

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

Габітов Валерій Валерійович

УДК 621.923

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ШЛІФУВАННЯ
ВАЖКООБРОБЛЮВАНИХ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ КРУГАМИ
ІЗ АЛМАЗІВ ТА ЕЛЬБОРУ ЗА РАХУНОК ДОДАТКОВИХ МЕХАНІЧНИХ І
ЕЛЕКТРИЧНИХ ВПЛИВІВ

Спеціальність 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» у Державному вищому навчальному закладі «Донецький національний технічний університет» Міністерства освіти та науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Матюха Петро Григорович,
Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», м. Донецьк,
професор кафедри «Мехатронні системи машинобудівного обладнання».

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Новіков Федір Васильович,
Харківський національний економічний університет,
м. Харків, завідувач кафедри «Техніка та технології»;

доктор технічних наук, професор
Доброскок Володимир Ленінмирович,
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків,
професор кафедри «Інтегровані технології машинобудування».

Захист відбудеться „25” квітня 2014 року о 12.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 11.052.04 у Державному вищому навчальному закладі «Донецький національний технічний університет» за адресою: 83001, м. Донецьк, вул. Артема, 58, VI-й навчальний корпус, ауд. 6.202.

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

Автореферат розісланий „25” березня 2014 року.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 11.052.04,
к.т.н., доцент

Т.Г. Івченко.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасна машинобудівна галузь промисловості потребує все більшого використання матеріалів, що мають підвищені властивості з міцності, стійкості до зношування, теплостійкості і т.д. Із таких матеріалів, а саме швидкорізальних сталей легованих ванадієм та твердих сплавів, виготовляються деталі штампів, оснащення для синтезу алмазів. Механічна обробка цієї групи матеріалів ускладнена, оскільки вони мають у своїй структурі компоненти, міцність і твердість яких близька до міцності і твердості звичайних абразивних матеріалів. Тому проблема високопродуктивної обробки важкооброблюваних матеріалів успішно вирішується за допомогою шліфування кругами з надтвердих матеріалів (НТМ) на металевій зв'язці. При цьому необхідна різальна здатність круга забезпечується електроерозійною правкою та підтриманням різальних властивостей круга в процесі обробки за рахунок безперервних або періодичних електроерозійних впливів (ЕЕВ) на робочу поверхню круга (РПК). Разом з цим, в літературі відсутні дані щодо впливу ЕЕВ в процесі оброблення кругами з ельбору, а також використовуються методи оптимізації процесу шліфування, що не враховують зміну різальних властивостей круга в процесі обробки.

Продуктивність обробки при шліфуванні залежить від форми одиничних зрізів та їх параметрів – товщини зрізу, довжини дуги контакту зерен з заготовкою, а також кількості зерен, які беруть участь у процесі шліфування.

Змінити форму одиничних зрізів, їх геометричні параметри та кількість контактуючих зерен можливо за допомогою надання шліфувальному кругу або заготовці коливального руху в напрямку паралельному або перпендикулярному осі обертання круга. Відомі конструкції пристроїв, що реалізують схему шліфування з накладенням осьових коливань на шліфувальний круг, при якій відмічається позитивний вплив осьових коливань на продуктивність шліфування і якість обробленої поверхні. Однак наявні в технічній літературі дані про вплив осьових коливань не розкривають механізму появи такого ефекту, що потребує додаткових досліджень.

Виходячи з наведеного, одним із шляхів підвищення ефективності шліфування важкооброблюваних матеріалів є використання додаткових фізико-механічних впливів в процесі обробки. Таким чином, дослідження, спрямовані на розробку умов і способів шліфування, що сприяють підвищенню ефективності обробки важкооброблюваних матеріалів кругами із надтвердих матеріалів шляхом додаткових електричних і механічних впливів, актуальні і відповідають вимогам сучасного стану досліджень процесів обробки важкооброблюваних матеріалів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана на кафедрі «Мехатронні системи машинобудівного обладнання» Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» в рамках науково-дослідних держбюджетних тем: Д5-09 «Теоретичні основи підвищення продуктивності шліфування шляхом управління поточної лімітованої різальної здатністю шліфувального круга» (номер держреєстрації 0018U011255), Д 2-12 «Наукові основи оптимізації шліфування комбі-

нованих заготовок з використанням узагальнених показників процесу», номер держреєстрації (0111U010298). Замовник – Міністерство освіти та науки України. У перерахованих роботах дисертант брав участь у якості виконавця.

Мета і задачі досліджень. *Мета дослідження* – підвищення продуктивності і зниження питомої собівартості шліфування ванадієвих швидкорізальних сталей і твердих сплавів кругами з алмазів та ельбору за рахунок додаткових механічних та електричних впливів і оптимізації режиму обробки.

Для досягнення вищевказаної мети необхідно вирішити наступні *задачі*:

1. Проаналізувати вплив осьових коливань при плоскому шліфуванні на параметри одиничних зрізів і продуктивність обробки кругами з НТМ.

2. Дослідити вплив електроерозійної правки і додаткових механічних та електричних впливів на продуктивність шліфування.

3. Розробити конструкцію пристрою, що забезпечує реалізацію плоского шліфування з постійним зусиллям підтискання заготовки до РПК з коливаннями вздовж осі обертання круга.

4. Дослідити вплив електроерозійних дій на РПК і коливального руху заготовки на продуктивність процесу плоского шліфування кругами з алмазів та ельбору.

5. Модернізувати внутрішньошліфувальний верстат моделі 3A227П для шліфування з постійною силою підтискання шліфувального круга до заготовки і з електроерозійними впливами на робочу поверхню круга в зоні обробки.

6. Визначити вплив часу обробки на зміну поточної лімітованої різальної здатності і поточних лімітованих витрат НТМ при плоскому та внутрішньому шліфуванні кругами із алмазів та ельбору.

7. Оптимізувати режими обробки при плоскому та внутрішньому шліфуванні за критерієм мінімальної питомої собівартості.

8. Впровадити результати досліджень у промисловість і навчальний процес.

Об'єкт досліджень – процес плоского та внутрішнього шліфування кругами з алмазів та ельбору важкооброблюваних матеріалів з введенням додаткової механічної та електричної енергії.

Предмет досліджень – зміна поточної лімітованої різальної здатності круга і поточних лімітованих витрат НТМ у часі обробки та оптимізація на їх основі шліфування кругами з алмазів та ельбору ванадієвих швидкорізальних сталей і твердих сплавів.

Методи досліджень – системний підхід, який базується на основних положеннях теорії шліфування, теплофізики процесів обробки, реалізований з використанням вербальних, математичних і фізичних моделей. Достовірність отриманих результатів та висновків підтверджується порівнянням результатів теоретичних розрахунків з експериментальними даними в межах 95 відсоткового довірчого інтервалу.

Наукові положення, які виносяться на захист:

В роботі висунуті наступні наукові положення:

1. Підвищення продуктивності шліфування при введенні в зону різання механічної енергії у вигляді коливань вздовж осі обертання шліфувального кру-

га, залежить від співвідношення часу контакту зерна з деталлю, форм одиночних зрізів та умов видалення продуктів засалювання з міжзеренного простору.

2. При шліфуванні ванадієвих швидкорізальних сталей кругами із ельбору позитивний ефект від введення додаткової електричної енергії визначається наявністю або відсутністю суміщення електроерозійних впливів з процесом обробки.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше описана траєкторія руху одиничного зерна шліфувального круга при накладенні осьових коливань на шліфувальний круг чи заготовку, а також формула для розрахунку довжини дуги контакту одиничного зерна з заготовкою.

2. Встановлено, що накладення осьових коливань сприяє появі одиночних зрізів сегментоподібної форми, які мають більшу товщину і сприяють збільшенню кількості працюючих зерен, а отже і продуктивності обробки.

3. Виконаний розрахунок швидкості деталі по заданому параметру шорсткості обробленої поверхні при внутрішньому шліфуванні.

4. Знайдені параметри закону, який описує зміну в часі поточної лімітованої різальної здатності шліфувального круга і поточних витрат НТМ при внутрішньому шліфуванні.

5. Вперше виконаний розрахунок оптимальних режимів шліфування кругами із алмазів та ельбору з врахуванням зміни у часі витрат НТМ в процесі обробки з безперервними і періодичними електроерозійними впливами на РПК за критерієм мінімальної питомої собівартості обробки.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Розроблена конструкція пристрою для плоского шліфування з накладенням осьових коливань на заготовку (Патент України №87908), яка дозволяє реалізувати процес шліфування з постійним зусиллям підтискання заготовки до РПК одночасно з накладенням низькочастотних коливань на заготовку.

2. Розроблена конструкція шліфувальної бабки внутрішньошліфувального верстата (Патент України №94813), що забезпечує шліфування отворів з постійним зусиллям підтискання шліфувального круга до заготовки з можливістю введення ЕЕВ в зону обробки.

