

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Ткаченко Валерій Павлович

УДК 621.923

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ  
ПРЕЦИЗІЙНОЇ ОБРОБКИ УЩІЛЬНЮВАЛЬНИХ  
КІЛЕЦЬ ІЗ КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ  
НА ОСНОВІ РЕЛІТУ**

Спеціальність 05.02.08 — технологія машинобудування

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2004

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в ВАТ завод «Потенціал» Міністерства промислової політики України (м. Харків)

**Науковий керівник** – доктор технічних наук  
**Новіков Федір Васильович**,  
Харківський державний економічний університет,  
професор кафедри «Техніка і технології» (м. Харків)

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Сизий Юрій Анатолійович**,  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»,  
професор кафедри «Технологія машинобудування і  
металорізальні верстати» (м. Харків)

кандидат технічних наук, доцент  
**Гордєєв Андрій Сергійович**,  
Українська інженерно-педагогічна академія,  
доцент кафедри «Технологій і управління якістю» (м.  
Харків)

**Провідна установа** – ДП Харківський науково-дослідний інститут  
технології машинобудування Міністерства  
промислової політики  
(м. Харків).

Захист відбудеться “25”березня 2004 р. о 14.00 годині на засіданні  
спеціалізованої вченої ради Д 64.050.12 у Національному технічному  
університеті  
«Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України,  
за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного  
університету  
«Харківський політехнічний інститут»

Автореферат розісланий “15” лютого 2004 г.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Пермяков О.А.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

### Актуальність теми

Ущільнювальні металеві кільця, які є найвідповідальнішими деталями машин, набули широкого застосування в машинобудуванні. Для герметизації обертових валів гідрозахистів заглибних електродвигунів (використовуваних в електробоїрильній техніці) у ВАТ завод «Потенціал» (м. Харків) розроблені ефективні конструкції торцевих ущільнень, що за технічними характеристиками перевершують зарубіжні аналоги. Ефекту досягнуто завдяки застосуванню як пари тертя двох спряжуваних кілець, робочі (тертьові) поверхні яких виконані з композиції реліту і мідної зв'язки – методом спікання у вакуумній печі. Реліт являє собою зерна литого карбїду вольфраму розміром 0,18—0,28 мм і призначений для виготовлення деталей, що працюють в умовах інтенсивного абразивного зношування. Перед спіканням у вакуумній печі зерна реліту і мідний порошок у пропорції 9:1 засипають у кільцеву канавку прямокутного перерізу, виконану на торці кільця з нержавіючої сталі, потім пресують з питомим тиском 3-4 т/см<sup>2</sup>.

Організація масового виробництва торцевих ущільнень виявилася вельми складною проблемою у зв'язку з труднощами механічної обробки торцевих поверхонь кілець, що складаються, по суті, з композиції трьох матеріалів: карбїду вольфраму, міді та нержавіючої сталі (тобто композиційного матеріалу на основі реліту). Проблема зумовлена, по-перше, необхідністю знімання доволі великого припуску (до 2 мм) важкооброблюваного композиційного матеріалу на основі реліту, що має підвищену твердість. По-друге — необхідністю його прецизійної обробки: параметр шорсткості 0,1 мкм, неплосцинність обробки — менш ніж 0,9 мкм. По-третє — специфікою технології обробки торцевих поверхонь деталей типа «кільце».

Застосування традиційних технологій абразивної обробки (шліфування й доводки) кілець виявилось неефективним з погляду продуктивності, точності та якості обробки. Це вимагало розроблення нової більш прогресивної технології алмазно-абразивної обробки на основі науково обґрунтованого вибору оптимальних варіантів технологічних маршрутів та параметрів технологічних операцій. У зв'язку з цим у роботі розв'язується актуальне і важливе народногосподарське завдання створення і впровадження ефективної технології прецизійної обробки торцевих поверхонь ущільнювальних кілець із композиційного матеріалу на основі реліту.

### Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Роботу виконано відповідно до Указу Президента України № 151/98 від 25.02.1998 р. «Про реформування нафтогазового комплексу України», Постанови Кабінету Міністрів України № 1510 від 16.12.1996 р. «Про основні напрями реформування нафтогазового комплексу України», Постанови Кабінету Міністрів України № 2245 від 9.12.1999 р. «Про Програму „Створення

та організації виготовлення бурового, нафтогазопромислового, нафтопереробного обладнання й техніки для будівництва нафтогазопроводів з науково-технічною частиною на період до 2010 року“» і тематичних планів робіт ВАТ завод «Потенціал».

### **Мета і задачі дослідження**

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності технологічного процесу прецизійної обробки торцевих поверхонь ущільнювальних кілець із композиційного матеріалу на основі реліту шляхом теоретично обґрунтованого вибору оптимальних варіантів технологічних маршрутів і параметрів технологічних операцій.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- розробити нові узагальнені аналітичні моделі формування шорсткості плоских поверхонь для різних схем алмазно-абразивної обробки, а також аналітичні моделі точності (неплоскостинності) обробки, величини задирок, що утворюються, температури й сили різання, продуктивності та собівартості при шліфуванні, аналітичну модель електроерозійної правки алмазних кругів;
- на основі розроблених аналітичних моделей провести структурно-параметричний аналіз і синтез технологічного процесу прецизійної обробки торцевих поверхонь ущільнювальних кілець із композиційного матеріалу на основі реліту;
- теоретично обґрунтувати вибір оптимального варіанту технологічного маршруту і параметрів технологічних операцій;
- провести експериментальні дослідження перевірки й уточнення теоретичних рішень вибору технологічного маршруту і параметрів технологічних операцій алмазно-абразивної обробки торцевих поверхонь ущільнювальних кілець із композиційного матеріалу на основі реліту.
- розробити і впровадити у виробництво новий ефективний технологічний процес прецизійної алмазно-абразивної обробки торцевих поверхонь ущільнювальних кілець із композиційного матеріалу на основі реліту.

*Об'єкт дослідження* - технологічний процес прецизійної обробки торцевих поверхонь ущільнювальних кілець із композиційного матеріалу на основі реліту.

*Предмет дослідження* - теоретичний опис умов формування параметрів якості алмазно-абразивної обробки ущільнювальних кілець із композиційного матеріалу на основі реліту та на їх базі обґрунтування спрямованого вибору оптимальних варіантів технологічних маршрутів і параметрів технологічних операцій.

*Методи дослідження.* Теоретичні методи, що базуються на фундаментальних положеннях технології машинобудування і теорії різання матеріалів; математичне моделювання; експериме-

нтальні методи із застосуванням профілометра-профілографа, електронного мікроскопа.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в теоретичному обґрунтуванні та розробці ефективного технологічного процесу алмазно-абразивної обробки торцевих поверхонь ущільнювальних кілець із композиційного матеріалу на основі реліту, який забезпечує підвищення продуктивності обробки, високу якість оброблюваних поверхонь і базується:

- на вперше розроблених (з єдиних теоретичних позицій) на основі кінематичного та енергетичного підходів аналітичних моделях формування шорсткості плоских поверхонь для різних схем алмазно-абразивної обробки, включаючи схеми шліфування й доводки;
- на розроблених нових аналітичних моделях, що описують величину утворюваної задирки, продуктивність, собівартість і точність (неплощинність) обробки, температуру й силу різання при шліфуванні, а також параметри електроерозійної правки алмазних кругів;
- на результатах структурно-параметричного аналізу і синтезу досліджуваного технологічного процесу, виконаного на основі розроблених аналітичних моделей;
- на теоретично обґрунтованому спрямованому виборі оптимальних варіантів технологічних маршрутів і параметрів технологічних операцій.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в тому, що на основі розроблених аналітичних моделей, теоретичних і експериментальних досліджень створено ефективний технологічний процес прецизійної обробки торцевих поверхонь ущільнювальних кілець із композиційного матеріалу на основі реліту, який забезпечує стабільне виконання високих вимог щодо якості й точності обробки: параметр шорсткості — менш ніж 0,1 мкм, неплощинність обробки — менш ніж 0,9 мкм; виключає температурні дефекти обробки, підвищує продуктивність обробки до 3 разів та зменшує зношування інструментів при зніманні відносно великих припусків (до 2 мм).

