gamma \cos \omega t \delta \beta + (\cos \gamma \sin \omega t - \sin \beta \sin \gamma \cos \omega t) \delta \gamma] - M_{kp} \sin \beta \delta \gamma. \end{aligned} \quad (5)$$

Якщо позначити реакції $R_{1x} = R_x$, $\Delta R_y = R_{2y} - R_{1y}$ і $\Delta R_z = R_{2z} - R_{1z}$, то після підстановки виразів (4) і (5) в рівняння Лагранжа другого роду отримуємо систему нелінійних рівнянь

$$\begin{aligned} J_o (\ddot{\gamma} \sin \beta + \dot{\beta} \dot{\gamma} \cos \beta) = & -[(\Delta R_y \sin \omega t + \Delta R_z \cos \omega t) \sin \gamma + \\ & + (\Delta R_y \cos \omega t - \Delta R_z \sin \omega t) \sin \beta \cos \gamma] (l_1 + l_2 + l_3); \\ [J_e + m(l_2 + l_3)^2] \ddot{\beta} - & \frac{1}{2} [J_o - J_e - m(l_2 + l_3)^2] \dot{\gamma}^2 \sin 2\beta + J_o \omega \dot{\gamma} \cos \beta = \\ & -[(mg(l_2 + l_3) + cl_3^2 + R_x(l_1 + l_2 + l_3)) \sin \beta + (\Delta R_y \sin \omega t + \Delta R_z \cos \omega t) \times \\ & \times (l_1 + l_2 + l_3) \cos \beta] \cos \gamma; \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} & \left[J_e \sin^2 \beta + \left(J_e + m(l_2 + l_3)^2 \right) \cos^2 \beta \right] \ddot{\gamma} + \left[J_o - J_e - m(l_2 + l_3)^2 \right] \dot{\beta} \dot{\gamma} \sin 2\beta - \\ & J_o \omega \dot{\beta} \cos \beta = \left[- \left(mg(l_2 + l_3) + cl_3^2 + R_x(l_1 + l_2 + l_3) \right) \cos \beta \right. - \\ & \left. (\Delta R_y \sin \omega t + \Delta R_z \cos \omega t)(l_1 + l_2 + l_3) \sin \beta \right] \sin \gamma + \\ & + (\Delta R_y \cos \omega t + \Delta R_z \sin \omega t)(l_1 + l_2 + l_3) \cos \gamma. \end{aligned}$$

Складність динамічного аналізу системи шпиндельний вузол верстата – свердло полягає в неможливості точного аналітичного дослідження, оскільки динаміка описується системами диференціальних (6), або диференціально-алгебраїчних рівнянь, є нелінійними, розв'язок яких аналітично одержати неможливо. З іншого боку, саме складання рівнянь, що описують прецесійні та нутаційні рухи осі свердла є досить непростою процедурою. Окрім того, постійний ріст вимог до точності обробки отворів при свердлінні вимагає розв'язання ускладнених динамічних моделей. З одного боку, щоб отримати якомога точніші рішення, необхідно підвищувати врахування степені мализни кутів повороту осі свердла. З іншого боку, уточнюються і ускладнюються математичні моделі системи, що досліджується. Нарешті, спостерігається тенденція до скорочення термінів, необхідних для параметричного дослідження.

Тому, в силу описаних вище причин, можливості аналітичних методів дослідження динаміки системи шпиндельний вузол верстата – свердло різко обмежені і у сучасних умовах для розв'язання таких задач слід застосовувати спеціалізоване програмне забезпечення. На даний час існує загальноприйнята тенденція, що вивчати динаміку механічних систем можна за допомогою комп'ютерного моделювання.

Зупинимось на дослідженні динамічних рівнянь, обмежившись малими коливанням системи (6) з точністю до величин першого порядку мализни

$$\begin{aligned} J_1 \ddot{\beta} + J_o \omega \dot{\gamma} + M_1 \beta &= (\Delta R_y \sin \omega t + \Delta R_z \cos \omega t) l; \\ J_1 \ddot{\gamma} - J_o \omega \dot{\beta} + M_1 \gamma &= (\Delta R_y \cos \omega t + \Delta R_z \sin \omega t) l, \end{aligned} \quad (7)$$

де $J_1 = J_e + m(l_2 + l_3)^2$, $M_1 = mg(l_2 + l_3) + cl_3^2 + R_x l$, $l = l_1 + l_2 + l_3$.

Розв'язок системи диференціальних рівнянь (7) має вигляд

$$\begin{aligned} \beta &= C_1 \sin \omega_l t + C_2 \cos \omega_l t + C_3 \sin \omega_2 t + C_4 \cos \omega_2 t + \frac{l}{(M_1 - J_1 \omega^2)^2 - J_o^2 \omega^4} \times \\ &\quad \times \left[(M_1 + (J_o - J_1) \omega^2) \Delta R_y \sin \omega t + (M_1 - (J_o + J_1) \omega^2) \Delta R_z \cos \omega t \right]; \\ \gamma &= \frac{M_1 - J_1 \omega_1^2}{J_o \omega \omega_1} (C_1 \cos \omega_l t - C_2 \sin \omega_l t) + \frac{M_1 - J_1 \omega_2^2}{J_o \omega \omega_2} \left(C_3 \cos \omega_2 t - C_4 \sin \omega_2 t \right) + \\ &\quad + \frac{l}{(M_1 - J_1 \omega^2)^2 - J_o^2 \omega^4} \left[(M_1 - (J_o + J_1) \omega^2) \Delta R_z \sin \omega t + \right. \\ &\quad \left. + (M_1 + (J_o - J_1) \omega^2) \Delta R_y \cos \omega t \right], \end{aligned} \quad (8)$$

де $\omega_{1,2} = \sqrt{M_1 + \frac{J_o \omega}{2J_1} (J_o \omega \pm \sqrt{4J_1 M_1 + J_o^2 \omega^2})}$ – власні частоти, C_i ($i = \overline{1,4}$) – сталі інтегрування, які залежать від початкових умов руху наступним чином

$$C_1 = \frac{\omega_1}{M_1 (\omega_2^2 - \omega_1^2)} \left[J_o \omega \omega_2^2 \gamma_0 - (M_1 - J_1 \omega_2^2) \dot{\beta}_0 + \frac{M_1 - (J_o + J_1) \omega^2}{(M_1 - J_1 \omega^2)^2 - J_o^2 \omega^4} \times \right. \\ \left. \times (M_1 - (J_o + J_1) \omega_2^2) \omega \Delta R_y l \right]; \quad (9)$$

$$C_2 = -\frac{1}{J_1 (\omega_2^2 - \omega_1^2)} \left[J_o \omega \dot{\gamma}_0 + (M_1 - J_1 \omega_2^2) \beta_0 - \frac{M_1 - (J_o + J_1) \omega^2}{(M_1 - J_1 \omega^2)^2 - J_o^2 \omega^4} \times \right. \\ \left. \times (M_1 + J_o \omega^2 - J_1 \omega_2^2) \Delta R_z l \right]; \quad (10)$$

$$C_3 = -\frac{\omega_2}{M_1 (\omega_2^2 - \omega_1^2)} \left[J_o \omega \omega_1^2 \gamma_0 - (M_1 - J_1 \omega_1^2) \dot{\beta}_0 - \frac{M_1 + (J_o - J_1) \omega^2}{(M_1 - J_1 \omega^2)^2 - J_o^2 \omega^4} \times \right. \\ \left. \times (M_1 - (J_o + J_1) \omega_1^2) \omega \Delta R_y l \right]; \quad (11)$$

$$C_4 = \frac{1}{J_1 (\omega_2^2 - \omega_1^2)} \left[J_o \omega \dot{\gamma}_0 + (M_1 - J_1 \omega_1^2) \beta_0 - \frac{M_1 - (J_o + J_1) \omega^2}{(M_1 - J_1 \omega^2)^2 - J_o^2 \omega^4} \times \right. \\ \left. \times (M_1 + J_o \omega^2 - J_1 \omega_1^2) \Delta R_z l \right]. \quad (12)$$

При нульових початкових умовах у радіальному напрямку малі коливання системи шпиндельний вузол верстата – свердло згідно (8) – (12) можна обчислити за формулами

$$\beta = \frac{M_1 + (J_o - J_1)\omega^2}{(M_1 - J_1\omega^2)^2 - J_o^2\omega^4} \Delta R_y l \left\{ \frac{\omega}{M_1(\omega_2^2 - \omega_1^2)} \left[(M_1 - (J_o + J_1)\omega_2^2) \times \right. \right. \\ \times \omega_1 \sin \omega_1 t + (M_1 - (J_o + J_1)\omega_1^2) \omega_2 \sin \omega_2 t \left. \right] + \sin \omega t \};$$

$$\gamma = \frac{M_1 + (J_o - J_1)\omega^2}{(M_1 - J_1\omega^2)^2 - J_o^2\omega^4} \Delta R_y l \left\{ \frac{1}{M_1 J_o (\omega_2^2 - \omega_1^2)} \left[(M_1 - J_1\omega_1^2) \times \right. \right. \\ \times (M_1 - (J_o + J_1)\omega_2^2) \cos \omega_1 t + (M_1 - J_1\omega_2^2) \times \\ \left. \left. \times (M_1 - (J_o + J_1)\omega_1^2) \cos \omega_2 t \right] + \cos \omega t \right\} \quad (13)$$

Тоді коливання осі свердла в зоні розташування його ріжучої кромки, які спричиняють виникнення похибок механічної обробки заготовки деталі відповідно до (3) у радіальному напрямку визначаються з виразів

$$y_K = (l_1 + l_2 + l_3)(-\gamma \cos \omega t + \beta \sin \omega t); \quad (14)$$

$$z_K = (l_1 + l_2 + l_3)(\gamma \sin \omega t + \beta \cos \omega t).$$

Висновки. Побудована математична модель коливального руху свердла, що враховує його відхилення в радіальному напрямку. Ця модель враховує гіроскопічний ефект, який виникає внаслідок швидкого обертального руху свердла.

За основною властивістю гіроскопії зі збільшенням кутової швидкості свердління амплітуда коливань системи шпиндельний вузол верстата – свердло зменшується, і як наслідок, зменшується похибка обробки отворів.

Зазначимо також, особливо важливо обчислювати похибку свердління на початку обробки, оскільки зі збільшенням глибини свердління розбивка отвору зменшується за рахунок сил тертя між власне самим свердлом і матеріалом заготовки.

У подальших дослідженнях планується оцінити похибку обробки отворів при горизонтальному розташуванні осі шпинделя верстата.

Список використаних джерел: 1. Кривий П.Д. Конструкторсько-технологічні передумови підвищення якості оброблення глибоких отворів тонкостінних циліндрів / П.Д. Кривий, В.В. Крупа, В.І. Продан // Вісник ТДТУ. – 2010. – Том 15, № 1. – С. 147 – 156. 2. Брижан Т.М. Технологическое обеспечение безвibrationной обработки отверстий / Т.М. Брижан, С.А. Дитиненко / Вісник НТУ «ХПІ»: зб. наук. пр. Серія «Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії». – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 43 (1086). – С. 13 – 19. 3. Кабалоев Ю.Ж. Влияние гирокопического эффекта на точность обработки при сверлении / Ю.Ж. Кабалоев. М.Б. Гукьямухов // Вопросы точности и конструирования в машиностроении: труды СКГМИ. – Орджоникидзе, 1970. – Вып. XXVII. – С. 25 – 30. 4. Колев К.С. Точность обработки и режимы резания / К.С. Колев, Л.М. Горчаков: изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1976. 145 с. 5. Бидерман В.Л. Теория механических колебаний / В.Л. Бидерман: учебн. для студ. вищ. учебн. зав. – М.: Высшая школа, 1980. – 408 с.

Bibliography (transliterated): 1. Kryvyy P.D. Konstruktors'ko-tehnolohichni peredumovy pidvyshchennya yakosti obroblennya hlybokykh otvoriv tonkostinnykh tsylindriv / P.D. Kryvyy, V.V. Krupa, V.I. Prodan // Visnyk TDTU. – 2010. – Tom 15, № 1. – S. 147 – 156. 2. Bryzhan T.M. Tekhnolohycheskoe obespechenye bezvybratsyonnoy obrabotky oterverstyy / T.M. Bryzhan, S.A. Dytynenko // Visnyk NTU «KhPI»: zb. nauk. pr. Seriya «Inovatsiyni tekhnolohiyi ta obladnannya obrabky materialiv u mashynobuduvanni ta metalurhiyu». – Kh: NTU «KhPI», 2014. – № 43 (1086). – S. 13 – 19. 3. Kabalov Yu.Zh. Vlyyanje hyroskopycheskoho effekta na tochnost' obrabotky pry sverlenyy / Yu.Zh. Kabalov. M.B. Huk'yamukhov // Voprosy tochnosty y konstruyrovanyya v mashynostroenyy: trudy SKHMY. – Ordzhonykydze, 1970. – Vyp. XXVII. – S. 25 – 30. 4. Kolev K.S. Tochnost' obrabotky y rezhymy rezanya / K.S. Kolev, L.M. Horchakov: yzd. 2-e, pererab, y dop. – M.: Mashynostroenye, 1976. 145 s. 5. Byderman V. L. Teoryya mekhanycheskykh kolebannya / V.L. Byderman: uchebn. dlya stud. vysh. uchebn. zav. – M.: Vysshaya shkola, 1980. – 408 s.

Надійшла до редколегії 27.10.2014

УДК 621.923

І.А. Рябенков, канд. техн. наук, Хар'ков,
Гершиков І.В., Бердянськ Україна

УСЛОВИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ С ДИСКРЕТНОЙ РАДИАЛЬНОЙ ПОДАЧЕЙ

Отримано аналітичні залежності для визначення технологічних параметрів процесу шліфування за жорсткою і пружною схемами, що дозволяють науково обґрунтовано підходити до вибору раціональних умов обробки. Показано, що при шліфуванні за жорсткою схемою сила та температура різання збільшуються з плином часу обробки (у зв'язку з тертям зв'язки круга з оброблюваним матеріалом), а при шліфуванні за пружною схемою – залишаються постійними з плином часу обробки. Це вказує на ефективність застосування даної схеми шліфування.

Получены аналитические зависимости для определения технологических параметров процесса шлифования по жесткой и упругой схемам, позволяющие научно обоснованно подходить к выбору рациональных условий обработки. Показано, что при шлифовании по жесткой схеме сила и температура резания увеличиваются с течением времени обработки (в связи с трением связки круга с обрабатываемым материалом), а при шлифовании по упругой схеме – остаются постоянными с течением времени обработки. Это указывает на эффективность применения данной схемы шлифования.

Analytical dependences for determination of technological parameters of grinding process on elastic and non-elastic schemes, that allow scientifically valid approach to the rational choice of processing conditions, are obtained. It is shown that in case of grinding on non-elastic scheme, the force and cutting temperature increase with time of processing (because of friction of wheel bonding with material-to be-processed), and in case of grinding on elastic scheme, the force and cutting temperature remain constant with time of processing. This indicates the effectiveness of given scheme of grinding.

Введение. При изготовлении высокоточных деталей на финишных операциях широко применяются методы обработки свободным абразивом, которые обеспечивают высокие показатели точности и шероховатости поверхности. Однако, при этом имеет место шаржирование абразивных зерен в обрабатываемую поверхность, что снижает эффективность обработки. Поэтому целесообразно применять на финишных операциях процессы шлифования и лезвийной обработки с обеспечением таких же показателей точности и шероховатости, как и при обработке свободным абразивом. В связи с этим актуальны вопросы проведения дальнейших исследований по определению технологических возможностей процесса шлифования.

