

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

**МЄДВЕДЄВ АНДРІЙ ЛЕОНІДОВИЧ**

УДК 621.923

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РІЗАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ АЛМАЗНОГО  
ШЛІФУВАЛЬНОГО КРУГУ ПРИ ОБРОБЦІ КЕРАМІКИ ЗА РАХУНОК  
УПРАВЛЯЮЧОГО ВПЛИВУ ВІЛЬНОГО АБРАЗИВУ**

**05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти**

**Автореферат**

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Донецьк 2014

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі «Мехатронні системи машинобудівного обладнання» в Державному вищому навчальному закладі «Донецький національний технічний університет» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
**Гусєв Володимир Владилєнович**  
Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», м. Донецьк, завідувач кафедри «Мехатронні системи машинобудівного обладнання».

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Фєдорович Володимир Олексійович** Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, професор кафедри інтегрованих технологій машинобудування ім. М.Ф. Семко;

доктор технічних наук, професор  
**Майборода Віктор Станіславович**  
Механіко-машинобудівний інститут Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, професор кафедри «Інтегровані технології машинобудування».

Захист відбудеться 25 квітня 2014 року о 15<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 11.052.04 у Державному вищому навчальному закладі «Донецький національний технічний університет» за адресою: 83001, вул. Артема 58, VI навчальний корпус, ауд. 202.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» за адресою: 83001, вул. Артема 58, II навчальний корпус.

Автореферат розісланий 24 березня 2014 року.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради Д 11.052.04  
канд. техн. наук, доцент



Т.Г. Івченко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Асортимент виробів із технічної кераміки достатньо великий: електропечі, шамотні вогнетриви, лабораторний термо- й корозійностійкий посуд, ізолятори, високовольтні запобіжники, зносостійкі елементи, вузли тертя, мелючі тіла, обтічники ракет, гідро - і пневмоапаратура та інше. Завдяки великій твердості цих матеріалів, в якості попередньої обробки використовується алмазне шліфування. Незважаючи на використання в якості ріжучих елементів такого твердого матеріалу як алмази, підчас роботи на їх робочих гранях з'являються площадки зносу, що призводить до підвищення сили різання й негативно позначається на якісних характеристиках поверхневого шару виробу – глибині тріщинуватого шару, яка, насамперед, залежить від параметрів робочої поверхні шліфувального круга, а її величина має вплив на міцність виробів або тривалість наступної фінішної обробки.

Для управління параметрами робочої поверхні шліфувальних кругів різних характеристик, тобто їх ріжучою здатністю, використовуються різні по фізичній природі способи. Періодичний управляючий вплив на робочу поверхню круга (РПК) дозволяє знизити силу різання та скоректувати геометрію інструменту. Найбільш інтенсивно й швидко роботу по виправленню інструменту роблять механічні способи. Але, не зважаючи на властиві цим способам переваги, слід зазначити їх суттєвий недолік – велика витрата алмазів з робочої поверхні шліфувального круга і, як наслідок, зниження кількості управляючих впливів на один інструмент, що призводить до підвищення собівартості виготовлення виробу, витрат щодо переналадки обладнання. Представником механічного способу управління ріжучою здатністю шліфувальних кругів (ШК) є спосіб використання вільного абразиву, який має великі потенційні можливості, але ще недостатньо вивчений.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана на кафедрі «Мехатронні системи машинобудівного обладнання» Донецького національного технічного університету в рамках науково-дослідницьких тем «Підвищення ефективності обробки конструкційної кераміки за рахунок керування ріжучою спроможністю алмазних шліфувальних кругів» (ДР № 0107U01297); «Дослідження впливу процесів фінішної обробки на експлуатаційні показники виробів триботехнічного призначення з технічної кераміки» (ДР № 0110U002645), в яких автор брав участь в якості виконавця.

### **Мета і завдання досліджень.**

*Мета дослідження* - забезпечення ріжучої здатності алмазних шліфувальних кругів при обробці технічної кераміки за рахунок використання способу управляючої дії вільним абразивом на робочу поверхню круга.

Для досягнення зазначеної мети в роботі поставлені наступні завдання:

- на основі системного підходу провести аналіз управляючого впливу вільного абразиву на параметри робочої поверхні шліфувального круга й розробити методіку теоретичних та експериментальних досліджень;

- розробити математичну модель зносу зв'язки шліфувального круга під впливом дії вільного абразиву на його робочу поверхню з урахуванням змінення зазору між притиром та шліфувальним кругом у часі;

- провести твердотільне моделювання поведінки алмазного зерна в зв'язці шліфувального круга під дією сили різання після реалізації способу управління ріжучою здатністю ШК вільним абразивом;

- визначити параметри способу управління ріжучою здатністю ШК вільним абразивом, завдяки яким забезпечуються збільшення коефіцієнта різальної здатності й висока розвиненість робочого профілю круга;

- визначити вплив стану робочої поверхні ШК на силу різання та якість поверхневого шару при обробці виробів із технічної кераміки;

- провести дослідно-промислову апробацію основних результатів досліджень.

*Об'єктом дослідження є процес управління станом робочої поверхні алмазного шліфувального круга при використанні способу вільного абразиву при обробці технічної кераміки.*

*Предметом досліджень є зміна рельєфу робочої поверхні шліфувального круга під час управляючого впливу вільного абразиву.*

**Методи дослідження.** Теоретичні дослідження проводилися з використанням методів, що базуються на фундаментальних положеннях теорій різання, тертя та зносу матеріалів, опору матеріалів, технології машинобудування, фізики, математичного аналізу, теорії ймовірності й математичного моделювання. Експериментальні дослідження виконані зі застосуванням пристрою для реалізації способу управління ріжучою здатністю ШК вільним абразивом, який встановлено на модернізованому верстаті моделі 3672; спеціального пристосування для запису профілю шліфувального круга на основі профілограф-профілометра моделі 201; пристроїв для контролю лінійного зносу круга, виміру коефіцієнту різальної здатності шліфувального круга; динамометричного столу на тензорезисторах.

### **Наукова новизна отриманих результатів.**

1. Вперше розроблено математичну модель зносу зв'язки шліфувального круга й матеріалу притиру під час реалізації способу управління ріжучою здатністю ШК вільним абразивом у залежності від вхідних параметрів процесу.

2. Вперше експериментально доведено, що після управляючого впливу вільного абразиву на поверхню ШК змінюється вид закріплення алмазного зерна у зв'язці шліфувального круга за рахунок появи «ямки» попереду нього та «спинки» позаду, що дозволяє інтенсифікувати процес різання.

3. Вперше, через результати моделювання, доказано й експериментально підтверджено, що після управляючого впливу вільного абразиву на алмазний ШК на металевій зв'язці підвищується опірність до випадіння алмазних зерен при обробці технічної кераміки, що пов'язано зі зміною умов його закріплення у зв'язці.

4. Вперше показано, що під час управляючого впливу вільного абразиву значення максимуму коефіцієнта ріжучої здатності алмазного ШК залежить від способу транспортування вільного абразиву в зону між притиром та РПК. При його транспортуванні у складі абразивного бруска, який складається із абразиву та зв'язуючого, значення максимуму коефіцієнта ріжучої здатності вище для тих брусків, що мають меншу міцність на стискання.

5. Вперше експериментально визначені раціональні параметри способу управління ріжучою здатністю алмазного ШК вільним абразивом на РПК, виходячи з умови забезпечення максимуму коефіцієнта ріжучої здатності.

**Практична значимість отриманих результатів** полягає в тому, що на основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень спроектовано та розроблено експериментальну та дослідно-промислову установки для реалізації способу управління ріжучою здатністю ШК вільним абразивом при обробці технічної кераміки та вогнетривких матеріалів. Використання таких установок дозволяє здійснювати управляючий вплив на РПК без зняття алмазного шліфувального круга з верстата. Конструкції установок та варіанти реалізації способу захищені патентами України (№№ 96351, 97700, 99526).

Розроблені алгоритм та програма, які дозволяють розрахувати знос зв'язки шліфувального круга й матеріалу притира під час управляючого впливу вільного абразиву в залежності від вхідних параметрів процесу.

Розроблені рекомендації щодо реалізації способу управління ріжучою здатністю алмазного ШК під час шліфування технічної кераміки, які дозволяють керувати силою різання, що, в свою чергу, позитивно відзначається на величині тріщинуватого шару оброблюваного виробу.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень впроваджені на: ВАТ «Красногорівський вогнетривкий завод» з очікуваним економічним ефектом 21 тис. грн. на рік, ТОВ «Техкерам» з очікуваним економічним ефектом 39,2 тис. грн. Результати роботи використовуються в навчальному процесі на кафедрі «Мехатронні системи машинобудівного обладнання» ДВНЗ «Донецький національний технічний університет».