3. Розроблена конструкція навантажувального пристрою шліфувальної бабки внутрішньошліфувального верстата (Патент України №98857), яка забезпечує надійний безперервний контакт РПК з заготовкою.

4. Розроблена математична модель процесу внутрішнього шліфування з періодичними електроерозійними впливами і програма для ПЕОМ, на основі якої можуть бути побудовані САПР технологічними процесами шліфування.

5. Розроблені методики та програми для ПЕОМ, що дозволяють розрахувати оптимальні механічні режими обробки і режими електроерозійних впливів на РПК при внутрішньому шліфуванні ванадієвих швидкорізальних сталей і твердих сплавів кругами із алмазів та ельбору з врахуванням поточних витрат НТМ за критерієм мінімальної питомої собівартості.

6. Розроблено технологічний регламент на процес внутрішнього шліфування твердих сплавів алмазними кругами і ванадієвих швидкорізальних сталей

кругами із алмазів та ельбору з безперервними і періодичними ЕЕВ на РПК, режими шліфування і режими електроерозійних впливів на РПК.

7. Результати досліджень впроваджені у виробництво на ПАТ «Донецький завод гірничорядувальної апаратури» з очікуваним економічним ефектом 15000 грн/рік і використовуються в навчальному процесі на кафедрі «Мехатронні системи машинобудівного обладнання» ДВНЗ «Донецький національний технічний університет».

Особистий внесок здобувача. Особисто автором:

- аналітично описані траєкторії руху одиничного зерна при накладенні осьових коливань на заготовку та обчислення довжини дуги контакту одиничного зерна з заготовкою;

- розроблено програми для ПЕОМ, що дозволяють розрахувати швидкість деталі по заданому параметру шорсткості обробленої поверхні при внутрішньому шліфуванні;

- розроблена конструкція і виготовлено пристрій для плоского шліфування з накладенням осьових коливань на заготовку (Патент України №87908);

- розроблена конструкція шліфувальної бабки внутрішньошліфувального верстата моделі 3А227П для шліфування отворів з постійним зусиллям підтискання шліфувального круга до заготовки одночасно з електроерозійними впливами на РПК (Патент України №94813);

- виконана модернізація внутрішньошліфувального верстата моделі 3А227П з метою шліфування отворів з постійним зусиллям підтискання РПК до заготовки одночасно з електроерозійними впливами на робочу поверхню круга;

- розроблена і виготовлена конструкція навантажувального пристрою шліфувальної бабки внутрішньошліфувального верстата (Патент України №98857), яка забезпечує надійний безперервний контакт РПК із заготовкою;

- розроблена методика розрахунку оптимальних режимів шліфування кругами із алмазів та ельбору за критерієм мінімальної питомої собівартості обробки з врахуванням зміни поточних витрат НТМ в процесі обробки з безперервними і періодичними електроерозійними впливами на РПК;

- визначений оптимальний режим періодичних електроерозійних впливів на РПК, а також сила струму безперервних ЕЕВ при внутрішньому шліфуванні кругами із алмазів та ельбору.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на:

- сьомій міжнародній конференції „Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку” (м. Краматорськ, Україна, 2-5 червня 2009 р.);

- ІХ всеукраїнській молодіжній науково-технічній конференції „Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво” (м. Запоріжжя, Україна, 26-27 листопада 2009 р.).

Публікації. За результатами досліджень по темі дисертації опубліковано 14 основних робіт у фахових виданнях України, і три Патенти України на винаходи. Дві роботи, з перерахованих, підготовлені особисто автором. Дві статті, опубліковані в науково-теоретичному збірнику, внесеному в базу даних наукового цитування Web of Science.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, шести розділів, загальних висновків. Робота викладена на 257 сторінках, містить 28 ілюстрацій на 20 сторінках, 31 рисуноків за текстом, 8 таблиць на 6 сторінках, 21 таблицю за текстом, список літератури з 138 найменувань на 14 сторінках і 9 додатків на 50 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі „Аналіз сучасних способів підвищення ефективності шліфування важкооброблюваних матеріалів кругами з НТМ” проаналізовано області використання кругів з алмазів та ельбору. Наведені основні характеристики шліфувальних кругів з НТМ та особливості їх призначення. Встановлено, що при обробці інструментальних важкооброблюваних матеріалів найбільше розповсюдження набули круги на металевих зв'язках. Такі круги вимагають особливих способів підготовки до роботи, які суттєво можуть впливати на показники ефективності оброблення.

В роботах багатьох дослідників (А.І. Грабченко, М.Д. Узунян, В.Д. Дорофєєв, П.І. Ящерицин, Л.Д. Яковенко, Ю.А. Сахалін, П.Г. Матюха, Е.Я. Гродзинський та ін.) надається перевага електроерозійним способам правки кругів та їх комбінаціям в порівнянні з іншими, оскільки електроерозійна правка забезпечує найбільшу ріжучу здатність круга в початковий період шліфування. Однак з плином часу обробки ріжуча здатність круга постійно зменшується, що особливо важливо при роботі кругами на металевій зв'язці. В зв'язку з цим виконані дослідження способів оброблення, в яких під час шліфування за рахунок керуючих дій підтримується ріжуча здатність круга.

Літературний аналіз сучасного рівня застосування шліфування важкооброблюваних матеріалів кругами із НТМ дозволяє стверджувати, що можлива подальша інтенсифікація процесу шліфування за рахунок поєднання процесів шліфування з додатковими впливами на РПК за рахунок коливань та ЕЕВ.

Враховуючи те, що в літературі відсутні відомості про ефективність шліфування з накладенням коливань кругами, заправленими електроерозійним способом, не розкритий механізм підвищення продуктивності обробки при накладенні осьових коливань, а також про вплив електроерозійних впливів на РПК при шліфуванні кругами із ельбору, поставлені мета та задачі дослідження, які наведені в загальній характеристиці роботи.

У другому розділі „Методологія досліджень, устаткування, оброблювані матеріали, інструмент і методики досліджень” описані методики експериментальних досліджень, використане обладнання, пристрої, інструмент, оброблювальні матеріали, наведена методика підготовки обладнання та методи статистичного аналізу даних експериментів.

Плоске вірзне шліфування кругами з алмазів та ельбору з постійним зусиллям підтиску заготовки до РПК з можливістю електроерозійної правки і електроерозійних впливів на РПК в процесі обробки виконували на модернізованому плоскошліфувальному верстаті моделі 3Г71 з джерелом технологічного струму ІТТ-35. Зразки з ванадієвої сталі Р6М5Ф3 шліфували з постійною силою підтискання зразка до РПК з використанням спеціального пристрою. Плоске шліфування з постійною силою підтиску та накладенням осьових коливань на

заготовку реалізували на розробленому пристрої для накладення коливань на заготовку вздовж осі шліфувального круга. При плоскому шліфуванні використовували круги 1A1 250×76×15×5 із синтетичних алмазів АС6-100/80-4-М2-01, АС6-160/125-4-М2-01, АС6-200/160-4-М2-01 та ельбору KB 100/80-4-М2-01.