Розроблений технологічний процес упроваджений у ВАТ завод «Потенціал» (м. Харків), забезпечує виготовлення більш як 100 тис. торцевих ущільнень на рік. Економічний ефект від його впровадження становить близько 100 тис. грн. на рік.

**Особистий внесок здобувача** складається в тому, що ним розроблені аналітичні моделі шорсткості плоских поверхонь при алмазно-абразивній обробці; точності (неплощинності) обробки, величини задирок, що утворюються, температури й сили різання, продуктивності та собівартості при шліфуванні; параметрів електроерозійної правки алмазних кругів. Теоретично виявлені умови зменшення шорсткості поверхні, які ґрунтуються на закономірностях обробки вільним і зв'язаним абразивом. Проведено структурно-параметричний аналіз і синтез технологічного процесу прецизійної обробки торцевих поверхонь ущільнювальних кілець на основі ро-

зроблених аналітичних моделей і обґрунтована ефективність застосування схеми врізного торцевого алмазного шліфування торця обертового кільця для напівчистої обробки. Виходячи з цього, теоретично обґрунтовано вибір оптимального варіанту технологічного маршруту обробки та параметрів технологічних операцій. Проведені комплексні експериментальні дослідження технологічних операцій обробки, які підтвердили вірогідність теоретичних рішень. Створено і впроваджено у виробництво ефективний технологічний процес прецизійної обробки торцевих поверхонь ущільнювальних кілець із композиційного матеріалу на основі реліту.

### **Апробація результатів дисертації**

Основні положення дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на X і XI Міжнародних науково-практичних конференціях «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я», м. Харків, 2002, 2003 р.; XII і XIII Міжнародних науково-технічних семінарах «Високі технології в машинобудуванні» Інтерпартнер-2002, 2003, м. Харків, м. Алушта, 2002, 2003 р.; II...VII Міжнародних науково-технічних конференціях «Фізичні і комп'ютерні технології в народному господарстві», м. Харків, 2000-2003 рр.; Міжнародній науково-технічній конференції «Дослідження та оптимізація економічних процесів», м. Харків, 2001р.; Міжнародній науково-технічній конференції «Технологічні системи в машинобудуванні», м. Тула, Росія, 2002р.

Роботу в повному обсязі заслухано та схвалено на розширеному науковому семінарі кафедри «Технологія машинобудування і металорізальні верстати» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, 2003.

### **Публікації**

Основні результати дисертаційної роботи викладені в 14 публікаціях, з них 9 статей у фахових наукових виданнях.

### **Структура і обсяг дисертаційної роботи**

Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків та 2 додатків. Повний обсяг дисертаційної роботи складає 198 сторінок, з них 77 ілюстрацій на 42 сторінках; 12 таблиць за текстом; 155 найменувань використаних літературних джерел на 14 сторінках; 2 додатки на 3 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** наведено загальну характеристику роботи, в якій обґрунтовані актуальність, новизна і практичне значення одержаних результатів. Сформульовані мета й завдання досліджень. Показано особистий внесок здобувача у виконану роботу і належні йому наукові положення та висновки в опублікованих за темою дисертації наукових працях.

**У першому розділі** розглянуто основні конструкції застосовуваних в електробурильній техніці торцевих ущільнень. Розкрито основні недоліки механічної (абразивної) обробки торцевих поверхонь ущільнювальних кілець із композиційного матеріалу на основі реліту. Зазначається, що застосування традиційної технології абразивної обробки, що включає операції попереднього та остаточного абразивного плоского шліфування і подальшої притирки абразивним (алмазним) порошком, є малоефективне через відносно низьку продуктивність і високу собівартість обробки. Набагато більші можливості посідає технологія алмазно-абразивної обробки, яка включає операції алмазного шліфування й подальшої алмазної притирки. Однак для розробки ефективної технології алмазно-абразивної обробки торцевих поверхонь ущільнювальних кілець із композиційного матеріалу на основі реліту необхідно встановити оптимальні варіанти технологічних маршрутів і параметри технологічних операцій, тобто по суті провести структурно-параметричний аналіз та синтез технологічного процесу. Це вимагає розробки математичних (аналітичних) моделей, що описують найважливіші сторони функціонування технологічного процесу, проведення комплексу теоретичних та експериментальних досліджень. У зв'язку з цим поставлені мета й завдання роботи, які наведені вище.

Науковими передумовами роботи стали важливі результати, одержані Корольовим А. В., Матюхою П. Г., Новосьоловим Ю. К., Новіковим Ф. В., Островським В. І., Узуняном М. Д., Якимовим О. В. та іншими вченими при математичному моделюванні технологічних операцій прецизійної обробки, а також результати експериментальних досліджень алмазно-абразивної обробки, здобуті Беззубенком М. К., Грабченком А. І., Узуняном М. Д., Шепелевим А. О. та іншими вченими.

**У другому розділі** теоретично обґрунтовано варіанти технологічного маршруту та основні параметри технологічних операцій алмазно-абразивної обробки ущільнювальних кілець із композиційного матеріалу на основі реліту. Теоретичні рішення одержані на основі розробленої аналітичної моделі формування шорсткості плоских поверхонь при алмазно-абразивній обробці (при одношаровому і багатшаровому розташуванні зерен на робочій поверхні інструмента). При одношаровому (одновисотному) розташуванні зерен параметр шорсткості обробки  $R_{max}$  і продуктивність обробки  $Q$  описуються аналітичними залежностями (рис. 1,а):

$$R_{max} = \sqrt{\frac{2 \cdot P}{\pi \cdot \operatorname{tg}^2 \gamma \cdot n_0 \cdot HV}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \bar{p}}{\pi \cdot \operatorname{tg}^2 \gamma \cdot k \cdot HV}} = \sqrt{\frac{2 \cdot P_1}{\pi \cdot \operatorname{tg}^2 \gamma \cdot HV}}, \quad (1)$$

$$Q = \frac{4 \cdot V_{\text{інст}} \cdot \bar{p} \cdot F}{\pi \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot HV}, \quad (2)$$

$$R_{max} = \sqrt{\frac{Q}{2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot n_0 \cdot V_{инст}}}, \quad (3)$$

де  $P$  — сила притиску оброблюваної деталі до абразивного інструмента, Н;  $n_0 = k \cdot F$  — число одночасно працюючих зерен;  $k$  — поверхнева концентрація зерен, шт./м<sup>2</sup>;  $F$  — номінальна площа контакту інструмента з оброблюваною поверхнею, м<sup>2</sup>;  $HV$  — твердість оброблюваного матеріалу (за Віккерсом), Н/м<sup>2</sup>;  $\bar{p} = P / F$  — нормальний тиск, Н/м<sup>2</sup>;  $P_1 = P / n_0$  — сила, що діє на окреме зерно, Н;  $2\gamma$  — кут при вершині різальної частини зерна;  $V_{инст}$  — швидкість руху абразивного інструмента, м/с;  $V'_{дет}$  — швидкість руху деталі, м/с.

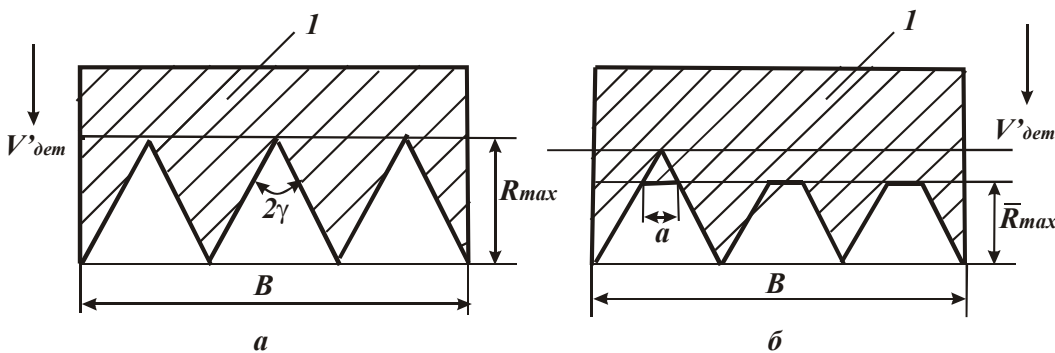


Рис.1. Розрахункові схеми формування шорсткості поверхні при обробці гострими (а) та притупленими (б) зернами.

