

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Козакова Наталія Віталіївна

УДК 621.91

**ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
АЛМАЗНИХ КРУГІВ ШЛЯХОМ 3D МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ І
ШЛІФУВАННЯ НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ**

Спеціальність 05.03.01 – Процеси механічної обробки, верстати й інструменти

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2004

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі “Різання матеріалів та різальні інструменти” Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України, м. Харків.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Грабченко Анатолій Іванович,
Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, м. Харків,
завідувач кафедри “Різання матеріалів та різальні інструменти”.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Філатов Юрій Данилович,
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля Національної академії наук України, м. Київ,
провідний науковий співробітник;
кандидат технічних наук, професор
Фадєєв Валерій Андрійович,
Державне підприємство Харківський машинобудівний завод “ФЕД”, м. Харків,
головний інженер.

Провідна установа: Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного Національної академії наук України, м. Харків.

Захист відбудеться 27 січня 2005 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.12 у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.

Автореферат розісланий 24 грудня 2004 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Пермяков О.А.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Стійкими сучасними тенденціям промислового розвитку є удосконалення технології виробництва і зростання вимог до якості усіх видів промислових виробів. Розвиток цих тенденцій у машинобудуванні багато у чому пов'язаний із застосуванням синтетичних надтвердих матеріалів (НТМ), однією з головних галузей використання яких лишається інструментальне виробництво. Застосування інструментів з НТМ дозволяє підвищити продуктивність, точність і якість обробки. При цьому факторами, які стримують цей процес в абразивній обробці, є недостатня ефективність використання дорогих зерен синтетичних алмазів, а у лезовій – все ще висока імовірність відмов інструмента з НТМ.

У розпорядженні виробників алмазно-абразивного інструмента є широкий спектр марок зв'язок і марок алмазних зерен, що надає значні можливості варіювання їхніми властивостями. Проте існуючі рекомендації з їх використання є або досить загальними, або відрізняються вузькими діапазонами характеристик. Недостатньо обґрунтована побудова структури алмазоносного шару при деяких технологічних способах її формування визначає істотні відмінності у властивостях готового абразивного інструмента у порівнянні з вихідними властивостями компонентів, які застосовуються при його виготовленні. У зв'язку з цим актуальною є розробка принципів та алгоритмів вибору раціональних поєднань властивостей зв'язки і алмазного зерна, їх кількісного співвідношення, які б враховували умови виготовлення алмазних кругів і відповідали високим технологічним можливостям процесу їх експлуатації.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Виконання дисертаційної роботи пов'язано з держбюджетною науковою тематикою кафедри “Різання матеріалів та різальні інструменти” Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” плану фундаментальних робіт МОН України з наступних тем: “Розробка й дослідження прогресивних методів виготовлення сучасних конструкцій різальних інструментів та виробів з надтвердих матеріалів” (ДР № 0194U012957); “Розробка концепції способів формування високоточних поверхонь виробів машинобудівного та медичного призначення з заданими функціональними властивостями на основі комплексного застосування нових видів покриттів та управління трансформацією стану ріжучих поверхонь алмазно-абразивних інструментів” (ДР № 0100U001084); “Розробка системи високої технології обробки композиційних матеріалів, що включає об'єктно-орієнтоване статистичне моделювання алмазно-абразивних інструментів, керування формуванням обробленої поверхні з урахуванням властивостей анізотропії, нанесення ефективних функціональних покриттів, у тому числі біоінженерних, і створення експертної системи якості” (ДР № 0102U000977), у яких здобувач була виконавцем окремих розділів.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності алмазного шліфування за рахунок науково обґрунтованого визначення характеристик круга, що забезпечують

цілісність алмазних зерен при виготовленні інструмента, продуктивне шліфування при зниженні дефектності НТМ і мінімальній питомій витраті алмазних зерен при експлуатації інструмента, а також зниження відмов лезового інструмента з НТМ.

Задачі дослідження:

1. Розробити методику теоретичних і експериментальних досліджень впливу кількісних і якісних характеристик систем “алмазне зерно–зв’язка” і “НТМ–зерно–зв’язка” на ефективність їхнього взаємного мікроруйнування, відповідно до якої процеси виготовлення та експлуатації алмазного круга розглядаються як взаємозалежні системи, ефективність функціонування яких визначається внеском кожного елемента.

2. Вивчити процес спікання алмазоносного шару круга на металевій зв’язці методом 3D моделювання його напружено-деформованого стану для визначення впливу технологічних параметрів процесу, властивостей зв’язки, алмазних зерен, їхнього розміру і концентрації на цілісність зерен в алмазно-абразивному інструменті. Надати рекомендації з раціональних складів алмазно-металевих композицій, що спікаються.

3. На основі 3D моделювання нестационарного теплового поля одержати просторово-часовий розподіл температур в оброблюваних НТМ на макро- і мікрорівні в різних умовах шліфування.

4. З урахуванням температурного фактора провести теоретичний аналіз 3D напружено-деформованого стану елементів зони шліфування для визначення раціонального поєднання режиму обробки і характеристик алмазного круга з метою зниження собівартості шліфування та браку НТМ.

5. Здійснити взаємопов’язане моделювання напружено-деформованого стану лезового інструмента з НТМ при точінні та заточуванні для визначення умов його шліфування, що виключають руйнування різальної частини інструмента в конкретних умовах наступної експлуатації.

Об’єкт дослідження – процес алмазного шліфування надтвердих матеріалів.

Предмет дослідження – визначення раціональних характеристик алмазних кругів на етапі їх виготовлення і шліфування НТМ.