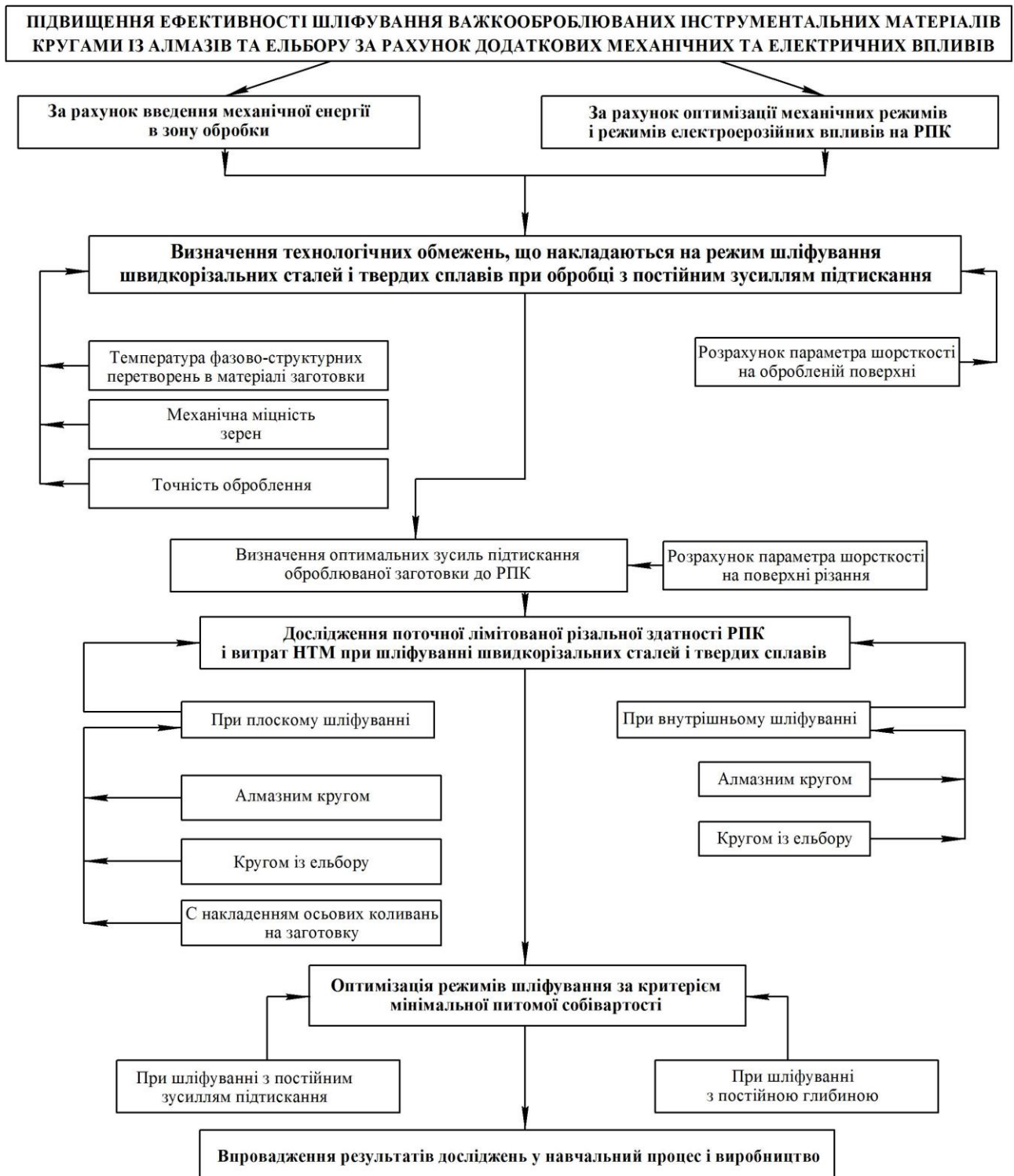


Рисунок 1 – Структурно-логічна схема дисертаційної роботи

Внутрішнє шліфування кругами з алмазів та ельбору з постійною силою підтискання зразка до РПК з можливістю електроерозійної правки і електроерозійних впливів на РПК в процесі обробки зразків у вигляді кілець з отвором ді-

аметром $\varnothing 43$ мм зі сталі Р6М5Ф3 та твердого сплаву ВК15 виконували на модернізованому внутрішньошліфувальному верстаті моделі 3А227П зі спеціальною шліфувальною бабкою.

При обробці використовували круги профілю 1А1 40×10×15×3 тих самих характеристик, що й при плоскому шліфуванні.

Робоче середовище – 0,3%-вий водяний розчин кальцинованої соди.

Визначення величини зношування кругів, об'єму зішліфованого матеріалу, питомої собівартості обробки для обох видів шліфування виконували за відомими методиками.

Третій розділ „Визначення технічних обмежень, що накладаються деталю, верстатом та інструментом на режим шліфування з постійною силою підтискання зразка до РПК” присвячений визначенню технічних обмежень, при шліфуванні ванадієвих швидкорізальних сталей і твердих сплавів кругами із алмазів та ельбору.

При шліфуванні, в якості технічного обмеження на швидкість деталі є параметр шорсткості обробленої поверхні, за яким виконується розрахунок швидкості заготовки V_d .

Припустимо зусилля підтиску зразка до РПК P_n при плоскому шліфуванні (рис. 2, а) сталі Р6М5Ф3 алмазними кругами 1А1 250×76×15×5 із алмазів АС6 різної зернистості розраховували з використанням температури фазово-структурних перетворень в поверхневому шарі заготовки $T_{дон}$. Сила підтискання зразка до РПК для зернистості 100/80 дорівнює 82 Н, 160/125 – 97 Н, 200/160 – 92 Н.

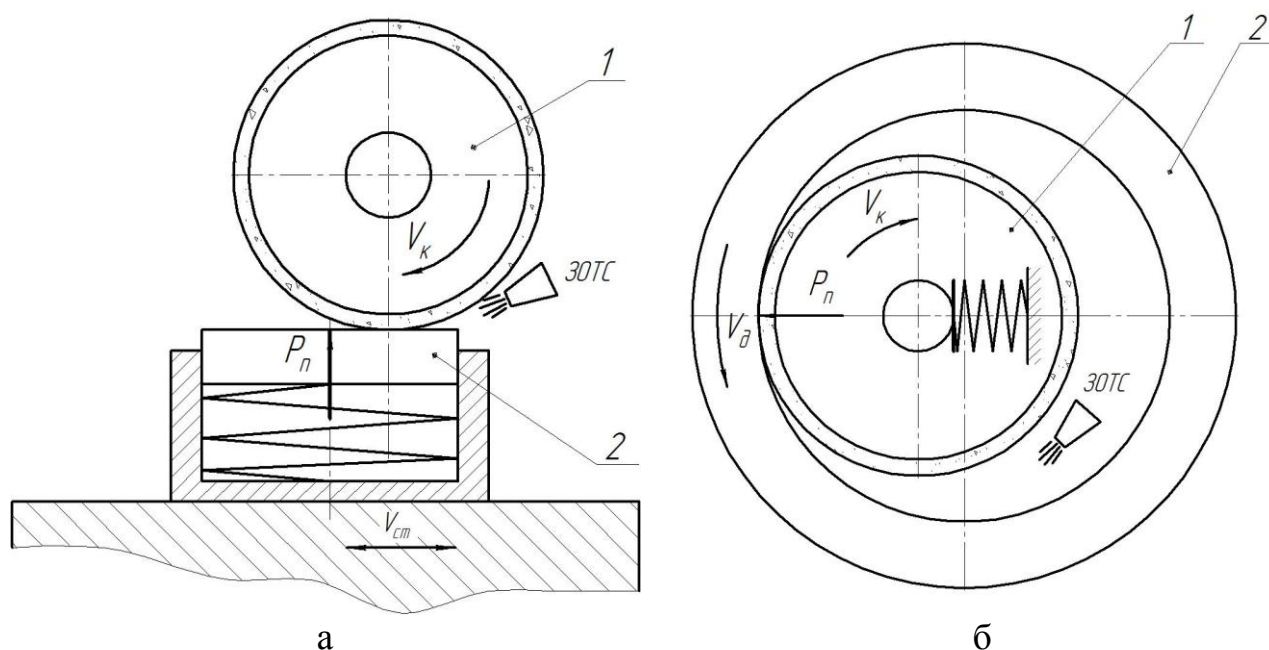


Рисунок 2 – Схема плоского (а) та внутрішнього (б) шліфування з постійною силою підтискання зразка до РПК: 1 – шліфувальний круг, 2 – деталь

При шліфуванні сталі Р6М5Ф3 кругом КВ 100/80-4-М2-01 зусилля підтиску заготовки до робочої поверхні круга з ельбору обмежується механічною міцністю ельборових зерен. Припустимо зусилля підтиску зразка до РПК скла-

дає $P_n = 81$ Н. Знайдене значення P_n для кругів з ельбору за критерієм механічної міцності зерен використовували в подальших дослідженнях.

При внутрішньому шліфуванні з постійною силою підтиску шліфувального круга до заготовки (рис. 2, б) в якості обмежуючого технічного критерію використовували точність оброблення, що обумовлено малою жорсткістю системи «верстат-пристрій-інструмент-деталь». В цьому випадку, зусилля підтиску при внутрішньому шліфуванні залежить тільки від точності обробки і не залежить від марки НТМ, зернистості круга та оброблюваного матеріалу. При шліфуванні отвору $\varnothing 43H6$ припустиме зусилля дорівнювало $P_n = 20$ Н.

Четвертий розділ „Підвищення продуктивності плоского шліфування швидкорізальних сталей кругами із алмазів та ельбору за рахунок введення додаткової енергії” присвячений експериментальним дослідженням впливу на підвищення продуктивності шліфування способу правки, введення додаткових механічних дій у вигляді коливань вдовж осі круга та електроерозійних впливів на РПК та аналізу отриманих результатів.

При дослідженні впливу способу правки на продуктивність шліфування кругом із ельбору його піддавали правці шліфуванням абразивного бруска, а також електроерозійній правці. Було встановлено, що електроерозійна правка забезпечує найбільшу початкову різальну здатність круга KB 100/80-4-M2-01, яка складає $1800 \text{ мм}^3/\text{хв}$, що в 30 разів перевищує різальну здатність круга, заправленого шліфуванням абразивного бруска, яка дорівнює $60 \text{ мм}^3/\text{хв}$.