**Особистий внесок здобувача.** Всі основні результати, які виносяться на захист, отримані здобувачем самостійно та опубліковані в 22 наукових роботах. Постановка наукових завдань та обговорення результатів проводилися спільно з науковим керівником.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертації доповідалися і обговорювалися на VII міжнародному науково-технічному семінарі «Современные проблемы подготовки производства, заготовительного производства, обработки, сборки и ремонта в промышленности и на транспорте», м. Свалява, 2007 р.; VI, VII, VIII, X міжнародних науково-технічних конференціях «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку», м. Краматорськ, 2008, 2009, 2010, 2012 р. р.; IX, X, XII Всеукраїнській молодіжній науково-технічній конференції «Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво», м. Запоріжжя, 2009 р., м. Суми, 2010 р., м. Київ, 2012 р. відповідно; VII міжнародній науково-технічній конференції «Прогресивні технології життєвого циклу авіаційних двигунів та енергетичних установок», м. Запоріжжя-Алушта, 2010 р.; міжнародній науково-технічній конференції «Молодежь и наука: модернизация и инновационное развитие страны», г. Пенза, 2013 г.

**Публікації.** Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 22 наукових працях, в тому числі 15 наукових працях у фахових виданнях та 7 в матеріалах міжнародних конференцій. Одна робота опублікована одноосібно, отримано 6 патентів на винахід у співавторстві.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається з вступу, 6 розділів із висновками, загальних висновків, списку використаних літературних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 218 сторінок, 52 ілюстрацій та 6 таблиці по тексту, 1 таблиці та 20 ілюстрацій на окремих сторінках, 163

найменувань використаних літературних джерел на 20 сторінках, 3 додатки на 41 сторінці.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі «Формування профілю шліфувального круга як фактор забезпечення якості при обробці технічної кераміки» проведено аналіз стану питання відновлення ріжучої здатності алмазних шліфувальних кругів при обробці технічної кераміки.

Наведено залежність експлуатаційних властивостей виробів із технічної кераміки від якості їх поверхневого шару. Найбільш вивченими з точки зору впливу умов шліфування на якість обробленої поверхні кераміки є такі показники, як середньоарифметичне відхилення профілю виступів  $R_a$ , середній крок нерівностей профілю  $S_m$ , відносна опорна довжина профілю  $t_p$  й найбільша висота профілю  $R_{max}$ . Наявність дефектного слою впливає на зниження міцності й термостійкості виробів із технічної кераміки. Дефекти на поверхні виробів утворюються під час механічної обробки алмазним шліфуванням, тому ця операція є найбільш відповідальною й трудомісткою та максимально впливає на собівартість отримання виробів.

Великий внесок у дослідження питань підвищення ефективності операцій алмазного шліфування кераміки належить наступним авторам: С.М. Братану, В.В. Бурмістрову, М.В. Везубу, В.В. Гусеву, А.І. Грабченку, В.Л. Доброскоку, Л.П. Калафатовій, В.І. Лавріненку, В.С. Майбороді, Ю.К. Новосьолову, Ю.А. Сізому, М.Д. Узуняну, В.О. Федоровичу, Ю.Д. Філатову, Я.О. Шахбазову та іншим. Аналіз робіт цих авторів показав, що при обробці технічної кераміки ШК стираються, а на поверхні алмазних зерен утворюються площадки зносу, що призводить до зростання сили різання, а це, в свою чергу, до збільшення кількості та розмірів дефектів.

Тому, для запобігання неприпустимих змін в поверхневому шарі заготовки з кераміки при обробці та за відсутності процесів саморегуляції (самозаточування) для шліфувальних кругів на металевій зв'язці необхідно періодично вносити корективи в стан їх робочої поверхні. Задля коректування стану поверхні круга використовують різного роду способи управляючої дії на їх робочу поверхню. Такі способи можна поділити на механічні, хімічні та фізичні або їх комбінації. Роботи по управлінню ріжучою здатністю ШК проводило багато вчених, серед яких: В.В. Бурмістров, В.І. Лавріненко, П.Г. Матюха, Л.Л. Мішнаєвський, В.О. Федорович та інші. До достоїнств механічних способів управляючої дії треба віднести швидкі відновлення ріжучої здатності та корегування профілю шліфувального круга, але їм притаманна надвелика витрата алмазоносного шару круга, що призводить до частішої зміни інструменту. Одним з механічних способів управління ріжучою здатністю ШК є спосіб використання вільного абразиву. Хоча він відомий давно, але є не достатньо вивченим. Однією з властивостей такого впливу на РПК є те, що процеси, які відбуваються при дії вільного абразиву на поверхню круга, схожі з процесами, що відбуваються при шліфуванні технічної кераміки, але більш інтенсивні.

На основі аналізу існуючих варіантів способу управління ріжучою здатність ШК вільним абразивом було запропоновано розробити конструкцію пристрою для

його реалізації, провести експериментальні та теоретичні дослідження процесу правки.

В другому розділі «Методичне забезпечення проведення досліджень для управління різальною здатністю алмазних шліфувальних кругів вільним абразивом» представлено методичне забезпечення проведення експериментальних та теоретичних досліджень щодо вивчення особливостей управління ріжучою здатністю алмазних ШК кругів способом вільного абразиву при обробці технічної кераміки.

На основі системного підходу розроблено систему управління ріжучою здатністю шліфувального круга, описано вхідні та вихідні параметри процесу, до яких можна віднести швидкість подачі притиру, швидкість подачі абразиву, розмір зерна вільного абразиву, його механічну характеристику та інше.

На основі поставлених завдань та у відповідності до структурної схеми системи управління ріжучою здатністю ШК розроблено методичний план проведення досліджень та наведено структурно-логічну схему роботи (рис. 1).



Рисунок 1 - Структурно-логічна схема досліджень

Провівши аналіз різної патентної документації, були відібрані найбільш позитивні сторони конструкцій пристроїв для правки ШК вільним абразивом і спроектовано та виготовлено нову конструкцію пристрою, яку пізніше було запатентовано. На рис.2 показана схема реалізації процесу управління ріжучою здатністю ШК за допомогою вільного абразиву.

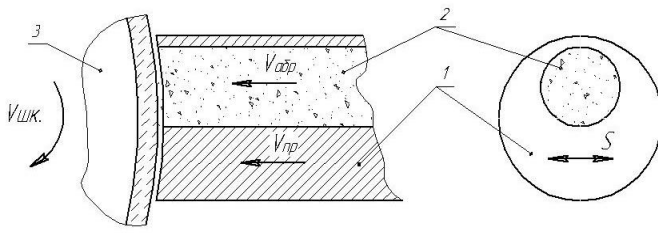


Рисунок 2 - Схематичне зображення процесу управляючого впливу на ШК вільного абразиву 1-притир; 2-абразивний брусок; 3-шліфувальний круг

зусилля підтиску вільного абразиву до зв'язки шліфувального круга, притир переміщують зі швидкістю  $V_{пр}$ . Для рівномірного зносу ШК та притиру й недопущення появи залишків металу на його краях додатково надають зворотно-поступальний рух  $S$ . До зони контакту подається абразив у суміші зі зв'язуючим у вигляді бруска. Під дією шліфувального круга брусок дробиться й звільняє абразивні зерна, які під тиском притиру вишліфовують зв'язку круга та руйнуються. Інтенсивність зносу зв'язки ШК та матеріалу притиру визначається розміром абразивних часток, кількістю абразивних часток, що приймають участь у роботі, та зазором між притиром і кругом. В свою чергу, зазор під час управляючого впливу формується автоматично при заданих значеннях подачі притиру  $V_{пр}$ , швидкості обертання шліфувального круга  $V_{шк}$  та подачі абразиву  $V_{абр}$ . Форма притиру може бути як круглою, так і прямокутною в перерізі. Розташування ексцентричного отвору вибрано таким, щоб забезпечувати збільшення площі нижньої (робочої) частини притиру задля шаржування в ньому зерен вільного абразиву.

Для запису профілю робочої поверхні круга використовувався пристрій, розроблений на кафедрі мехатронних систем машинобудівного обладнання ДонНТУ. Його основа – профілограф-профілометр моделі 201 до якого додатково розроблено пристрій для ідентифікації алмазних зерен на РПК. Це дозволило отримати профілограми робочої поверхні круга та експериментальні дані щодо параметрів РПК (максимальної величини виступання зерен із зв'язки  $\Delta R(\tau)$ , кількості зерен на одиниці площі поверхні круга, щільності ймовірності розподілу вершин зерен на РПК).