Методи дослідження. Роботу виконано на базі фундаментальних положень теорії різання матеріалів, теорії теплопровідності і механіки контактного руйнування крихких тіл. Використано сучасні методи експериментального дослідження поверхонь: кольоровометричний та лазерного сканування. У роботі використано пакети прикладних програм “Cosmos”, “PHOENICS”, “Third Wave AdvantEdge”. Уперше застосовано 3D моделювання методом кінцевих елементів напружено-деформованого стану алмазоносного шару шліфувального круга, що спікається, для визначення умов забезпечення цілісності зерен у процесі виготовлення алмазно-металевих

композицій. Достовірність теоретичних досліджень підтверджено практикою промислового впровадження.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. На основі 3D моделювання в комплексі процесів спікання алмазних кругів, шліфування та точіння встановлено принцип і запропоновано алгоритм науково обгрунтованого вибору алмазно-абразивного інструмента, які забезпечують збереження вихідних характеристик алмазних зерен при його виготовленні, підвищення ефективності шліфування надтвердих матеріалів та зниження відмов різців з НТМ.

2. Вперше на базі 3D моделювання напружено-деформованого стану алмазоносного шару, що виникає у процесі спікання його компонентів, визначено раціональні поєднання марок, зернистостей і концентрацій алмазних зерен з марками металевої зв'язки, які забезпечують цілісність зерен в інструменті.

3. На базі 3D моделювання нестационарного температурного поля встановлено залежності температур в макро- і мікрооб'ємах оброблюваних НТМ від характеристик кругів й режимів шліфування.

4. Вибір певного поєднання міцносних і теплофізичних властивостей металевої зв'язки та алмазних зерен круга з властивостями оброблюваного надтвердого матеріалу, дозволив використовувати при шліфуванні алмазоносний шар із зниженою концентрацією зерен, який за рахунок їх мінімальної робочої висоти забезпечує фактичну площу контакту інструмента з НТМ, потрібну для продуктивної та малодфектної обробки останнього.

5. На основі запропонованого алгоритму визначено раціональні характеристики алмазного круга для обробки досліджуваних марок НТМ, завдяки яким зберігаються вихідні характеристики зерен на етапі виготовлення інструмента, забезпечується їх мінімальна питома витрата і зниження браку НТМ при продуктивному шліфуванні.

6. Шляхом взаємозв'язаного 3D моделювання напружено-деформованого стану лезового інструмента з НТМ при точінні та заточуванні встановлено характеристики алмазного круга і режими шліфування, що виключають руйнування його різальної частини різця в конкретних умовах експлуатації.

Практичне значення отриманих результатів:

– розроблено практичні рекомендації щодо раціональних характеристик алмазних кругів та режимів шліфування досліджуваних марок НТМ, які дозволили підвищити ефективність їх обробки;

– запропоновано склад алмазоносного шару круга на струмопровідній металевій зв'язці зі зниженою концентрацією алмазних зерен, величина якої визначається властивостями оброблюваного матеріалу, алмазних зерен і зв'язки круга (декларційний патент України 69218);

– для спікання алмазно-металевих композицій рекомендовані сполучення марок зв'язок з марками алмазних зерен з урахуванням зернистості й концентрації, які забезпечують цілісність зерен в інструменті;

– запропоновано раціональні умови заточування різців з НТМ в залежності від їх конкретного експлуатаційного призначення;

Результати роботи впроваджено у виробництво (ВАТ “Полтавський алмазний завод”, м. Полтава).

Особистий внесок здобувача. Формулювання наукових положень і висновків роботи, розробка метода визначення характеристик алмазного круга, виходячи з певної величини фактичної площі його контакту з оброблюваним НТМ, теоретичні дослідження напружено-деформованого стану елементів зон спікання, шліфування та точіння; розробка алгоритмів визначення умов продуктивного шліфування, шліфування з мінімальною дефектністю оброблюваних НТМ, а також алгоритму експертної системи визначення раціональних характеристик алмазних кругів виконано здобувачем самостійно. Постановка задач і аналіз результатів досліджень здійснювалися разом з науковим керівником.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на наукових семінарах кафедри “Різання матеріалів та різальні інструменти” Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” (1995-2004 рр.); науково-технічному семінарі “Семковські молодіжні наукові читання” (Харків: НТУ “ХПІ”, 1995-2004 рр.); міжнародному науково-технічному семінарі “Високі технології в машинобудуванні” (Алушта: НТУ “ХПІ”, 1994-1998, 2000, 2002, 2003 рр.); міжнародній науково-практичній конференції “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я” (Харків: НТУ “ХПІ”, 1995-1998, 2000, 2001, 2004 рр.); міжнародній науково-технічній конференції “Машинобудування і металообробка – 2003” (Кіровоград: КДТУ, 2003 р.). У повному обсязі дисертаційна робота доповідалася на науковому семінарі кафедри “Різання матеріалів та різальні інструменти” НТУ “ХПІ” у 2004 р та на міжнародній науково-практичній конференції “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я” у 2004 р.

Публікації. За результатами роботи опубліковано 18 наукових праць, з них 15 статей у фахових виданнях України, у тому числі 4 без співавторів, один патент на винахід, дві публікації у матеріалах міжнародних конференцій.

Структура й обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, висновків і двох додатків. Повний обсяг дисертації складає 210 сторінок, з них 13 ілюстрацій і 10 таблиць за текстом, 42 ілюстрації і 17 таблиць на 38 сторінках, 2 додатка на 16 сторінках, 148 використаних літературних джерел на 15 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, висвітлені наукова новизна роботи і практична цінність отриманих результатів. Визначено об'єкт і предмет дослідження. Показано зв'язок дисертаційної роботи з науковими темами, представлено інформацію щодо її апробації.