Анализ последних достижений и литературы. Процессам шлифования в научно-технической литературе удалено большое внимание [1, 2]. Разработаны теоретические основы абразивного и алмазного шлифования [3, 4]. Вместе с тем, отсутствуют аналитические зависимости, с единых позиций

описывающие параметры силовой и тепловой напряженности процессов шлифования по жесткой и упругой схемам. Это не позволяет в полной мере выявить, обосновать и реализовать технологические возможности этих схем шлифования.

Цель работы, постановка проблемы. Целью работы является теоретическое обоснование условий повышение эффективности процесса шлифования с дискретной радиальной подачей на основе анализа закономерностей изменения упругих перемещений, возникающих в технологической системе. Работа направлена на дальнейшее развитие математической модели определения параметров силовой и тепловой напряженности процесса шлифования с учетом процессов резания и трения связки круга с обрабатываемым материалом.

Материалы исследований. При шлифовании прямолинейной детали по жесткой схеме с дискретной радиальной подачей (рис.) детали сообщаются возвратно-поступательные перемещения со скоростью V_{dem} (положения I и II на рис. 1).

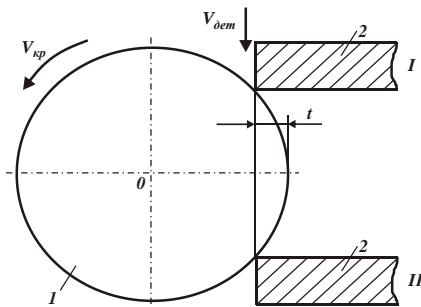


Рисунок – Расчетная схема процесса шлифования:
1 – круг; 2 – деталь

На первом проходе фактическая глубина шлифования $t_{\phi 1}$ всегда меньше номинальной глубины шлифования t вследствие трения связки круга с обрабатываемым материалом и возникновения в технологической системе упругого перемещения y_1 , т.е. $t_{\phi 1} = t - y_1$. В результате с каждым последующим проходом n обрабатываемой детали параметры t_ϕ и y будут пропорционально увеличиваться: $t_\phi = n \cdot t_{\phi 1}$; $y = n \cdot y_1$. Тогда радиальная $P_{y_{mp}}$ и тангенциальная $P_{z_{mp}} = f_1 \cdot P_{y_{mp}}$ составляющие силы резания, обусловленные трением связки круга с обрабатываемым материалом, описаны [5]:

$P_{y_{mp}} = c \cdot y = c \cdot n \cdot y_1$; $P_{z_{mp}} = f_1 \cdot c \cdot n \cdot y_1$, где c – жесткость технологической системы, Н/м; f_1 – коэффициент трения связки круга с обрабатываемым материалом.

С увеличением n составляющие силы резания $P_{z_{mp}}$ и $P_{y_{mp}}$ будут пропорционально увеличиваться, принимая в конечном итоге достаточно большие значения. Это приведет к снижению качества и точности обрабатываемых поверхностей.

Тангенциальная $P_{z_{pez}}$ и радиальная $P_{y_{pez}}$ составляющие силы резания, обусловленные процессом “чистого” резания, определяются [6]: $P_{z_{pez}} = \sigma \cdot Q / V_{kp}$; $P_{y_{pez}} = P_{z_{pez}} / K_{w_{pez}}$, где σ – условное напряжение резания, Н/м²; $Q = B \cdot V_{dem} \cdot t_{\phi 1}$ – фактическая производительность обработки, м³/с; V_{dem} , V_{kp} – скорости детали и круга, м/с; B – ширина шлифования, м. Тогда суммарные тангенциальная P_z и радиальная P_y составляющие силы резания, а также коэффициент шлифования K_w опишутся:

$$P_z = \frac{\sigma \cdot B \cdot V_{dem} \cdot t_{\phi 1}}{V_{kp}} + f_1 \cdot c \cdot n \cdot y_1; \quad (1)$$

$$P_y = \frac{\sigma \cdot B \cdot V_{dem} \cdot t_{\phi 1}}{K_{pez} \cdot V_{kp}} + c \cdot n \cdot y_1; \quad (2)$$

$$K_w = \frac{P_z}{P_y} = \frac{\frac{\sigma \cdot B \cdot V_{dem} \cdot t_{\phi 1}}{V_{kp}} + f_1 \cdot c \cdot n \cdot y_1}{\frac{\sigma \cdot B \cdot V_{dem} \cdot t_{\phi 1}}{K_{pez} \cdot V_{kp}} + c \cdot n \cdot y_1}. \quad (3)$$

Очевидно, с увеличением количества проходов n коэффициент шлифования K_w уменьшается, что, как известно, снижает эффективность обработки. Поэтому основным условием снижения параметров силовой напряженности процесса шлифования в данном случае является исключение трения связки круга с обрабатываемым материалом за счет повышения режущей способности круга. Однако выполнить это условие удается не всегда. Поэтому на практике принято для заданной номинальной глубины шлифования осуществлять еще и второй (обратный) ход обрабатываемой детали или круга, т.е. производить съем материала на заданную глубину шлифования за двойной ход. В результате при обратном ходе должен происходить съем всего подаваемого в зону шлифования обрабатываемого материала и выполняться условие $t_{\phi 1} \rightarrow t$, т.е. должно устраняться упругое

перемещение, возникающее в технологической системе при прямом ходе. При правильно выбранном режиме шлифования данное условие, как правило, выполняется. Вместе с тем, при низкой жесткости технологической системы возникающее упругое перемещение значительно и устраниить его при обратном ходе весьма сложно. В итоге с течением времени обработки происходит накопление неснятого материала, что приводит к увеличению упругого перемещения, возникающего в технологической системе и необходимости периодически прекращать процесс шлифования. Естественно, добиться требуемой точности обработки в этих условиях не представляется возможным, а процесс шлифования происходит с относительно низкой производительностью и высокой трудоемкостью обработки. В связи с этим, для выполнения условия $t_{\phi 1} \rightarrow t$ необходимо увеличить количество выхаживающих (прямых и обратных) проходов обрабатываемой детали или шлифовального круга. Заслуживает внимания анализ энергоемкости шлифования \mathcal{E} . С учетом соотношений $y_1 = t - t_{\phi 1}$ и $Q = B \cdot V_{dem} \cdot t_{\phi 1}$:

$$\mathcal{E} = \frac{P_z \cdot V_{kp}}{Q} = \sigma + \frac{f_1 \cdot c \cdot n \cdot V_{kp}}{B \cdot V_{dem}} \cdot \left(\frac{t}{t_{\phi 1}} - 1 \right). \quad (4)$$

Второе слагаемое зависимости (4) определяется главным образом множителем $(t/t_{\phi 1} - 1)$, который при условии $t_{\phi 1} \rightarrow t$ равен нулю. Следовательно, при отсутствии трения связки круга с обрабатываемым материалом, т.е. когда второе слагаемое зависимости (4) равно нулю, энергоемкость обработки \mathcal{E} равна условному напряжению резания σ , определяемому условиями процесса "чистого" резания. С увеличением отношения $t/t_{\phi 1}$ энергоемкость обработки \mathcal{E} увеличивается, что вызывает повышение силовой и тепловой напряженности процесса шлифования и указывает на необходимость выполнения условия $t_{\phi 1} \rightarrow t$.

Важно провести анализ температуры резания при шлифовании θ на основе известной зависимости [6]:

$$\theta = \frac{q \cdot l_2}{\lambda} = \frac{P_z \cdot V_{kp} \cdot l_2}{\lambda \cdot F} = \left(\frac{\sigma \cdot B \cdot V_{dem} \cdot t_{\phi 1}}{F} + \frac{f_1 \cdot c \cdot n \cdot (t - t_{\phi 1}) \cdot V_{kp}}{F} \right) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \tau}{c_m \cdot \rho \cdot \lambda}}, \quad (5)$$

где $l_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda \cdot \tau}{c_m \cdot \rho}}$ – глубина проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали, м; λ – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, Вт/(м·К); c_m – удельная теплоемкость обрабатываемого материала, Дж/(кг·К); ρ – плотность обрабатываемого

матеріала, $\text{кг}/\text{м}^3$; F – площа контактного кружка з оброблюваним матеріалом, м^2 ; τ – час контактного кружка з оброблювальною деталлю, с.

Існуючи залежності (5), основним умови зменшення температури резання під час шліфування θ є зменшення або навіть відсутність другого слагаючого, обумовленого тріненням зв'язки кружка з оброблюваним матеріалом, що досягається виконанням умови $t_{\phi 1} \rightarrow t$.

Увеличення першого слагаючого залежності в зв'язку з підвищенням $t_{\phi 1}$ слідует компенсувати зменшенням часу контактного кружка з оброблювальною деталлю. Найбільш ефективним путем зменшення τ слідует розглядати періодичне преривання процесу шліфування за рахунок застосування кружка з преривистою робочою поверхністю, т.е. застосування преривистого шліфування.

В умовах круглого і плоского шліфування час τ слідует розглядати як час контактного кружка з елементарним адиабатичним стержнем, набором яких представлений сниманий припуск [3]. Існуючи залежності (5), зменшити температуру резання під час шліфування θ можна також за рахунок підвищення площини контактного кружка з оброблюваним матеріалом F (при фіксованій продуктивності обробки Q), що досягається застосуванням глибинного (однопроходного) шліфування. Увеличення часу контактного кружка з елементарним адиабатичним стержнем в зв'язку з зменшенням швидкості деталі V_{det} в цьому випадку може бути не толи значителіше за порівняння з підвищеним площини контактного кружка з оброблюваним матеріалом F . В результаті температура резання під час шліфування θ може зменшуватися. Це підтверджується з практичним досвідом застосування метода глибинного шліфування, забезпечуючого, як правило, досягнення двох ефектів – підвищення продуктивності та якості обробки.

Однак, як показує практика круглого і плоского шліфування, найбільш ефективним путем зменшення температури резання під час шліфування θ слідует розглядати застосування многопроходного шліфування, характеризуючогося підвищеними значеннями швидкості деталі V_{det} . Тут же ефект обробки досягається за рахунок зменшення часу контактного кружка з елементарним адиабатичним стержнем.

Рассмотрим процесс плоского многопроходного шлифования по жесткой схеме для случая, когда отсутствует трение связки кружка с обрабатываемым материалом. Тогда тангенциальная составляющая силы резания опишется зависимостью $P_z = P_{z_{pes}}$. С учетом соотношений $P_z = K_{pes} \cdot P_y$;

$P_y = c \cdot y = c \cdot (t \cdot n - t_\phi \cdot n)$ эта зависимость принимает вид уравнения $K_{pes} \cdot c \cdot (t \cdot n - t_\phi \cdot n) = \sigma \cdot \frac{B \cdot V_{dem} \cdot t_\phi}{V_{kp}}$, разрешая которое относительно неизвестной величины t_ϕ , получено:

$$t_\phi = \frac{t}{\left(1 + \frac{\sigma \cdot B \cdot V_{dem}}{K_{pes} \cdot c \cdot V_{kp} \cdot n}\right)}. \quad (6)$$

С увеличением n фактическая глубина шлифования t_ϕ непрерывно увеличивается, асимптотически приближаясь к номинальной глубине шлифования t . По такому же закону будет изменяться и производительность обработки. Величина y определится зависимостью:

$$y = (t \cdot n - t_\phi \cdot n) = \frac{t \cdot n}{\left(1 + \frac{K_{pes} \cdot c \cdot V_{kp} \cdot n}{\sigma \cdot B \cdot V_{dem}}\right)}. \quad (7)$$

Из зависимости (7) следует, что при $n=0$ величина упругого перемещения $y=0$, а при $n \rightarrow \infty$, вследствие преобладания в знаменателе зависимости (7) второго слагаемого, величина y определится:

$$y = y_{ycm} = \frac{\sigma \cdot B \cdot V_{dem} \cdot t}{K_{pes} \cdot c \cdot V_{kp}} = \frac{\sigma \cdot Q_0}{K_{pes} \cdot c \cdot V_{kp}} = \frac{P_{y_{ycm}}}{c}, \quad (8)$$

где y_{ycm} , $P_{y_{ycm}} = \frac{\sigma \cdot Q_0}{K_{pes} \cdot V_{kp}}$ – установившиеся значения величины упругого перемещения y и радиальной составляющей силы резания P_y .

Зависимость (7) с учетом (8) можно представить в виде:

$$y = \frac{1}{\left(\frac{1}{n \cdot t} + \frac{1}{y_{ycm}}\right)} = \frac{y_{ycm}}{\left(1 + \frac{y_{ycm}}{n \cdot t}\right)}. \quad (9)$$

Как видно, при $n=0$ величина упругого перемещения $y=0$, а при $n \rightarrow \infty$ соответственно $y \rightarrow y_{ycm}$. По такому же закону будет изменяться и радиальная $P_y = c \cdot y$ составляющая силы резания.

При шлифовании с фиксированным радиальным усилием P_y коэффициент шлифования K_{uu} выражается:

$$K_{uu} = \frac{P_z}{P_y} = \left(K_{u_{pes}} - f_1\right) \cdot \frac{P_{y_{pes}}}{P_y} + f_1. \quad (10)$$

В отличие от аналогичной зависимости (3), полученной при шлифовании по жесткой схеме, зависимость (10) не содержит времени τ . Следовательно, тангенциальная составляющая силы резания P_z не увеличивается с течением времени τ , что не приводит к повышению силовой и тепловой напряженности процесса шлифования. Это чрезвычайно важно с точки зрения обеспечения точности и качества обрабатываемых поверхностей. Иными словами, применение упругой схемы шлифования в отличие от жесткой схемы шлифования позволяет управлять процессом, исключая отрицательное влияние продолжительности обработки τ на технологические показатели шлифования. Собственно этим и объясняется эффективность применения на практике данной схемы шлифования.

Выводы. Получены аналитические зависимости для определения параметров шлифования по жесткой и упругой схемам, позволяющие обоснованно подходить к выбору рациональных условий обработки. Показано, что при шлифовании по жесткой схеме сила и температура резания увеличиваются с течением времени обработки (в связи с трением связки круга с обрабатываемым материалом), а при шлифовании по упругой схеме – остаются постоянными с течением времени обработки. Это указывает на эффективность применения данной схемы шлифования.

Список использованных источников: 1. *Маслов Е.Н. Теория шлифования металлов / Е.Н. Маслов. – М.: Машиностроение, 1974. – 319 с.* 2. *Lure G.B. Шлифование металлов / Г.Б. Лурье. – М.: Машиностроение, 1969. – 197 с.* 3. *Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с.* 4. *Робочі процеси високих технологій в машинобудуванні: навч. посібник / За редакцією А.І. Грабченко – Харків: ХДПУ, 1999. – 436 с.* 5. *Новиков Г.В. Аналітическая оценка энергоемкости обработки при шлифовании / Г.В. Новиков, В.А. Анділахай, О.С. Кленов // Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ "ХПІ". – Харків, 2009. – Вип. 1(18). – С. 151-156.* 6. *Рябенков І.О. Підвищення ефективності фінішної обробки деталей гідроапаратури на основі вибору раціональної структури і параметрів операцій: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.08 “Технологія машинобудування” / І.О. Рябенков. – Одеса, 2009. – 21 с.*

Bibliography (transliterated): 1. *Maslov E.N. Teoriya shlifovaniya metallov / E.N. Maslov. – M.: Mashinostroenie, 1974. – 319 s.* 2. *Lure G.B. Shlifovanie metallov / G.B. Lure. – M.: Mashinostroenie, 1969. – 197 s.* 3. *Yakimov A.V. Optimizatsiya protsesssa shlifovaniya / A.V. Yakimov. – M.: Mashinostroenie, 1975. – 175 s.* 4. *Robochi protsesy vysokikh tekhnologiy v mashynobuduvanni: navch. posibnyk / Za redaktsieyu A.I. Grabchenko – Kharkiv: KhDPU, 1999. – 436 s.* 5. *Novikov G.V. Аналитическая оценка энергоемкости обработки при шлифовании / G.V. Novikov, V.A. Andilakhay, O.S. Klenov // Vysoki tekhnologii v mashynobuduvanni: Zbirnyk naukovykh prats NTU "KhPI". – Kharkiv, 2009. – Vyp. 1 (18). – S. 151-156.* 6. *Ryabenkov I.O. Pidvyshennia efektyvnosti finishnoi obrabotki detalei gidroaparatury na osnovi vybora ratsionalnoi struktury i parametrov operatsiy: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.08 “Tekhnologiya mashynobuduvannia” / I.O. Ryabenkov. – Odesa, 2009. – 21 s.*

Поступила в редакцию 23.10.2014

УДК 621.923.5

Э.Н. Сарычев, Симферополь, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ AlCrN НА ИЗМЕНЕНИЕ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ЧЕРВЯЧНОЙ ФРЕЗЫ В ПРОЦЕССЕ ЗУБОФРЕЗЕРОВАНИЯ

У статті представлені результати експериментальних досліджень пов'язаних із застосуванням черв'ячних фрез з зносостійким покриттям AlCrN в процесі зубофрезерування. Показана ефективність застосування даного покриття, що виражається у зменшенні крутного моменту, а так само зміна площині контакту передньою поверхнею інструменту.