Із залежності (1) випливає, що зменшити параметр  $R_{max}$  можна зменшенням сили  $P_1$ , що діє на окреме різальне зерно, тобто зменшенням міцності

утримання зерен на робочій поверхні інструмента, застосовуючи обробку вільним абразивом. Зменшити параметр  $R_{max}$  можна також притупленням різальних кромки (утворенням площадок зношення на зернах). Однак це веде до збільшення сили  $P_1$ , що вимагає підвищення міцності утримання зерен на робочій поверхні інструмента, тобто застосуванням інструментів зі зв'язаним абразивом (шліфувальних кругів і т. д.).

Важливим фактором зменшення  $R_{max}$  і збільшення  $Q$ , згідно із залежністю (3), є збільшення числа зерен  $n_0$  шляхом збільшення параметрів  $F$  та  $k$ . Для збільшення  $k$  ефективним є застосування інструментів з одношаровим розташуванням зерен, що досягається, наприклад, при обробці вільним абразивом, шліфувальними стрічками, алмазними інструментами на гальванічних зв'язках тощо. Алмазні круги, виготовлювані методами порошкової металургії, характеризуються багатошаровим розташуванням зерен і, отже, їх різновисотним виступанням над рівнем зв'язки, що зменшує число одночасно працюючих зерен  $n_0$  і, згідно із залежністю (3), збільшує параметр  $R_{max}$  при шліфуванні алмазним кругом з гострими зернами за жорсткою і пружною схемами:



$$R_{max} = \bar{X} \cdot 3 \sqrt[3]{\frac{100 \cdot \pi}{3 \cdot \text{tg} \gamma \cdot m \cdot z} \cdot \frac{V'_{дет}}{V_{кр}}}, \quad R_{max} = \bar{X} \cdot 3 \sqrt[3]{\frac{400 \cdot \bar{p}}{3 \cdot \text{tg}^2 \gamma \cdot m \cdot z \cdot HV}}, \quad (4)$$

де  $V_{кр}$  — швидкість круга, м/с;  $\bar{X}$  — зернистість круга, м;  $m$  — об'ємна концентрація круга;  $z$  — коефіцієнт, що враховує «утопання» зерен у зв'язку круга ( $z \geq 1$ ).

Виходячи з наведених залежностей, зменшити  $R_{max}$  можна передусім зменшенням зернистості  $\bar{X}$ , а також за рахунок збільшення параметрів  $\gamma, m, z, V_{кр}$  і зменшення  $V'_{дет}$  (або  $\bar{p}$ ).

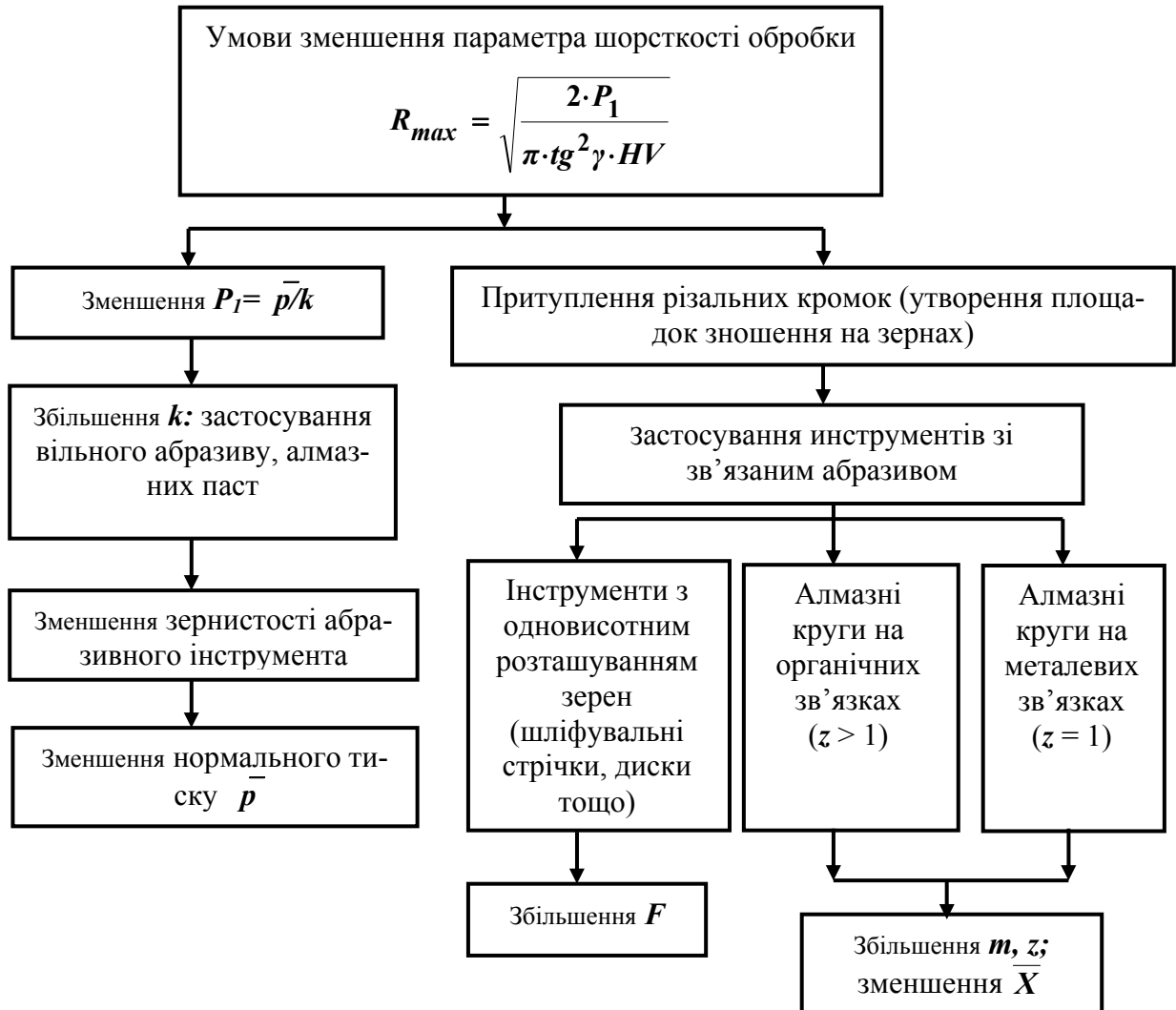


Рис. 2. Структурна схема умов зменшення параметра шорсткості обробки  $R_{max}$ .

На відміну від металевих зв'язок, органічні зв'язки допускають «утопання» в них алмазних зерен, що збільшує коефіцієнт  $z > 1$  і зменшує  $R_{max}$ . Ефект зумовлений збільшенням числа одночасно працюючих зерен.

Для припрацьованої поверхні круга (тобто з урахуванням утворення на зернах у процесі шліфування площадок зношення завдовжки  $a$ , рис.1,б) параметр  $\bar{R}_{max}$  шорсткості обробки визначається з рівняння:

$$(2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot \bar{R}_{max} + a) \cdot \bar{R}_{max}^2 = 2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot R_{max}^3, \quad (5)$$

де  $R_{max}$  — значення параметра шорсткості обробки  $\bar{R}_{max}$  для умови  $a = 0$ .

Параметр  $\bar{R}_{max}$  завжди менший від параметра  $R_{max}$ . В узагальненому вигляді структурну схему умов зменшення параметра  $R_{max}$  представлено на рис. 2.