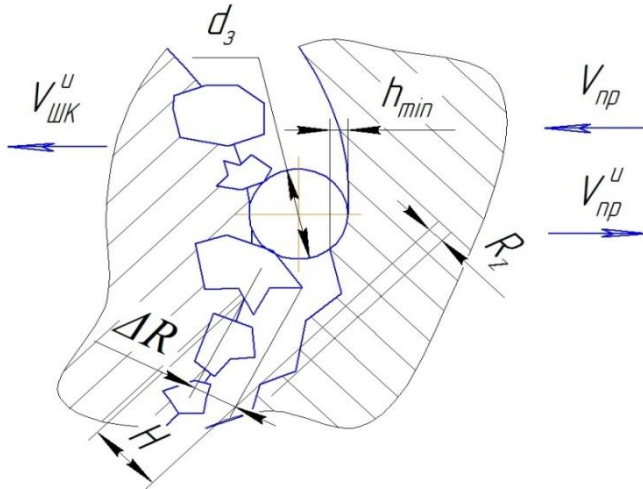
Пристрій для вимірювання зносу круга складається з індикатору годинникового типу, що може переміщуватися вздовж ширини шліфувального круга, та монокуляра для точної фіксації положення ШК, необхідного для заміру його зносу в перерізі. Виміри ріжучої здатності  $W(\tau)$  проводили по пружній схемі на зразках із ситалу АС-370 з постійним підтиском їх до круга зусиллям 41,5 Н. Складові сили різання вимірювалися динамометричним столом на тензорезисторах із підсилювачем 8АНЧ-7М та самописцем Н388-4П з чутливістю 5 Н. В якості охолоджувального середовища було обрано воду з додаванням 3% кальцинованої соди з розходом не менш 4 л/хв. Використовувалися: шліфувальні круги типу 1А1 250x10x3x76-4-М2-01 з зернистістю 100/80, 125/100, 250/200; в якості вільного абразиву – карбід кремнію зелений фракцій по рядах F54 – F120. Матеріал притиру – сірий чавун СЧ-

До шліфувального круга 3 (рис.2), що обертається на робочій швидкості  $V_{шк}$ , підводять притир 1 з ексцентричним отвором. Для забезпечення транспортування абразиву до зони між притиром та РПК він формувався у вигляді бруска 2 зі зв'язуючим, яке дозволяє транспортувати абразив до робочої зони. Абразив подається через отвір зі швидкістю  $V_{абр}$ . Для компенсації зносу притиру та отримання необхідного



20. При застосуванні електроерозійного способу управління ріжучою здатністю РПК використовували випрямляч ЗКГ-100А.

**В третьому розділі «Теоретичні дослідження механізму взаємодії вільного абразиву зі зв'язкою шліфувального круга й притиром при управляючому впливі вільним абразивом»** проведено теоретичні дослідження механізму



взаємодії вільного абразиву зі зв'язкою шліфувального круга й притиром при реалізації способу управління ріжучою здатністю ШК вільним абразивом.

Був розглянутий процес управління РПК як динамічний процес, при якому під дією вільного абразиву зношуються як зв'язка шліфувального круга, так і матеріал притиру, тобто здійснюється процес динамічного змінення зазору  $H(\tau)$  у часі. Від його величини залежить, здійснюється правка, чи ні в даний проміжок часу. Поточне значення величини  $H(\tau)$  між поверхнями зв'язки шліфувального круга й поверхнею притиру в часі залежить від швидкості

Рисунок 2 - Змінення зазору між притиром та шліфувальним кругом під час управляючого впливу вільним абразивом

повздовжнього переміщення притиру  $V_{пр}$ , швидкостей зносу притиру  $V_{пр}^u$  й шліфувального круга  $V_{ШК}^u$  та має наступний вигляд:

$$H(\tau) = H_0 - V_{пр}(\tau) + V_{пр}^u(\tau) + V_{ШК}^u(\tau) + \frac{N(\tau)}{j} \quad (1)$$

де  $H_0$  – початковий зазор,  $N(\tau)$  – питоме значення нормальної складової сили взаємодії зерен вільного абразиву з поверхнями притиру й шліфувального круга,  $j$  – жорсткість підсистеми «шліфувальний круг – притир».

Початковий зазор  $H_0$  призначається, виходячи зі стану ШК перед правкою (виступання зерен зі зв'язки  $\Delta R_{исх}$ ), геометричних параметрів профілю притиру (мінімальної відстані від круга, що описується найбільш виступаючими на алмазному крузі зернами й поверхнею притиру  $H_1$ ) й висоти мікронерівностей притиру  $Rz_{пр}$ :

$$H_0 = \Delta R_{исх} + Rz_{пр} + H_1. \quad (2)$$

Початковий зазор  $H_0$  обирається за умови, що він є більшим, ніж максимальний розмір зерна  $d_{3 \max}$  вільного абразиву:  $H_0 \geq d_{3 \max}$ .

Експериментальні дослідження робочого профілю притиру, що здійснювалися його профілографуванням через кожні 2 мм поверхні, показали, що на його поверхні в початковий період формується стабільний профіль, який не змінюється до кінця експлуатації притиру (рис.4). На підставі отриманих даних, зазор між притиром й шліфувальним кругом можна надати у вигляді клиновидного зазору з приведеним радіусом кривизни  $\rho$ .

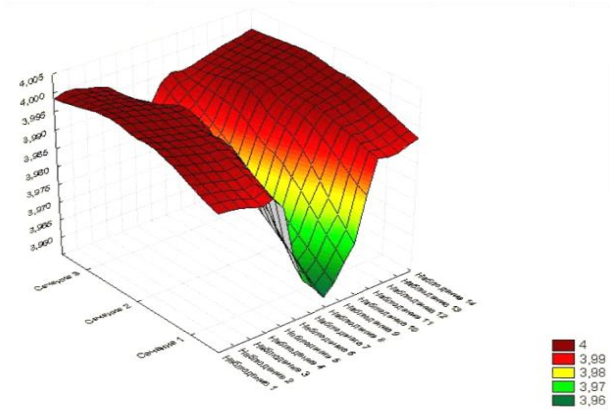


Рисунок 4 - Поверхня притиру під час управляючого впливу вільним абразивом

Іншим є процес, пов'язаний зі стиранням поверхні притиру зернами шліфувального круга. При цьому на притирі формується радіусна поверхня, через яку при взаємодії з ШК зерна вільного абразиву та їх уламки залишають робочу зону. Знос цієї поверхні будемо оцінювати при розгляданні змінення даного значення зазору  $H(\tau)$ . Швидкість зносу притиру будемо розглядати як величину зішліфовування його поверхні зернами шліфувального круга. Процес взаємодії абразивних часток із поверхнями шліфувального круга та притиру починається, коли значення зазору буде меншим за максимальний розмір зерна абразиву  $d_{3 \max}$ , що подається до робочої зони, тобто коли  $H(\tau) < d_{3 \max}$ . Ймовірність участі зерна вільного абразиву в деформації або видаленні зв'язки можна визначити, виходячи з щільності розподілу зерен й величини  $H(\tau)$ . Ймовірність  $P_k(\tau)$  участі зерна вільного абразиву при нормальному законі його розподілу за розміром у взаємодії з притиром визначали по наступній залежності:

$$P_k(\tau) = \begin{cases} 0, & H(\tau) > \bar{d}_3 + 3\sigma \\ 0,5 + \Phi\left(\frac{H(\tau) - \bar{d}_3}{\sigma}\right), & \bar{d}_3 < H(\tau) \leq \bar{d}_3 + 3\sigma \\ 0,5 - \Phi\left(\frac{\bar{d}_3 - H(\tau)}{\sigma}\right), & \bar{d}_3 - 3\sigma < H(\tau) \leq \bar{d}_3 \\ 1, & H(\tau) < \bar{d}_3 - 3\sigma \end{cases} \quad (3)$$

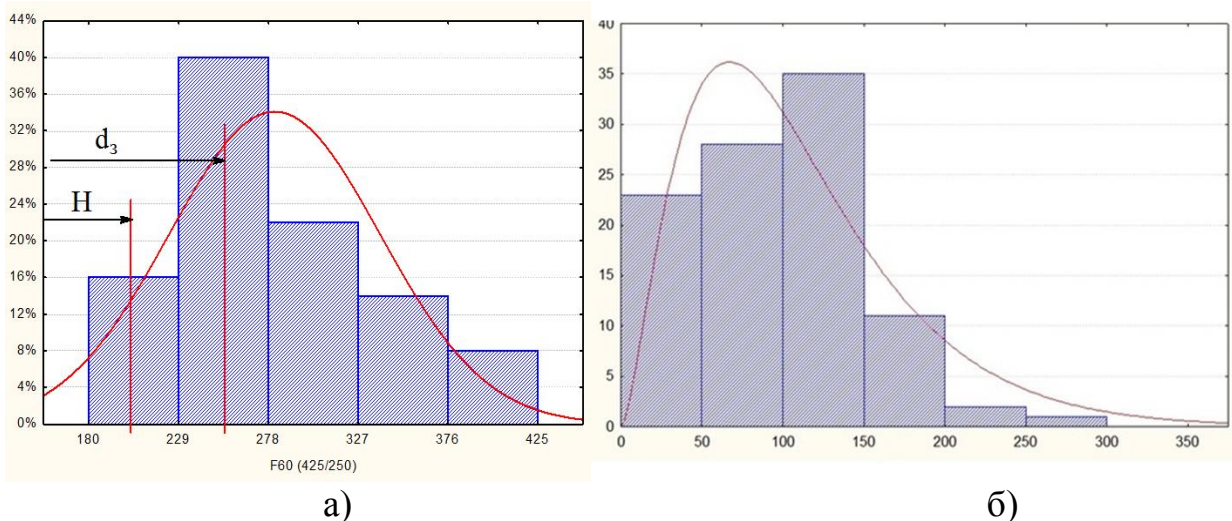


Рисунок 5 - Гістограма розподілу зерен вільного абразиву за розміром (фракція F60): а- початкове, б – після управляючого впливу на РПК