У першому розділі розглянуто міцносні і теплові властивості синтетичних надтвердих матеріалів, деякі питання виготовлення алмазно-абразивного інструмента та існуючі проблеми алмазної обробки, обґрунтовано напрямок рішення цих проблем у даному дослідженні, сформульовані мета і задачі дисертаційної роботи.

Проведений аналіз літератури показав, що інтерес до надтвердих матеріалів, що виник у 60-і роки минулого століття, не слабшає і сьогодні. У цьому напрямку відомі фундаментальні праці вітчизняних і закордонних дослідників: М.К. Беззубенка, Г.В. Бокучави, Г.П. Богатирьової, Л.Ф. Верещагіна, Ю.М. Внукова, А.І. Грабченка, Е.І. Гриценка, Л.М. Девіна, В.Л. Доброскока, В.Д. Дорофєєва, В.О. Залози, І.П. Захаренка, В.П. Зубаря, Ю.Г. Кабалдіна, Я.А. Калашнікова, В.В. Коломийця, Я. Кундрака, В.І. Лавриненка, Т.М. Лолодзе, А.Л. Майстренка, П.Г. Матюхи, Е.Н. Маслова, Ю.І. Нікітіна, М.В. Новікова, А.Н. Рєзнікова, О.О. Розенберга, А.А. Сагарди, М.Ф. Семка, М.Д. Узуняна, В.А. Фадєєва, В.О. Федоровича, Ю.Д. Філатова, А.А. Шепелева, О.О. Шульженка, А.В. Якімова, Ф.Я. Якубова, П.І. Ящерицина та інших. Широке використання надтвердих матеріалів в інструментальному виробництві відкрило нові перспективи удосконалення технологій виготовлення різноманітних виробів. Однак абразивні і лезові інструменти з НТМ є дорогими, тому проблема їх раціонального використання є актуальною.

Аналіз літератури показав, що алмазно-абразивна обробка все ще характеризується високою непродуктивною витратою алмазних зерен, в сучасних технологічних процесах недостатньо науково обґрунтовано принципи вибору характеристик алмазних кругів для обробки того чи іншого матеріалу. Вибір марки зв'язки, алмазного зерна, його розмірів, концентрації здійснюється за звичай на основі традиційно сформованої практики їхнього застосування, а у випадку обробки нового матеріалу – на основі трудомістких і дорогих експериментів, і в обох випадках ґрунтується на існуючій номенклатурі алмазних кругів, які випускаються серійно. Такий вибір не забезпечує не тільки повного використання алмазних зерен круга, але і найчастіше не вичерпує можливостей алмазно-абразивного інструмента з продуктивності обробки.

У реалізації ресурсу алмазних зерен важливу роль відіграє їх цілісність після виготовлення круга, яка також безпосередньо пов'язана з кількісними і якісними характеристиками інструмента. Наукові публікації і виробничий досвід свідчать про ушкодження частини алмазних зерен (дроблення, поява тріщин) при виготовленні алмазно-металевих композицій методами порошкової металургії, що істотно знижує експлуатаційні можливості алмазно-абразивного інструмента на їхній основі.

Аналіз робіт, присвячених лезовому інструменту з НТМ, свідчить про те, що крім його високої собівартості, значного відсотка браку при виготовленні важливим фактором, що стримує застосування такого інструмента в автоматизованому виробництві, є висока імовірність його відмов через руйнування різальної частини, зумовлене вихідною дефектністю надтвердого матеріалу. Рішення цієї проблеми також можливо за рахунок обґрунтованого вибору характеристик алмазних кругів та режимів обробки на етапі шліфування лезового інструмента з НТМ.

Ось чому визначення раціональних характеристик алмазних кругів у роботі запропоновано вести стосовно процесу алмазного шліфування НТМ як найбільш трудомісткого в інструментальному виробництві й об'єднуючого у собі алмазно-абразивну обробку і виготовлення лезового інструмента з НТМ.

Порівняльний аналіз структури алмазних зерен зі структурою полікристалічних надтвердих матеріалів на основі алмаза і нітриду бора, їх міцносних і теплових властивостей, а також істотна залежність цих властивостей від температури вказують на принципову можливість створення певної переваги міцності інструментального НТМ над оброблюваним, необхідної для ефективного руйнування останнього при алмазному шліфуванні надтвердих матеріалів. Цю перевагу при контакті рівнотвердих матеріалів може бути забезпечено за рахунок вибору раціональних характеристик алмазного круга.

На підставі проведеного аналізу сформульовано мету і визначено задачі дослідження.

У другому розділі наведено відомості про досліджувані матеріали та інструменти, обладнання і прилади, які використовувалися, методи вимірів і розрахунків, які застосовувалися. Представлено основні методики, які було використано при проведенні досліджень.

Викладено комплексну методику дослідження просторових систем “алмазне зерно–зв’язка” на етапі виготовлення алмазного круга, “НТМ–зерно–зв’язка” на етапі шліфування і “різець з НТМ–деталь” на етапі точіння, що включає 3D моделювання і теоретичне вивчення теплового і напружено-деформованого стану елементів зони спікання алмазоносного шару круга, зони шліфування і зони різання (рис. 1), а також експериментальне вивчення параметрів поверхонь, що взаємодіють у процесі шліфування.

3D підхід відкрив нові можливості рішення теплових і міцносних задач, аналітичні розрахунки яких є фізично і математично досить складними, особливо для нерегулярних середовищ. Застосування прикладних програм за методом кінцевих елементів “Cosmos”, “PHOENICS”, “Third Wave AdvantEdge” істотно знизило трудомісткість одержання результатів дослідження в умовах, максимально наближених до реальних, та підвищило їх вірогідність у порівнянні з рішеннями плоских задач. Методики моделювання, що використовувалися, дозволили оцінити тепловий і напружено-деформований стан (НДС) всіх елементів досліджуваних систем одночасно з урахуванням їх взаємовпливу в різних умовах навантаження, що виявилось досить

важливим при визначенні області раціональних поєднань їхніх фізико-механічних властивостей і параметрів взаємодії.