Визначення впливу введення додаткових механічних коливань та електроерозійних дій на робочу поверхню кругів із алмазів та ельбору виконували за зміною поточної лімітованої різальної здатності круга (ПЛРЗК) та поточних витрат НТМ при шліфуванні протягом часу. При шліфуванні швидкорізальної сталі Р6М5Ф3 кругами досліджуваних характеристик зміну різальної здатності описували експоненціальним законом наступного вигляду:

$$Q(\tau) = Q_{\text{вст}} + \Delta Q \cdot \exp(\beta_Q \cdot \tau) \quad (1)$$

де $\Delta Q = Q_{\text{вих}} - Q_{\text{вст}}$ – амплітуда зниження різальної здатності круга, $\text{мм}^3/\text{хв}$; Q , $Q_{\text{вих}}$, $Q_{\text{вст}}$ – відповідно поточна, вихідна та різальна здатність, що встановилась, $\text{мм}^3/\text{хв}$; β_Q – емпіричний коефіцієнт, $1/\text{хв}$; τ – тривалість шліфування, хв.

Поточні витрати НТМ також описували рівнянням аналогічного вигляду з відповідними складовими:

$$M(\tau) = M_{\text{вст}} + \Delta M \cdot \exp(\beta_M \cdot \tau) \quad (2)$$

З використанням наведених залежностей визначали економічний ефект від накладення коливань та виконували оптимізацію режимів ЕЕВ на РПК за критерієм мінімальної питомої собівартості.

Вплив коливань вздовж осі обертання круга на продуктивність обробки досліджували на основі аналізу параметрів одиночного зрізу. Було встановлено, що траєкторією руху одиночного зерна є трохойда, у якій центр твірного кола рухається по синусоїдальному гармонійному закону вдовж вісі кочення, що описується системою рівнянь:

$$\begin{cases} x = A_K \sin \frac{2\pi f R_K \varphi_K}{1000 V_K}; \\ y = R_K (1 - \cos \varphi_K); \\ z = R_K \left(\sin \varphi_K \pm \frac{V_\partial \varphi_K}{60 V_K} \right). \end{cases} \quad (3)$$

З використанням рівняння (3) та спрощеної траєкторії в вигляді кола, похибка якої не перевищує 0,3%, були отримані формули для визначення дуги контакту одиничного зерна з заготовкою

$$L = \sqrt{\left(\pi R_K \arccos \left(1 - \frac{t\phi}{R_K} \right) \right)^2 + \left(A_K \sin \frac{2\pi R_K \arccos \left(1 - \frac{t\phi}{R_K} \right)}{1000 \cdot V_K} \right)^2}. \quad (4)$$

В якості критерію появи позитивного ефекту від накладення коливань запропонований коефіцієнт ефективності K_{ef} :

$$K_{ef} = \frac{L \cdot f}{1000 \cdot V_K} \geq 0,25, \quad (5)$$

де L – довжина дуги контакту; f – частота коливань.

Встановлено, що коливання частотою в діапазоні 25...1600 Гц незначно збільшують дугу контакту. Тому в умовах експериментів, при режимах $V_K = 35$ м/с, $V_\partial = 6$ м/хв, силі підтиску $P_n = 80$ Н, амплітуді $A = 2$ мкм, з частотою коливань $f = 50$ Гц при коефіцієнті $K_{ef} < 0,002$, збільшення продуктивності обробки алмазним кругом (табл. 1) забезпечується за рахунок зростання кількості зрізів сегментоподібної форми замість комоподібної, а також меншою інтенсивністю засалювання контактних площадок на зернах. При шліфуванні кругом із ельбору введення коливань знижує продуктивність обробки, що пояснюється збільшенням руйнування зерен внаслідок додаткового силового впливу на них від осьових коливань. При зростанні зернистості алмазного круга ефект від накладення коливань зменшується та при шліфуванні кругом зернистістю 200/160 є несуттєвим.

Таблиця 1. Показники ефективності введення коливань при шліфуванні сталі Р6М5Ф3 кругами з алмазів та ельбору

Шліфувальний круг	Вид шліфування	Об'єм зішліфованого матеріалу, мм ³ /год	Витрати НТМ, мг/год	Питома собівартість, грн/мм ³	Зростання продуктивності, %	Зниження собівартості, %
АС6 100/80-4-M2-01	Без коливань	4288	478	$6,2 \cdot 10^{-3}$	32%	24%
	З коливаннями	5646	452	$4,7 \cdot 10^{-3}$		
КВ 100/80-4-M2-01	Без коливань	50560	1940	$7,3 \cdot 10^{-4}$	-10%	-8%
	З коливаннями	45480	1836	$7,9 \cdot 10^{-4}$		

Підвищення продуктивності шліфування сталі Р6М5Ф3 можливе за рахунок електроерозійних керуючих дій на РПК в процесі обробки.

Для спрощення знаходження режимів безперервних ЕЕВ на РПК пропонується знаходження режимів періодичних електроерозійних впливів в автономній зоні в процесі обробки. В цьому випадку, плоске шліфування буде уявляти собою чергування періодів шліфування без ЕЕВ та шліфування одночасно з ЕЕВ на максимальних режимах (рис. 3).

Ділянки кривої ПЛРЗК та поточних витрат НТМ, при шліфуванні без ЕЕВ, описуються експоненціальними залежностями вигляду (1)-(2), а ділянки відновлення різальної здатності, що відповідають шліфуванню одночасно з ЕЕВ, – рівняннями прямої (табл. 2). Отримані залежності дозволяють розрахувати об'єм зішліфованого матеріалу та витрат НТМ в залежності від кількості циклів „шліфування без ЕЕВ – шліфування з ЕЕВ”, що дозволяє оптимізувати час електроерозійних впливів $\tau_{ЕЕВ}$ та шліфування без ЕЕВ T за критерієм мінімальної питомою собівартості.

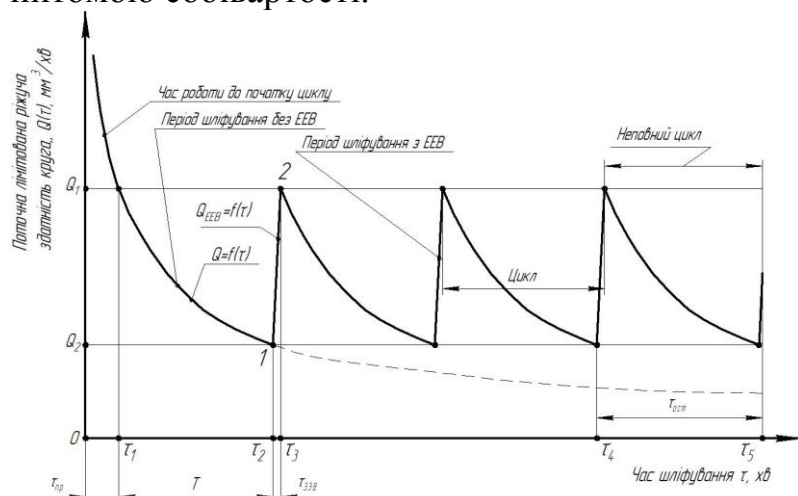


Рисунок 3 – Зміна різальної здатності шліфувального круга при періодичних ЕЕВ на РПК

кругом із ельбору, середня продуктивність якого складає $843 \text{ мм}^3/\text{хв}$ та питома собівартість $5,6 \cdot 10^{-4} \text{ грн}/\text{мм}^3$, алмазне шліфування з періодичними впливами забезпечує більшу продуктивність при найменшій питомій собівартості.

Таблиця 2. Залежності поточної лімітованої різальної здатності круга АС6 100/80-4-М2-01 та поточних витрат при шліфуванні без ЕЕВ та шліфуванні з ЕЕВ сталі Р6М5Ф3

Етап шліфування	Поточна різальна здатність круга, $\text{мм}^3/\text{хв}$	Поточні витрати алмазів, $\text{мг}/\text{хв}$
Шліфування без ЕЕВ	$Q(\tau)=11+653 e^{-0,2 \cdot \tau}$	$M(\tau)=3+179 \cdot e^{-0,6 \cdot \tau}$
Шліфування з ЕЕВ	$Q_{ЕЕВ}(\tau)=60,2 \cdot \tau+168$	$M_{ЕЕВ}(\tau)=3,8 \cdot \tau+20$

Використання розрахованого оптимального часу періодичних електроерозійних впливів, при знаходженні часу безперервних ЕЕВ за формулою

$$I_6 = I_n \frac{\tau_{ЕЕВ}}{T + \tau_{ЕЕВ}}, \quad (6)$$

Як показали розрахунки найбільша продуктивність шліфування з періодичними ЕЕВ на РПК алмазного круга досягається при періоді шліфування без ЕЕВ $T = 46 \text{ с}$ та часу електроерозійних впливів $\tau_{ЕЕВ} = 104 \text{ с}$. Середня продуктивність шліфування при цьому складатиме $1012 \text{ мм}^3/\text{хв}$, а питома собівартість обробки – $4 \cdot 10^{-4} \text{ грн}/\text{мм}^3$. В порівнянні зі шліфуванням

де I_n – середня сила струму періодичних ЕЕВ, А; T – тривалість періоду шліфування без ЕЕВ, с; $\tau_{\text{звб}}$ – оптимальний час шліфування з ЕЕВ, с; показав, що середня сила струму оптимальних безперервних ЕЕВ складає 6,9 А.