В статье представлены результаты экспериментальных исследований связанных с применением червячных фрез с износостойким покрытием AlCrN в процессе зубофрезерования. Показана эффективность применения данного покрытия, выражаящаяся в уменьшении крутящего момента, а так же изменение площади контакта передней поверхностью инструмента.

The paper presents the results of experimental studies related to the use of hobs with wear-resistant coating AlCrN during hobbing. The effectiveness of the application of this coating results in a reduction of torque, as well as a change in the contact area of the front surface of the tool.

Силы резания в зубофрезеровании являются важным параметром обработки, оказывающим влияние на точность и качество обработанной поверхности нарезаемых колес. В большинстве составляющие силы резания определяются на основе регрессионных зависимостей, полученных в результате обработки экспериментальных данных [1].

Измерение сил резания при зубофрезеровании достаточно трудоемкий метод в силу того, что относительные движения заготовки с червячной фрезой являются сложным пространственным, многофункциональным и многопараметрическим процессом рис. 1

Определениями силовых зависимостей при зубофрезеровании занимались следующие ученые: Э.Н. Гулида, А.М. Розенберг, Г.Г. Овумян и др. Однако, полученные ими эмпирические выражения носят частный характер (учитывают узкодиапазонные условия экспериментов) и зависят от режимов резания. Таким образом, определение сил резания эмпирическим путем может привести к большим погрешностям расчетов из-за многочисленных взаимосвязанных факторов [3].

Влияние свойств инструментального материала на величины сил резания вызвано изменением коэффициента трения на контактных поверхностях инструмента.

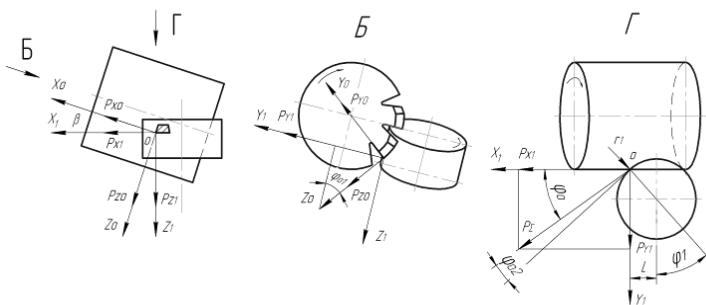


Рисунок 1 – Составляющие силы резания, действующие на инструмент и заготовку в процессе зубофрезерования [2]

Так, для изменения физикохимии контактного взаимодействия инструмента и обрабатываемого материала наносят на рабочие поверхности инструмента защитное покрытие на основе карбидов и нитридов тугоплавких металлов.

Таким одним из последних износостойких покрытий, созданное около трех лет назад, является многослойное покрытие AlCrN. Данное покрытие имеет тройную структуру: базовый слой покрытия – CrN; центральный слой – нанослой из Al/CrN; верхний слой представляет собой моноблок (AlCrN). Покрытие может быть нанесено на червячные фрезы, как из порошковой быстрорежущей стали, так и из твердого сплава [4].

С целью определения степени реальных показателей изменений напряжений на контактных поверхностях зубьев червячной фрезы с покрытием AlCrN при нарезании колес были проведены станочные исследования по определению крутящего момента как важным суммарным показателем изменения сил резания.

Исследования проводились на зубофрезерном станке модели LIEBHERR LC 180 с ЧПУ (рис. 2).

Станок обладает опцией – измерение крутящего момента инструмента. Данные с датчиков станка выводились на экран стойки в виде диаграммы (рис. 3).

Измерение крутящего момента осуществлялось при нарезании колес одним зубом червячной фрезы. Для этого, цельную червячную фрезу разрезали на отдельные зубья с помощью электроэрозионной обработки. Зуб устанавливали в специальную кассету на шпинделе станка. Таким образом, получили однозубую червячную фрезу (рис. 4).

Исследовались следующие комплекты зубьев с модулем 2,7 мм из порошковой быстрорежущей стали марки S390: зубья без покрытия [PM-HSS(S390)] (3 зуба) и с многослойным покрытием AlCrN [PM-HSS(S390)+AlCrN] (3 зуба), а также зубья из твердого сплава с тем же покрытием AlCrN [HM+AlCrN] (3 зуба). Применялось попутное фрезерование. Нарезание осуществлялось всухую.



Рисунок 2 – Станок зубофрезерный модели
LIEBHERR LC 180

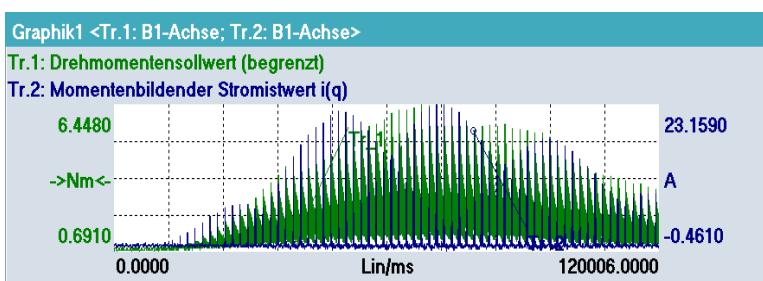


Рисунок 3 – Вид диаграммы крутящего момента
на дисплее станка LIEBHERR LC 180.

Обрабатываемым материалом подвергалась зарубежная сталь марки 20MnCr5 (ZF7b), ее аналог отечественная легированная конструкционная сталь 18ХГ ГОСТ 4543-71.



Рисунок 4 – Конструкция однозубой червячной фрезы

На рис. 5 представлена гистограмма полученных данных усредненных значений крутящих моментов при нарезании колес в течение одной осевой подачи. Нарезание колес осуществлялось до достижения критического износа для всех поверхностей данных зубьев, равный 0,13 мм.

Критический износ зубьев из быстрорежущей стали без покрытия [PM-HSS(S390)] достиг после обработки одного колеса, износ зубьев из быстрорежущей стали с покрытием [PM-HSS(S390)+AlCrN] - после седьмого колеса; зубья из твердого сплава [HM+AlCrN] - после восьмого колеса.

На гистограмме видно, что при нарезании колес зубьями без покрытия [PM-HSS(S390)] крутящий момент имеет наиболее высокие значения, однако при нарезании зубьями с покрытием [PM-HSS(S390)+AlCrN] наблюдается снижение крутящего момента на 25%, а при нарезании зубьями из твердого сплава с покрытием [HM+AlCrN] заметно снижение крутящего момента еще на 25%, при том, что режимы резания увеличены почти в 2 раза.

В табл. 1 представлены снимки изменения площади контакта зубьев с обрабатываемой деталью на передней поверхности зубьев червячной фрезы до достижения критического износа (0,13 мм). Различия в изменениях площади контакта при нарезании колес данными зубьями достаточно заметны.

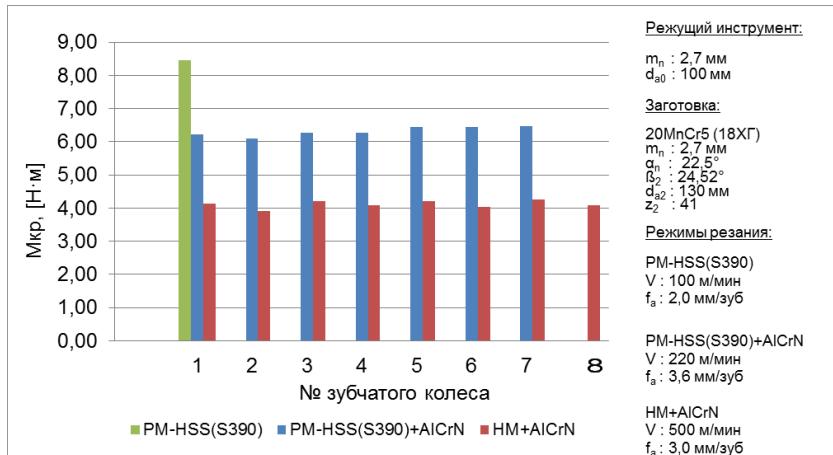


Рисунок 5 – Значення крутячих моментів зубьев червячної фрези:
PM-HSS(S390), PM-HSS(S390)+AlCrN и HM+AlCrN

Полученные снимки позволяют отметить, что при нарезании колес зубьями без покрытия [PM-HSS(S390)] площадь контакта расположилась от вершины зуба, и продвигается вдоль входной режущей кромки к основанию зуба. Причиной такого изменения вида передней поверхности объясняется большими контактными нагрузками (силами резания, а, следовательно, большим коэффициентом трения) со стружкой и обрабатываемого материала. При нарезании зубьями с покрытием [PM-HSS(S390)+AlCrN] можем видеть значительное уменьшение площади контакта и образование луночного износа на передней поверхности, сконцентрированного в одной зоне поверхности. Площадь контакта при нарезании зубьями из твердого сплава с покрытием [HM+AlCrN] расположилась вдоль линии вершины зуба передней поверхности и отсутствием луночного износа.

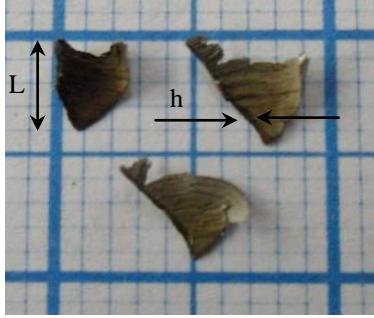
Такое изменение площади контактных нагрузок можно объяснить влиянием «вторичных» структур активных компонентов среды (воздуха) на участке упругого контакта, появившихся в результате дополнительного нагрева передней поверхности за счет увеличения скорости при использовании зубьев разного материала. При повышении температуры контакта на передней поверхности зуба с покрытием AlCrN образуются окисные пленки Al_2O_3 , препятствующие схватыванию материала стружки с зубом, в результате чего уменьшается длина контакта, а, следовательно, увеличивается среднее контактное давление, уменьшается средний коэффициент трения.

В табл. 2 представлены снимки стружек при резании червячной фрезы из указанных инструментальных материалов на коэффициент укорочения стружки. Как известно, что показателем снижения коэффициента трения на передней поверхности является уменьшение коэффициента усадки стружки. Отсюда, снижение значений этого коэффициента является показателем облегчения процессов деформации.

Таблица 1 – Снимки изменения передней поверхности зуба червячной фрезы

№	Исследуемые зубья	Снимок передней поверхности зуба после нарезания первого колеса	Снимок передней поверхности зуба после достижения критического износа (0,13 мм.)
1	PM -- HSS(S390) (V=220м/мин; $f_a=3,6$ мм/зуб)	-	 После 1-го колеса
2	PM - HSS(S390)+ +AlCrN (V=220м/мин, $f_a=3,6$ мм/зуб)		 После 7-го колеса
3	HM+AlCrN (V=500м/мин; $f_a=3,0$ мм/зуб)		 После 8-го колеса

Таблица 2 – Усадка стружки при нарезании колес зубьями в процессе зубофрезерования

№	Исследуемые зубья	Фото стружки после нарезания 1-го колеса
1	PM-HSS(S390) (V=220м/мин; $f_a=3,6$ мм/зуб) L=4,8 мм h=0,43 мм	
2	PM-HSS(S390)+AlCrN (V=220м/мин, $f_a=3,6$ мм/зуб) L=5,3 мм h=0,4 мм	
3	HM+AlCrN (V=500м/мин; $f_a=3,0$ мм/зуб) L=6,2 мм h=0,3 мм	

На основе проведенных станочных исследований и полученных результатов можно сделать следующие выводы.

Нанесение многослойного покрытия AlCrN на червячные фрезы ведет к уменьшению составляющих сил резания, в частности крутящего момента, позволяет значительно увеличить скорость резания. Покрытие снижает коэффициент укорочения стружки и площадь контакта стружки с передней поверхностью инструмента. Это, в свою очередь, вызывает повышение нормальных контактных напряжений, снижение запаса пластической прочности и сопротивления режущего клина режущего инструмента упругопластическим деформациям в процессе резания.

Список использованных источников: 1. Браилов, И.Г. К вопросу моделирования зубофрезерования / И.Г. Браилов, С.П. Андросов // Наука и производство – 2009: Материалы Меж- дународной научно – практической конференции в 2 ч. – Брянск: БГТУ, 2009. – Ч. 2. – С. 16–18. 2. Сидоренко Л.С. Расчет сил резания при обработке зубьев червячной фрезой// Станки и инструмент – 1992г. – №12 – с.20-23. 3. Гузев, В.И. Теория и методика расчета производительности контурной обработки деталей разной точности на токарных и фрезерных станках с ЧПУ: дис...докт. техн. наук / В.И. Гузев. – Челябинск: Изд-во ЧПИ, 1994. – 517 с.

4. Oerlikon Balzers, 2008, Balinit Alcrona pro.

Bibliography (transliterated): 1. Brailov, I.G. K voprosu modelirovaniya zubofrezerovanija / I.G. Brailov, S.P. Androsov // Nauka i proizvodstvo – 2009: Materialy Mezh- dunarodnoj nauchno – prakticheskoy konferencii v 2 ch. – Brjansk: BGTU, 2009. – Ch. 2. – S. 16- 18. 2. Sidorenko L.S. Raschet sil rezanija pri obrabotke Zub'ev cheryachnoj frezoy// Stanki i instrument – 1992g. – №12 – s.20-23. 3. Guzeev, V.I. Teorija i metodika rascheta proizvoditel'nosti kontornoj obrabotki detalej raznoj tochnosti na tokarnyh i frezernyh stankah s ChPU: dis...dokt. tehn. nauk / V.I. Guzeev. – Cheljabinsk: Izd-vo ChPI, 1994. – 517 s. 4. Oerlikon Balzers, 2008, Balinit Alcrona pro.

Поступила в редакцию 19.08.2014

УДК 621.9

Ю.А. Сизый, д-р техн. наук, Д.В. Сталинский, д-р техн. наук,
П.В. Романченко, С.Е. Слипченко, Харьков, Украина

РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ ДЛЯ РУЧНЫХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ МАШИН

У статті розглядаються пропозиції щодо уdosконалювання прес-форми для пресування абразивних кругів, які застосовуються у ручних шліфувальних машинах, а також технології її виготовлення з метою зниження рівня вібрації цього технологічного обладнання.