Рисунок 1 – 3D моделі напружено-деформованого стану систем “алмазне зерно–зв’язка” (а, г),
 “НТМ–зерно–зв’язка” (б, д) і
 “різець з НТМ–деталь” (в, е): а, б, в – кінцево-елементні сітки;
 г – щільність енергії деформації; д, е – напруги в системах

У роботі при 3D моделюванні напружено-деформованого стану елементів алмазозносного шару, що спікається, і зони шліфування застосовано пакет прикладних програм “Cosmos”, який дозволяє у трьохмірному вимірі розраховувати поля приведених і головних напруг, енергію деформації і щільність енергії деформації, температурні поля, переміщення, об’єми зруйнованих НТМ і алмазних зерен.

Для моделювання теплових процесів в НТМ, що шліфуються, використовувалась програмна система “PHOENICS”, в якій рішення теплових задач базується на нелінійному рівнянні теплопровідності. Програмний пакет дозволив з необхідною точністю розраховувати 3D нестационарні температурні поля і пов’язані з ними поля температурних градієнтів, вирішувати теплові задачі для нерегулярної геометрії і температурної залежності теплофізичних характеристик досліджуваних матеріалів (коефіцієнту теплопровідності λ та коефіцієнту питомої теплоємності c).

Для моделювання напружено-деформованого стану елементів системи “різець з НТМ–деталь”, що виникає в процесі точіння, застосовувався спеціалізований під лезову обробку програмний пакет “Third Wave AdvantEdge”. З урахуванням властивостей оброблюваного й інструментального матеріалів, геометричних параметрів інструмента та режимів точіння пакет дозволив досліджувати в динаміці 3D поля температур, деформацій і напруг в різці з НТМ, здійснювати їх візуалізацію і автоматизований аналіз.

Застосування методики лазерного сканування робочої поверхні круга і поверхні оброблюваних НТМ дозволило визначити фактичну площу їхнього контакту як на макро-, так і на мікрорівнях, що істотно підвищило достовірність розрахунків температурних полів у НТМ і напружено-деформованого стану елементів зони шліфування.

Методика кольоровометричного дослідження дозволила за сканованими фотографіями НТМ у поляризованому світлі в комп’ютерному режимі визначити якісний склад і процентний вміст металевих включень і мікродефектів на оброблюваній поверхні, необхідні при визначенні умов шліфування, що виключають макророзтріскування надтвердих матеріалів.

Третій розділ присвячено модельним експериментам з дослідження процесу спікання алмазних шліфувальних кругів на металевій зв'язці з метою визначення умов збереження вихідних характеристик зерен в інструменті.

Працездатність алмазно-абразивних інструментів зумовлена низкою причин, до яких належить дефектність структури, пов'язана з руйнуванням частини зерен в процесі виготовлення інструмента. Дослідження Інституту надтвердих матеріалів НАН України свідчать, що при спіканні композиційних алмазовміщуючих матеріалів (КАМ) типу “твесал” до 90% алмазних зерен руйнуються. Схожість процесів спікання КАМ і алмазоносного шару шліфувальних кругів на металевих зв'язках, а також вимірювання розмірів алмазних зерен з фрагментів алмазоносного шару шліфувальних кругів на металевих зв'язках свідчать про дроблення алмазних зерен у процесі виготовлення інструмента (кількість зерен основної і крупної фракцій відповідно знижувалась для різних кругів на 19–33% і 4–16% у порівнянні з нормованим алмазним порошком). Факторами, що в значній мірі впливають на цілісність зерен, є марка алмазного зерна, його розміри і концентрація, а також склад зв'язки, який визначає технологічні особливості виготовлення круга.

Моделювання в програмному пакеті “Cosmos” процесу спікання КАМ типу “твесал” на твердосплавній зв'язці підтвердило висновки М.В. Новікова про руйнування алмазних зерен. Тому з метою визначення раціонального складу алмазно-металевих композицій з погляду на цілісність зерен в пакеті прикладних програм “Cosmos” здійснювалося 3D моделювання НДС елементів зони спікання. Розрахунки проводилися для фрагмента алмазоносного шару, що включав одне або два алмазних зерна, оточених масивом металевої зв'язки. При цьому варіювалися не тільки розмір зерна, що відповідав досліджуваним зернистостям, і відстань між зернами, що відповідала різним значенням концентрації, але й тиск, температура спікання, а також фізико-механічні властивості компонентів алмазоносного шару. У моделі зерно і зв'язка розглядалися пружними суцільними тілами. Зв'язка моделювалася призматичним тілом, алмазні зерна – октаедрами з розмірами в залежності від зернистості, металева фаза в алмазних зернах – довільно орієнтованими прошарками, об'ємний вміст яких складав 0,1-10% в залежності від марки і розміру зерна, процес спікання – завданням статичного одноосьового рівномірно розподіленого навантаження у вигляді тиску і температури (рис. 2 а).

Теоретичні розрахунки дозволили в комп'ютерному режимі кількісно оцінити напруги, енергію деформації і щільність енергії деформації в елементах системи “алмазне зерно–зв'язка” (рис. 2 б, в, г) в залежності від їхніх розмірів, фізико-механічних властивостей і режимів спікання. Об'єми матеріалів вважалися зруйнованими, якщо напруги і/або щільність енергії деформації в них перевищували відповідні граничні значення.

Встановлено, що збільшення міцності зв'язки, зниження міцності алмазних зерен, збільшення їхньої зернистості і концентрації при фіксованих інших умовах спікання супроводжується руйнуванням зерен (рис. 3).