Для підтвердження оптимальної величини сили струму безперервних ЕЕВ експериментально дослідили вплив сили струму безперервних ЕЕВ на продуктивність шліфування кругами із алмазів та ельбору, знаходячи залежності зміни ПЛРЗК $Q(\tau)$ (1) та поточних витрат $M(\tau)$ (2) в часі на режимах різання, аналогічних дослідженню з впливу коливань на продуктивність оброблення. Отримані залежності використовували для знаходження оптимальної величини струму ЕЕВ за критерієм мінімальної питомої собівартості обробки (табл. 3).

Після апроксимації значень питомої собівартості в залежності від сили струму безперервних ЕЕВ була знайдена точка оптимуму $I_6 = 6,6$ А, що підтверджує теоретичні розрахунки (похибка 0,5%).

Таблиця 3. Вплив сили струму ЕЕВ на питому собівартість шліфування сталі Р6М5Ф3 кругами АС6 100/80-4-М2-01 та КВ 100/80-4-М2-01

Шліфувальний круг	Сила струму ЕЕВ I , А	Закон зміни ПЛРЗК $Q(\tau)$, мм ³ /хв	Закон зміни поточних витрат $M(\tau)$, мг/хв	Питома собівартість, грн/мм ³
АС6 100/80-4-М2-01	Без ЕЕВ	$Q(\tau)=11+653 e^{-0,2\cdot\tau}$	$M(\tau)=3+179\cdot e^{-0,6\cdot\tau}$	$6,2\cdot 10^{-3}$
	2	$Q(\tau)=28+577 e^{-0,2\cdot\tau}$	$M(\tau)=5+320\cdot e^{-0,75\cdot\tau}$	$5,8\cdot 10^{-3}$
	4	$Q(\tau)=45+622 e^{-0,2\cdot\tau}$	$M(\tau)=5+335\cdot e^{-0,72\cdot\tau}$	$5,1\cdot 10^{-3}$
	6	$Q(\tau)=66+514 e^{-0,15\cdot\tau}$	$M(\tau)=12+207\cdot e^{-1,5\cdot\tau}$	$3,6\cdot 10^{-3}$
	8	$Q(\tau)=113+612 e^{-0,45\cdot\tau}$	$M(\tau)=25+230\cdot e^{-1,5\cdot\tau}$	$3,7\cdot 10^{-3}$
КВ 100/80-4-М2-01	Без ЕЕВ	$Q(\tau)=590+1223\cdot e^{-0,08\cdot\tau}$	$M(\tau)=3,6+363\cdot e^{-0,66\cdot\tau}$	$5,6\cdot 10^{-4}$
	2	$Q(\tau)=770+1005\cdot e^{-0,22\cdot\tau}$	$M(\tau)=3+423\cdot e^{-0,66\cdot\tau}$	$5,7\cdot 10^{-4}$
	4	$Q(\tau)=435+1175\cdot e^{-0,05\cdot\tau}$	$M(\tau)=15+253\cdot e^{-0,5\cdot\tau}$	$6,7\cdot 10^{-4}$

Як видно із табл. 3, використання додаткових електроерозійних впливів на РПК круга з ельбору сприяє збільшенню питомої собівартості обробки пропорційно збільшенню сили струму ЕЕВ, що говорить про їх недоцільність.

П'ятий розділ „Підвищення продуктивності внутрішнього шліфування швидкорізальних сталей і твердого сплаву кругами з НТМ за рахунок електроерозійних впливів на РПК” присвячений експериментальним дослідженням впливу періодичних та безперервних електроерозійних впливів на РПК в зоні різання на підвищення продуктивності шліфування сталі Р6М5Ф3 та твердого сплаву ВК15 кругами із алмазів та ельбору.

При відновленні різальної здатності кругів з алмазів та ельбору, за рахунок періодичних електроерозійних впливів на РПК були виконані експерименти по визначенню поточної лімітованої різальної здатності кругів та поточних витрат НТМ за методикою, аналогічної методиці плоского шліфування з періодичними ЕЕВ (табл. 5). Як і в описаному вище випадку, оптимізації за критерієм

мінімальної питомої собівартості підлягали час шліфування без ЕЕВ T та час впливів $\tau_{ЕЕВ}$ (табл. 6).

Періодичне введення ЕЕВ на максимальних режимах значно зменшує собівартість шліфування сталі Р6М5Ф3. Найбільший ефект проявляється при використанні кругів із алмазів та ельбору найменшої зернистості, питома собівартість при шліфування кругами з алмазів та ельбору зернистістю 200/160 є рівною, яка складає 0,0012 грн/мм³, однак алмазний круг забезпечує більшу продуктивність.

При шліфуванні твердого сплаву ВК15 періодичні ЕЕВ також знижують питому собівартість та збільшують продуктивність. Найменшу питому собівартість при найбільшій продуктивності забезпечує алмазний круг АС6 200/160-4-М2-01, та дорівнює 0,0012 грн/мм³.

З використанням параметрів періодичних електроерозійних впливів за формулою (4) була знайдена середня сила струму безперервних ЕЕВ, яка знаходиться в межах 7,1÷9,8 А. Разом з цим, використовувати такі електричні режими при внутрішньому шліфуванні неможливо через погіршені умови тепловідведення, збільшеної площини контакту круга із заготовкою та поганого доступу в зону різання мастильно-охолоджувальної рідини. Все це призводить до суттєвого розігрівання круга та ризику виникнення пластичної деформації алмазовмісного шару круга. В зв'язку з цим, дослідження впливу безперервних ЕЕВ на питому собівартість шліфування сталі Р6М5Ф3 та сплаву ВК15 кругами із алмазів та ельбору виконували з силою струму 1,5÷2 А.

Проведені дослідження при внутрішньому шліфуванні сталі Р6М5Ф3 кругами із алмазів та ельбору та шліфуванні твердого сплаву ВК15 алмазними кругами з безперервними ЕЕВ показали, що найменшу собівартість забезпечує шліфування сталі Р6М5Ф3 без ЕЕВ забезпечується кругом із ельбору найбільшої зернистості 200/160 та складає 0,0029 грн/мм³. Ефект введення ЕЕВ залежить від зернистості та при цьому, найменшу питому собівартість шліфування сталі Р6М5Ф3 забезпечує обробка кругом із ельбору з безперервними ЕЕВ зернистістю 125/100, що дорівнює 0,0023 грн/мм³.

Введення постійного струму до зони обробки при алмазному шліфуванні сталі Р6М5Ф3 забезпечує питому собівартість в межах 0,0048 – 0,0062 грн/мм³ відповідно для зернистостей 125/100 та 100/80.

При шліфуванні твердого сплаву ВК15 алмазним кругом введення ЕЕВ зменшує питому собівартість обробки для кругів зернистостями 100/80 та 125/100. Для кругів зернистістю 200/160 додаткові електроерозійні дії не впливають на питому собівартість, а також незначно збільшують продуктивність шліфування. Найменша питома собівартість обробки сплаву ВК15 забезпечується кругом АС6 100/80-4-М2-01 з введенням ЕЕВ та складає 0,0023 грн/мм³.

Таблиця 5. Рівняння зміни поточної лімітованої різальної здатності $Q(\tau)$ та поточних витрат НТМ $M(\tau)$ при внутрішньому шліфуванні сталі Р6М5Ф3 та твердого сплаву ВК15 кругами із алмазів та ельбору з періодичними ЕЕВ на РПК