Згідно із залежністю (3), зі зменшенням  $R_{max}$  продуктивність обробки  $Q$  збільшується, тобто забезпечення одночасно збільшення  $Q$  і зменшення  $R_{max}$  — важкорозв'язна задача і вимагає диференційованого підходу, що полягає у виконанні обробки в декілька операцій. На перших операціях необхідно забезпечити високопродуктивне знімання основної частини припуску, а на останній операції — забезпечити потрібну шорсткість. Що ж до обробки торцевої поверхні кільця, виходячи із залежності (3), домогтися зменшення параметра  $R_{max}$  (без зменшення  $Q$ ) можна збільшенням параметрів  $n_0, V_{інст}$  і відповідно  $F$ . Як зазначалося вище, це може бути реалізовано при обробці інструментом зі зв'язаним абразивом (шліфуванні кільця торцем круга з безперервною радіальною подачею  $V'_{дем}$ , надаючи кільцеві додатково обертального руху зі швидкістю  $V_{дем}$ , рис. 3,а). Дану схему обробки торцевої поверхні кільця слід розглядати як базову. Формування шорсткості в цьому випадку відбувається за складною кінематикою — у радіальному і тангенціальному напрямках, тобто в напрямках швидкостей  $V_{дем}$  та  $V'_{дем}$ . Час формування шорсткості поверхні в напрямку швидкості  $V_{дем}$  дорівнює  $\tau_0 = B_1 / V_{дем}$ , а в напрямку швидкості  $V'_{дем}$  дорівнює  $\tau_1 = R_{max} / V'_{дем}$ , де  $B_1$  — ширина робочої частини круга, м.

У роботі отримано узагальнену залежність для розрахунку  $R_{max}$ , слухна для різних кінематичних схем шліфування, які відрізняються часом формування шорсткості поверхні  $\tau$ :

$$R_{max} = \sqrt{\frac{100 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3}{3 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot m \cdot V_{кр} \cdot \tau}}. \quad (6)$$

Із залежності (6) випливає, що параметр  $R_{max}$  тим менший, чим більше  $\tau$ . Згідно з даними, наведеними на рис. 3,в і отриманими з використанням залежності (6), параметр  $R_{max}$  при шліфуванні торцевої поверхні кільця менший за умови  $\tau_0 > \tau_1$ . У цьому випадку визначальною є шорсткість, формована в радіальному напрямку і, отже, розрахунок  $R_{max}$  можна вести за залежністю (4). Забезпечити дану умову можна за рахунок збільшення часу  $\tau_0$ , тобто за рахунок збільшення  $B_1$  або зменшення  $V_{дем}$ . Розходження експериментальних і розрахованих за залежністю (4) значень  $R_{max}$  перебуває в межах 15 %, що дає змогу в першому наближенні використо-

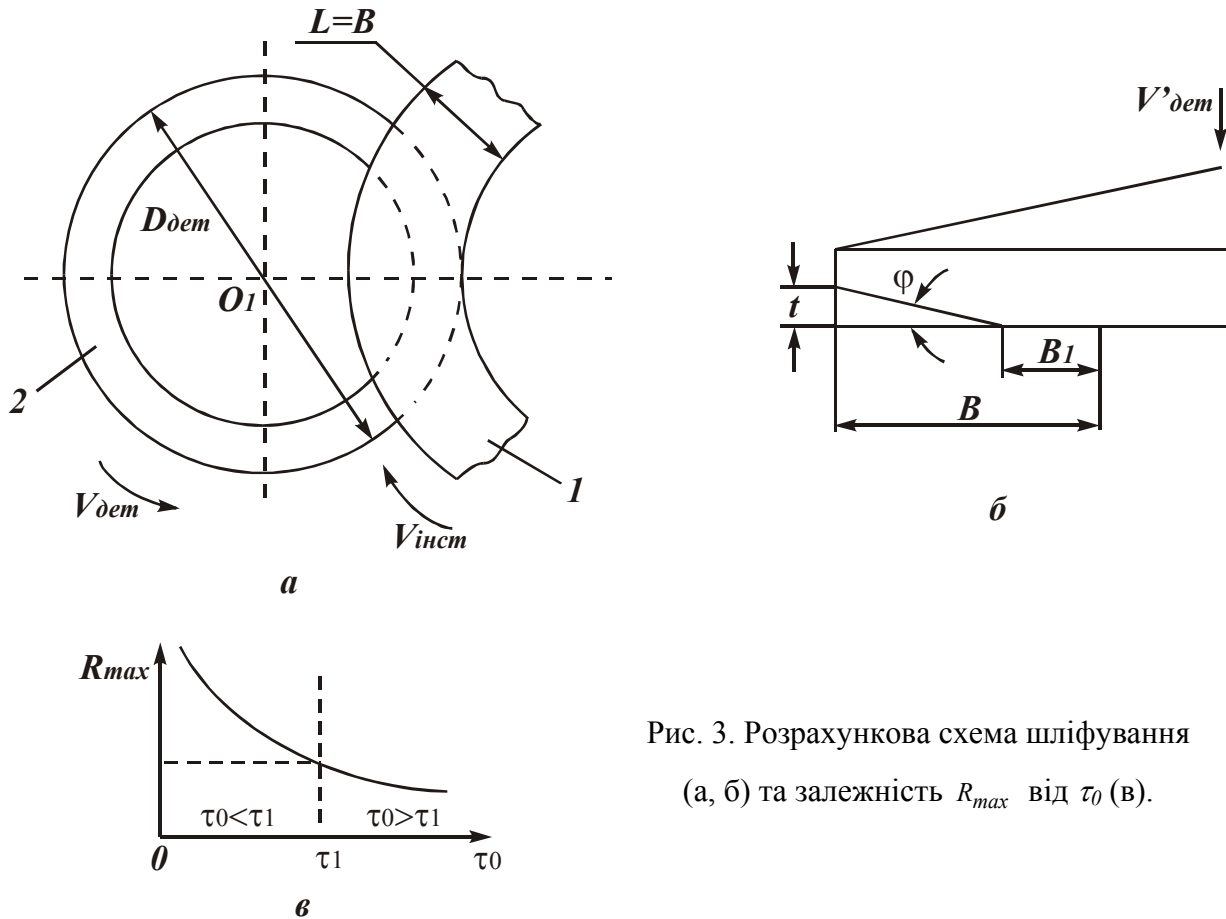


Рис. 3. Розрахункова схема шліфування  
(а, б) та залежність  $R_{max}$  від  $\tau_0$  (в).

увати аналітичні залежності для розрахунку й аналізу шорсткості обробки.

Проведено оптимізацію умов торцевого алмазного шліфування, в котрій як цільову функцію прийнято продуктивність обробки, рівну добутковій площі оброблюваної торцевої поверхні кільця та швидкості радіальної подачі  $V'_{дет}$ , а як обмеження — шорсткість  $R_{max}$  і неплосциність  $\delta$  обробки. У даному випадку глибина шліфування  $t$  дорівнює величині неплосциності обробки  $\delta = \pi \cdot D_{дет} \cdot V'_{дет} / V_{дет}$ , де  $D_{дет}$  — діаметр оброблюваного кільця. Поставлено завдання — забезпечити максимально можливу продуктивність обробки. Визначено область допустимих значень оптимізовуваних параметрів  $V'_{дет}$  і  $\bar{X}$  для початкових даних:  $R_{max} = 0,5$  мкм;  $\delta = 0,9$  мкм;  $D_{дет} = 35$  мм;  $V_{дет} = 100$  м/мин;  $m = 100$ ;  $tg\gamma = 1$ ;  $V_{кр} = 30$  м/с. Найбільше значення  $V'_{дет}$  досягається при зміні  $\bar{X}$  в діапазоні:  $0 < \bar{X} < 28/20$ . Однак алмазні круги з такою невеликою зернистістю застосування на практиці не набули у зв'язку з їх низькою працездатністю. Отже, операція торцевого алмазного шліфування забезпечує потрібну неплосциність обробки і не забезпечує шорсткість обробки  $R_{max} = 0,5$  мкм, тобто вимагається додаткова операція притирки алмазним порошком зернистістю менш як 28/20.