З технологічних режимів процесу спікання найбільш значущим для цілісності зерен є температура (термосилові напруги лише на 12-18% перевищують температурні).

Рисунок 2 – Розрахункова схема (а) і 3D напружено-деформований стан системи “алмазне зерно–зв’язка” АС6 200/160 М2-09: б) напруги; в) енергія деформації; г) щільність енергії деформації

Рисунок 3 – Вплив концент-рації на напруги в алмазному зерні: 1 – АС15 125/100 М1-04, 2–АС15 250/200 М1-04, 3–АС6 125/100 М1-04, 4–АС15 125/100 М6-14 (- - - розрахункові напруги перевищують межу міцності при розтягненні)

Металеві включення в зернах є ініціаторами їхнього розтріскування за рахунок внутрішніх напруг, зумовлених різницею коефіцієнтів термічного розширення алмазної і металевої фаз.

Аналіз результатів теоретичних розрахунків дозволив визначити склади алмазно-металевих композицій, що забезпечують цілісність зерен у крузі в процесі його виготовлення (табл. 1). Рекомендовані значення концентрації в них нижче тих, що використовуються у серійних кругах, що є важливим фактором зниження собівартості як алмазних кругів, так і процесів шліфування.

Таблиця 1 – Рекомендовані для спікання склади алмазно-металевих композицій

Марка зерна	Модуль пружності зв'язки, ГПа	Зернистість, мкм	Концентрація, %
АС2	до 52	50/40-63/50	до 5-7
АС4	до 70	50/40-80/63	до 5-10
АС6	до 95	50/40-100/80	до 10-16
АС15	до 100	80/63-100/80	до 15-21
АС32	до 110	80/63-125/100	до 18-25
АС50	до 119	100/80-160/125	до 25-28
АС80	до 173	125/100-250/200	до 25-34
АС100	до 210	125/100-315/250	до 30-36
АС125	до 260	200/160-315/250	до 32-38
АС160	до 320	250/200-500/400	до 35-40

Четвертий розділ присвячено дослідженню теплових процесів алмазного шліфування надтвердих матеріалів.

Визначено основні джерела теплотворення процесу – робота алмазних зерен з крихкого мікроруйнування і диспергування НТМ, а також робота сил тертя.

Встановлено, що в процесі алмазного шліфування основна частка тепла, яке виділяється, надходить в оброблювані НТМ, що зумовлено високим рівнем їх теплофізичних властивостей і специфічними умовами контактування з інструментом.

Теоретичний аналіз температур проводився шляхом 3D моделювання теплового поля надтвердих матеріалів, що шліфуються, на макро- і мікрорівнях з використанням програмної системи “PHOENICS”, яка працює за методом кінцевих об’ємів. В якості граничних умов завдання джерела тепла використовувалась щільність теплового потоку q , Вт/м²:

$$q = -\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial n} = q(x, y, z, \tau), \quad (1)$$

де T – температура, К; n – нормаль до торцевої поверхні зразка у точці, що розглядається; x, y, z – просторові координати; τ – час.

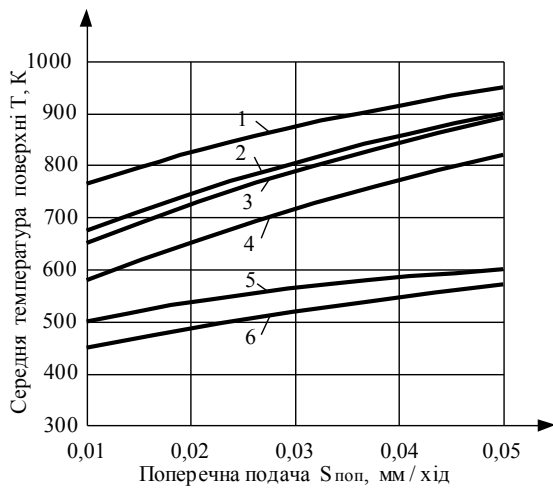
Величини q знаходилися на підставі експериментальних значень потужності шліфування і відносної фактичної площі контакту робочої поверхні алмазного круга з оброблюваною поверхнею НТМ, визначеної методом лазерного сканування.

Інтенсивність термічних процесів оцінювалася середньою температурою на поверхні, що шліфується, середньооб’ємною температурою НТМ, локальною температурою в контакті поодинокого алмазного зерна з НТМ, а також температурними градієнтами. Найбільші градієнти температури уздовж вектора подовжньої подачі виникають на першому ході, тоді ж спостерігається і найбільша швидкість розігріву НТМ до 2000 К/с. Більшому часу шліфування відповідають значні (до 800 К/мм) температурні градієнти по глибині зразка, величина яких багато в чому визначається температурною залежністю теплофізичних властивостей НТМ.

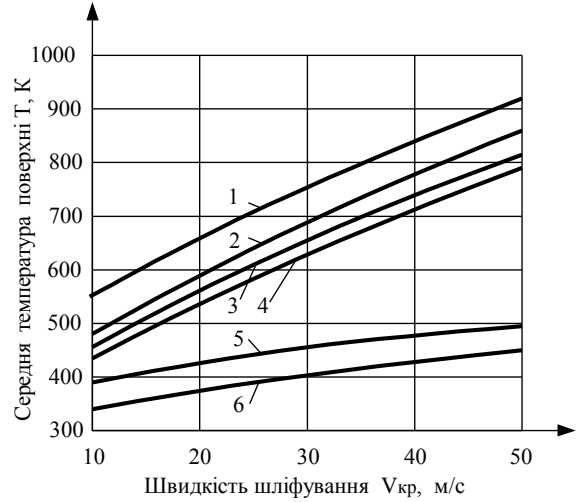
Із факторів, що найбільшою мірою впливають на температури в макрооб’ємі НТМ, виділені: марка надтвердого матеріалу і концентрація алмазів у крузі, з режимів обробки – поперечна подача (нормальний тиск у контакт) і швидкість шліфування (рис. 3). Висока теплонапруженість тонких приповерхневих шарів НТМ визначила необхідність дослідження температур у мікрооб’ємі НТМ, що шліфуються. На рівень локальних температур найбільш суттєво впливають марка надтвердого матеріалу, зерна і зв’язки круга (табл. 2), а з режимів – швидкість і поперечна подача (нормальний тиск у контакт).