Оброблений матеріал	Шліфувальний круг	Зернистість круга	ПЛРЗК $Q(\tau)$, мм ³ /хв	Поточні витрати НТМ $M(\tau)$, мг/ хв	ПЛРЗК $Q_{\text{ЕЕВ}}(\tau)$, мм ³ /хв	Поточні витрати НТМ, $M_{\text{ЕЕВ}}(\tau)$, мг/ хв
			Шліфування без ЕЕВ		Шліфування з одночасними ЕЕВ	
Р6М5Ф3	АС6 4-М2-01	100/80	$Q(\tau)=3,0+178,4 e^{-0,54\cdot\tau}$	$M(\tau)=0,2+42,4\cdot e^{-1,16\cdot\tau}$	$Q(\tau)=1242,6\cdot\tau+2,5$	$M(\tau)=182,2\cdot\tau+0,27$
		125/100	$Q(\tau)=1,3+442,3 e^{-0,42\cdot\tau}$	$M(\tau)=0,2+133,2\cdot e^{-1,32\cdot\tau}$	$Q(\tau)=599,2\cdot\tau+1,25$	$M(\tau)=163,4\cdot\tau+0,06$
		200/160	$Q(\tau)=20,0+396,5 e^{-0,08\cdot\tau}$	$M(\tau)=0,3+167,0\cdot e^{-1,52\cdot\tau}$	$Q(\tau)=248,9\cdot\tau+20,7$	$M(\tau)=95,5\cdot\tau$
	КВ 4-М2-01	100/80	$Q(\tau)=20,0+399,3 e^{-0,36\cdot\tau}$	$M(\tau)=0,3+61,8\cdot e^{-1,16\cdot\tau}$	$Q(\tau)=238,4\cdot\tau+15,9$	$M(\tau)=43,4\cdot\tau+0,24$
		125/100	$Q(\tau)=80,0+400,0 e^{-0,26\cdot\tau}$	$M(\tau)=1,0+101,2\cdot e^{-2,01\cdot\tau}$	$Q(\tau)=57,5\cdot\tau+78,1$	$M(\tau)=18,4\cdot\tau+0,7$
		200/160	$Q(\tau)=115,0+818 e^{-0,49\cdot\tau}$	$M(\tau)=3,0+139,3\cdot e^{-2,15\cdot\tau}$	$Q(\tau)=34,8\cdot\tau+83,9$	$M(\tau)=22\cdot\tau+0,8$
ВК15	АС6 4-М2-01	100/80	$Q(\tau)=39,2+372,5 e^{-0,27\cdot\tau}$	$M(\tau)=0,3+105,4\cdot e^{-1,65\cdot\tau}$	$Q(\tau)=384,3\cdot\tau+35$	$M(\tau)=299\cdot\tau+0,24$
		125/100	$Q(\tau)=27,5+411,7 e^{-0,19\cdot\tau}$	$M(\tau)=0,7+114,3\cdot e^{-1,14\cdot\tau}$	$Q(\tau)=732,1\cdot\tau+25,4$	$M(\tau)=63,1\cdot\tau+0,72$
		200/160	$Q(\tau)=20,0+400,1 e^{-0,08\cdot\tau}$	$M(\tau)=0,6+166,7\cdot e^{-1,54\cdot\tau}$	$Q(\tau)=234,4\cdot\tau+35$	$M(\tau)=144,3\cdot\tau$

Таблиця 6. Питома собівартість шліфування сталі Р6М5Ф3 та сплаву ВК15 кругами із алмазів та ельбору з періодичними ЕЕВ

Оброблений матеріал	Шліфувальний круг	Зернистість круга	ПЛРЗК $Q(\tau)$, мм ³ /хв	Поточні витрати НТМ $M(\tau)$, мг/ хв
Р6М5Ф3	АС6 4-М2-01	100/80	$Q(\tau)=65,0+115 e^{-0,59\cdot\tau}$	$M(\tau)=4,0+87,0\cdot e^{-1,68\cdot\tau}$
		125/100	$Q(\tau)=85,0+239 e^{-0,61\cdot\tau}$	$M(\tau)=5,0+190,1\cdot e^{-2,35\cdot\tau}$
		200/160	$Q(\tau)=93+446,5 e^{-0,19\cdot\tau}$	$M(\tau)=5,5+168,2\cdot e^{-2,15\cdot\tau}$
	КВ 4-М2-01	100/80	$Q(\tau)=90,8+84,2\cdot e^{-0,21\cdot\tau}$	$M(\tau)=3,0+69,5\cdot e^{-1,77\cdot\tau}$
		125/100	$Q(\tau)=150,0+650 e^{-0,43\cdot\tau}$	$M(\tau)=1,5+115,1\cdot e^{-1,44\cdot\tau}$
		200/160	$Q(\tau)=110,0+187 e^{-0,17\cdot\tau}$	$M(\tau)=4,0+108,0\cdot e^{-1,52\cdot\tau}$
ВК15	АС6 4-М2-01	100/80	$Q(\tau)=190,3-73,5 e^{-0,37\cdot\tau}$	$M(\tau)=4,0+94,5\cdot e^{-2,11\cdot\tau}$
		125/100	$Q(\tau)=123,1+93,4 e^{-0,31\cdot\tau}$	$M(\tau)=4,0+85,1\cdot e^{-0,96\cdot\tau}$
		200/160	$Q(\tau)=170,0+110, e^{-0,25\cdot\tau}$	$M(\tau)=7,0+110,0\cdot e^{-0,79\cdot\tau}$

У шостому розділі „Оптимізація режимів шліфування важкооброблюваних матеріалів кругами із НТМ. Впровадження результатів досліджень” визначені режими плоского шліфування зразків зі сталі Р6М5Ф3 кругами з алмазів та ельбору з постійною глибиною різання, а також режими внутрішнього шліфування зразків зі сталі Р6М5Ф3 кругами з алмазів та ельбору і зразків з твердого сплаву ВК15 алмазними кругами при введенні додаткової механічної та електричної енергії одночасно з обробкою. Розроблені технологічний регламент і рекомендації з режимів шліфування означених матеріалів. Рекомендовані режими дозволяють забезпечити процес шліфування з найбільшою продуктивністю при забезпеченні мінімальної питомої собівартості обробки.

Рекомендації з режимів впроваджені у виробництво на ПАТ «Донецький завод гірничорядувальної апаратури» при плоскому та внутрішньому шліфуванні деталей вирубних штампів з очікуваним економічним ефектом 15000 грн/рік і використовуються в навчальному процесі на кафедрі «Мехатронні системи машинобудівного обладнання ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» при викладанні дисципліни «Фізико-механічні методи обробки».

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. Вперше знайдені рівняння, які описують траєкторію руху одиничного зерна при плоскому шліфуванні з накладенням осьових коливань на заготовку, з використанням яких розраховані параметри одиночного зрізу та визначені умови збільшення продуктивності шліфування за рахунок введення коливань.

2. З використанням розробленого пристрою для плоского шліфування з накладенням осьових коливань на заготовку (Патент України №87908) встановлено, що накладення осьових коливань частотою 50 Гц на заготовку при плоскому алмазному шліфуванні сталі Р6М5Ф3 забезпечує збільшення продуктивності на 25% і зниження питомої собівартості обробки до 40%. При шліфуванні кругом із ельбору, накладення осьових коливань не доцільно.

3. При плоскому та внутрішньому шліфуванні з періодичними електроерозійними впливами на РПК зміна ПЛРЗК та поточних витрат НТМ під час шліфування без ЕЕВ описуються експоненціальними залежностями, а при шліфування з відновленням різальної здатності – рівнянням прямої.

4. Оптимальними режимами плоского шліфування алмазними кругами сталі Р6М5Ф3 з безперервними ЕЕВ, які забезпечують задані параметри якості обробленої поверхні є: $V_k = 35$ м/с, $V_d = 6$ м/хв, $t_{\phi} = 1,1$ мкм, $I_{\delta} = 6$ А. При цьому забезпечується підвищення продуктивності, порівняно зі шліфуванням без ЕЕВ на 33,7 %.

5. При плоскому шліфуванні сталі Р6М5Ф3 кругом із ельбору, заправленому електроерозійним способом, додаткове введення ЕЕВ в процесі шліфування недоцільно, а оптимальними режимами різання є: $V_k = 35$ м/с, $V_d = 6$ м/хв, $t_{\phi} = 8,6$ мкм. Шліфування кругом із ельбору, заправленим електроерозійним способом, порівняно з правкою шліфуванням абразивного бруска, забезпечує підвищення продуктивності у 30 разів.

6. При внутрішньому шліфуванні швидкорізальних сталей і твердих сплавів кругами із алмазів та ельбору, перевагу необхідно віддати шліфуванню з безперервним введенням електроерозійних впливів на РПК з силою струму 2 А.

10. Результати досліджень впроваджені у виробництво на ПАТ «Донецький завод гірничорядувальної апаратури» з очікуваним економічним ефектом 15000 грн/рік і використовуються в навчальному процесі на кафедрі «Мехатронні системи машинобудівного обладнання ДВНЗ «Донецький національний технічний університет».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ, ОСОБИСТИЙ ВНЕСОК ЗДОБУВАЧА В РОБОТАХ, ЯКІ ОПУБЛІКОВАНІ У СПІВАВТОРСТВІ

Міжнародні наукометричні бази:

1. Матюха П.Г. Удельная себестоимость шлифования стали Р6М5Ф3 в зависимости от способа правки и электроэрозионных воздействий на рабочую поверхность кубонитового круга // П.Г. Матюха, В.В. Габитов // Сверхтвердые материалы, научно-теоретический журнал. – Киев: Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Вып. 5 (181), 2009. – С. 63-69. (*Виконані експериментальні дослідження зміни різальної здатності шліфувального круга в залежності від способу правки, а також введення електроерозійних впливів. Розрахована питома собівартість оброблення різних способів шліфування*).