Виходячи з цього, операцію торцевого шліфування слід розглядати як напівчистову обробку. Вона необхідна для підготовки оброблених поверхонь кілець до подальшої операції при-

тирки з метою зменшення припусків під притирку і відповідно зниження трудомісткості обробки та скорочення витрати алмазного порошку на даній операції.

У роботі проведено теоретичний аналіз сили і температури різання  $\theta$  при шліфуванні торця кільця торцем круга, зокрема одержано розрахункову залежність для визначення  $\theta$

$$\theta = q_1 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \tau_1}{\lambda \cdot c \cdot \rho}} + q'_0 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \tau'_0}{\lambda \cdot c \cdot \rho}}, \quad (7)$$

де  $q_1$  — густина теплового потоку, що виникає при шліфуванні на ділянці різання завдовжки  $L_1 = V_{dem} \cdot \tau_1$ ;  $q'_0 = p \cdot f \cdot V_{кр}$  — густина теплового потоку, що виникає при шліфуванні на ділянці тертя круга з кільцем завдовжки  $(L - L_1)$ ;  $L$  — сумарна довжина дуги контакту круга з кільцем;  $p$  — питомий тиск, що виникає на ділянці контакту круга з кільцем завдовжки  $(L - L_1)$ ;  $f$  — коефіцієнт тертя круга з оброблюваним матеріалом;  $\rho, c, \lambda$  — відповідно густина, теплоємність і теплопровідність оброблюваного матеріалу.

Очевидно, для того щоб зменшити температуру шліфування  $\theta$ , необхідно зменшити або виключити другий доданок залежності (7). Це забезпечується за рахунок зменшення довжини  $L$  (ширини робочої частини круга  $B$ ). Експериментально встановлено, що при  $L = B = 20$  мм на обробленій поверхні з'являються припіки, тоді як при  $L = B = 10$  мм вони відсутні в широких діапазонах зміни режимів шліфування і характеристик круга.

На основі одержаних теоретичних результатів запропоновано два варіанти технологічного процесу алмазно-абразивної обробки торцевих поверхонь ущільнювальних кілець із композиційного матеріалу на основі реліту.

Варіант 1. Попередня (чорнова) обробка провадиться за схемою шліфування торцем алмазного круга торця обертового кільця або за схемою шліфування пакета кілець на обертовому столі верстата мод. 3Б756 з вертикальним розташуванням шпінделя. Остаточна (чистова) обробка провадиться за схемою притирки алмазним порошком.

Варіант 2. Знімання основної частини припуску (до 2 мм) провадиться за схемою шліфування периферією круга пакета кілець на плоскошліфувальному верстаті. Для зменшення шорсткості і неплоскостності обробки поверхні кільця, доцільно виконати напівчистову обробку за схемою шліфування торцем алмазного круга торця обертового кільця. Це дасть змогу якісно підготувати поверхню кільця к подальшій операції притирки алмазним порошком.

**У третьому розділі** виконано теоретичні та експериментальні дослідження параметрів технологічних операцій алмазно-абразивної обробки торцевих поверхонь ущільнювальних кілець із композиційного матеріалу на основі реліту.

Попереднє шліфування кілець виконувалося на плоскошліфувальному верстаті абразивними та алмазними кругами. Оброблювані кільця в кількості 60 штук кріпилися у спеціальному пристосуванні на столі верстата. Експериментально встановлено, що при шліфуванні абразивним кругом у зв'язку з його інтенсивним зношенням фактична глибина шліфування утричі менша від номінальної глибини шліфування (установлюваній за лімбом верстата). При шліфуванні алмазним кругом на металевій зв'язці 1A1 400x25x6x203 AC6 200/160 M1-01 4 на тих самих режимах різання фактична та номінальна глибини шліфування практично рівні. Для підтримання високої різальної спроможності алмазного круга використовувалася періодична електроерозійна правка, для чого верстат був модернізований (проведено електроізоляцію шпіндельного вузла, здійснено струмопідвід до круга) й укомплектований спеціальним джерелом технологічного струму. Досліджувалися схеми багатопрохідного і глибинного плоского шліфування. З погляду продуктивності обробки  $Q$  та питомої витрати алмаза  $q$  кращі результати одержані при глибинному алмазному шліфуванні ( $Q = 12$  тис. мм<sup>3</sup>/хв;  $q < 5$  мг/г). Параметр шорсткості обробки  $R_a$  при цьому набуває досить великих значень (1,0—1,5 мкм), характерних для попередньої (чорнової) обробки.

Щоб оцінити економічну ефективність від застосування алмазного круга на металевій зв'язці M1-01, було досліджено собівартість обробки за двома статтями затрат: заробітною платою робітника і вартості витрачених абразивних та алмазних кругів. Установлено, що вже при відношенні часу праці до повного зношення абразивного і алмазного кругів, що дорівнює 1,52, собівартості обробки для двох варіантів однакові. При збільшенні цього співвідношення до 10, що мало місце при глибинному шліфуванні, собівартість алмазного шліфування була до 3-х разів менша від собівартості абразивного шліфування. Цим науково обґрунтовано умови ефективного застосування алмазних кругів замість звичайних абразивних кругів на операції чорнового плоского шліфування.

Оптимальний час роботи  $T_{opt}$  алмазного круга до його повного зношення, при якому собівартість  $C$  абразивного і алмазного шліфування рівні, визначається залежністю

$$T_{алм} = \frac{Ц}{\frac{c}{n \cdot t_0} - S \cdot Z \cdot k}, \quad (8)$$

де  $Ц$  — ціна алмазного круга, грн.;  $n$  — кількість оброблюваних деталей;  $t_0$  — основний час шліфування, год;  $S$  — тарифна ставка робітника, грн/год;  $k$  — коефіцієнт, що враховує нарахування на заробітну плату робітника;  $Z$  — відношення поштучного часу до основного часу шліфування.

Експериментальні дослідження параметрів технологічної операції торцевого алмазного шліфування торця обертового ущільнювального кільця проводилися на модернізованому внутрішньошліфувальному верстаті. Випробовувалися алмазні круги форми 12A2 45° 150x10x3x32 AC6 4 різних характеристик на металевих зв'язках (M1-01, M2-01) і органічній зв'язці B2-01. Оброблюване кільце кріпилося у спеціально розробленому цанговому затискачі, на верстат було встановлено пневматичний циліндр. Це дало змогу істотним чином автоматизувати процес, скоротити допоміжний час на встановлення та знімання кілець. Верстат був також модернізований під електроерозійну правку алмазного круга на металевій зв'язці з використанням джерела постійного струму.

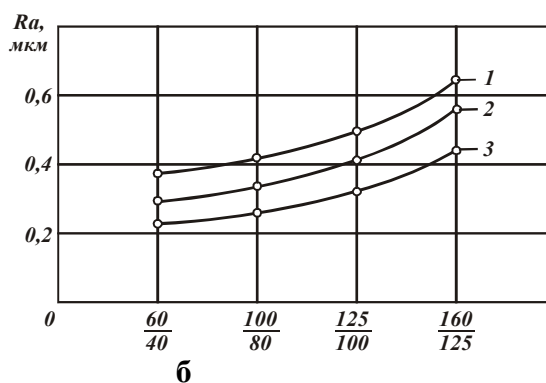
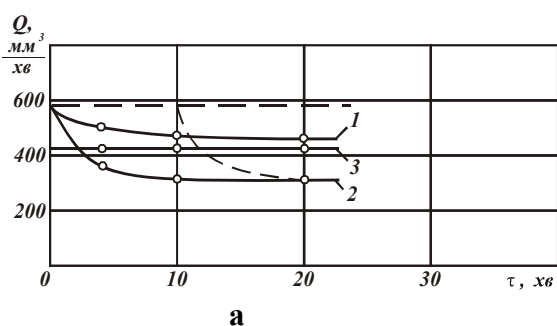


Рис. 4. Експериментальні значення продуктивності обробки (а) і параметра шорсткості обробки (б): 1 — алмазний круг на зв'язці M1-01 (зі струмом), 2 — алмазний круг на зв'язці M1-01 (без струму), 3 — алмазний круг на зв'язці B2-01.