Також на зміну величини зазору впливає постійна зміна максимального виступу алмазних зерен зі зв'язки шліфувального круга  $\Delta R(\tau)$ .

$$\Delta R(\tau) = \Delta R_0 - \int_0^{\tau} V_L(\tau) d\tau + \int_0^{\tau} V_{\Delta R}(\tau) d\tau. \quad (5)$$

Фізика процесу зносу зв'язки шліфувального круга подібна з фізикою процесу зносу поверхонь, що труться при наявності зерен вільного абразиву, та визначалась за методиками І.В. Крагельського. Лінійний знос поверхонь зв'язки  $\Delta h_{I_{cv}}$  та притиру  $\Delta h_{I_{np}}$  за умови участі в роботі одного зерна має вигляд:

$$\Delta h_{I_{cv}} = \frac{\sigma_{ab}^{2,5} r^{2,5} \sqrt{\rho} \cdot n_{abr} \cdot p \cdot \alpha}{12 \cdot HB_{cv}^{1,5} \cdot HB_{np} \cdot A_{cv}}, \quad \Delta h_{I_{np}} = \frac{\sigma_{ab}^{2,5} r^{2,5} \sqrt{\rho} \cdot n_{abr} \cdot p \cdot \beta}{12 \cdot HB_{np}^{1,5} \cdot HB_{cv} \cdot A_{np}} \quad (6)$$

де  $A_{cv}, A_{np}$  - відповідно площі поверхні шліфувального круга й притиру,  $r$  - середній розмір зерна вільного абразиву,  $\beta = HB_{cv} / (HB_{cv} + HB_{np})$ ,

$\alpha = HB_{np} / (HB_{cv} + HB_{np})$  - відповідно середні ймовірності закріплення абразивних часток на поверхнях зв'язки шліфувального круга й притиру,  $n_{abr}$  - концентрація вільного абразиву,  $p$  - ймовірність участі в роботі вільного абразиву.

З урахуванням формул 1-6 було розроблено алгоритм та програму, яка дозволяє прогнозувати знос зв'язки шліфувального круга в часі та враховує зміну фракції зерен вільного абразиву, швидкостей подачі абразиву та притиру. Перевірка розробленої математичної моделі на адекватність показала, що вона описує закономірності процесу зносу зв'язки круга з похибкою, яка не перевищує 20%. Моделювання зносу зв'язки круга від вхідних параметрів процесу управляючого впливу вільним абразивом дозволило встановити, що найбільший вплив на зміну виступання зерен зі зв'язки мають розмір зерна вільного абразиву та швидкості подачі абразиву та притиру (рис.6), які мають нелінійну залежність під час управляючого впливу вільного абразиву на алмазний шліфувальний круг на металевій зв'язці.

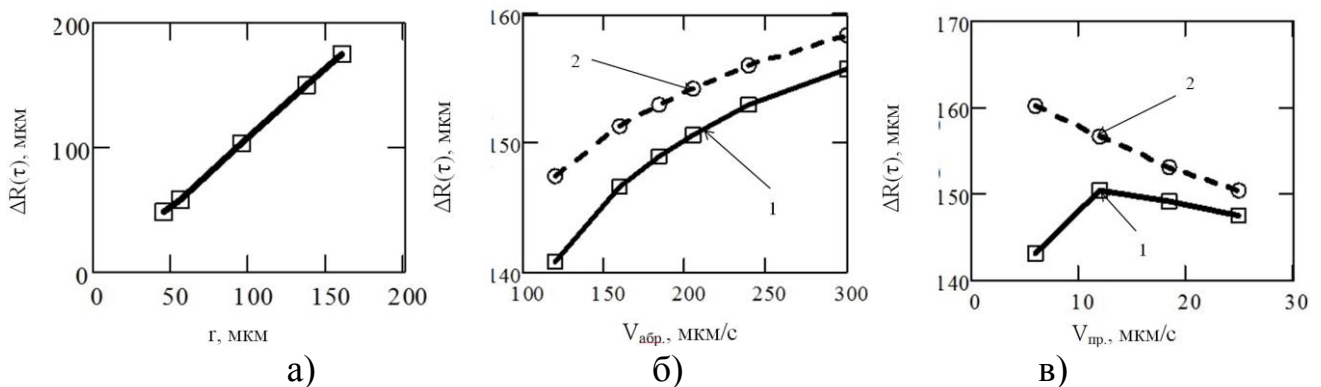


Рисунок 6 - Залежність виступання зерен зі зв'язки ШК від: а - радіусу зерен вільного абразиву; б - швидкості подачі абразиву; в - швидкості подачі притиру за період 1 - 200 с, 2 - 500 с управляючого впливу вільного абразиву на процеси в зоні правки

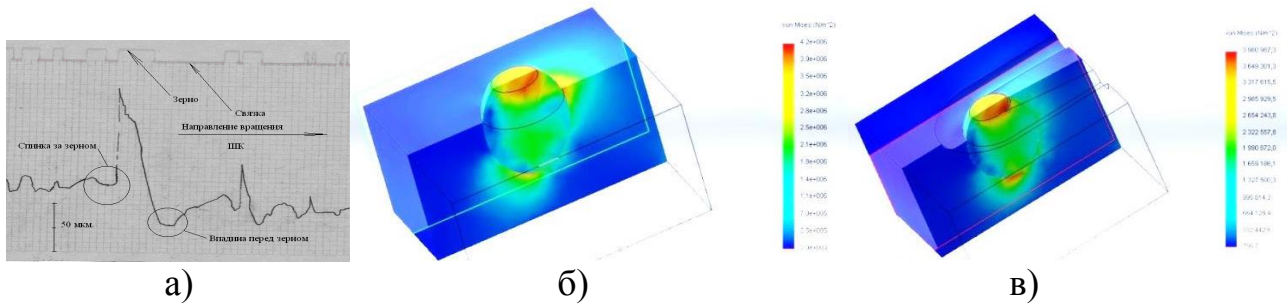


Рисунок 7 - Закріплення алмазного зерна в зв'язці шліфувального круга 1A1 A2 250/200 M2-01 а - профілограмма поверхні ШК після управляючого впливу вільним абразивом, моделювання різних схем закріплення зерна б – звичайна схема, в – схема після впливу вільним абразивом.

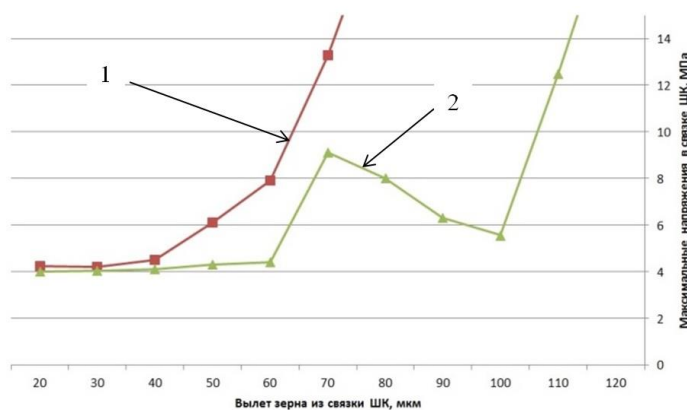


Рисунок 8 - Максимальні напруження у зв'язці алмазного ШК, що виникають під дією сили різання після впливу: 1 - електричної ерозії, 2 - вільного абразиву

Проведено моделювання поведінки одиничного зерна у зв'язці шліфувального круга під дією сили різання для різних варіантів моделі його закріплення: звичайної (рис. 7, б) та тієї, що виникає після управляючого впливу вільного абразиву.

Як видно з рис. 8, максимальні напруження, що виникають в зв'язці ШК до випадання зерна, вищі для зерен після управляючого впливу на них вільним абразивом. Це дає можливість інтенсифікувати процес обробки.

#### В четвертому розділі «Експериментальні дослідження

забезпечення різальної здатності шліфувального круга при управляючому впливі вільним абразивом» проведено експериментальні дослідження стану робочої поверхні алмазного круга під час управляючої дії вільним абразивом. Проведено дослідження міцності зв'язки абразивного бруска на максимум коефіцієнта ріжучої здатності шліфувального круга 1A1 250/200 250x10x3x76 M2-01 після 500 с управляючого впливу вільним абразивом фракції по ряду F60.

Для проведення дослідів було обрано такі варіанти подачі абразиву до робочої зони: у вигляді суспензії; у вигляді бруска зі сполучною речовиною з епоксидної смоли, цементу, гіпсу. Крім того правлячі бруски були виготовлені зі шліфувального круга ПП 400x32x40 КЗ Т1 64С 32П. Масова частка абразивного порошку, який брав участь в правці, була однаковою, відмінність була лише в способі подачі й зв'язці абразивного порошку. Так, наприклад, бруски, що були виготовлені зі шліфувального круга, мали міцність на стискання  $\sigma_{сж} \approx 80$  МПа, з епоксидної смоли -  $\sigma_{сж} \approx 50$  МПа, з цементу -  $\sigma_{сж} \approx 3,2$  МПа, з гіпсу -  $\sigma_{сж} \approx 1,5$  МПа. Заміри міцності брусків на стискання проводили згідно ГОСТ 12801-98 на машині ПГМ-500.