2. Матюха П.Г. Производительность и удельная себестоимость внутреннего врезного алмазного шлифования твердого сплава с периодическими электроэрозионными воздействиями. / П.Г. Матюха, В.В. Габитов // Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля – Киев . – 2012. – Вып. 5. – С. 45-52. (*Виконані експериментальні дослідження зміни різальної здатності шліфувального круга та поточних витрат алмазів при внутрішньому шліфуванні твердого сплаву з періодичними електроерозійними впливами на РПК. Розрахована питома собівартість оброблення різних способів шліфування*).

Статті у фахових виданнях України:

3. Матюха П.Г. Вплив коливань заготовки вздовж осі шліфувального круга на продуктивність оброблення сталі Р6М5Ф3 / П.Г. Матюха, В.В. Габітов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. – Донецьк: ДонНТУ, 2008. –Вип. 5 (139). – С. 40-47. (*Дисертантом було експериментально досліджено та математично описано зміну різальної здатності шліфувального круга та питомих витрат алмазів при плоскому шліфуванні сталі Р6М5Ф3 з накладенням осьових коливань на заготовку*).

4. Габітов В.В. Визначення поточної лімітованої різальної здатності шліфувального круга при шліфуванні комбінованого зразка „сталь 45 – твердий сплав ВК8” / В.В. Габітов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. –Вип. 6 (154). – С. 35-40. (*Дисертантом отримані закони зміни по-*

точної лімітованої різальної здатності шліфувального круга та поточних витрат алмазів при шліфуванні комбінованого зразка „сталь 45 – твердий сплав ВК8”).

5. Матюха П.Г. Определение оптимального усилия поджима образца к рабочей поверхности круга при шлифовании стали Р6М5Ф3 кругами из СТМ // П.Г. Матюха, В.В. Габітов // Сучасні технології а машинобудуванні : зб. наук. праць. – Харків: НТУ „ХПІ”, Вип. 3, 2009. – С. 55-62. *(Дисертантом розраховані зусилля підтиску зразків зі сталі Р6М5Ф3 до кругів з алмазів та ельбору за двома критеріями, експериментально визначено оптимальний з них для кожного випадку).*

6. Матюха П.Г. Влияние осевых колебаний на удельную себестоимость шлифования стали Р6М5Ф3 кругами из СТМ // П.Г. Матюха, В.В. Габітов // Резание и инструмент в технологических системах: междунар. научн.-техн. сб. – Харків: НТУ „ХПІ”, Вип. 77, 2009. – С. 143-150. *(Виконані експериментальні дослідження зміни різальної здатності шліфувальних кругів із НТМ в залежності від наявності осьових коливань заготовки. Розрахована питома собівартість шліфування з накладенням коливань та без коливань).*

7. Матюха П.Г.. Визначення сили навантаження шліфувальної головки при внутрішньому шліфуванні за пружною схемою / П.Г. Матюха, В.В. Габітов, А.О. Благодарний // Надежность инструмента и оптимизация технологических систем. Сборник научных трудов. – Краматорск, вып. №27, 2010. – С. 20-29. *(Дисертантом виконана модернізація шліфувальної головки внутрішньошліфувального верстата та тарування її навантажувальної системи, розраховане припустиме зусилля підтиску шліфувального круга до заготовки за точністю оброблення).*

8. Матюха П.Г. Розрахунок режимів шліфування з використанням миттєвої поточної різальної здатності круга // П.Г. Матюха, В.В. Габітов // Резание и инструмент в технологических системах: междунар. научн.-техн. сб. – Харків: НТУ „ХПІ”, Вип. 78, 2010. – С. 123-130. *(Дисертантом визначені групи даних, необхідних для розрахунку оптимальних режимів шліфування з використанням поточної лімітованої різальної здатності круга).*

9. Матюха П.Г. Определение составляющих силы резания при врезном шлифовании комбинированного образца / П.Г. Матюха, А.В. Бурдин, В.В. Габітов // Вісник СевНТУ. Збірник наукових праць. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь, вып. 111, 2010. – С. 104-109. *(Дисертантом розроблена методика та експериментально визначений коефіцієнт шліфування комбінованого зразка).*

10. Матюха П.Г. Исследование высоты неровностей профиля поверхности резания при внутреннем шлифовании / П.Г. Матюха, В.В. Габітов // Надежность инструмента и оптимизация технологических систем. Сборник научных трудов. – Краматорск, вып. №28, 2011. – С. 212-218. *(Дисертантом розроблена методика визначення висоти нерівностей на поверхні різання при внутрішньому шліфуванні, розроблена програма розрахунку на ПЕОМ).*

11. Матюха П.Г. Вплив виду шліфування на шорсткість обробленої поверхні / П.Г. Матюха, В.В. Габітов // Наукові праці Донецького національного те-

хнічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – Вип. 8 (190). – С. 57-64. *(Дисертантом розроблена методика визначення шорсткості обробленої поверхні в залежності від виду шліфування, розроблені програми розрахунку на ПЕОМ шорсткості обробленої поверхні).*

12. Габитов В.В. Определение оптимальных режимов внутреннего шлифования твёрдого сплава ВК15 по упругой схеме с периодическими электроэрозионными воздействиями / В.В. Габитов // Надежность инструмента и оптимизация технологических систем. Сборник научных трудов. – Краматорск, вып. №29, 2011. – С. 232-241. *(Дисертантом розроблена методика розрахунку оптимальних режимів періодичних електроерозійних впливів на робочу поверхню шліфувального круга за критерієм мінімальної питомої собівартості, розроблена програма їх розрахунку на ПЕОМ).*

13. Габитов В.В. Влияние способа электроэрозионных воздействий на рабочую поверхность круга при внутреннем алмазном шлифовании твердого сплава ВК15 на производительность и удельную себестоимость обработки / В.В. Габитов. П.Г. Матюха // Вісник СевНТУ. Збірник наукових праць. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь, вып. 128, 2012. – С. 27-31. *(Виконані експериментальні дослідження зміни різальної здатності шліфувального круга та поточних витрат алмазів при внутрішньому шліфуванні твердого сплаву з періодичними та безперервними електроерозійними впливами на РПК. Розрахована питома собівартість оброблення різних способів шліфування).*

14. Пат. 87908 С2. Україна, МПК В24В 47/00. Пристрій для шліфування / Матюха П.Г., Габітов В.В.; заявник та правовласник Донец. держ. техн. ун-т (Україна). – а 200712775 заявл. 19.11.2007; опубл. 25.08.2009. Бюл. № 16. – 3 с.: іл.

15. Пат. 89410 С2. Україна, МПК В24В 53/00, В23Н 7/00. Пристрій для електроерозійної правки абразивних кругів / С.В. Константінов, П.Г. Матюха, В.П. Цокур, В.В. Шепеленко, В.В. Габітов; заявник та правовласник Донец. держ. техн. ун-т (Україна). – а 200714574 заявл. 24.12.2007; опубл. 25.01.2010. Бюл. № 2. – 3 с.: іл.

16. Пат. 94813 С2. Україна, МПК В24В 41/00. Шліфувальна бабка / Матюха П.Г., Габітов В.В., Войтов В.М., Благодатний А.О.; заявник та правовласник Донец. держ. техн. ун-т (Україна). – а 200911847 заявл. 19.11.2009; опубл. 10.06.2011. Бюл. № 11. – 4 с.: іл.

17. Пат. 97680 С2. Україна, МПК В24В 1/00, В24В 53/00, В23Н 5/00. Спосіб шліфування / Матюха П.Г., Полтавець В.В., Стрелков В.Б., Габітов В.В., Бурдін О.В.; заявник та правовласник Донец. держ. техн. ун-т (Україна). – а 201001824 заявл. 25.08.2011; опубл. 12.03.2012. Бюл. № 5. – 7 с.: іл.

18. Пат. 98857 С2. Україна, МПК В24В 41/00. Навантажувальний пристрій для шліфування / Матюха П.Г., Габітов В.В., Благодатний А.О.; заявник та правовласник Донец. держ. техн. ун-т (Україна). – а 201012927 заявл. 10.05.2012; опубл. 25.06.2012. Бюл. № 12. – 6 с.: іл.