Локальні температури, що є результатом роботи тертя і диспергування, виконаної окремим зерном, з урахуванням температур нагрівання поверхні НТМ попередніми зернами можуть досягати 1600 К і 1300 К відповідно для алмазних і нітридборних НТМ в залежності від режимів обробки, розмірів зразка НТМ, теплофізичних характеристик НТМ, алмазного зерна і зв’язки круга. Ці температури, перевищуючи межу термостійкості алмазних структур і поширюючись, як свідчать температурні поля, на незначні глибини від поверхні, що шліфується (0,01-0,045 мм), роблять істотний внесок в інтенсифікацію зняття припуску. Тому визначення локальних температур у

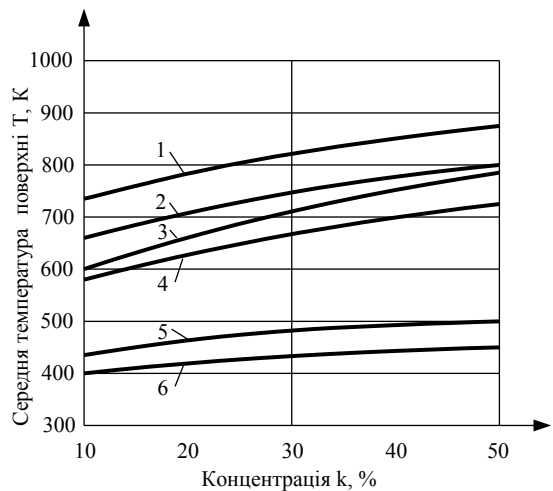
мікрооб'ємах поверхневого шару НТМ є вихідним пунктом моделювання напружено-деформованого стану зони шліфування з метою визначення умов продуктивної обробки, а середньооб'ємні температури – з метою виключення макророзтріскування НТМ у процесі шліфування.



а)



б)



в)

Рисунок 4 – Залежність середньої температури поверхні НТМ від умов шліфування:

- а) поперечної подачі $S_{\text{поп}}$;
- б) швидкості шліфування $V_{\text{кр}}$;
- в) концентрації алмазних зерен k ;
- 1 – АТП; 2 – АСПК; 3 – СКМ-Р;
- 4 – АСБ; 5 – ДПГ; 6 – гексаніт-Р

Таблиця 2 – Вплив характеристик алмазного круга на локальну температуру

Локальна температура поверхні, що шліфується T, K	Марка алмазного зерна			
	АС4	АС6	АС15	АС32
	857	813	771	733
	Марка зв'язки			
	М1-01	М6-14	М2-09	М2-01
	847	765	593	579
	Концентрація $k, \%$			
	150	100	50	10
	839	815	756	620
	Зернистість $z, \mu\text{м}$			
50/40	125/100	250/200	500/400	
968	851	696	548	

У п'ятому розділі представлено комплексні теоретичні дослідження зони шліфування, які дозволили при визначенні раціональних характеристик алмазних кругів зв'язати в єдиний алгоритм вибір умов збереження вихідних властивостей зерен при спіканні кругів, умов ефективного

шліфування НТМ та умов шліфування лезового інструмента з НТМ у відповідності до його конкретного експлуатаційного призначення.

Оскільки ефективність алмазного шліфування визначається рівнем контактних напруг, що, у свою чергу, залежать не тільки від силового навантаження і властивостей контактуючих матеріалів, але і площі контактних зон і контактної температури, розрахунки напружено-деформованого стану елементів зони шліфування здійснювалися з урахуванням температур шліфування і фактичної площі контакту робочої поверхні круга з НТМ, через яку перераховувалося фактичне силове навантаження в системі.

Дослідження 3D моделі зони шліфування, що становить єдину систему “НТМ–зерно–зв’язка”, свідчать, що режими шліфування, температура контакту, що відповідає їм, марка металевої зв’язки, марка алмазних зерен, їх робоча висота, концентрація впливають на інтенсивність взаємного руйнування елементів системи.

Існуюче протиріччя між підвищенням продуктивності шліфування і мінімізацією витрати алмазних зерен у роботі вирішувалося за рахунок 3-х етапного забезпечення необхідної фактичної площі контакту η :

- встановлення мінімальної робочої висоти зерен α (у межах 0,16-0,18 розміру зерна);
- вибір марки металевої зв’язки (М6-14), що відрізняється найкращим сполученням високих міцносних і теплофізичних властивостей для забезпечення мінімальних величин критичного заглиблення $\varepsilon_{кр}$ і вдавлювання c зерен у зв’язку;
- визначення коефіцієнта концентрації алмазних зерен з одержаної теоретичної залежності для фактичної площі контакту:

$$K = \sqrt{\left(\frac{6,35 \cdot \eta}{1 - \varepsilon_{кр} - \alpha + c} \right)^3}. \quad (2)$$

Вибір марки алмазного зерна для ефективного шліфування НТМ здійснювався за принципом мінімізації об’ємів зруйнованих алмазних зерен і вартості цих об’ємів. З урахуванням зменшення динамічної міцності і межі міцності при розтягненні із збільшенням розміру зерна перевага віддавалася меншим зернистостям.