Отримані дані надали можливість зробити висновки щодо впливу міцності абразивного бруска на максимально досяжний рівень коефіцієнта ріжучої здатності шліфувального круга (рис. 9).



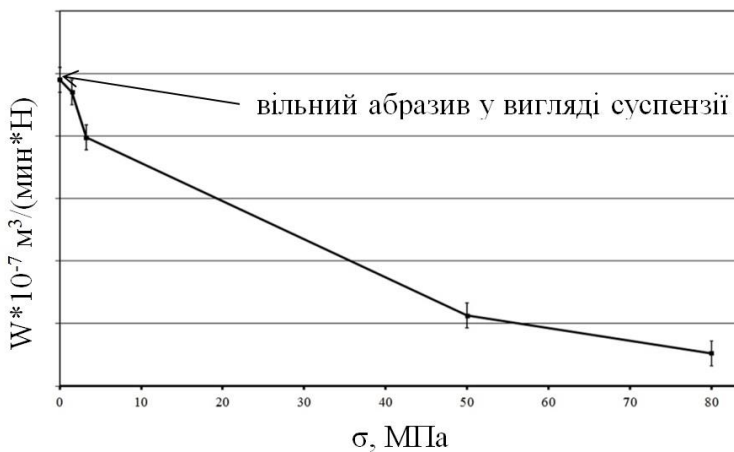


Рисунок 9 - Залежність значення максимуму коефіцієнта ріжучої здатності ШК від міцності абразивного бруска

дослідження щодо впливу фракції абразивного порошку на процес управління РПК. В дослідженнях використовували фракції карбиду кремнію зеленого по рядах F100, F70, F60. При цьому мали на меті виявити вплив фракції абразивного порошку на максимально досяжний рівень коефіцієнта ріжучої здатності. Перед початком досліджень шліфувальним кругом оброблювалися зразки з технічної кераміки до досягнення коефіцієнту ріжучої здатності величини  $0,5-0,6 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{хв} \cdot \text{Н}$ .

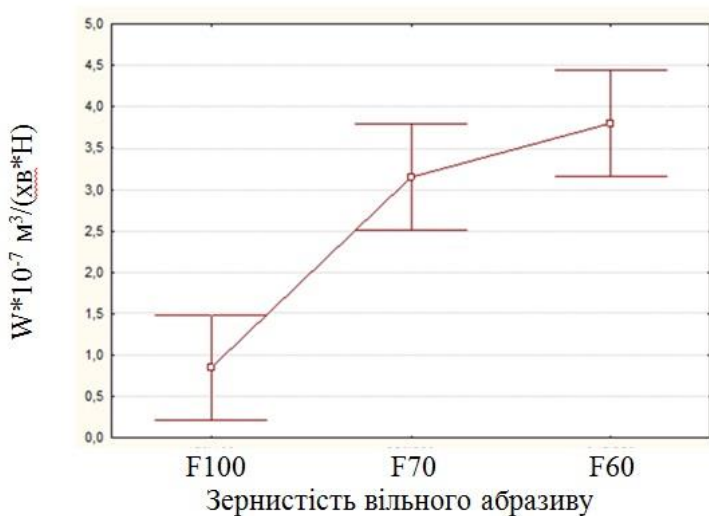


Рисунок 10 - Залежність максимально досяжного коефіцієнта ріжучої здатності ШК від фракції вільного абразиву

управляючого впливу вільним абразивом до рівня коефіцієнта ріжучої здатності ШК.

Як видно з наведеного графіку, максимум значення коефіцієнта ріжучої здатності ШК  $W(\tau)$  вище для тих брусків, у яких міцність на стискання  $\sigma$  нижча. Тобто, для управляючого впливу на ШК необхідно обирати сполучну речовину для вільного абразиву таким чином, щоб брусок мав можливість вільно транспортуватися до робочої зони й не руйнуватися. Для цього його міцність на стискання повинна бути не більшою за 15 МПа.

Проведено експериментальні дослідження щодо впливу фракції абразивного порошку на процес управління РПК. В дослідженнях використовували фракції карбиду кремнію зеленого по рядах F100, F70, F60. При цьому мали на меті виявити вплив фракції абразивного порошку на максимально досяжний рівень коефіцієнта ріжучої здатності. Перед початком досліджень шліфувальним кругом оброблювалися зразки з технічної кераміки до досягнення коефіцієнту ріжучої здатності величини  $0,5-0,6 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{хв} \cdot \text{Н}$ .

За результатами досліджень було отримано залежність максимально досяжного рівня коефіцієнта ріжучої здатності ШК від фракції правлячого абразиву (рис. 10).

З отриманих даних можна зробити висновок, що для досягнення максимуму коефіцієнта ріжучої здатності треба використовувати вільний абразив з фракцією більшою на 25-50% за зернистість шліфувального кругу. Інакше, вільний абразив не забезпечує необхідний виліт зерен із зв'язки шліфувального кругу (див. рис. 6, а) й збільшується час досягнення максимально досяжного

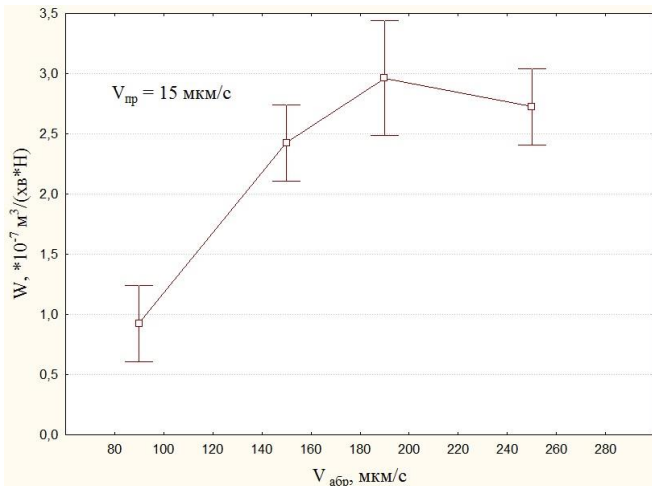


Рисунок 11 - Залежність максимально досяжної ріжучої здатності  $W$  шліфувального круга від швидкості подачі абразиву  $V_{abr}$

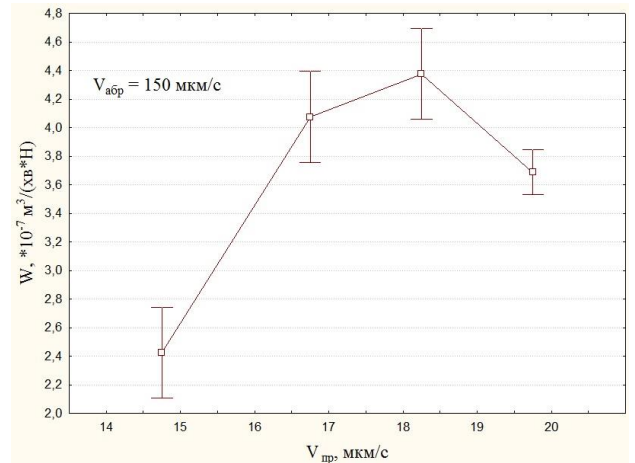


Рисунок 12 - Залежність максимально досяжної ріжучої здатності  $W$  шліфувального круга від швидкості подачі притиру  $V_{np}$ .

Проведено експериментальні дослідження щодо впливу вхідних управляючих параметрів: швидкості подачі притиру  $V_{np}$  та швидкості подачі абразиву  $V_{abr}$ . До робочої зони на максимально досяжний рівень коефіцієнта ріжучої здатності  $W$  (рис. 11 –12).

З наведених даних виходить, що максимум коефіцієнта ріжучої здатності шліфувального круга залежить від швидкості подачі абразиву при незмінній швидкості подачі притиру ( $V_{np}=15$  мкм/с) до робочої зони. Максимальне значення коефіцієнта ріжучої здатності  $W=2,6-3 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{хв} \cdot \text{Н}$  досягається при швидкостях подачі абразиву  $V_{abr} = 150-240$  мкм/с. При подальшому збільшенні швидкості подачі абразиву до робочої зони значення коефіцієнта ріжучої здатності ШК поступово знижується.