Експериментально встановлено, що алмазний круг на металевій зв'язці M1-01 досить стабільно працює в режимі безперервної електроерозійної правки, рис.4,а (умови обробки: зернистість круга AC6 125/100;  $V_{кр} = 28$  м/с;  $V_{дет} = 30$  м/хв;  $P_{уд} = 7$  кГс/см<sup>2</sup>; сила струму  $I = 30$  А; СОР — 3 %-ний розчин Na<sub>2</sub>NO<sub>3</sub>). При роботі зі струмом продуктивність обробки вища, ніж без струму. Продуктивність обробки  $Q$  алмазним кругом на органічній зв'язці займає проміжне положення.

Шорсткість обробки  $R_a$  після 4 хв шліфування найбільша — при шліфуванні алмазним кругом на металевій зв'язці зі струмом, а найменша — при шліфуванні алмазним кругом на органічній зв'язці (рис. 4,б). Це пов'язано з тим, що органічна зв'язка допускає «втоплювання» алмазних зерен і тим самим збільшує кількість одночасно працюючих зерен. Зменшення зернистості круга впливає на шорсткість обробки не так істотно. Шорсткість перебуває на доволі високому рівні ( $R_a = 0,3—0,4$  мкм), що не дає змоги досягти вимог щодо шорсткості обробки торцевих ущільнень ( $R_a < 0,1$  мкм). Це дає можливість розглядати операцію торцевого шліфування лише з погляду напівчистої обробки для підготовки оброблюваної поверхні до подальшої чи-

стової обробки (притирки).

Експериментально встановлено, що стійкість алмазного круга на металевій зв'язці М1-01 майже на порядок вища за стійкість алмазного круга на органічній зв'язці (майже при одній їх ціні). Це дає змогу рекомендувати алмазні круги на металевій зв'язці для їх практичного застосування. Для нормальної роботи таких кругів важливо правильно підготувати їх до праці, тобто усунути биття і зробити початкову правку алмазоносного шару. З цією метою було розроблено методику розрахунку оптимальних електричних параметрів електроерозійної правки торцевих алмазних кругів на металевій зв'язці. Теоретично встановлено, що потужність правки  $N$  від сили струму  $I$  змінюється за екстремальною залежністю, проходячи точку максимуму:

$$N = I \cdot U = I \cdot (U_0 - I \cdot R_0), \quad (9)$$

де  $U$  - робоча напруга, В;  $U_0$  - напруга джерела струму, В;  $R_0$  - навантажувальний опір, Ом.

Екстремальні значення  $N_{max}$  та  $I_{екст}$  визначаються із залежностей:

$$I_{екст} = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_0}{R_0}; \quad N_{max} = \frac{N_0}{4}, \quad (10)$$

де  $N_0 = I_0 \cdot U_0$ ;  $I_0 = U_0 / R_0$ .

Для  $U_0 = 36$  В,  $R_0 = 1,0$  Ом маємо  $I_{екст} = 18$  А,  $N_{max} = 648$  Вт.

Експериментально встановлено, що продуктивність процесу правки від сили струму також змінюється за екстремальною залежністю. Розходження розрахункового та експериментального екстремальних значень сили струму становить 10 %. Це дає змогу розрахувати оптимальні електричні параметри процесу правки, не вдаючись до проведення експериментальних досліджень.

Експериментально встановлено, що у процесі шліфування торцевої поверхні кільця торцем алмазного круга на металевій зв'язці відбувається утворення значних задирок на сталій обоймі кільця невеликої товщини (0,5 мм), в яку ніби зачеканено оброблюваний релітовий шар. У процесі шліфування сталь практично не зрізається, а пластично деформується та переходить у задирку. Причому це майже не залежить від умов електроерозійної правки круга. При шліфуванні алмазним кругом на органічній зв'язці величина задирки значно менша. Для виявлення шляхів зниження товщини задирок теоретично визначено товщину шару сталі  $a$ , яка не зрізається, а лише пластично деформується при шліфуванні:

$$a = \frac{\sigma \cdot a_z}{\tau_{зсув} \cdot \sin \psi} \cdot \sin^2 \left( 45^\circ + \frac{\psi}{2} \right), \quad (11)$$

де  $\sigma$  — умовна напруга різання, Н/м<sup>2</sup>;  $a_z$  — товщина зрізу окремим зерном круга, м;  $\tau_{зсув}$  — границя міцності оброблюваного матеріалу на зсув, Н/м<sup>2</sup>;  $\operatorname{tg} \psi = P_z / P_y = K_{ш}$  — коефіцієнт

шліфування.

Із залежності випливає, що товщина  $a$  залежить головним чином від товщини зрізу  $a_z$ , котра, як установлено, менша при шліфуванні алмазним кругом на органічній зв'язці і більша при шліфуванні алмазним кругом на металевій зв'язці після його електроерозійної правки. Оскільки виконати умову  $a \rightarrow 0$  утруднено, вимагається застосування спеціальної технології для усунення задирок. Таку технологію нами розроблено. Вона здійснюється на вертикально-свердильному верстаті із застосуванням спеціального пристосування, в яке вкладається шліфувальне полотно і до якого притискається при обробці обертове кільце.

Чистова обробка торцевих поверхонь кілець провадилася за схемою притирки вільним абразивом (з використанням дрібнозернистих алмазних порошоків). Для оцінки можливостей даної схеми розроблено інженерну методику розрахунку умов обробки, яка забезпечує найменшу шорсткість поверхні, виходячи з умови

реалізації граничних значень  $\alpha = a_z / \rho$ , при яких процес різання переходить у пружно-пластичне деформування металу (де  $\rho$  — радіус округлення різальної кромки зерна), тобто виходячи з енергетичного критерію. Залежність для розрахунку параметра шорсткості  $R_a$  містить зернистість алмазного порошку  $\bar{X}$  та коефіцієнт  $\alpha$ :

$$R_a = 0,1 \cdot \alpha \cdot \bar{X}. \quad (12)$$

На рис. 5 показано дві області, одержані за залежністю (14) з викорис-

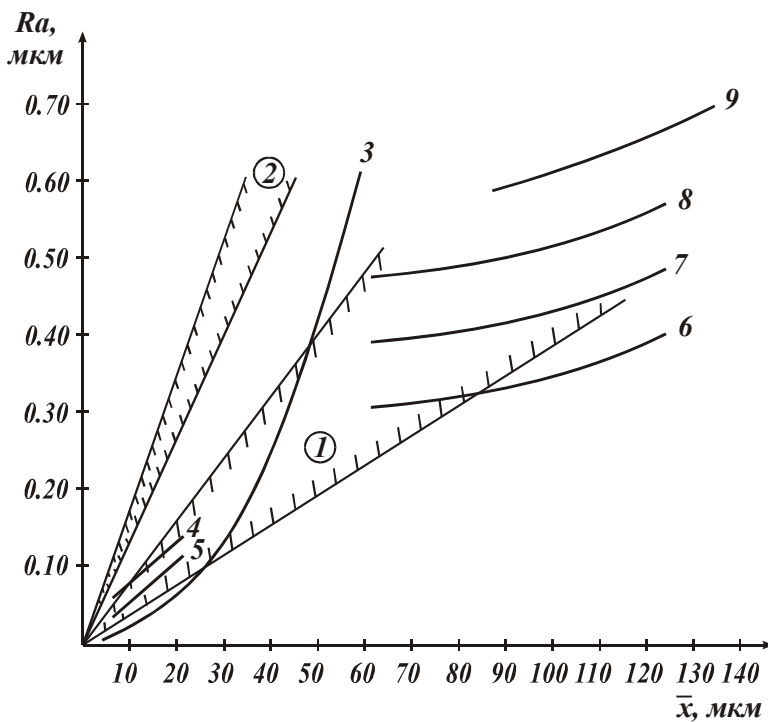


Рис.5. Залежність параметра шорсткості обробки  $R_a$  від зернистості  $\bar{X}$ .