В статье рассматриваются предложения по совершенствованию пресс-формы для прессования абразивных кругов, применяемых в ручных шлифовальных машинах и технологии ее изготовления с целью снижения уровня вибрации этого технологического оборудования.

The offers of perfection the construction of moulds for compaction of abrasive wheels and its production process for manual grinding machines with aim of decreasing vibration this machines are described in this article.

Круги прямого профиля (ПП) для ручных шлифовальных машин (РШМ) изготавливаются с наружным диаметром 150, 125, 100, 80 и 63 мм. Круги диаметром 150 и 125 мм имеют отверстие для установки на шпиндель РШМ диаметром 32 мм, а круги диаметром 100, 80 и 63 мм с отверстием 20 мм.

Круги изготавливаются прессованием абразивной смеси в пресс-форме с последующей термообработкой.

Анализ прессовой оснастки, используемой на основных предприятиях-изготовителях абразивного инструмента в странах СНГ, показывает, что конструкция и степень точности пресс-формы для изготовления абразивно-обдирочных кругов ПП диаметром 63...150 мм везде практически одинакова.

Схема и геометрические параметры пресс-формы для изготовления абразивно-обдирочных кругов формы ПП приведены на рис. 1, а в табл. 1 ее геометрические параметры для круга диаметром 150 мм.

Согласно рис. 1 керн крепится к основанию через отверстие в его оси болтом. После установки керна на основание устанавливается кольцо и крепится к основанию шестью болтами. При сборке, перед окончательной затяжкой болтов, сборщик добивается свободного (без заклинивания) опускания верхней и нижней плит в зазоре между керном и кольцом, перемещением кольца на незатянутых болтах.

© Ю.А. Сизый, Д.В. Сталинский, П.В. Романченко, С.Е. Слипченко, 2014

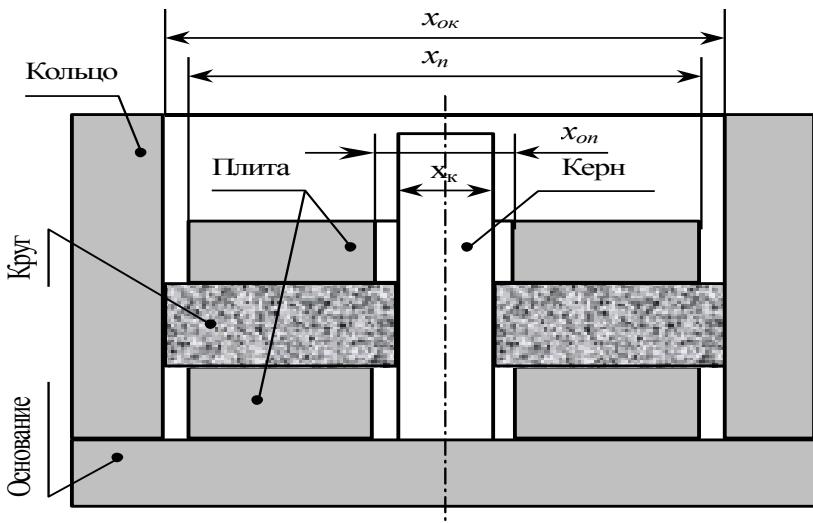


Рисунок 1 – Схема пресс-формы для изготовления абразивных кругов типа ПП

Таблица 1 – Геометрические параметры пресс-формы для абразивного круга ПП150×32×25

Параметр	Значение			
	x_{on}	x_k	x_{ok}	x_n
Номинальный размер, мм	32,6	32,6	149	149
Допуск, мм	0,062	0,062	0,1	0,1
Верхнее отклонение, мм	0,062	-0,025	0,1	-0,043
Нижнее отклонение, мм	0	-0,087	0	-0,143

Таким образом, несоосность (эксцентричность) наружной поверхности круга, формируемая отверстием в кольце, и отверстием в круге, формируемая керном, определяется зазорами в парах “плита – кольцо” и “керн – плита”.

В табл.1 обращает на себя внимание номинальные размеры наружного диаметра керна $x_k=32,6f9$ и отверстия в кольце $x_{ok}=144H9$. Эти размеры отличаются от номинальных размеров прессуемого круга: отверстия – Ø32 мм, наружный диаметр 150 мм. Такое отличие продиктовано необходимостью достижения приемлемого срока службы пресс-формы в

связи с износом керна и кольца при прессовании и выпрессовывании круга из пресс-формы через отверстия в основании.

Таким образом, сразу, в изготовленный круг закладывается размер отверстия, превышающий номинальный диаметр посадочной поверхности крепежных фланцев на шпинделе РШМ на 0,6 мм. Поэтому, изготовленный круг устанавливается на шпиндель РШМ с большой эксцентричностью, которая с учетом зазора в паре “крепежный фланец – шпиндель РШМ”, достигает значения $\approx 0,4$ мм. Это приводит к большому дисбалансу круга, большой центробежной силе действующей на круг, и к большому уровню вибраций, что является одним из основных недостатков шлифования РШМ.

Для устранения износа керна и, следовательно, для устранения необходимости назначения его диаметра больше номинального отверстия в круге, необходимо исключить контакт абразивной поверхности отверстия в круге с керном. Для этого предложена конструкция пресс-формы [1], позволяющая прессовать круг вместе со стальной втулкой, формирующей отверстие в круге. Конструкция такой пресс-формы приведена на рис. 2.

В предлагаемой конструкции пресс-формы соосность керна с отверстием в кольце обеспечивается окончательной расточкой отверстия в кольце в сборочной единице, показанной на рис. 3 при базировании в центрах керна.

В сборной детали “основание – керн – кольцо” основание и керн окончательно обработаны. При этом, в основании, отверстие под керн $\varnothing 20H9$ и поверхность $\varnothing 157h9$, под посадку $H9/h9$ для установки кольца, обрабатываются с одной установки на токарном станке с точением торца *A* (см. рис. 3), на который опирается нижняя плита (см. рис.2). Такая технология обработки основания обеспечивает соосность посадочных поверхностей под кольцо и керн, а также перпендикулярность отверстия под керн к торцу *A*.

Керн, окончательно обработанный, закаленный, прошлифованный по наружным цилиндрическим поверхностям, собирается с основанием и крепится при помощи гайки 9 (см. рис. 2).

В кольце перед сборкой его с основанием обрабатываются окончательно все поверхности, кроме поверхности $\varnothing 149H9(^{+0,1})$. Эта поверхность растачивается предварительно за два прохода. Причем эта расточка выполняется с одной установки на токарном станке с окончательной расточкой поверхности $\varnothing 157H9$, которой кольцо центрируется на основании.

После окончательной обработки кольца, производится объемная закалка кольца с предохранением от нее поверхности $\varnothing 157H9$.

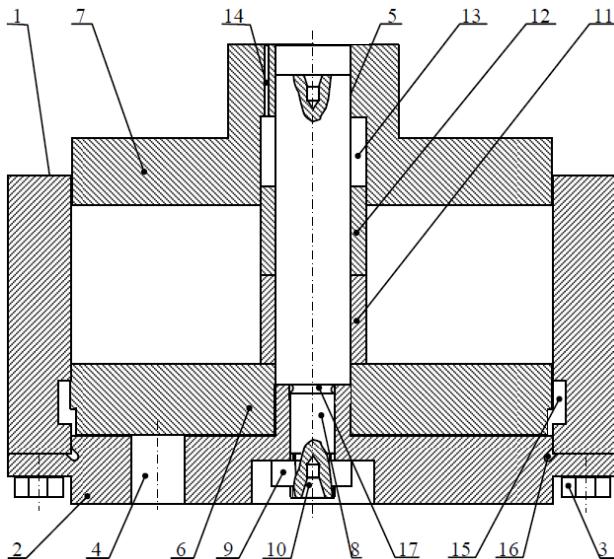


Рисунок 2 – Прес-форма для пресування шліфувального круга со втулкою:

1 – кільце; 2 – основання; 3 – болт;
4 – отверстие для выпрессовки заготовки круга (3 шт.); 5 – керн; 6 – нижня плита;
7 – верхня плита; 8 – шейка керна; 9 – гайка; 10 – центровые отверстия;
11 – втулка; 12 – компенсаційна втулка; 13 – висточка під компенсаційну
втулку; 14 – отверстие для выпрессовки компенсаційної втулки;
15, 16, 17 – технологические канавки

Окончательная обработка отверстия в кольце $\phi 149H9$ выполняется на токарном станке с базированием сборочной единицы в центрах керна. Этим и достигается соосность наружной поверхности керна и отверстия в кольце. Расточку закаленной поверхности отверстия в кольце необходимо производить резцом из кубического нитрида бора (КНБ).

Такая технология изготовления прес-формы защищена патентом на способ изготовления прес-формы для изготовления шлифовальных кругов [2].

Необходимо отметить еще одно важное достоинство предлагаемой технологии прессования кругов. Оно вытекает из необходимости замены кольца в прес-форме после износа его выше допустимого за счет трения об абразивную массу при прессовании и выпрессовке ее. Так как керн практически не изнашивается в предлагаемой прес-форме, то новое кольцо устанавливается на место изношенного и окончательно растачивается с базированием на центрах неизношенного керна.

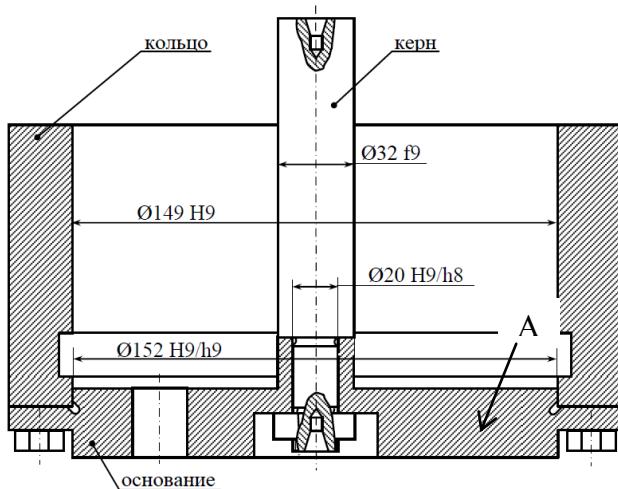


Рисунок 3 – Сборная деталь пресс-формы «основание – керн – кольцо»

Таким образом, маршрут механической обработки отверстия в кольце состоит из двух операций: предварительной и окончательной расточки.

Такая технология изготовления кольца: сначала как отдельной детали, а затем в сборе с основанием и керном, вносит особенности в такой элемент проектирования технологии обработки $\phi 149H9$ как расчет припуска.

При расчете минимального припуска $Z_{i\min}$, согласно формулы [3]:

$$2Z_{i\min} = 2[(Rz_{i-1} + h_{i-1}) + \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}],$$

необходимо на операцию окончательной расточки учесть в пространственных отклонениях Δ_{i-1} на предыдущей операции погрешность, вносимую закалкой кольца и сборкой кольца с основанием и керном.

Расчет припусков для обработки отверстия в кольце сведем в таблицу 2. Все параметры, необходимые для расчета взяты из [3].

Анализ припусков по операциям предлагаемого маршрута обработки $\phi 149H9$ показывает, что на окончательную обработку этой поверхности необходим минимальный припуск 0,535 мм. Этот припуск больше чем на предварительную расточку этой поверхности. Такое, казалось бы, необычное увеличение припуска на чистовую обработку в сравнении с черновой, объясняется именно тем, что окончательной обработке предшествует сборка со сменой баз. И именно сборка ведет к значительной величине Δ_{i-1} , а значит и к большому значению припуска.

Таблица 2 – Исходные данные и результаты расчета припусков и операционных размеров поверхности $\phi 149H9$

N п\п	Маршрут обработки	Точность IT	Допуск T, мкм	Элементы припуска, мкм			
				Rz	h	Δ	ε
1	Прокат		+1900 -1900	300	400	44	
2	Растачивание черновое	12	400	40	50	2,7	800
3	Растачивание получистовое	10	160	20	25	222	0
4	Растачивание чистовое	9	100	20	20	8,9	0

Окончание табл. 2

N п\п	Маршрут обработки	Припуски, мкм			Размеры, мм	
		2Z _{min}	2Z _{max}	2Z _{ном}	d _{min}	d _{max}
1	Прокат	-	-	-	140,8	144,6
2	Растачивание черновое	3002	7202	6802	147,6	148
3	Растачивание получистовое	283	843	683	148,3	148,46
4	Растачивание чистовое	535	1035	695	149	149,1

Припуск на операцию окончательной расточки закаленной до $HRC_5=50$ поверхности кольца из стали 45 резцом из КНБ потребует двух или четырех проходов, т.к. рекомендуемая глубина резания такими резцами закаленных сталей не должна превышать 0,1...0,15 мм.

Таким образом, для достижения соосности наружной и внутренней поверхностей прессуемого шлифовального круга, разработаны предложения по совершенствованию конструкции пресс-формы и технологии ее изготовления с решением частной задачи расчета припуска и числа переходов на окончательную операцию расточки $\phi 149H9$.

Список использованных источников: 1. Решение о выдаче патента Российской Федерации по заявке №2013157178/02 от 15.12.2014г. 2. Решение о выдаче патента Российской Федерации по заявке №2013157176/02 от 15.12.2014г 3. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1985.-656с.

Bibliography (transliterated): 1. Reshenie o vyidache patenta Rossiyskoy federatsii po zayavke №2013157178/02 ot 15.12.2014g. 2. Reshenie o vyidache patenta Rossiyskoy federatsii po zayavke №2013157176/02 от 15.12.2014g 3. Spravochnik tehnologa-mashinostroityelya. V 2-h t. T.1 / Pod red. A.G. Kosilovoy i R.K. Mescheryakova. - 4-e izd., pererab. i dop. - M.: Mashinostroenie, 1985.-656s.

Поступила в редакцию 17.12.2014.

Р.И. Сулейманов, канд. пед. наук,
Д.У. Абдулгазис, канд. техн. наук., Симферополь

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ АНАЛОГОВ ЖИВОТНЫХ ЖИРОВ В КАЧЕСТВЕ СОТС ПРИ СВЕРЛЕНИИ И РАЗВЕРТЫВАНИИ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

У статті наведено результати експериментальних випробувань ефективності застосування синтетичних аналогів тваринних жирів в якості мастильно-охолоджувальних технологічних засобів при свердлінні і розгортанні заготовок із важкооброблюваних матеріалів. Підтверджено припущення про те, що внаслідок утворення нових хімічних сполук серед синтетичних аналогів тваринних жирів, за рахунок підвищеної охолоджувальної дії новоутворень знижується осьова сила і крутний момент, які прикладаються до свердла і розгортки.

В статье приведены результаты экспериментальных испытаний эффективности применения синтетических аналогов животных жиров в качестве СОТС при сверлении и развертывании заготовок из труднообрабатываемых материалов. Подтверждено предположение о том, что вследствие образования новых химических соединений среди синтетических аналогов животных жиров, за счет повышенного охлаждающего действия новообразований снижается осевая сила и крутящий момент, прикладываемые к сверлу и развертке.

Results of experimental tests on the effectiveness of application of synthetic analogues of animal fats as lubricant-cooling agents when drilling and reaming workpieces made of hard-to-work materials are presented. The assumption, that axial force and torque moment applied to drill and reamer are reduced due to the formation of new chemical compounds among synthetic analogues of animal fats, on account of increased cooling effect of new formations, is confirmed.

Современные смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС) представляют собой, как правило, сложные композиции, отвечающие комплексу требований к их технологическим и сопутствующим свойствам. Опыт передовых машиностроительных предприятий показывает, что рациональное применение СОТС позволяет до 4 раз повысить стойкость инструмента, на 20-60 % форсировать режимы резания, одновременно уменьшая энергетические затраты при механической обработке. В тоже время традиционно применяемые СОТС, являются одним из значительных загрязнителей окружающей среды.