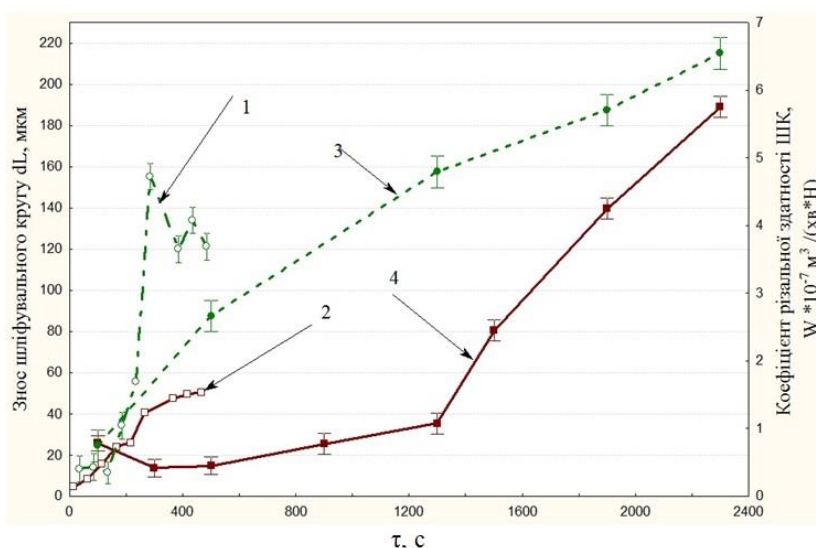


Рисунок 13 - Залежність коефіцієнту ріжучої здатності (1, 4) та лінійного зносу (2, 3) шліфувального круга А2 250/200 М2-01 в часі при впливах вільним абразивом (1, 2) та електричною ерозією (3, 4)

При зміні швидкості подачі притиру та незмінній швидкості подачі абразиву ( $V_{abr} = 150$  мкм/с) значення коефіцієнта ріжучої здатності шліфувального круга має приріст не на всьому проміжку підвищення швидкості подачі притиру. Його максимальне значення досягається при швидкостях подачі притиру в діапазоні  $V_{np}=16-20$  мкм/с й дорівнює  $W=3,6 - 4,2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{хв} \cdot \text{Н}$ .

Проведено порівняння способів управління ріжучою здатністю ШК вільним абразивом та за рахунок

електроерозії. Залежності коефіцієнту ріжучої здатності та лінійного зносу круга в часі наведено на рис. 13, де 1, 2 – ріжуча здатність, лінійний знос круга при управляючому впливі вільним абразивом; 4, 3 – ріжуча здатність, лінійний знос круга при управляючому впливі електроерозією, відповідно. Відмінність у процесах полягає в часі досягнення максимуму коефіцієнта ріжучої здатності та величини лінійного зносу круга. Так при управляючому впливі вільним абразивом час досягнення максимуму коефіцієнта ріжучої здатності в 6 разів менший, ніж при впливі електричною ерозією, а лінійний знос шліфувального круга менший в 4 рази (це свідчить про підвищення життєвого циклу круга).

**В п'ятому розділі «Обрання раціональних умов обробки технічної кераміки після управляючих впливів різними способами»** знайдено раціональні режимні параметри управляючої дії вільного абразиву, при яких можливе досягнення максимуму коефіцієнта ріжучої здатності круга при зміні швидкостей подачі притиру та абразиву до робочої зони. Для його визначення використовувався метод планування експериментів з двома перемінними. Отримані данні наведено на рис. 14. Для забезпечення максимуму коефіцієнта ріжучої здатності шліфувального круга необхідно задаватися наступними швидкостями притиру та абразиву  $V_{np}=18$  мкм/с,  $V_{абр}=200$  мкм/с, відповідно.

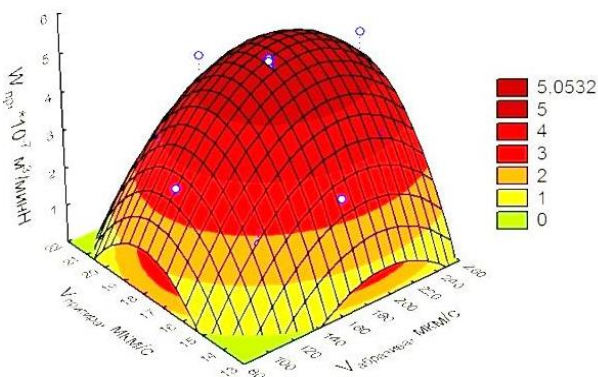


Рисунок 14 - Залежність максимуму коефіцієнта ріжучої здатності  $W$  шліфувального круга від швидкості подачі притиру  $V_{np}$  та абразиву  $V_{абр}$

Для виявлення закономірностей зміни стану робочої поверхні шліфувального круга при обробці технічної кераміки після управляючих впливів на нього вільним абразивом та способом електроерозії проведено експериментальні дослідження. Результати зносу ШК при обробці кераміки наведені на рис. 15. Так після обробки однакового об'єму технічної кераміки кругом, виправленим вільним абразивом, його знос становить 60 мкм, а після впливів електричною ерозією – 80 мкм. Це свідчить про те, що управляюча дія вільного абразиву на шліфувальний круг призводить до меншого зносу, збільшуючи його життєвий цикл.

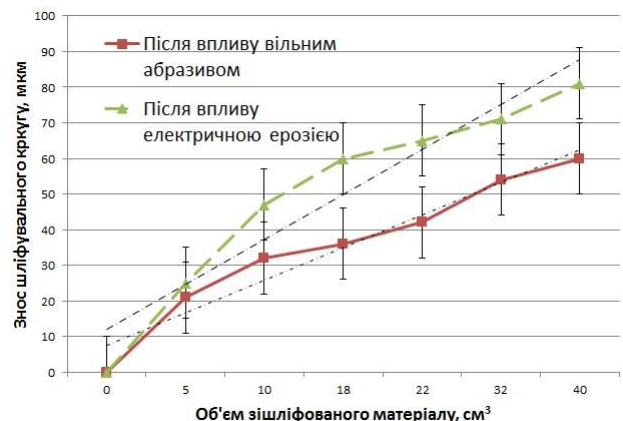


Рисунок 15 - Знос шліфувального круга після різних впливів на РПК

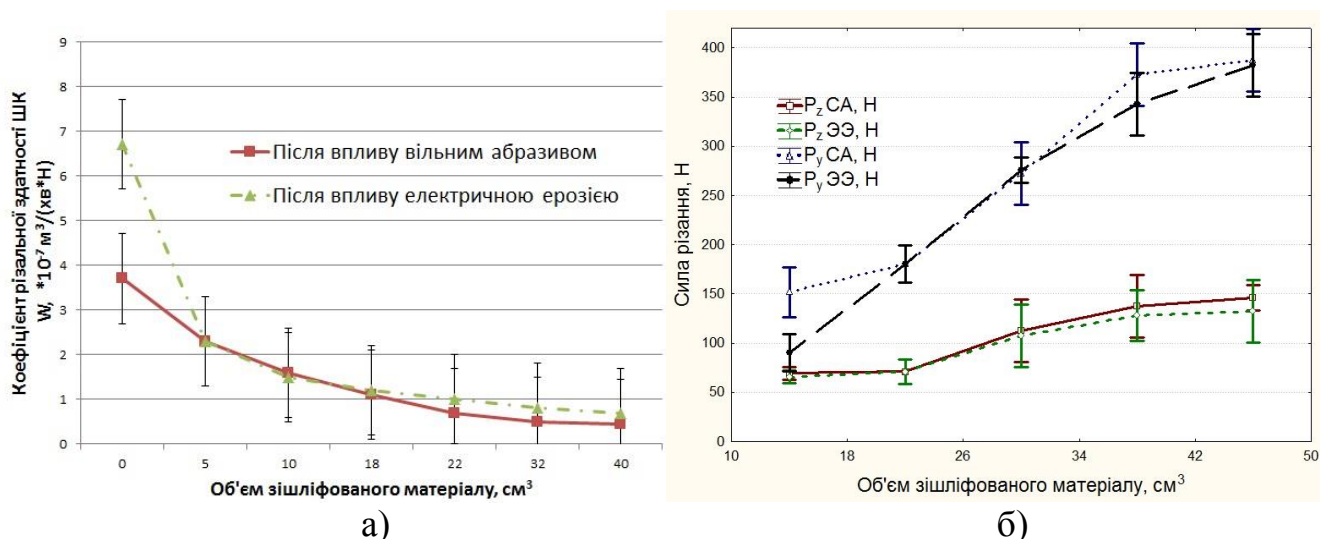


Рисунок 16 - Залежність: а - коефіцієнта ріжучої здатності ШК; б - складових сили різання від об'єму зішліфованого матеріалу при обробці технічної кераміки після управляючих впливів різними способами

Проведено дослідження щодо змінення значення коефіцієнта ріжучої здатності ШК та складових сили різання при обробці технічної кераміки після впливів на РПК різними способами. Результати експериментів наведено на рис.16. Процеси, що відбуваються при обробці, мають подібний характер. Коефіцієнт ріжучої здатності знижується достатньо швидко при знятті 5 см<sup>3</sup> матеріалу, майже в 2 рази після впливу на РПК вільним абразивом (з 3,8-4 до 2-2,2 \* 10<sup>-7</sup> м<sup>3</sup>/хв. Н) та майже в 3 рази після впливу електричною ерозією (з 6,5-7 до 2-2,2 \* 10<sup>-7</sup> м<sup>3</sup>/хв. Н).

Проведений повнофакторний експеримент по визначенню якості шліфованих виробів із кераміки в залежності від режиму обробки при використанні ШК, правлених способом вільного абразиву, з трьома незалежними змінними: швидкість різання, подача та зернистість ШК та однією залежною змінною – шорсткість поверхні. Аналіз його результатів показав, що для зниження шорсткості оброблюваної поверхні, перш за все, необхідно знижати зернистість шліфувального круга та величину подачі, що на практиці зробити легше, ніж змінювати швидкість різання.