танням експериментальних даних  $\alpha = a_z / \rho = 0,04—0,08$  Богомолова М. І. (область 1) та  $\alpha = 0,14—0,17$  Крагельського І. В. (область 2). Експериментальні значення  $R_a$ , отримані при притирці релітового шару кілець, потрапляють в область 1 (криві 4, 5), тобто притирка здійснюється по суті з граничними значеннями  $\alpha$ . У цю ж область потрапляють значення  $R_a$ , отримані нами при торцевому алмазному шліфуванні (криві 6, 7, 8, рис. 5), а також узяті з науково-технічної літератури при алмазній доводці (крива 3) та алмазному шліфуванні (крива 9). Це дає змогу за залежністю (11) розрахувати оптимальну зернистість, приймаючи  $\alpha = 0,04—0,08$ . Теоретично й експериментально встановлено, що застосування алмазного порошку АСМ 7/5 ... 5/3



на операції притирки гарантовано забезпечує  $R_a < 0,1$  мкм та неплосинність обробки — менш як 0,9 мкм.

У четвертому розділі наведено результати створення промислової технології алмазно-абразивної обробки торцевих поверхонь ущільнювальних кілець із композиційного матеріалу на основі реліту.

Проведено порівняння двох розглянутих варіантів технологічних процесів за критерієм продуктивності обробки та вибрано оптимальний (другий варіант).

Описано розроблену установку для проведення випробувань надійності роботи торцевих ущільнень за параметрами: виток маслу через ущільнення; моментом тертя; температурою рідини. Наведено порівняльні дані надійності роботи конструкцій ущільнень торцевих виробництва ВАТ завод «Потенціал» (м. Харків), Нальчикського машинобудівного заводу, фірм «РЕДА» і «Байрон — Джексон» (США), фірми «Пасіфік» (ФРН). Доведено ефективність застосування торцевих ущільнень із композиційного матеріалу на основі реліту, що дають змогу збільшити міжремонтний період роботи електробурів у 3—4 рази та здійснити ефективне буріння з гідромоторними долотами з перепадом тиску 10 МПа ( $100 \text{ кгс/см}^2$ ).

Дано загальну характеристику розробленого і впровадженого у ВАТ завод «Потенціал» технологічного процесу, показано економічну ефективність від його практичного застосування.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі одержаних нових науково обґрунтованих результатів розв'язано актуальне і важливе народногосподарське завдання створення ефективного технологічного процесу алмазно-абразивної обробки торцевих поверхонь ущільнювальних кілець із композиційного матеріалу на основі реліту, який забезпечує підвищення продуктивності обробки та високу якість оброблюваних поверхонь.

1. Розроблено аналітичні моделі формування шорсткості плоских поверхонь при алмазно-абразивній обробці, що дали змогу з єдиних теоретичних позицій, на основі кінематичного й енергетичного підходів, оцінити технологічні можливості різних схем алмазно-абразивної обробки (включаючи схеми шліфування та доводки) з погляду зменшення шорсткості оброблюваних поверхонь. Установлено, що зменшити шорсткість поверхні можна зменшенням сили, що діє на окреме різальне зерно, тобто зменшенням міцності утримання зерен на робочій поверхні інструмента, застосовуючи обробку вільним абразивом. Зменшити шорсткість поверхні можна також притупленням різальних кромки (утворенням площадок зношення на зернах) і відповідно підвищенням міцності утримання зерен на робочій поверхні інструмента, тобто застосуванням інструментів зі зв'язаним абрази-

ВОМ.

2. Установлено узагальнену залежність для розрахунку шорсткості поверхні, яка включає новий параметр - час формування шорсткості поверхні. Це дозволяє аналітично описати різні кінематичні схеми шліфування, що відкриває нові можливості структурно-параметричного аналізу і синтезу технологічних процесів прецизійної алмазно-абразивної обробки.
3. На основі розроблених аналітичних моделей, що описують шорсткість поверхні, величину утвореної задирки, точність (неплощинність) обробки, температуру й силу різання, продуктивність та собівартість обробки при шліфуванні, а також параметри електроерозійної правки алмазних кругів, проведено структурно-параметричний аналіз і синтез технологічного процесу прецизійної обробки ущільнювальних кілець із композиційного матеріалу на основі реліту. Теоретично обґрунтована можливість значного підвищення продуктивності і зменшення шорсткості та неплощинності обробки торцевих поверхонь ущільнювальних кілець завдяки застосуванню схеми врізного торцевого алмазного шліфування торця обертового кільця. Дану схему використано для напівчистої обробки кільця та покладено в основу вибору технологічного маршруту обробки.
4. Теоретично обґрунтовано оптимальний варіант технологічного маршруту обробки, який включає технологічні операції попереднього плоского алмазного шліфування пакета кілець, напівчистого торцевого алмазного шліфування обертового кільця і притирки алмазним порошком пакета кілець. Запровадження операції торцевого алмазного шліфування дало змогу якісно підготувати оброблювану поверхню до подальшої операції притирки й тим самим зменшити припуски під притирку, трудомісткість операції притирки та витрату алмазного порошку.
5. На основі розроблених аналітичних моделей теоретично обґрунтовані оптимальні параметри технологічних операцій: оптимальні режими попереднього плоского високопродуктивного шліфування, при яких ефективно застосування алмазних кругів на металевих зв'язках замість абразивних кругів; оптимальні параметри електроерозійної правки алмазних кругів на металевих зв'язках на операції торцевого шліфування; умови зменшення величини утвореної задирки на операції торцевого алмазного шліфування.
6. Проведені експериментальні дослідження параметрів технологічних операцій алмазно-абразивної обробки підтвердили вірогідність одержаних теоретичних рішень. Установлено розходження розрахункових і експериментальних значень параметрів обробки в межах 15%.

7. Проведені випробування на надійність виготовлених за новою технологією торцевих ущільнень із композиційного матеріалу на основі реліту показали ефективність їх практичного застосування замість торцевих ущільнень, виконаних із графітів, мінералокераміки, твердого сплаву ВК та вуглецевої сталі.
8. Розроблений технологічний процес прецизійної обробки торцевих поверхонь ущільнювальних кілець із композиційного матеріалу на основі реліту впроваджений та ефективно функціонує у ВАТ завод «Потенціал», м. Харків. Результати теоретичних і експериментальних досліджень використані в навчальному процесі на кафедрі “Технологія машинобудування і металорізальні верстати” Національного технічного університету “ХПІ”.

### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Новиков Ф. В., Ткаченко В. П. Условия формирования шероховатости поверхности при алмазно-абразивной обработке // Резание и инструмент в технологических системах. — Харьков: ХГПУ, 2001.— Вып. 60. С. 171—176.

Здобувачу належать методика розрахунку шорсткості поверхні при алмазно-абразивній обробці та виконаний аналіз шляхів її зменшення.

2. Новиков Ф. В., Ткаченко В. П. Энергетический подход к оценке шероховатости поверхности при алмазно-абразивной обработке // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». — Харків: НТУ «ХПІ», 2002. — Вип.19. С. 142—145.

Здобувачу належать методика розрахунку шорсткості поверхні при алмазно-абразивній обробці та експериментальна перевірка теоретичних результатів.

3. Новиков Ф. В., Ткаченко В.П. Условия повышения производительности процесса алмазного шлифования // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». — Харків: НТУ «ХПІ», 2001. — Вип.11. С. 131—136.

Здобувачу належать методика розрахунку продуктивності алмазного шліфування та виконаний аналіз шляхів її підвищення

4. Ткаченко В. П. Оптимизация условий шлифования торца вращающегося кольца с учетом ограничений по шероховатости и точности обработки // Високі технології в машинобудуванні. Збірник наукових праць Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». — Харків: НТУ «ХПІ», 2002. — Вип. 1 (5). С. 382—385.