Применение новых, эффективных, экологически безопасных СОТС позволяет резко улучшить качество обработки и санитарно-гигиенические

условия труда рабочих, а также в полной мере использовать широкие возможности современного автоматизированного оборудования и автоматических линий, особенно при обработке жаростойких, коррозионностойких и других труднообрабатываемых материалов. В последнее время наблюдается тенденция применения СОТС на основе синтезированных аналогов животных жиров (САЖЖ), однако их результативность, не достаточно изучена.

Цель статьи – показать влияние САЖЖ на результативность процессов сверления и развертывания при изготовлении деталей из труднообрабатываемых материалов.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- определены силы резания, и крутящий момент при сверлении отверстия в нержавеющей хромоникелевой стали аустенитного класса 12Х18Н10Т с подачей в качестве СОТС распыленной по технологии минимальной смазки (ТМС) САЖЖ;
- проведены замеры шероховатости поверхностей, полученных после операции сверления и развертывания

Резание труднообрабатываемых материалов сопровождается интенсивным износом инструмента. В процессе обработки рассматриваемая нержавеющая хромоникелевая сталь аустенитного класса 12Х18Н10Т склонна к упрочнению, и способна сохранять исходную прочность и твердость при повышенных температурах [1]. Это приводит к высоким удельным нагрузкам на контактные поверхности режущего инструмента [2]. Малая теплопроводность этого материала дополнительно повышает температуру в зоне резания и ведет к активации явлений адгезии и диффузии, интенсифицирует схватывание контактных поверхностей режущего инструмента.

Режимы резания при сверлении и развертывании заготовок из стали 12Х18Н10Т (НВ 140), подбирались согласно рекомендациям [3]. Скорость резания 4,8 м/мин при подаче 0,15 мм/об, была принята как минимально допустимая, поскольку, при дальнейшем повышении скорости резания, согласно [4] смазывающий эффект растительных масел (при температурах более 200 – 400°C) практически исчезает.

Экспериментальное сверление и развертывание осуществлялось последовательно: с подачей рапсового масла, минерального масла марки Shell Garia 404 и многокомпонентной СОТС на основе САЖЖ. В качестве режущего инструмента применялось сверло Ø8,5 мм и развертка Ø8,9 мм, из быстрорежущей стали Р6М5.

Геометрические параметры инструментов, при проведении экспериментов, соответствовали нормативным и оставались постоянными, что обуславливало правомочность сравнительного качественного анализа.

Измерение сил резания проводилось на радиально-сверлильном станке модели 2К522 с использованием универсального динамометра УДМ-600 и специально разработанного программного обеспечения для усилителя ЛИС-16С (рис. 1).

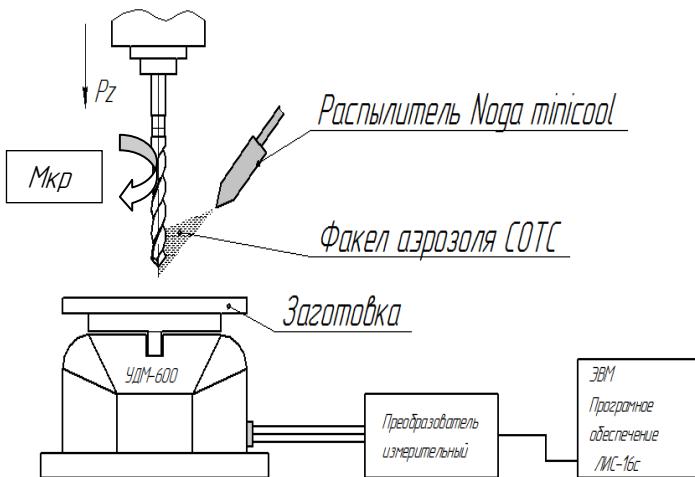


Рисунок 1 – Схема измерения осевой силы P_z и M_{kp}

Результаты пересчета, полученных данных по специальной компьютерной программе, указывают на то, что используемые технологические среды, подаваемые методом техники минимальной смазки (TMC), обуславливают снижение осевой силы P_z и крутящего момента M_{kp} (табл. 1).

Поскольку и в рапсовом масле, и в очищенном животном жире, присутствует поверхностно-активная функциональная группа, называемая сложноэфирной, то при их использовании согласно [5], возникают условия для протекания эффекта Ребиндера [5], чем объясняется, что очевидно снижение величины прикладываемой осевой силы и крутящего момента при выполнении операций сверления. Присутствие же в рапсовом масле определенного количества непредельных органических кислот, способных к взаимодействию с поверхностью металла при повышенных температурах, а также к внутримолекулярному и межмолекулярному взаимодействию в самом масле, приводит к заметному увеличению сил трения при операции сверления.

Таким образом, применение СОТС на основе САЖЖ показало свою значительную эффективность в сравнении с другими СОТС.

Таблица 1 – Сравнительный анализ применения различных СОТС

№ п/п	Подаваемые СОТС	Рапсовое масло	Минеральное масло	Синтезированный животный жир
	Показатели СОТС			
1	Тип соединений	Триглицериды непредельных карбоновых кислот	Предельные углеводороды	Триглицериды предельных карбоновых кислот
2	Функциональная группа	сложно-эфирная	отсутствует	сложноэфирная
3	Сила $P_z, \text{Н}$	152,3	173,5	142,8
4	Крутящий момент $M_{kp}, \text{Н}$	7,08	7,27	6,17

Результаты измерения шероховатости (R_a), отверстий после сверления и развертывания, проведенных с помощью портативного профилометра TR 200 на предварительно разрезанных вдоль оси отверстий образцах, представлены в табл. 2.

На основании полученных результатов построен график шероховатости поверхностей при сверлении и развертывании, в зависимости от используемых СОТС (рис. 2).

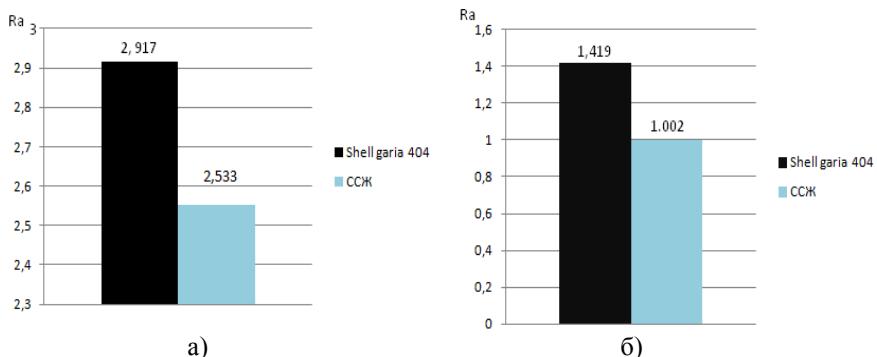


Рисунок 2 – График шероховатостей поверхности отверстий после сверления (а) и развертывания (б) при подаче минерального масла фирмы Shell Garia 404 и СЖЖ методом ТМС

Таблица 2 – Результаты измерения шероховатости поверхности отверстий (L=15мм)

Подаваемая СОТС	Операции		R _a , мкм
Минеральное масло марки «Garia 404» фирмы Shell	Сверление		2,917
	Развертывание		1.419
Синтезированный животный жир (СЖЖ)	Сверление		2.553
	Развертывание		1.002

Выводы:

Результаты экспериментальных исследований подтверждают наше предположение о том, что вследствие образования новых химических соединений в среде САЖЖ, за счет повышенного смазывающего и охлаждающего действия, новообразований, снижение износа сверла и развертки по задней поверхности проходит более эффективно, по сравнению с остальными технологическими средами. Дозированная подача с помощью ТМС САЖЖ в зону резания способствует снижению работы трения и температуры резания, а также уменьшает длину и время контакта инструмента со стружкой, что положительно влияет на качество получаемой поверхности.

Список использованных источников: 1. Кузьмин Б.А. Технология металлов и конструкционных материалов / Б.А. Кузьмин. – М.: Машиностроение, 1989. – 344 с. 2. Мухитдинов Н.Ш. Исследование обрабатываемости нержавеющей стали 12Х18Н10Т и титанового сплава ВТ 22 на основе энергетических соотношений: Дис... канд. техн. наук: 05.03.01. – Ташкент-Томск, ТПИ. – 1981. – 116 с. 3. Нефедов Н.А. Сборник задач по резанию металлов и режущему инструменту /

Н.А. Нefедов, К.А. Осипов. – М.: Машиностроение, 1990. – 422. с. **4.** Выбор смазывающе-охлаждающих технологических средств (СОТС) при обработке материалов резанием. Учебное пособие – Кемерово: КузГТУ, 2004.- 85 с. **5.** Ребиндер П.А. Поверхностные явления в твердых телах в процессе их деформации и разрушения [Успех физических наук] / П.А. Ребиндер, Е.Д. Щукин. Т. 108. – Вып.1, 1972. – С. 3-41

Bibliography (transliterated): **1.** Kuz'min B.A. Tehnologija metallov i konstrukcionnyh materialov / B.A. Kuz'min. – M.: Mashinostroenie, 1989. – 344 s. **2.** Muhitdinov N.Sh. Issledovanie obrabatyvaemosti nerzhavejushhej stali 12H18N10T i titanovogo splava VT 22 na osnove jenergeticheskikh sootnoshenij: Dis... kand. tehn. nauk: 05.03.01. – Tashkent-Tomsk, TPI. – 1981. – 116 s. **3.** Nefedov N.A. Sbornik zadach po rezaniju metallov i rezhushchemu instrumentu / N.A. Nefedov, K.A. Osipov. – M.: Mashinostroenie, 1990. – 422. s. **4.** Vybor smazyvajushche-ohlazhdajushhih tehnologicheskikh sredstv (SOTS) pri obrabotke materialov rezaniem. Uchebnoe posobie – Kemerovo: KuzGTU, 2004.- 85 s. **5.** Rebinder P.A. Poverhnostnye javleniya v tverdyh telah v processe ih deformacii i razrushenija [Uspeh fizicheskikh nauk] / P.A. Rebinder, E.D. Shhukin. T. 108. – Vyp.1, 1972. – S. 3-41

Поступила в редакцию 19.08.2014

УДК 621.225

М.В. Черкашенко, д-р техн. наук; К.А. Полушкин, Харьков, Украина

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СТАНКОМ ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО МАРКИРОВАНИЯ

Зроблений формалізований опис роботи пневматичної системи управління верстатом для електрохімічної маркіровки виробів. Детально розглянутий структурний синтез – етап логічного проектування після складання формалізованого опису. Пропонується пневматична схема управління верстатом для електрохімічної маркіровки виробів, що дозволяє перенастроювати верстат при маркіровці різних типорозмірів виробів.

Сделано формализованное описание работы пневматической системы управления станком для электрохимического маркирования изделий. Подробно рассмотрен структурный синтез – этап логического проектирования после составления формализованного описания. Предлагается пневматическая схема управления станком для электрохимического маркирования изделий, позволяющая перенастраивать станок при маркировании различных типоразмеров изделий.

The formalized description of the pneumatic control system operation of a machine-tool for electrochemical marking of products is done. The structural synthesis that is the stage of logical planning after the formalized description is discussed. The pneumatic control scheme of a machine-tool for electrochemical marking of products that allows to retune the machine-tool in the time of marking of different dimension types of products is offered.

Введение. Электрохимическая маркировка (гравировка) эффективна для нанесения на металлическую поверхность графических изображений или буквенно-цифровых строк, когда маркировка должна быть постоянной. Условие, необходимое для применения этого вида маркировки, – проводимость маркируемого материала.

Применяемый для стального инструмента электрохимический метод нанесения информации отвечает всем требованиям отечественных и зарубежных стандартов и не создает препятствий для поставки изделий машиностроения на международный рынок, что соответствует современным тенденциям развития промышленности.

Станок для электрохимического маркирования изделий относится к области электрофизических и электрохимических методов обработки, в частности к электрохимическому маркированию деталей.

Известно устройство для электрохимического маркирования подвижным электродом-инструментом изделий, базируемых на столе, в котором выполнено окно, эквидистантное электроду-инструменту, под которым

расположена ванна с электролитом, смачивающим рабочую поверхность электрода-инструмента в момент смены маркируемых изделий [1]. Недостатками этого устройства являются отсутствие механизации и автоматизации процесса клеймения и возможности перенастройки станка при маркировании различных типоразмеров изделия по оси их симметрии.

Исходные данные к проектированию пневматической системы управления станком для электрохимического маркирования. Исполнительными устройствами (ИУ) станка [2] служат пневматические цилиндры Ц₁ – Ц₄ (выходы Z₁ – Z₄). Для связи с электрической частью станка служат электропневмопреобразователи (выход x₇ и x₈) и пневмоэлектропреобразователь Z₅. Электропневмопреобразователь x₇ сигнализирует об окончании операции клеймения детали, а x₈ – включает станок в автоматическом режиме.

Цилиндр Ц₁ служит для подачи заготовки на позицию захвата, исходное положение которой контролируется конечным выключателем (ВК) x₁, конечное – ВК x₂. Цилиндр Ц₂ осуществляет поворот ротора, исходное положение которой контролируется ВК x₃, а конечное – ВК x₄. Цилиндр Ц₃ опускает-поднимает ротор, исходное положение контролируется ВК x₅, а конечное – ВК x₆.

Пневмоэлектропреобразователь Z₅ служит для осуществления операции клеймения детали, об окончании этой операции сигнализирует электропневмопреобразователь x₇.

Станок имеет два режима работы – автоматический и наладочный. Каждый цикл в автоматическом режиме начинается после возвращения ИУ в исходное положение, контролируемое ВК x₁ = 1, ВК x₃ = 1, ВК x₅ = 1 и по сигналу x₈ = 1 цилиндр Ц₁ осуществляет подачу детали на позицию захвата. В конце хода Ц₁ воздействует на ВК x₂ и по сигналу x₂ = 1 происходит возврат пневмопривода подачи детали в исходное положение $\bar{Z}_1 = 1$, а также поворот ротора Ц₂ ($Z_2 = 1$). Цилиндр Ц₂ в конечном положении поворота воздействует на ВК x₄ и по сигналу x₄ = 1 происходит опускание ротора Ц₃ ($Z_3 = 1$), а также возврат Ц₂ (поворот ротора) в исходное положение $\bar{Z}_2 = 1$.

При наличии сигнала от ВК x₆ = 1 происходит подача электролита в зону клеймения ($Z_4 = 1$) и клеймение детали ($Z_5 = 1$). Далее включение электропневмопреобразователя x₇ = 1 сигнализирует об окончании операции клеймения $\bar{Z}_5 = 1$ и прекращается подача электролита в зону клеймения $\bar{Z}_4 = 1$, а также осуществляется подъем ротора $\bar{Z}_3 = 1$. Таким образом, все ИУ находятся в исходном положении и при наличии сигнала x₈ = 1 цикл начинается сначала.

Назначение исполнительных устройств, а также их взаимодействие с входными устройствами показаны в табл. 1.

Таблиця 1 – Взаимодействие входных сигналов и исполнительных устройств

Выходные сигналы		Входные сигналы			
Обозн а- чение	Наименование	Автоматический режим		Наладка	
		Исходное положение	Конечное положение	Включение	Отключение
Z_1	Подача на позицию захвата	x_1	x_2	x''_{11}	$\overline{x''_{11}}$
Z_2	Поворот ротора	x_3	x_4	x''_{21}	$\overline{x''_{21}}$
Z_3	Опускание-подъем ротора	x_5	x_6	x''_{31}	$\overline{x''_{31}}$
Z_4	Подача электролита в зону клеймения	–	–	x''_{41}	$\overline{x''_{41}}$
Z_5	Клеймение детали	–	x_7	–	–

Структурная организация системы гидро- и пневмоприводов [3] (см. рис. 1) базируется на симбиозе агрегатного и элементного подходов к структурному синтезу.