Надано регламент роботи шліфувального круга з урахуванням управляючої дії вільним абразивом на його робочу поверхню. Управляючу дію вільним абразивом на РПК потрібно починати при досягненні нормальної складової сили різання при шліфуванні кераміки значення в 360 Н й переривати після 250-300 с.

**В шостому розділі «Дослідно-промислова апробація результатів дослідження»** наведено результати дослідно-промислового впровадження результатів досліджень на ПАО «Красногорівський вогнетривкий завод» при шліфуванні вогнетривкої цегли. В результаті впровадження пристрою для реалізації способу управління ріжучою здатністю ШК вільним абразивом отримано зниження кількості бракованих виробів та підвищено життєвий цикл роботи ШК в 2 рази.

При впровадженні результатів роботи на ТОВ «Техкерам» при обробці керамічних поршнів з діоксиду цирконію гідронасосів нафтодобувної промисловості отримано зниження глибини тріщинуватого шару в деталях з 25 до 5 мкм, що дало можливість знизити кількість бракованих деталей в 4 рази та підвищити продуктивність обробки на 42%.



Надано рекомендації щодо вдосконалення конструкції пристрою для реалізації способу управління робочою поверхнею ШК вільним абразивом.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В наслідок проведених досліджень розв'язано важливе науково-технічне завдання, яке полягає в забезпеченні необхідної структури поверхневого шару виробів із технічної кераміки та вогнетривких матеріалів за рахунок розробки способу управляючої дії вільним абразивом на робочу поверхню алмазних шліфувальних кругів.

1. На основі системного підходу розроблена структура системи управління робочою поверхнею шліфувального круга, що дозволяє визначити основні закономірності й параметри процесу управляючої дії вільним абразивом на зв'язку шліфувального круга. До основних параметрів відносяться: швидкості подачі притиру й абразиву до робочої зони; зернистість вільного абразиву.

2. Спроектовано та виготовлено пристрій для управління станом робочої поверхні шліфувального круга за рахунок впливу вільного абразиву, що подається до робочої зони у вигляді абразивного бруску, який дозволяє проводити правку без зняття шліфувального круга з верстата.

3. Розроблено математичну модель взаємодії вільного абразиву з притиром та робочою поверхнею шліфувального круга. Процес управляючого впливу вільного абразиву розглянуто як динамічний процес постійної зміни зазору між притиром та зв'язкою шліфувального круга. Модель дозволяє розрахувати інтенсивність абразивного зносу поверхонь притиру та зв'язки шліфувального круга під час управляючих дій вільним абразивом у залежності від розміру його зерен та механічної характеристики вільного абразиву, швидкостей подачі притиру та абразиву до робочої зони.

4. Теоретично та експериментально встановлено основні причини нелінійного впливу параметрів управління вільним абразивом на максимально досяжний рівень коефіцієнта ріжучої здатності алмазного ШК на металевій зв'язці. Існування екстремальної залежності коефіцієнта ріжучої здатності алмазних кругів від швидкостей подачі притиру та абразиву до робочої зони дозволяє обирати їх раціональні значення, що забезпечує максимум коефіцієнта ріжучої здатності для конкретних умов.

5. Експериментально встановлено, що максимум коефіцієнта ріжучої здатності алмазного ШК при управляючій дії вільним абразивом залежить від міцності на стискання брусків з вільним абразивом. Зі зменшенням значення міцності брусків значення коефіцієнта ріжучої здатності збільшується. Зв'язуюче для абразивного бруска необхідно обирати таким чином, щоб він міг транспортуватися до робочої зони через отвір у притирі без руйнування, а його міцність на стискання не повинна бути більшою за 15 МПа.

6. У порівнянні з електроерозійним способом управління ріжучою здатністю ШК спосіб використання вільного абразиву дозволяє видалити алмазоносний шар круга в 1,8 – 2,5 рази швидше. Видалений об'єм алмазоносного шару при управляючому впливі вільним абразивом в 3 – 4 рази нижчий, ніж при використанні управляючого впливу електричною ерозією. Використання

управляючого впливу вільним абразивом на робочу поверхню шліфувального круга дозволяє зменшити його знос при обробці технічної кераміки. Це пов'язано з більш надійним закріпленням алмазних зерен в зв'язці ШК за рахунок зміни картини закріплення зерна («спинка» зі зв'язки позаду зерна та «ямка» попереду нього).

7. Більше заглиблення алмазного зерна у зв'язку шліфувального круга при управляючому впливі вільним абразивом, яке відбувається за рахунок менш розвиненого профілю (до 20% меншої глибини робочої поверхні круга ніж при управляючому впливі електричною ерозією), призводить в процесі експлуатації ШК до його меншого зносу (особливо у початковий період роботи).

8. Впровадження пристрою для реалізації способу управління ріжучою здатністю ШК вільним абразивом в умовах ВАТ «Красногорівський вогнетривкий завод» дозволило забезпечити якість поверхневого шару вогнетривких матеріалів при підвищенні стійкості інструмента у 2 рази.

9. Впровадження процесу управління станом робочої поверхні шліфувального круга вільним абразивом при обробці поршнів з діоксиду цирконію гідронасосів нафтодобувної промисловості в умовах ТОВ «Техкерам» дозволяє підвищити продуктивність обробки на 42% та зменшити кількість бракованих деталей у 4 рази. Забезпечується формування бездефектної структури поверхневого шару виробів. Очікуваний економічний ефект від впровадження запропонованих заходів складає 39,2 тис. грн/рік.

10. Розроблені нові конструкції пристроїв для реалізації способу управління ріжучою здатністю ШК вільним абразивом, які захищені патентами України (№№ 96351, 97700, 99526), що дозволяє збільшити продуктивність процесу відновлення ріжучої здатності кругів на 40%.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### *Міжнародна наукометрична база (РІНЦ):*

1. Медведев А.Л. Характеристика інструмента для правки алмазних шліфовальних кругов как фактор управления режущей способностью шлифовального круга / А.Л. Медведев, В.В. Гусев // Обработка металлов (технология-оборудование-инструмент). – 2013. – №4 (61). – С. 98-104.

### *Статті у фахових виданнях України:*

2. Гусев В.В. Закономерности изменения режущей способности алмазных шлифовальных кругов при правке свободным и полусвязанным абразивом / В.В. Гусев, А.Л. Медведев // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – Випуск 154. – С. 41-48.

3. Гусев В.В. Выбор времени правки свободным абразивом круга / В.В. Гусев, А.Л. Медведев, В.В. Савельев // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сборник научных трудов.– Донецьк: ДонНТУ, 2007г. – Випуск 33.– С. 74-79.

4. Гусев В.В. Выбор рациональных условий правки алмазных кругов полусвязанным абразивом / В.В. Гусев, А.Л. Медведев // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: Збірник наукових праць. – Краматорськ: ДДМА. 2009. – Випуск 24. – С. 63-68.

5. Гусев В.В. Закономерности изменения состояния рабочей поверхности алмазного круга при шлифовании керамики / В.В. Гусев, А.Л. Медведев, В.В. Савельев // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. – Донецьк: ДонНТУ, 2007. – Випуск 124. – С. 21-30.

6. Медведев А.Л. Износ поверхности притира и шлифовального круга при правке способом свободного абразива / А.Л. Медведев // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: Збірник наукових праць. – Краматорськ: ДДМА. 2010. – Випуск №26. – С. 75-81.

7. Гусев В.В. Восстановление режущей способности алмазных кругов как фактор повышения эффективности шлифования изделий из керамики / В.В. Гусев, Л.П. Калафатова, А.Л. Медведев, Д.Ю.Семенюк // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство.– Донецьк: ДонНТУ, 2011. – Випуск 8(190). – С. 35-43.

8. Гусев В.В. Влияние прочности удержания абразивных зерен в связке бруска для правки на режущую способность алмазного шлифовального круга / В.В. Гусев, Л.К. Савченко, А.Л. Медведев // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Серія : Машинобудування та транспорт. – Севастополь. 2011. – Вип. 118. – С. 27-31.

9. Гусев В.В. Теоретическое исследование механизма взаимодействия свободного абразива со связкой шлифовального круга и притиром при правке / В.В. Гусев, А.Д. Молчанов, А.Л. Медведев // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. – Донецьк: ДонНТУ, 2012. – Випуск 9 (205). – С. 118-126.

10. Пат. № 97700 Україна, МПК В 24 В 53/00 Спосіб правки шліфувальних кругів вільним абразивом / Гусев В.В., Вяльцев М.В., Молчанов О.Д., Медведев А.Л., Семенюк Д.Ю.; Заявитель и патентообладатель ДонНТУ – а201006398; заявлено 25.05.2010; опубл. 12.03.2012, Бюл. №5. – 3с.

11. Пат. № 96351 Україна, МПК В 24 В 53/00 Спосіб правки шліфувальних кругів вільним абразивом / Гусев В.В., Вяльцев М.В., Молчанов О.Д., Медведев А.Л., Семенюк Д.Ю., Калафатова Л.П.; Заявитель и патентообладатель ДонНТУ – а201001793; заявлено 19.02.2010; опубл. 25.10.2011, Бюл. №20. – 6с.