В якості фактора, що обмежує макророзтріскування НТМ, які шліфуються, приймалася поперечна подача або нормальний тиск у контакті, а для збереження необхідного рівня продуктивності у разі потреби знижувалася концентрація алмазних зерен.

З метою виключення руйнування різальної частини лезового інструмента з НТМ при точінні здійснювалося взаємозалежне 3D моделювання процесів точіння різцем з НТМ і його шліфування. За розрахованими у програмному пакеті “Third Wave AdvantEdge” термосиловими напругами у різальному клині різця з НТМ (рис. 4 а) моделювався відповідний напружено-деформований стан

заточуваного інструмента з НТМ у програмному пакеті “Cosmos” (рис. 4 б). Виходячи з останнього встановлювалися характеристики круга і режими шліфування, що забезпечують викриття можливих дефектів надтвердого матеріалу при заточуванні інструмента (табл. 3).

Рисунок 4 – 3D напружено-деформований стан лезового інструмента з НТМ при точінні (а) і заточуванні (б)

Комплексне дослідження 3D напружено-деформованого стану трьох зон: спікання, шліфування і точіння дозволило розробити алгоритм експертної системи визначення характеристик алмазних кругів, що задовольняють як умовам виготовлення круга за цілісністю зерен, так і умовам ефективного шліфування у поєднанні, у разі потреби, з умовами виключення руйнування різців з надтвердих матеріалів в процесі їх наступної експлуатації (рис. 5).

Таблиця 3 – Умови заточування різців з надтвердих матеріалів

Інструмент-гальний матеріал	Оброблюваний матеріал	Режими точіння			Режими заточування			Характеристики алмазного круга			
		Швидкість різання V , м/с	Подача S , мм/об	Глибина різання t , мм	Швидкість круга $V_{кр}$, м/с	Поперечна подача $S_{поп}$, мм/хв	Повздовжня подача $S_{пр}$, мм/хв	Марка металевої зв'язки	Марка алмазного зерна	Концентрація k , %	Зернистість Z , мкм
Гексаніт-Р	ШХ15	1	0,05	0,1	30	0,07	1	M1-01	AC4	15	100/80
Ельбор	Ст 40Х	2	0,35	0,2	7	0,005	0,5	M1-05	AC4	10	125/100
АТП	ВТ6	2,5	0,05	0,2	45	0,1	2	M6-14	AC50	20	125/100
АСБ	Сu	8	0,06	1	10	0,003	0,3	M1-01	AC6	12	200/160
АСПК	АЛ25	10	0,07	0,1	22	0,03	1,5	M2-01	AC32	25	160/125
СКМ-Р	ВОК-60	0,2	0,05	0,05	34	0,09	1,7	M6-14	AC20	30	100/80
Гексаніт-Р	СЧ21-40	16,7	0,05	0,1	14	0,08	0,9	M1-04	AC6	16	80/63

Згідно розробленого алгоритму корегування характеристик алмазного круга, встановлених для продуктивного шліфування НТМ, за умови цілісності зерен при спіканні здійснювалося за рахунок зниження концентрації алмазних зерен, а режимів шліфування – за рахунок зниження поперечної подачі (нормального тиску у контакті), як і в разі їх корегування за умови макророзтріскування НТМ. При визначенні характеристик алмазного круга для заточування лезового інструмента під конкретні умови точіння їх перевірка за макророзтріскуванням не виконувалася.