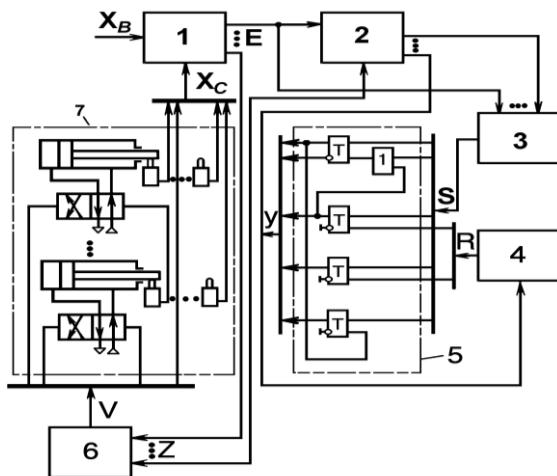


Рисунок 1 – Структурная организация системы гидро- и пневмоприводов

Эта структура позволяет свести к минимуму число элементов блока памяти (ЭП), а также количество логических элементов, необходимых для реализации схемы.

Множество входных сигналов управляющего автомата (УА) X состоит из подмножества сигналов X_c выходов узлов U , а также из подмножества X_e влияния от органов ручного управления. Во входном блоке формируется множество условий E , состоящее из подмножеств Q и T . Каждое условие из подмножества Q функционально зависит от сигналов из множества X , которые определяют соответствующий переход в реализуемом технологическом процессе, и описывается конъюнкцией входных переменных УА, принимающих единичное значение на данном наборе. Каждое условие из подмножества T зависит не только от указанных выше сигналов, которые вызывают переходы, но и от дополнительных сигналов из подмножества X_c . Набор входных сигналов УА, при котором принимает единичное значение условие из подмножества T , дальше называем удлиненным набором. Рассмотрим такие удлиненные наборы T , которые дополнены минимальным числом переменных.

Блок памяти 5 включает в себя командоаппарат, содержащий последовательно соединенные ЭП (триггеры с раздельными входами); каждый предшествующий ЭП выключается сигналом с выхода следующего (следующим за последним ЭП считается первый). В командоаппарате используется один выход ЭП. Исключение составляет случай, если УА содержит два внутренних состояния, а блок памяти содержит один ЭП и при этом используются два его инверсных выхода.

Блок совпадений 1 служит для формирования множества V условий, любое из которых функционально зависит от удлиненных некоторыми сигналами из множества Y условий из E .

Блок разделений включений 3 содержит элементы \vee и используется при включении одного ЭП разными наборами из множества U для разных программ работы УА.

Блок разделений включений 4 содержит элементы \vee и используется в случае нескольких программ работы УА, которые приводят к появлению различного числа внутренних состояний для каждой программы.

Выходной блок 6 содержит элементы \vee , а также пневмо- или гидрораспределители (часто с двусторонним управлением), которые посыпают рабочую жидкость в исполнительные устройства 7.

В рассмотренной структуре, в отличие от стандартной позиционной структуры, сигналы от входного блока совпадений 1 или от блока совпадений 2 подаются непосредственно в выходной блок разделений 6, тогда как в стандартной структуре в выходной блок подаются сигналы от блока памяти. Это дает возможность использовать две особенности агрегатного и элементного подходов к проектированию систем приводов с УА:

командааппаратный принцип выполнения блока памяти (из агрегатного подхода) и удлинение наборов, которые вызывают переходы (из элементного подхода), с дальнейшим синтезированием минимального блока памяти и формального удлинения наборов, вызывающих переходы.

Формализация описания работы систем гидро- или пневмоприводов технологического объекта позволяет перейти от словесного описания работы системы к математическому описанию, необходимому для осуществления структурного синтеза логической схемы системы управления (СУ).

Формализованное описание схемы представляется в виде графа операций (рис. 2) [4,5].

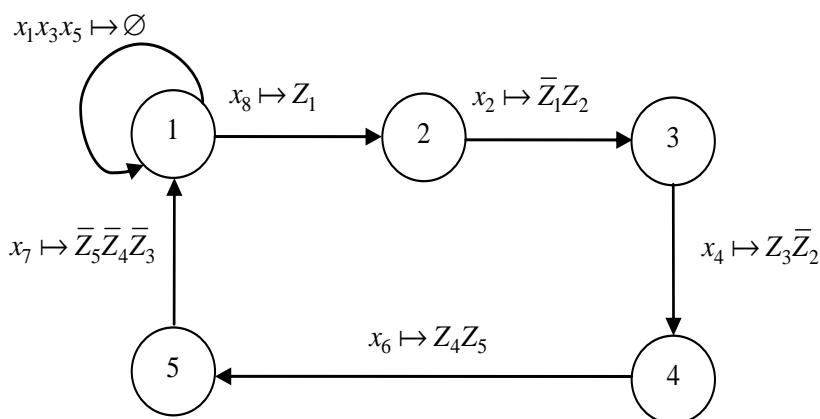


Рисунок 2 – Граф операций

Минимизация системы управления [6]. Следующим этапом логического проектирования после составления формализованного описания есть не менее важный – структурный синтез.

Структурная схема для синтеза схемы выбрана следующая [6,7].

Выбор метода структурного синтеза определяется многими факторами, например, сложностью структуры, быстродействием схемы и т.д.

Проведем анализ входной последовательности сигналов на содержание одинаковых входных наборов. Входная последовательность выглядит следующим образом: $\pi = \{x_1x_3x_5, x_1x_3x_5x_8, x_2x_3x_5, x_1x_4x_5, x_1x_3x_6, x_1x_3x_6x_7\}$ и не содержит одинаковых входных наборов. Значит, разбиение на блоки и, следовательно, элементы памяти не требуются.

Далее переходим к минимизации логических уравнений на основании матрицы соответствий (МС) [6]. Составим матрицу соответствий с полными входными наборами (табл. 2).

Таблица 2 – Матрица соответствий для автоматического режима работы

	x_8	x_2	x_4	$x_6\bar{x}_7$	x_7	
$x_1x_3x_5$	0	0	0	0	0	\emptyset
$x_1x_3x_5x_8$	1	0	0	0	0	Z_1
$x_2x_3x_5$	0	1	0	0	0	\bar{Z}_1Z_2
$x_1x_4x_5$	0	0	1	0	0	$Z_3\bar{Z}_2$
$x_1x_3x_6$	0	0	0	1	0	Z_4Z_5
$x_1x_3x_6x_7$	0	0	0	(1)	1	$\bar{Z}_5\bar{Z}_4\bar{Z}_3$

Здесь столбцы отвечают сигналам, вызывающим переходы УА, а строки – входным наборам. На пересечении строки i и столбца j элемент МС $r_{ij} = 1$, если все входные сигналы УА, отвечающие столбцу j , входят во входной набор УА, который отвечает строке i ; $r_{ij} = 0$ – в остальных случаях. Жирными единицами отмечены переходы, остальные единицы не вызывают несвоевременное переключение ИУ.

Логические уравнения включения ИУ и ЭП получаем в сборках логических выражений, записанных сверху МС для соответствующего жирной единице МС выхода.

Окончательно имеем простую систему логических уравнений:

$$Z_1 = x_8; \bar{Z}_1 = Z_2 = x_2; \bar{Z}_2 = Z_3 = x_4; Z_4 = Z_5 = x_6\bar{x}_7; \bar{Z}_3 = \bar{Z}_4 = \bar{Z}_5 = x_7,$$

которая не требует использования дополнительных методов, а реализуется непосредственно стандартными приемами (см. рис. 3) [8].

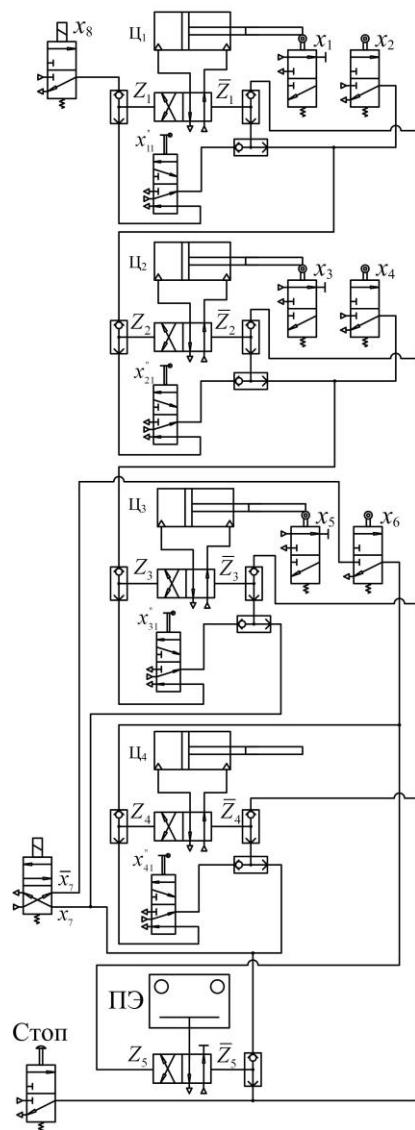


Рисунок 3 – Схема управління станком для електрохіміческого маркування

Выводы. Благодаря тому, что устройство перенастройки пневматически связано посредством общего шарнира с приводом механизма подачи и с панелью конечных выключателей, значительно упростится процесс перенастройки станка при маркировании различных типоразмеров изделий по продольной оси их симметрии, что дает возможность использовать для обслуживания станка рабочих более низкой квалификации, а также уменьшить простой станка, связанные с наладкой.

Список использованных источников: 1. А.с. 1041255 СССР, МКИЗ В 23 Р 1/04. Устройство для электрохимического маркирования [Текст] / Н.Н. Едемский, Г.П. Смоленцев, В.П. Смоленцев (СССР). – № 3364409/25-08; заявл. 16.12.81; опубл. 15.09.83, Бюл. № 34. – 3 с. 2. Системы пневмоавтоматики в станкостроении [Текст] / А.И. Кудрявцев, Ю.И. Келлерман, М.В. Черкашенко [и др.]. – М.: НИИМаш, 1977. – 84 с. 3. А.с. 1166064 СССР, МПК4 G 05 B 19/40. Устройство микрокоманд для систем пневмо- и гидроприводов [Текст] / М.В. Черкашенко [и др.] (СССР). – № 3632972/24-24; заявл. 30.05.83; опубл. 07.07.85, Бюл. № 25. – 3 с. 4. Юдицкий, С.А. Проектирование дискретных систем автоматики [Текст] / С.А. Юдицкий, А.А. Тагаевская, Т.К. Ефремова. – М.: Машиностроение, 1980. – 232 с. 5. Cherkashenko, M. Synthesis of schemes of hydraulic and pneumatic automation [Text] / M.Cherkashenko // International Fluid Power Symposium. – Aachen, Germany, March 20-22, 2006. – Fundamentals. The report N 1. – P. 147-154. 6. Черкашенко, М.В. Метод логического проектирования дискретных систем управления машинавтоматов с пневмо- или гидроприводом [Текст] / М.В. Черкашенко // Пневматика и гидравлика. Приводы и системы управления. – М.: Машиностроение, 1981. – Вып. 8. – С. 181-189. 7. Черкашенко, М.В. Синтез минимальных схем гидропневмоагрегатов [Текст] / М.В. Черкашенко. – М.: Пневмогидромашины, 2013. – 265 с. 8. Черкашенко, М.В. Универсальные устройства для построения пневмосхем управления промышленных роботов и машин-автоматов [Текст] / М.В. Черкашенко // Вестник машиностроения. – 1985. – № 2. – С. 31-33.

Bibliography (transliterated): 1. А.с. 1041255 SSSR, MKIZ V 23 R 1/04. Ustrojstvo dlja elektrokhimicheskogo markirovaniija [Tekst] / H.H. Edemskij, G.P. Smolencev, V.P. Smolencev (SSSR). – № 3364409/25-08; zayavlj. 16.12.81; opubl. 15.09.83, Bjul. № 34. – 3 s. 2. Sistemy pnevmoavtomatiki v stankostroenii [Tekst] / A.I. Kudrjavcev, Ju.I. Kellerman, M.V. Cherkashenko [i dr.]. – M.: NIIMash, 1977. – 84 s. 3. A.s. 1166064 SSSR, MPK4 G 05 B 19/40. Ustrojstvo mikrokomand dlja sistem pnevmo- i gidropриводов [Tekst] / M.V. Cherkashenko [i dr.] (SSSR). – № 3632972/24-24; zayavlj. 30.05.83; opubl. 07.07.85, Bjul. № 25. – 3 s. 4. Judickij, S.A. Proektirovanie diskretnyh sistem avtomatiki [Tekst] / S.A. Judickij, A.A. Tagaevskaja, T.K. Efremova. – M.: Mashinostroenie, 1980. – 232 s. 5. Cherkashenko, M. Synthesis of schemes of hydraulic and pneumatic automation [Text] / M.Cherkashenko // International Fluid Power Symposium. – Aachen, Germany, March 20-22, 2006. – Fundamentals. The report N 1. – P. 147-154. 6. Cherkashenko, M.V. Metod logicheskogo proektirovaniija diskretnyh sistem upravlenija mashin-avtomatov s pnevmo- ili gidropривodom [Tekst] / M.V. Cherkashenko // Pnevmatika i gidravlika. Privody i sistemy upravlenija. – M.: Mashinostroenie, 1981. – Vyp. 8. – S. 181-189. 7. Cherkashenko, M.V. Sintez minimal'nyh schem gidropnevmoagregatov [Tekst] / M.V. Cherkashenko. – M.: Pnevmodromashiny, 2013. – 265 s. 8. Cherkashenko, M.V. Universal'nye ustrojstva dlja postroeniya pnevmoshem upravlenija promyshlennyh robotov i mashin-avtomatov [Tekst] / M.V. Cherkashenko // Vestnik mashinostroeniija. – 1985. – № 2. – S. 31-33.

Поступила в редакцию 14.11.2013.

В.Г. Шкурупий, канд. техн. наук, Харьков, Украина

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИЗНОСА ЗЕРЕН НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ АБРАЗИВНОМ ПОЛИРОВАНИИ

Наведене теоретичне рішення щодо визначення параметрів шорсткості поверхні при абразивному поліруванні з фіксованим радіальним зусиллям і з урахуванням зносу абразивних зерен. Встановлено значний вплив на величину шорсткості поверхні в процесі обробки площинок зносу, які утворюються на абразивних зернах, що є важливим чинником зменшення шорсткості поверхні. Чисельні розрахунки параметра шорсткості поверхні підтвердили достовірність отриманого теоретичного рішення.

Приведено теоретическое решение по определению параметров шероховатости поверхности при абразивном полировании с фиксированным радиальным усилием и с учетом износа абразивных зерен. Установлено значительное влияние на величину шероховатости поверхности образующихся в процессе обработки на абразивных зернах площадок износа, что является важным фактором уменьшения шероховатости поверхности. Численные расчеты параметра шероховатости поверхности R_a подтвердили достоверность полученного теоретического решения.

A theoretical solution for the characterization of surface roughness in abrasive polishing with a fixed radial force and taking into account the wear of abrasive grains. A considerable influence on the value of surface roughness formed during the processing by the abrasive grains of wear pads, which is an important factor in reducing the surface roughness. Numerical calculations of the roughness parameter confirmed the accuracy of the obtained theoretical solutions.