12. Пат. №99526 Україна, МПК В 24 В 53/00 Спосіб правки шліфувального круга / Гусев В.В., Вяльцев М.В., Молчанов О.Д., Медведев А.Л., Тупік А.Л., Калафатова Л.П.; Заявитель и патентообладатель ДонНТУ – а201014477; заявлено 03.12.2010; опубл. 27.08.2012, Бюл. №16. – 4с.

***Тези та доповіді на наукових конференціях:***

13. Медведев А.Л. Влияние способа управляющего воздействия на рабочую поверхность алмазного шлифовального круга на процесс обработки технической керамики/ А.Л. Медведев // Сборник материалов международной научно-практической конференции. Молодежь и наука: модернизация и инновационное развитие страны. – Пенза. Пенз. гос. технол. универ., 2013. – С. 595-597.

14. Гусев В.В. Анализ способов правки свободным абразивом с различным состоянием правящей среды / В.В. Гусев, А.Л. Медведев // Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво: тези доповідей ІХ Всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції, 26-27 листопада 2009 р. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. – С. 23-25.

15. Гусев В.В. Особенности формирования рабочей поверхности круга при правке свободным абразивом. / В.В. Гусев, А.Л. Медведев // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку: матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції. – Краматорськ: ДДМА, 2008. – С. 33.

16. Гусев В.В. Зависимость режущей способности алмазного шлифовального круга от прочности связующей среды при управляющем воздействии свободным абразивом / В.В. Гусев, А.Л. Медведев // Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво: тези доповідей Десятої всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції. 26-30 жовтня 2010р., м. Суми. – Суми : Вид-во СумДУ, 2010. – С. 36-38.

17. Гусев В.В. О физике процесса правки шлифовальных кругов способом свободного абразива / В.В. Гусев, А.Л. Медведев // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку: Матеріали восьмої Міжнародної науково-технічної конференції 1-4 червня 2010 року. – Краматорськ: ДДМА, 2010. – С. 30.

18. Гусев В.В. Сравнительный анализ способов правки электроэрозионного и свободным абразивом / В.В. Гусев, А.Л. Медведев // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку: матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції. – Краматорськ: ДДМА, 2009. – С. 28.

19. Гусев В.В. Формирование рабочей поверхности алмазного круга при шлифовании керамики и правке свободным абразивом / В.В. Гусев, А.Л. Медведев // Современные проблемы подготовки производства, заготовительного производства, обработки, сборки и ремонта в промышленности и на транспорте: материалы 7-го Международного научно-технического семинара, 20-22 февраля, г. Свалява, Карпаты. – Киев, 2007. – С. 68-71.

## АНОТАЦІЯ

**Медведев А.Л. Забезпечення різальної здатності алмазного шліфувального круга при обробці кераміки за рахунок управляючого впливу вільного абразиву. – На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти. – Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», м. Донецьк, 2014.

Дисертація присвячена забезпеченню якості поверхневого шару виробів з технічної кераміки за рахунок управляючого впливу вільним абразивом на робочу поверхню алмазного шліфувального круга, що дозволяє знизити кількість бракованих виробів, зменшити глибину тріщинуватого слою на оброблюваній поверхні, збільшити життєвий цикл інструменту. Вирішення науково-технічного завдання здійснювалось за рахунок вибору раціональних умов управляючого впливу вільним абразивом на робочу поверхню шліфувального круга.

Розроблено алгоритм та програма розрахунку зносу шліфувального круга при управляючому впливі вільним абразивом. Проведене моделювання поведінки одиничного зерна у зв'язці шліфувального круга під дією сили різання, для різних видів закріплення, що показало більш надійне закріплення алмазного зерна після впливу вільним абразивом. Це дозволяє інтенсифікувати процес обробки. Проведені експериментальні дослідження, які довели адекватність теоретичних розрахунків.

Надано рекомендації щодо обробки виробів з технічної кераміки із застосуванням управляючого впливу вільним абразивом.

**Ключові слова:** технічна кераміка, вільний абразив, абразивний знос, управляючий вплив, якість поверхневого шару, алмазне зерно, шліфувальний круг.

## АННОТАЦІЯ

**Медведев А.Л. Обеспечение режущей способности алмазного шлифовального круга при обработке керамики за счет управляющих воздействий свободного абразива. – На правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.01 – процессы механической обработки, станки и инструменты. – Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, 2014.

Диссертация посвящена обеспечению качества поверхностного слоя изделий из технической керамики за счет управляющих воздействий свободным абразивом на рабочую поверхность алмазного шлифовального круга, что позволяет снизить количество бракованных изделий, уменьшить глубину трещиноватого слоя на обрабатываемой поверхности, продлить жизненный инструмент. Решение научно-технической задачи осуществлялось путем определения рациональных условий управляющих воздействий свободным абразивом на рабочую поверхность алмазного шлифовального круга.

На основе системного подхода, разработаны алгоритм и программа расчета износа связки шлифовального круга при управляющих воздействиях свободным абразивом, позволяющие оценить влияние входных параметров процесса: фракции и объема подаваемого свободного абразива, скорости подачи притира в рабочую зону на скорость удаления связки, развитость профиля шлифовального круга. Процесс взаимодействия свободного абразива со связкой круга в подсистеме «шлифовальный круг – свободный абразив - притир» представлен как абразивный износ трущихся поверхностей с динамически изменяющимся зазором. От величины зазора зависит, происходит ли в данный промежуток времени работа по удалению связки шлифовального круга или нет. В зависимости от величины зазора изменяется количество зерен свободного абразива, участвующих во взаимодействии со связкой шлифовального круга и притиром. Это оказывает нелинейное влияние на изменение текущих значений высоты выступания алмазных зерен из связки круга. Так же на развитость профиля шлифовального круга нелинейно влияют концентрация свободного абразива в рабочей зоне и превалирование одного из процессов износа шлифовального круга – скалывания алмазных зерен или абразивный износ связки.

Проведено моделирование поведения единичного зерна в связке шлифовального круга под воздействием силы резания для различных вариантов его заделки. Закрепление зерна в связке шлифовального круга после управляющих воздействий свободным абразивом позволяет ему воспринимать большие нагрузки до потери устойчивости (по сравнению с заделкой, получаемой после воздействий способом электрической эрозии), что позволяет интенсифицировать процесс обработки изделий.

Спроектирована и изготовлена установка для управления состоянием рабочей поверхности шлифовального круга свободным абразивом. Экспериментальные

исследования подтвердили адекватность теоретических расчетов. Использование управляющих воздействий свободного абразива на рабочую поверхность шлифовального круга позволяет уменьшить его износ при обработке технической керамики, увеличивая жизненный цикл инструмента.

Найдены рациональные условия управляющих воздействий свободным абразивом на рабочую поверхность шлифовального круга, при которых обеспечивается повышение коэффициента режущей способности и качество обрабатываемых изделий из технической керамики.

Применение управляющих воздействий свободным абразивом при обработке изделий из технической керамики позволило снизить силу резания, что в свою очередь обеспечило формирование требуемых показателей качества поверхностного слоя изделий. Разработан регламент обработки изделий из технической керамики с учетом управляющих воздействий свободным абразивом на рабочую поверхность шлифовального круга.

Опытно-промышленная апробация результатов исследований при обработке огнеупорных материалов привела к увеличению стойкости инструмента. Внедрение установки для управляющих воздействий свободным абразивом при обработке поршней гидронасосов из диоксида циркония привело к повышению производительности обработки на 42% и позволило снизить количество бракованных изделий в 4 раза. Проведено совершенствование конструкции устройства для управляющих воздействий свободным абразивом, что позволяет повысить производительность управляющих воздействий до 40%.

**Ключевые слова:** техническая керамика, свободный абразив, абразивный износ, управляющие воздействия, качество поверхностного слоя, алмазное зерно, шлифовальный круг.

## SUMMARY

**Medvedev A.L. Control of cutting ability of diamond grinding wheel based on free abrasive dressing in technical ceramics grinding. – Manuscript.**

Thesis for technical sciences degree (PhD) in speciality 05.03.01 – Processes of machining, machines and tools. – Donetsk National Technical University, Donetsk, 2014.

The dissertation on guarantee of ceramics skin quality which is based on free abrasive dressing of diamond grinding wheel that make possible to reduce faulty parts quantity and crack depth on machined face and increased life of grinding wheel (increase the quantity of dressing). Scientific-technical problem were solved by finding the efficient mode of grinding wheel dressing by free abrasive.

The method and program were developed that allows to determinate wear of grinding wheel in free abrasive dressing. Virtual prototypes of singular grain with different holding in bond under the action of cutting force were simulated. It had revealed that the grain holding in bond after dressing by free abrasive have had more safe fixation. This scheme of the grain fixation allows stepping up the grinding conditions. Results of the theoretical prediction for adequacy were confirmed by experimental researches. There were recommended conditions in technical ceramics grinding with dressing by free abrasive.

**Keywords:** technical ceramic, free abrasive, abrasive wear, dressing, quality of skin, diamond grain, grinding wheel.