5. Ткаченко В. П. Экономическая эффективность применения алмазных кругов при шлифовании твердого сплава «Релит» // Резание и инструмент в технологических системах.— Харьков: НТУ «ХПІ», 2002. — Вып. 62. С. 139—143.

6. Ткаченко В. П. Разработка промышленной технологии изготовления торцовых уплотнений для электробуровой техники // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». — Харків: НТУ «ХП», 2002. — Вип.9, т. 11. С. 91—96.
7. Ткаченко В. П. Повышение эффективности алмазного торцового шлифования торца вращающегося кольца // Високі технології в машинобудуванні. — Харків: НТУ «ХП», 2003. — Вип. 1. С. 147—155.
8. Ткаченко В. П. Особенности технологии изготовления и эффективность применения торцовых уплотнений с релитовыми парами трения // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. — Харків: ХДТУСГ, 2002. — Вип. 10. С. 231—236.
9. Ткаченко В. П. Экспериментальные исследования алмазного шлифования торцовых поверхностей релитовых уплотнений // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. — Харків: ХДТУСГ, 2003. — Вип. 18. С. 44—50.
10. Ткаченко В. П. Условия уменьшения силовой напряженности процесса алмазного шлифования // Труды Одесского политехнического университета. — Одесса: ОГПУ, 2001. — Вып. 5. С. 92—95.
11. Ткаченко В. П., Свидерский В. И., Новиков Ф. В. Алмазная обработка твердого сплава «Релит» // Вісник Інженерної Академії України. — Київ, 2000. — Спец. випуск. С. 212—214.

Здобувачу належить методика розрахунку оптимальних параметрів електроерозійного прашлення алмазного круга.

12. Новиков Ф. В., Ткаченко В. П. Плоское алмазное шлифование твердого сплава «Релит» // Труды 4-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве.— Харьков: ХНПК «ФЭД», 2001. С. 187—190.

Здобувачу належать результати експериментальних досліджень параметрів плоского алмазного шліфування ущільнювальних кілець із композиційного матеріалу на основі реліту.

13. Новиков Ф. В., Ткаченко В. П. Механизм образования заусенцев при шлифовании и технология их устранения // Труды 5-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве. Харьков: ХНПК «ФЭД», 2002. С. 271—275.

Здобувачу належать розрахунок величини задирок при шліфуванні та розроблена технологія їх усунення.

14. Ткаченко В. П. Высокоэффективная технология алмазно-абразивной обработки релитовых торцовых уплотнений // Материалы 6-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве.— Харьков: ХНПК «ФЭД», 2002. С. 44—49.

### АНОТАЦІЇ

Ткаченко В. П. Підвищення ефективності технології прецизійної обробки ущільнювальних кілець із композиційного матеріалу на основі реліту. — Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 — технологія машинобудування. - Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» - Харків -2003.

Дисертація присвячена розробці ефективної технології прецизійної алмазно-абразивної обробки ущільнювальних кілець із композиційного матеріалу на основі реліту. Для цього розроблено нові узагальнені аналітичні моделі формування шорсткості плоских поверхонь (на основі кінематичного і енергетичного підходів) для різних схем алмазно-абразивної обробки, а також аналітичні моделі продуктивності, собівартості, точності (неплощинності) обробки, величини утворюваної задирки, температури й сили різання при шліфуванні, аналітична модель електроерозійної правки алмазних кругів. На основі цих моделей проведено структурно-параметричний аналіз і синтез технологічного процесу, теоретично обґрунтовано оптимальні варіанти технологічного маршруту та параметрів технологічних операцій.

Проведено комплексні експериментальні дослідження перевірки й уточнення теоретичних рішень вибору технологічного маршруту та параметрів технологічних операцій алмазно-абразивної обробки торцевих поверхонь ущільнювальних кілець із композиційного матеріалу на основі реліту. Розроблено та впроваджено у виробництво ефективний технологічний процес прецизійної алмазно-абразивної обробки торцевих поверхонь ущільнювальних кілець, що включає операцію чорного плоского шліфування алмазним кругом Ø 400 мм на металевій зв'язці з безперервною електроерозійною правкою та операцію напівчистового торцевого алмазного шліфування, операції притирки алмазним порошком і зняття задирок шліфувальним полотном.

**Ключові слова:** шорсткість обробленої поверхні, шліфування, технологічний процес, ущільнювальні кільця.

Ткаченко В.П. Повышение эффективности технологии прецизионной обработки уплотнительных колец из композиционного материала на основе релита. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 - технология машиностроения. - Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» - Харьков -2003.

Диссертация посвящена разработке эффективной технологии прецизионной алмазно-абразивной обработки уплотнительных колец из композиционного материала на основе релита. Для этого разработаны новые обобщенные аналитические модели формирования шероховатости плоских поверхностей (на основе кинематического и энергетического подходов) для различных схем алмазно-абразивной обработки, позволившие с единых позиций определить условия уменьшения шероховатости обрабатываемых поверхностей при обеспечении относительно высокой производительности обработки.

В работе впервые установлена обобщенная зависимость для расчета шероховатости плоских поверхностей, справедливая для различных кинематических схем шлифования, которые, как доказано, отличаются временем формирования шероховатости поверхности.

Теоретически обоснована эффективность применения схемы врезного торцового алмазного шлифования торца вращающегося кольца с точки зрения повышения производительности и уменьшения шероховатости и неплоскостности обработки торцовых поверхностей уплотнительных колец. Данная схема использована для получистовой обработки кольца и положена в основу выбора технологического маршрута обработки.

В работе разработаны также новые аналитические модели производительности, себестоимости, точности (неплоскостности) обработки, величины образующегося заусенца, температуры и силы резания при шлифовании, аналитическая модель электроэрозионной правки алмазных кругов. На основе этих моделей проведен структурно-параметрический анализ и синтез технологического процесса прецизионной обработки уплотнительных колец из композиционного материала на основе релита.

Проведены комплексные экспериментальные исследования проверки и уточнения теоретических решений выбора технологического маршрута и параметров технологических операций алмазно-абразивной обработки торцовых поверхностей уплотнительных колец. Разработан и внедрен в производство эффективный технологический процесс прецизионной алмазно-абразивной обработки торцовых поверхностей уплотнительных колец, включающий операцию чернового плоского шлифования алмазным кругом  $\varnothing 400$  мм на металлической связке с непрерывной электроэрозионной правкой и операцию получистового торцового алмазного шлифования, операции притирки алмазным порошком и снятия заусенцев шлифовальным полотном.

**Ключевые слова:** шероховатость обработанной поверхности, шлифование, технологический процесс, уплотнительные кольца.

Tkachenko V.P. "Increase of efficiency of technology of precision processing of sealing-rings, made of composite material, based on relit". - Manuscript.

Thesis on competition of scientific degree of Cand.Tech.Sci. on speciality 05.02.08 - manufacturing engineering. – National technical university "Kharkov polytechnic institute" – Kharkov – 2003.

Thesis is devoted to development of effective technology of precision diamond-abrasive processing of sealing-rings, made of composite material, based on relit. For this purpose new generalized analytical models of formation of roughness of flat surfaces (on the basis of kinematic and energy approaches) for various schemes of diamond-abrasive processing, and analytical models of productivity, cost price, accuracy (nonplanarity) of machining, value of burr, temperature and cutting force at grinding, analytical model of electroerosive dressing of diamond wheels are developed. On the basis of these models structural-parametric analysis and synthesis of technological process is carried out, optimum alternatives of technological route and parameters of operations are theoretically grounded.

Complex experimental investigations on check and improvement of theoretical solutions for selection of technological route and parameters of operations of diamond-abrasive processing of front surfaces of sealing-rings, made of composite material, based on relit, are carried out. Effective technological process of precision diamond-abrasive processing of front surfaces of sealing-rings including operation of rough flat grinding by diamond wheel of diameter 400 mm on metal bond with continuous electroerosive dressing and operation of semifinish face diamond grinding, operation of regrinding by diamond dust and deburring by grinding cloth are developed and introduced into production

**Key words:** roughness of machined surface, grinding, technological process, sealing-rings.