Введение. Абразивное полирование является эффективным методом финишной обработки деталей машин, обеспечивающим сглаживание микронеровностей на обрабатываемых поверхностях, образованных на предыдущих операциях шлифования и лезвийной обработки, и получение высоких показателей шероховатости поверхности. Вместе с тем, технологические возможности абразивного полирования при обработке материалов с повышенными физико-механическими свойствами используются не в полной мере, что затрудняет, в частности, создание поверхностей деталей с высокой светоотражательной способностью (зеркала лазерных установок, которые изготавливаются из меди и ее сплавов, молибдена, бериллиевых и других сплавов с обеспечением высокой отражательной способности поверхностей). Поэтому расширение технологических возможностей абразивного полирования с точки зрения существенного снижения шероховатости обрабатываемых поверхностей является актуальной задачей технологии машиностроения.

Анализ основных достижений и литературы. В отличие от процессов шлифования, вопросам формообразования поверхностей и съема металла при абразивном полировании в научно-технической литературе уделено значительно меньше внимания. В известных работах [1 – 3] вопросы снижения шероховатости поверхности при абразивном полировании рассматриваются, как правило, на основе анализа результатов экспериментальных исследований. Формализованная математическая теория формообразования поверхностей и съема металла при абразивном полировании в настоящее время отсутствует, что ограничивает возможности поиска оптимальных условий обработки, позволяющих существенно уменьшить шероховатость поверхности. В связи с этим представляется важным решение задачи аналитического описания шероховатости поверхности при абразивном полировании с позиции теории вероятностей с учетом реальной геометрической формы абразивных зерен, т.е. с учетом образующихся на них площадок износа. Научной предпосылкой решения данной задачи следует рассматривать теоретический подход к определению параметров шероховатости поверхности, предложенный в работе [4].

Цель исследования, постановка задачи. Целью исследования является теоретическое обоснование условий существенного уменьшения шероховатости обрабатываемых поверхностей при абразивном полировании с учетом оценки влияния износа зерен на шероховатость поверхности. В связи с этим поставлена задача на основе теоретических решений, приведенных в работе [4], определить влияние на шероховатость поверхности образующихся в процессе обработки на абразивных зернах площадок износа. Необходимо отметить, что в работе [5] произведена такая оценка применительно к процессу шлифования. Однако процесс абразивного полирования отличается от процесса шлифования и поэтому использование полученных решений при полировании затруднено. Необходимо получить новые решения.

Материалы исследований. В работе [4] установлено, что функция, описывающая вероятность неудаленного металла с поверхности обрабатываемого образца, т.е. определяющая долю оставшегося на обрабатываемой поверхности металла в виде микронеровностей, имеет вид:

$$\Phi(y) = e^{-\frac{2 \cdot tg \gamma \cdot n}{B} \cdot y}, \quad (1)$$

где 2γ – угол при вершине конусообразной части режущего зерна; n – количество абразивных зерен, участвующих в процессе резания; B – ширина образца, м; y – координата, отсчитываемая от вершины режущего зерна, м.

Учитывая значительное влияние геометрической формы абразивных зерен на шероховатость обработанной поверхности, оценим роль образующихся в процессе обработки площадок износа на зернах на

закономерности формирования шероховатости поверхности. Для этого в зависимости (1) вместо величины y будем рассматривать величину $(x+2 \cdot tg\gamma \cdot y)$, где x – длина площадки износа на абразивном зерне, м. Тогда зависимость (1) примет вид:

$$\Phi(y) = e^{-\frac{(x+2tg\gamma \cdot y)n}{B}}. \quad (2)$$

С учетом перемещения обрабатываемого образца в радиальном направлении со скоростью радиальной подачи S_{pad} , закономерности формирования шероховатости обрабатываемой поверхности можно аналитически описать с использованием суммарной вероятностной функции $\Phi(y)$, образованной элементарными функциями $\Phi_i(y)$, описываемыми зависимостью (2) с позиции теории вероятностей:

$$\Phi(y) = \prod_{i=1}^n \Phi_i(y) = e^{-\frac{n}{B \cdot R_{max}} \int_0^y [x+2tg\gamma \cdot (y-y_i)] dy_i} = e^{-\frac{n \cdot y}{B \cdot R_{max}} (x+tg\gamma \cdot y)}, \quad (3)$$

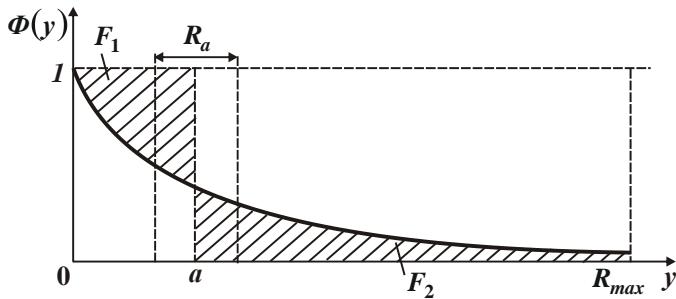
где $dn_i = n \cdot f(y_i) \cdot dy_i$; n – общее количество абразивных зерен, которые проконтактировали с обрабатываемым образцом за время его перемещения со скоростью S_{pad} в вертикальном направлении на величину R_{max} , равную максимальной высоте микронеровностей обрабатываемой поверхности:

$$n = k \cdot B \cdot V_{instp} \cdot \tau = k \cdot B \cdot V_{instp} \cdot \frac{R_{max}}{S_{pad}}; \quad (4)$$

k – поверхностная концентрация зерен на рабочей поверхности инструмента, шт./ m^2 ; B – ширина образца, м; V_{instp} – скорость перемещения инструмента, м/с; $\tau = R_{max} / S_{pad}$ – время обработки, с; $f(y_i) = 1 / R_{max}$ – плотность распределения высот вершин зерен, которые проконтактировали с обрабатываемым образцом и оставили на нем свои проекции.

Положение средней линии микропрофиля обработанной поверхности $y=a$ (рис. 1) определяется из условия равенства площадей F_1 и F_2 . В этом случае наибольшая впадина микропрофиля соответствует значению $y=0$, а наибольший выступ микропрофиля соответствует значению $y=R_{max}$. Тогда

$$a = \int_0^{R_{max}} \Phi(y) \cdot dy = \int_0^{R_{max}} e^{-\frac{n}{B \cdot R_{max}} \cdot (x \cdot y + tg\gamma \cdot y^2)} \cdot dy. \quad (5)$$

Рисунок 1 – Расчетная схема параметра шероховатости поверхности R_a

Аналитически вычислить данный интеграл не представляется возможным, поэтому необходимо использовать численные расчеты. Однако они ограничивают возможности проведения общего теоретического анализа полученного решения. В связи с этим, подинтегральную функцию следует упростить, например, с учетом того, что вследствие значительных площадок износа, образующихся на абразивных зернах, второе слагаемое будет меньше первого и им можно пренебречь. Тогда зависимости (3) и (5) примут вид:

$$\Phi(y) = e^{-\frac{n \cdot x \cdot y}{B \cdot R_{max}}}; \quad (6)$$

$$a = \int_0^{R_{max}} e^{-\frac{n \cdot x \cdot y}{B \cdot R_{max}}} \cdot dy = \frac{B \cdot R_{max}}{n \cdot x} \cdot \left(1 - e^{-\frac{n \cdot x}{B}} \right). \quad (7)$$

При условии $n \cdot x > B$, что имеет место в реальном процессе абразивного полирования, второе слагаемое зависимости (7) будет меньше первого слагаемого и поэтому им можно пренебречь. Тогда зависимость (7) упростится:

$$a = \frac{B \cdot R_{max}}{n \cdot x}. \quad (8)$$

Учитывая, что количество абразивных зерен, участвующих в процессе обработки, определяется зависимостью (4), зависимость (8) преобразуется:

$$a = \frac{S_{pa\delta}}{k \cdot V_{u\text{истр}} \cdot x}. \quad (9)$$

Как видно, положение средней линии микропрофиля обработанной поверхности $y = a$ определяется четырьмя параметрами: чем больше S_{pad} и меньше k , V_{instr} , x , тем больше параметр a .

В случае обработки с фиксированным радиальным усилием P_y , что типично для процесса абразивного полирования, скорость радиальной подачи S_{pad} определяется зависимостью [6]:

$$S_{pad} = \frac{K_{pes} \cdot P_y \cdot V_{instr}}{\sigma \cdot F}. \quad (10)$$

где $K_{pes} = P_z / P_y$ – коэффициент резания; P_z , P_y – тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н; σ – условное напряжение резания, Н/м²; F – фактическая площадь контакта обрабатываемого образца с инструментом, м².

Подставляя зависимость (10) в зависимость (9), получено:

$$a = \frac{K_{pes} \cdot P_y}{\sigma \cdot F \cdot k \cdot x}. \quad (11)$$

Параметр a тем меньше, чем больше отношение σ / K_{pes} , параметры F , k , x и меньше P_y .

Параметр шероховатости поверхности R_a , исходя из рис. 1, в общем виде определяется зависимостью:

$$R_a = 2 \cdot F_2 = 2 \cdot \int_a^{R_{max}} \Phi(y) \cdot dy. \quad (12)$$

Подставляя в нее зависимость (6), получено

$$R_a = 2 \cdot \int_a^{R_{max}} e^{-\frac{n \cdot x \cdot y}{B \cdot R_{max}}} \cdot dy = \frac{2 \cdot B \cdot R_{max}}{n \cdot x} \cdot \left(e^{-\frac{n \cdot x}{B} \frac{a}{R_{max}}} - e^{-\frac{n \cdot x}{B}} \right). \quad (13)$$

Поскольку второе слагаемое зависимости меньше первого слагаемого, то для упрощения анализа в первом приближении можно пренебречь, тогда зависимость (13) опишется:

$$R_a = \frac{2 \cdot B \cdot R_{max}}{n \cdot x} \cdot e^{-\frac{n \cdot x}{B} \frac{a}{R_{max}}}. \quad (14)$$

С учетом зависимостей (9) и (4) имеем

$$R_a = \frac{0,735 \cdot S_{pad}}{k \cdot V_{инстр} \cdot x}. \quad (15)$$

Сравнивая зависимости (9) и (15), установлено соотношение между параметрами a и R_a :

$$R_a = 0,735 \cdot a. \quad (16)$$

Как видно, параметр R_a меньше параметра a , что свидетельствует о правильности выполненных расчетов. Подставляя в зависимость (15) исходные данные параметров S_{pad} , k , $V_{инстр}$ и x , можно определить параметр шероховатости поверхности R_a . Например, для исходных данных: $S_{pad} = 0,3$ мм/мин, $k = 10$ шт./мм²; $V_{инстр} = 60$ м/мин; $x = 0,01$ мм, рассчитанное по зависимости (15) значение $R_a = 0,036$ мкм. Этим показано, что наличие площадок износа на зернах приводит к существенному уменьшению параметра шероховатости поверхности R_a . Следовательно, применение сферических и овализованных абразивных зерен следует рассматривать существенным фактором сглаживания микронеровностей на обрабатываемой поверхности образца в процессе абразивного полирования.

При обработке с фиксированным радиальным усилием P_y зависимость (15) с учетом зависимости (10) примет вид:

$$R_a = \frac{0,735 \cdot K_{pez} \cdot P_y}{\sigma \cdot F \cdot k \cdot x}. \quad (17)$$

В этом случае образование площадок износа на зернах приводит к уменьшению параметра шероховатости поверхности R_a по двум каналам: за счет увеличения длины площадки износа на зерне x и за счет увеличения отношения σ/K_{pez} , т.к. резание притупленными абразивными зернами, как известно, характеризуется повышенной силовой напряженностью процесса резания и соответственно увеличением условного напряжения резания σ . Из этого вытекает, что для выполнения требований по шероховатости поверхности необходимо увеличивать параметры x и σ , тогда как общеизвестно, что для обеспечения высокопроизводительной обработки необходимо эти параметры уменьшать. Следовательно, требования к назначению параметров x и σ по обеспечению наименьшей шероховатости

и наибольшей производительности обработки должны быть противоположными.

Выводы. В работе получено теоретическое решение по определению параметров шероховатости обрабатываемой поверхности при абразивном полировании с учетом износа абразивных зерен. Установлено значительное влияние на величину шероховатости поверхности образующихся в процессе обработки на абразивных зернах площадок износа, что является важным фактором уменьшения шероховатости поверхности. Показано, что полученное решение справедливо для абразивного полирования как с фиксированной скоростью радиальной подачи, так и с фиксированным радиальным усилием. Приведенные численные расчеты параметра шероховатости поверхности R_a указывают на достоверность полученного теоретического решения.

Список использованных источников: 1. Кедров С.М. Средства повышения производительности доводки металлов / С.М. Кедров // Станки и инструмент, 1987. – №6. – С. 10-13. 2. Гребенников И. В. Роль химии в процессе полирования / И. В. Гребенников // Качество поверхности деталей машин: Сб. статей Всесоюзного научно-технического семинара. – М., 1957. – С.17-18. 3. Isaev A.I. Влияние температуры шлифования на изменение свойств поверхностного слоя деталей / A.I. Isaev, S.S. Silin // Труды МАТИ, 1969. – Вып. 38. – С 32-36. 4. Новиков Ф.В. Исследования шероховатости поверхности при алмазно-абразивной обработке методами теории вероятностей / Ф.В. Новиков, В.Г. Шкурупий // Вісник НТУ "ХПІ". Збірник наукових праць. – Х.: НТУ "ХПІ". – 2004. – № 44. – С. 140-149. 5. Новиков Ф.В. Математична модель визначення шорсткості поверхні при абразивній обробці / Ф.В. Новіков, В.В. Нежебовський, В.Г. Шкурупій // Вісник НТУ "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Х.: НТУ "ХПІ". – 2013. – № 5 (979). – С. 199-210. 6. Новиков Ф.В. Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования: автореф. дис. на соискание научн. степени докт. техн. наук: спец. 05.03.01 “Процессы механической обработки, станки и инструменты” / Ф.В. Новиков. – Одесса, 1995. – 36 с.

Bibliography (transliterated): 1. Kedrov S.M. Sredstva povysheniya proizvoditelnosti dovodki metallov/ S. M. Kedrov // Stanki i instrument, 1987. – №6. – S. 10-13. 2. Grebenishkov I. V. Rol Khimii v protsesse polirovaniya / I.V. Grebenishkov // Kachestvo poverkhnosti detaley mashin: Sb. statey Vsesoyuznogo nauchno-tehnicheskogo seminara. – M., 1957. – S.17-18. 3. Isaev A.I. Vliyanie temperatury shlifovaniya na izmenenie svoystv poverkhnostnogo sloya detaley / A. I. Isaev, S. S. Silin // Trudy MATI, 1969. – Vyp. 38. – S. 32-36. 4. Novikov F.V. Issledovaniye sherokhovatosti poverkhnosti pri almazno-abrazivnoy obrabotke metodami teorii veroyatnostey / F.V. Novikov, V.G. Shkurupiy // Visnyk NTU "KhPI". Zbirnyk naukovykh prats. – Kh.: NTU "KhPI". – 2004. – № 44. – S. 140-149. 5. Novikov F.V. Matematichna model vyznachennya shorstkosti poverkhni pri abrazyvnii obrobtsi / F.V. Novikov, V.V. Nezhebovskiy, V.G. Shkurupiy // Visnyk NTU "KhPI". Zbirnyk naukovykh prats. Sepriya: Matematichne modeliavannya v tekhnitsi ta tekhnologiyakh. – Kh.: NTU "KhPI". – 2013. – № 5 (979). – S. 199-210. 6. Novikov F.V. Fizicheskie i kinematicheskie osnovy vysokoproizvoditel'nogo almaznogo shlifovaniya: avtoref. dis. na soiskanie nauchn. stepeni dokt. tekhn. nauk: spets. 05.03.01 “Protsessy mekhanicheskoy obrabotki, stanki i instrumenty” / F.V. Novikov. – Odessa, 1995. – 36 s.