Тези та доповіді на наукових конференціях:

19. Матюха П.Г. Определение оптимального усилия поджима образца к рабочей поверхности круга при шлифовании стали Р6М5Ф3 кругами из СТМ / П.Г. Матюха, В.В. Габітов // *Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво: тези доповідей ІХ всеукраїнської молодіжної наук.-техн. конф., 26-27 листопада 2009 р., Запоріжжя. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. – С. 18-20.*

20. Матюха П.Г. Определение усилия поджима комбинированного образца „конструкционная сталь – твердый сплав” к рабочей поверхности круга при шлифовании по упругой схеме // П.Г. Матюха, В.В. Габітов, Р.В. Кондрашов // *Надежность инструмента и оптимизация технологических систем. Сборник научных трудов. – Краматорск, вып. №24, 2009. – С. 52-57. (Дисертантом запропонована методика розрахунку та визначено зусилля підтиску комбінованого зразка до робочої поверхні круга при шліфуванні за пружною схемою).*

АНОТАЦІЯ

Габітов В.В. Підвищення ефективності шліфування важкооброблюваних інструментальних матеріалів кругами із алмазів та ельбору за рахунок додаткових механічних та електричних впливів. – 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 підвищенню ефективності процесів плоского та внутрішнього шліфування ванадієвих швидкорізальних сталей та твердих сплавів за рахунок введення додаткової механічної енергії у вигляді осьових коливань заготовки, а також управління різальною здатністю круга електроерозійними впливами (ЕЕВ) на робочу поверхню круга (РПК) шляхом пошуку оптимальних режимів шліфування з ЕЕВ на РПК на основі даних про поточну лімітовану різальну здатність круга (ПЛРЗК) за критерієм мінімальної питомої собівартості обробки.

Пошук оптимальних режимів виконували для врізного шліфування з постійним зусиллям підтиску зразка до РПК, режими різання якого визначали за умови забезпечення показників якості обробки та згідно фізико-механічних властивостей кругів, а електричні режими ЕЕВ визначали шляхом оптимізації. Відомості про закономірності зміни ПЛРЗК і поточних витрат надтвердих матеріалів, дають можливість оцінити вплив введення осьових низькочастотних коливань та ЕЕВ на продуктивність і питому собівартість обробки. Визначення оптимальних режимів безперервних ЕЕВ виконували на основі аналізу періодичних циклів «шліфування без ЕЕВ – шліфування з ЕЕВ», та отриманих залежностей зміни ПЛРЗК та витрат НТМ в часі. Перехід на шліфування з постійною глибиною різання з безперервними ЕЕВ на РПК з підтримкою оптимальної глибини різання дозволяє найбільш ефективно реалізувати різальні властивості РПК.

Ключові слова: важкооброблювані інструментальні матеріали, алмазне шліфування, круг з ельбору, осьові колювання, електроерозійні впливи, продуктивність, питома собівартість.

АННОТАЦІЯ

Габитов В.В. Повышение эффективности шлифования труднообрабатываемых инструментальных материалов кругами из алмазов и эльбора за счет дополнительных механических и электрических воздействий. – 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 вопросам повышения эффективности плоского и внутреннего шлифования изделий из ванадиевых быстрорежущих сталей и твердых сплавов по показателям увеличения производительности и снижения удельной себестоимости обработки за счет введения дополнительной механической энергии в виде низкочастотных осевых колебаний заготовки в процессе обработки, а также за счет управления режущей способностью круга электроэрозионными воздействиями (ЭЭВ) на рабочую поверхность круга (РПК). Решение этой научно-технической задачи осуществляется путем математического анализа и описания параметров единичных срезов при плоском шлифовании с наложением осевых колебаний, а также оптимизации режимов плоского и внутреннего шлифования и режимов управляющих электроэрозионных воздействий на РПК с использованием данных об изменении текущей лимитированной режущей способности круга (ТЛРСК) во времени по критерию минимальной удельной себестоимости обработки.

Так, при поиске оптимальных режимов плоского врезного шлифования с постоянным усилием поджима образца к РПК на станке мод. 3Г71, при котором режимы резания – скорость круга, скорость стола и сила поджима образца к РПК, определяются из условий удовлетворения показателей качества обработанной поверхности и технических ограничений со стороны шлифовального круга, лимитирующих режимы резания. Таким образом, шлифование на рассчитанных режимах резания позволяет определить закономерности изменения ТЛРСК и текущего расхода сверхтвердых материалов (СТМ) во времени, что дает возможность оценить влияние введения осевых низкочастотных колебаний на производительность и удельную себестоимость обработки. При шлифовании без ЭЭВ и при шлифовании с ЭЭВ на РПК, полученные закономерности позволяют определить оптимальные режимы шлифования с периодическими ЭЭВ, к числу которых относятся: напряжение холостого хода, среднее напряжение и сила тока на межэлектродном промежутке, длительность шлифования без ЭЭВ и длительность шлифования с ЭЭВ на максимальной мощности электроэрозионных разрядов, на основе анализа повторяющихся циклов «шлифование без ЭЭВ – шлифование с ЭЭВ» по критерию минимальной удельной себестоимости обработки. Определение оптимальных режимов шлифования с непрерывными

ЭЭВ на РПК, которыми являются: напряжение холостого хода, среднее напряжение, сила тока на межэлектродном промежутке, выполнено по данным оптимальных режимов периодических ЭЭВ осуществляется на основе положения о равенстве энергий при обоих способах управляющих воздействий на РПК. Переход на шлифование с постоянной глубиной шлифования и непрерывными ЭЭВ на РПК при поддержании оптимальной глубины резания на постоянном уровне позволяет наиболее эффективно использовать режущие свойства круга.

Установлено, что наложение низкочастотных осевых колебаний на заготовку при плоском алмазном шлифовании стали Р6М5Ф3 обеспечивает увеличение производительности на 25% и снижение удельной себестоимости обработки до 40%. Введение осевых колебаний при шлифовании стали Р6М5Ф3 кругами из эльбора неэффективно.

Введение непрерывных ЭЭВ на РПК при плоском алмазном шлифовании образцов из быстрорежущей стали Р6М5Ф3 по схеме шлифования с постоянной глубиной резания на оптимальных режимах: $V_k = 35$ м/с, $V_d = 6$ м/мин, $t = 1,1$ мкм, $I_n = 6,5$ А обеспечивает повышение производительности в 1,8 раза и снижение удельной себестоимости на 33% в сравнении с алмазным шлифованием на идентичных режимах без введения непрерывных ЭЭВ. Введение непрерывных электроэрозионных управляющих воздействий на рабочую поверхность кругов из эльбора при плоском шлифовании стали Р6М5Ф3 неэффективно.

При внутреннем врезном шлифовании кругами из алмазов и эльбора образцов из стали Р6М5Ф3 и твердого сплава ВК15 по схеме шлифования с постоянной глубиной резания с непрерывными ЭЭВ на РПК на оптимальных режимах: $V_k = 26$ м/с, $V_d = 24$ м/мин, непрерывная подача на глубину $s_t = 0,1$ мм/мин, $I_n = 2$ А обеспечивается повышение производительности в 2 раза и снижение удельной себестоимости на 53% в сравнении со шлифованием без введения электроэрозионных воздействий.

Оптимизация плоского и внутреннего врезного шлифования ванадиевых быстрорежущих сталей и твердых сплавов кругами из алмазов и эльбора с постоянной глубиной шлифования и непрерывными ЭЭВ на РПК по данным об изменении ТЛРСК позволяет увеличить производительность и снизить удельную себестоимость обработки в 1,5 – 3 раза. При этом, ожидаемый годовой экономический эффект составил 15000 грн.

Ключевые слова: труднообрабатываемые инструментальные материалы, алмазное шлифование, круг из эльбора, осевые колебания, электроэрозионные воздействия, производительность, удельная себестоимость.

SUMMARY

Gabitov V.V. Increase of the efficiency of machining by grinding of hard-to-cut tool materials by circles of diamond and cubic boron nitride due to the effects mechanical and electrical power. – Manuscript.

Thesis for Candidate Degree (PhD) of technical sciences, on speciality 05.03.01 - machine-engineering technology. – Donetsk National Technical University, Donetsk, 2014.

The dissertation is devoted to improving the efficiency of flat and internal grinding of vanadium high speed steel and hard alloy by circles of diamond and cubic boron nitride due to the effects the imposition of low-frequency oscillations along the axis of the grinding wheel and electroerosion influences (EEI) on the working surface of a circle (WSC) by searching for the optimal modes of grinding with EEV on the WSC is based on the current limited cutting ability circle (PLRC) by criterion of the minimum unit costs of processing.

Finding optimal regimes modes performed for grinding with the constant force of pressing of the workpiece to the WSC, cutting conditions which determined the conditions of maintenance of quality and according to the physical-mechanical properties of circles, and the electric modes EEI was determined by means of optimization. Information about correlation of changes PLRC and routine flow of superhard materials, give the possibility to determine the influence of add axial low-frequency oscillations and EEI on productivity and unit cost of processing. Determine of optimal modes of continuous EEI performed based on the analysis of periodic cycles «grinding without EEI – grinding with EEI », and the determined correlations changes PLRC and expenses of superhard materials in time.

The conversion to a grinding with constant depth of cut continuous EEI to WSC with the maintenance of optimal cutting depth allows for the most efficient implementation of cutting properties WSC.

Keywords: intractable tool materials, diamond grinding, cubic boron nitride circle, axial vibrations, electroerosion actions, productivity, unit cost.