Поступила в редакцию 23.10.2014

УДК 621.923

Э.Э. Ягъяев, канд. техн. наук, Симферополь

ОРГАНИЗАЦІЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕХНОЛОГІЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЧИСТОВОГО ШЛИФОВАННЯ

У статті розглянута структура системи моніторингу технологічного процесу шліфування на основі аналізу динаміки зміни вихідних перемінних і параметрів стану технологічної системи. Запропоновано алгоритм обробки інформаційних потоків і високоефективного управління на основі моніторингу процесом круглого зовнішнього шліфування.

В статье рассмотрена структура системы мониторинга технологического процесса шлифования на основе анализа динамики изменения выходных переменных и параметров состояния технологической системы. Предложен алгоритм обработки информационных потоков и высокоеффективного управления на основе мониторинга процессом круглого наружного шлифования.

The article describes the structure of the system of monitoring the process of grinding on the basis of analysis of the dynamics of change of the output variables and parameters of the state of the technological system. Proposed algorithm for processing of information flows and highly efficient management on the basis of the monitoring process round outer grinding.

Характеристикой современного машиностроительного производства является существенное повышение требований к качеству и точности изготовленных деталей. Что в свою очередь требует оснащения металлообрабатывающих станков высокоеффективными управляемыми приводами, специальными информационными системами и другими функциональными устройствами с улучшенными техническими характеристиками.

На операциях круглого наружного шлифования, которое является наиболее широко распространенным методом окончательной обработки, одним из направлений обеспечения качества изготовления деталей является применение системы мониторинга процесса резания и технологического оборудования.

Мониторинг технологического процесса, объединяет в себе диагностику, идентификацию, прогнозирование и управление состоянием технической системой на основе анализа полученной информации, а так же принятие решения о введении коррекции [1].

Существует множество методов, диагностики и управления обеспечивающих максимальную производительность обработки поверхности при требуемом качестве изготовления детали. Однако данные методы не

могут обеспечить полное использование возможностей оборудования с программным управлением, так как не полностью учитывают фактическое состояние технологической системы, или частично отражают изменение параметров системы с большим запаздыванием.

Мониторинг технологического процесса охватывает оборудование, процесс обработки и изготавливаемые детали (до и после обработки) [2].

Несмотря на значительный объем известных работ в области мониторинга, существующие методы не полностью учитывают особенности технологического процесса шлифования. Это связано с большим влиянием на производительность и качество параметров технологической системы, изменяющихся в процессе обработки.

Для построения эффективной системы мониторинга необходимо разработать научное обоснование технических решений и методологию системы и принципы ее функционирования.

При проектировании автоматизированных систем должны учитываться особенности операций обработки резанием [3]:

1. Металлорежущие системы работают в циклическом режиме, при обработке каждой новой заготовки система возвращается в состояние, близкое к начальному.

2. Наблюдается тесная связь выходных переменных с входными переменными, алгоритмом управления и параметрами технологической системы. Параметры качества детали зависят не только от условий выполнения заключительной части процесса, но и всего цикла обработки.

3. На процесс обработки оказывает воздействие большое число возмущающих факторов, что нарушает функциональные связи выходных переменных с входными, а также параметрами технологической системы.

4. В процессе резания изменяются не только параметры обрабатываемой детали, но и технологической системы. При обработке каждой новой заготовки система приобретает новое исходное состояние.

Как правило, учитываются первые три особенности операций обработки резанием и недостаточно внимания уделяется четвертой особенности. Изменения же параметров состояния системы могут быть столь значительны, что при обработке некоторой j-й заготовки она становится не в состоянии выполнять свое служебное назначение и требует реставрации или замены.

Исследования, проведенные в работе [4] показывают, что при изменении вектора параметров состояния технологической системы не только изменяются численные значения выходных переменных, но в общем случае может измениться и функционал, отражающий закон преобразования параметров объекта. Руководствуясь стратегией оптимального управления, это означает, что алгоритм изменения управляющих воздействий должен корректироваться для каждого j-го цикла работы системы. Таким образом,

при проектировании автоматизированных систем становится актуальной задача мониторинга, т.е. диагностика и управления на основе динамики изменения выходных переменных и параметров состояния технологической системы.

Системы мониторинга по характеру применяемой информации можно разделить на использующие априорную, текущую и апостериорную. При этом возможны и комбинированные методы.

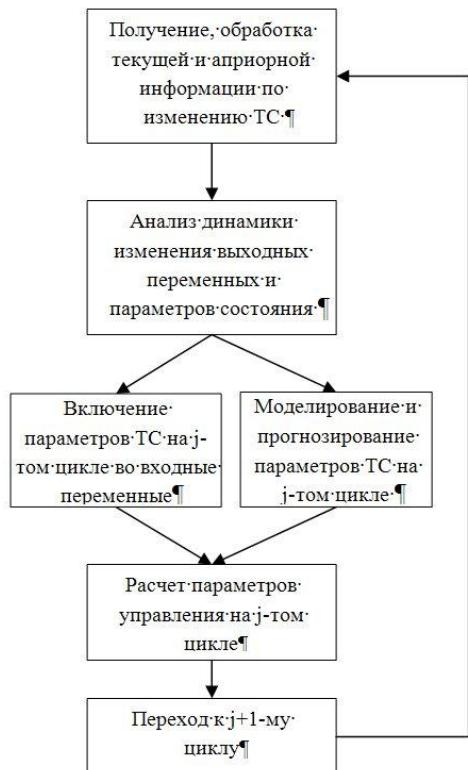


Рисунок 1 – Алгоритм мониторинга процессом шлифования по априорной и динамике изменения текущей информации

В процессе эксплуатации технологических систем, как правило, необходимо реализовывать все методы. Это связано с тем, что одни параметры состояния системы меняются медленно и могут считаться постоянными в течение нескольких циклов, другие быстро, и требуют учета в

течение всего цикла. К первым, например, относятся параметры оборудования, смазочно-охлаждающих технологических средств, ко вторым параметры режущего инструмента.

При построении алгоритма системы мониторинга процессом круглого наружного шлифования рис.1 используем комбинированный метод. Алгоритм системы мониторинга использует априорную информацию и изменения текущей информации выходных переменных.

Априорная информация о состоянии технологической системы, включает результаты изучения процесса формообразования на основе использования математических моделей операций резания. Так же результаты на основе аппроксимации изменений параметров системы по результатам замеров в моменты времен $t-k$, $k=1,2,\dots,t-1$ с последующей интерполяцией данных на момент времени t . Алгоритм дополняется блоком прогнозирования состояния системы в момент времени t . Текущая информация включает этапы получения и обработки информации о состоянии технологической системы по результатам измерений обрабатываемой детали j -го цикла обработки и от диагностических датчиков. Алгоритм дополняется блоком анализа динамики изменения выходных переменных и параметров состояния технологической системы.

К основным параметрам состояния технологической системы отнесем: точность станка, его жесткость, точность приспособления, свойства СОТС, параметры режущего инструмента. Учитывая, что параметры станка, приспособления и СОТС могут быть замерены и в течении одного цикла изменяются несущественно, они при обработке j -й заготовки могут быть отнесены к входным переменным. Из параметров режущего инструмента выделим диаметр круга и параметры состояния его рабочей поверхности. В процессе эксплуатации диаметр круга изменяется в 1,5 - 2 раза (например, с 750 мм до 400 мм). С уменьшением диаметра уменьшается скорость резания, снижается производительность процесса, увеличиваются силы резания и шероховатость поверхности. Диаметр круга в процессе его эксплуатации уменьшается вследствие износа инструмента и в результате его правки. Величина износа инструмента составляет от 10 до 20% от общего его расхода, остальная часть приходится на правку. Размерный износ инструмента при обработке одной поверхности, как правило, не превышает 20...40 мкм. Следовательно, изменением диаметра круга в процессе реализации j -го цикла при шлифовании с прибором активного контроля можно пренебречь. Информацию об исходном размере круга в начале j -го цикла можно получить от путевого датчика приспособления для правки круга, либо рассчитать по начальному диаметру, числу правок круга до j -го цикла, толщине слоя, снимаемого с рабочей поверхности круга при одной правке.

Состояние рабочей поверхности шлифовального круга изменяется в процессе реализации каждого цикла. На вершинах режущих кромок возникают площадки износа, изменяется число и распределение зерен на рабочей поверхности инструмента, что приводит к снижению режущей способности инструмента, увеличению сил резания, отклонений формы детали, шероховатости обрабатываемой поверхности. Состояние рабочей поверхности инструмента необходимо отнести к группе параметров, изменениями которых нельзя пренебречь за период j-го цикла. Кроме того, эти параметры не поддаются непосредственному контролю и изменению. Следовательно, влияние параметров состояния на управляющее воздействие может быть учтено по априорной информации.

Рассмотренный пример показывает, что для создания эффективной системы мониторинга технологическим процессом шлифования на основе динамики изменения выходных переменных и параметров состояния технологической системы необходимо:

1. Провести классификацию изменений параметров состояния технологической системы.
2. Установить функциональные или статистические связи выходных переменных от изменений параметров состояния технологической системы.
3. Разработать методику определения изменений параметров состояния технологической системы по динамике изменения выходных переменных.

Список использованных источников: 1. Пуш А.В. Моделирование и мониторинг станков и станочных систем / А.В. Пуш //СТИН. 2000. № 9. С. 12-20. 2. Игнатьев А.А. Мониторинг станков и процессов шлифования в подшипниковом производстве /А.А. Игнатьев, М.В. Виноградов, В.В. Горбунов и др. Саратов: СГТУ, 2004. 124 с. 3. Новоселов К.Ю. Анализ возмущений при обработке заготовок на станках с ЧПУ / К.Ю. Новоселов // Оптимизация производственных процессов: научно-технический сборник. Выпуск. 6. – Севастополь, 1997. – С.87 – 93. 4. Новоселов Ю.К. Диагностика операций чистового шлифования по динамике изменения выходных переменных и параметров состояния технологической системы / Ю. К. Новоселов, Э.Э. Ягъяев, Н.Р. Кириенко // Вестник Севастопольского национального технического университета: сборник научных трудов. Выпуск 107. – Севастополь, 2010. – С. 170–173.

Bibliography (transliterated): 1. Push A.V. Modelirovaniye i monitoring stankov i stanochnyh sistem / A.V. Push //STIN. 2000. № 9. S. 12-20. 2. Ignat'ev A.A. Monitoring stankov i processov shlifovanija v podshipnikovom proizvodstve /A.A. Ignat'ev, M.V. Vinogradov, V.V. Gorbunov i dr. Saratov: SGTU, 2004. 124 s. 3. Novoselov K.Ju. Analiz vozmushhenij pri obrabotke zagotovok na stankah s ChPU / K.Ju. Novoselov // Optimizacija proizvodstvennyh processov: nauchno-tehnicheskij sbornik. Vypusk. 6. – Sevastopol', 1997. – S.87 – 93. 4. Novoselov Ju.K. Diagnostika operacij chistovogo shlifovanija po dinamike izmenenija vygodnyh peremennyh i parametrov sostojaniya tehnologicheskoy sistemy / Ju. K. Novoselov, Je.Je. Jag'jaev, N.R. Kirienko // Vestnik Sevastopol'skogo naciona'l'nogo tehnicheskogo universiteta: sbornik nauchnyh trudov. Vypusk 107. – Sevastopol', 2010. – S. 170–173.

Поступила в редакцию 19.08.2014

СОДЕРЖАНИЕ

Бабич Ю.І., Бабич М.І., Тонконогий В.М. Визначення індивідуальних характеристик суб'єкта критичної інфраструктури, які впливають на процес відновлення його кваліфікаційних знань в знання-орієнтованих системах підтримки прийняття рішень	3
Брижсан Т.М., Минчев Р.М. Технологическое обеспечение высокоточной механической обработки глубоких отверстий.....	11
Вайсман В.А., Рязанцев В.М., Гогунский В.Д., Чернега Ю.С. Проектно-ориентированное управление должностными обязанностями на основе моделирования деятельности менеджера	20
Гавриши А.П., Ройк Т.А., Віцюк Ю.Ю., Зигуля С.М. Підвищення якості шліфування поверхонь зносостійких деталей тертя з легованими титаном та вольфрамом композитів шляхом уdosконалення абразивних кругів	28
Голофеєва М.О., Тонконогий В.М., Ред'ко Т.О. Дослідження залежності дисипативних властивостей синтеграну від частоти вимушених коливань	39
Гуцаленко Ю.Г. Сравнительная оценка работоспособности режущих пластин из сверхтвердых материалов	44
Дерев'янченко О.Г., Криницин Д.О. Підвищення глибини діагностування станів різальної частини різців з використанням системи технічного зору	53
Залога В.О., Зінченко Р.М., Шаповал Ю.В. Підвищення стабільності процесу різання шляхом зміни швидкості різання в процесі обробки	59
Залога В.О., Нагорний В.В. Діагностування технічного стану металообробного верстату	71
Залога В.О., Пирогов О.Д., Рибалка П.В., Діденко Є.В. Підвищення точності обробки отворів з глухими шпонковими пазами	80
Краснощек Ю.С. Определение геометрических параметров инструмента при свободнообкатном резании.....	92

Лобанов В.К., Пашкова Г.И. Исследование сопротивления усталости ЦАПФ задних мостов специальных транспортных средств	100
Немировский Я.Б., Чернявский А.В., Еремин П.Н. Особенности расчета усадки отверстий при деформирующем протягивании деталей из чугуна	109
Новиков Ф.В., Кленов О.С. Оптимизация параметров круглого наружного шлифования по критериям точности и производительности обработки	122
Оборский Г.А., Тонконогий В.М., Гогунский В.Д. Наукометрические исследования публикационной активности как составляющая инновационного развития университета.....	130
Роп'як Л.Я., Левчук К.Г., Цідило К.І. Вплив ейлерових сил на точність механічної обробки отворів при свердлінні.....	139
Рябенков И.А., Гершиков И.В. Условия повышения эффективности процесса шлифования с дискретной радиальной подачей	148
Сарычев Э.Н. Исследование влияния износостойкого покрытия AlCrN на изменение крутящего момента червячной фрезы в процессе зубофрезерования	155
Сизый Ю.А., Сталинский Д.В., Романченко П.В., Слипченко С.Е. Разработка предложений по повышению точности изготовления шлифовальных кругов для ручных шлифовальных машин	163
Сулейманов Р.И., Абдулгазис Д.У. Использование синтетических аналогов животных жиров в качестве СОТС при сверлении и развертывании труднообрабатываемых материалов	169
Черкашенко М.В., Полушкин К.А. Проектирование пневматической системы управления станком для электрохимического маркирования	175
Шкурупий В.Г. Оценка влияния износа зерен на шероховатость обрабатываемой поверхности при абразивном полировании	183
Ягъяев Э.Э. Организация системы мониторинга технологического процесса чистового шлифования	190

Наукове видання

Високі технології в машинобудуванні

Збірник наукових праць

Упорядник *проф. Грабченко А.І.*

Оригінал-макет *Крюкова Н.В.*

В авторській редакції

Підп. до друку 30.07.2015. Формат 60x84 1/16. Папір Сору Paper.

Друк - ризографія. Гарнитура Таймс. Умов.друк.арк. 11,5.

Облік.вид.арк. 11,0. Наклад 300 прим. 1-й завод 1-100. Зам. № 1149

Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХПІ»

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 116 від 10.07.2000 р.
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Друкарня ДП ХМЗ "ФЕД", 61023, Харків, вул. Сумська, 132