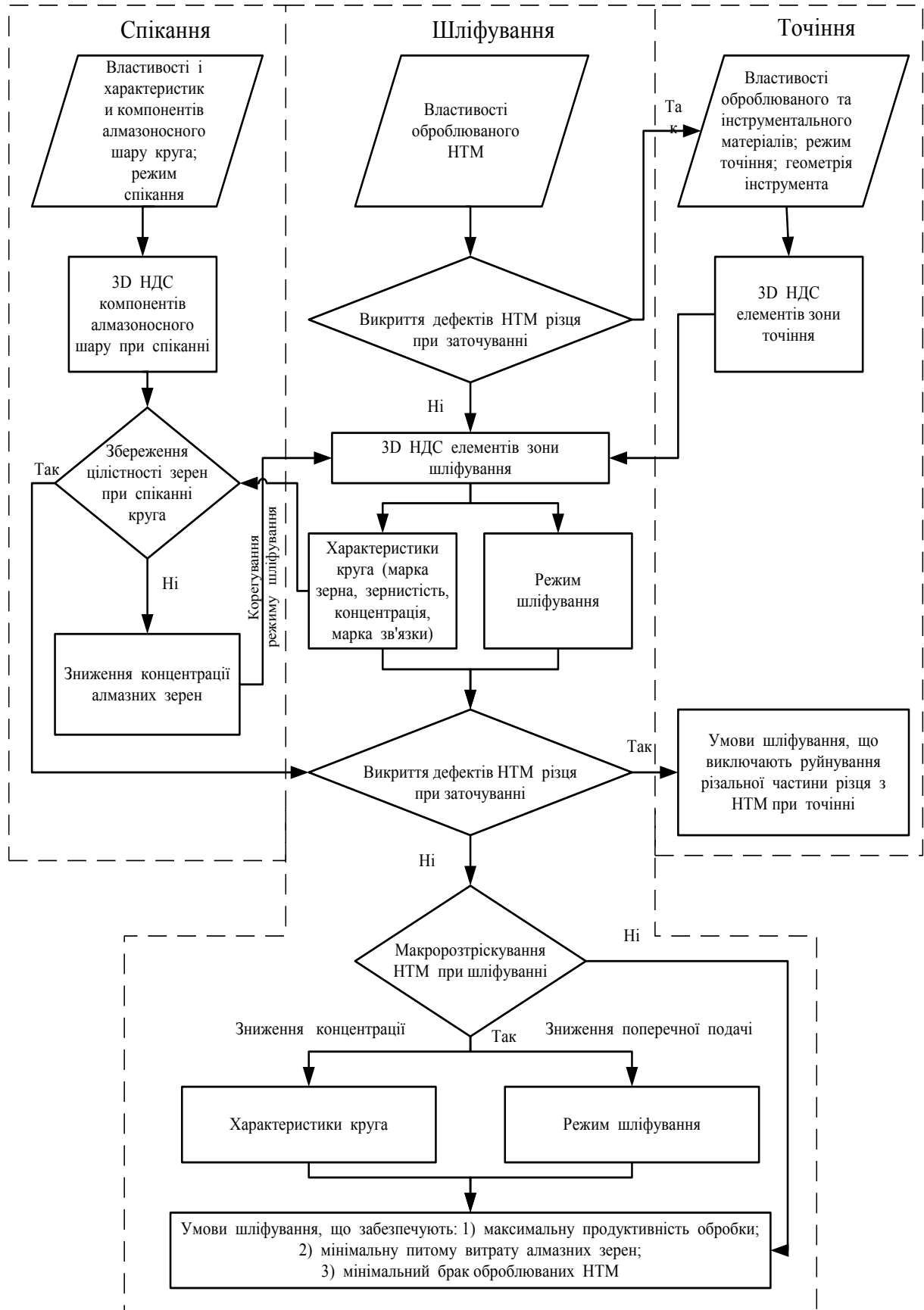


Рисунок 5 – Алгоритм експертної системи визначення раціональних характеристик алмазних кругів на металевих зв'язках

На підставі розробленого алгоритму одержано практичні рекомендації з характеристик кругів для продуктивного шліфування при мінімальній питомій витраті алмазних зерен і зниженні дефектності НТМ як для великих промислових підприємств, на яких може бути реалізовано систему спрямованого видалення металевої зв'язки круга, так і для дрібних фірм з виготовлення і переточування лезового інструмента з НТМ, які використовують традиційні способи заточування.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-практичної задачі підвищення ефективності алмазного шліфування за рахунок визначення раціональних характеристик алмазно-абразивного інструмента на етапах його виготовлення та експлуатації, у результаті якого зроблено наступні висновки:

1. У зв'язку з відсутністю науково обґрунтованих рекомендацій з поєднань марок алмазних зерен, їхньої зернистості, концентрації і марок зв'язки круга для ефективного шліфування матеріалів різної твердості на базі теоретико-експериментальних досліджень розроблено алгоритм експертної системи визначення раціональних характеристик алмазних кругів, в основу якого покладено 3D моделі зони спікання алмазоносного шару круга, зони шліфування НТМ та зони точіння лезовим інструментом з НТМ, які дозволяють аналізувати їх поведінку при різних характеристиках і умовах взаємодії елементів.

2. Розроблено комплексну методику дослідження просторових систем “алмазне зерно–зв'язка” при спіканні, “НТМ–зерно–зв'язка” при шліфуванні і “різець з НТМ–деталь” при точінні, що включає 3D моделювання і теоретичне вивчення теплового і напружено-деформованого стану елементів даних систем, а також експериментальне вивчення параметрів поверхонь, що взаємодіють у процесі шліфування.

3. На основі 3D моделювання напружено-деформованого стану алмазоносного шару круга при спіканні встановлено, що міцність металевої зв'язки визначається міцністю алмазних зерен, що спікаються з нею, а також їх концентрацією і зернистістю. Зниження концентрації алмазів у крузі до 5-40% дозволяє при раціональному виборі їхньої марки, зернистості і марки зв'язки зберегти вихідні властивості зерен круга на етапі його виготовлення. Одержано науково обґрунтовані рекомендації з раціональних складів алмазно-металевих композицій для виготовлення шліфувальних кругів.

4. Визначено температури в макро- і мікроб'ємах оброблюваних НТМ для реалістичного моделювання зони шліфування. На основі 3D моделювання нестационарного теплового поля встановлено закономірності зміни температур і температурних градієнтів у залежності від характеристик алмазних кругів і режимів шліфування. Контактують в зоні шліфування рівнотвердих структур і особливості теплофізичних властивостей надтвердих матеріалів

визначають високу теплонапруженість процесу алмазного шліфування НТМ (середньооб'ємні температури алмазних і нітридборних НТМ сягають 1000 К і 650 К відповідно, локальні температури в зоні контакту алмазного зерна з поверхнею НТМ – 1600 К і 1300 К відповідно) і значну динаміку її зміни (градієнти температур – до 800 К/мм, швидкості нагрівання – до 2000 К/с).

5. Тривимірний підхід до моделювання зони шліфування дозволив дати кількісну оцінку впливу умов її силового і теплового навантаження, показників фактичної площі контакту, а також фізико-механічних і теплофізичних властивостей її елементів на інтенсивність процесів руйнування при шліфуванні, на підставі якої встановлено раціональні характеристики алмазного круга, що забезпечують підвищення ефективності алмазного шліфування.

6.3 метою зниження собівартості алмазного шліфування НТМ запропоновано використовувати склад алмазоносного шару круга із зниженою до 10-45% концентрацією алмазних зерен, який при шліфуванні з їх мінімальною робочою висотою (0,16-0,18 розміру зерна) і раціональному сполученні міцносних і теплових властивостей оброблюваного матеріалу, металеві зв'язки і зерен круга, забезпечує підвищення продуктивності шліфування в 1,4 рази, зниження дефектності НТМ на 30% і питомої витрати алмазних зерен на 40%. У якості додаткового фактора, що обмежує макророзтріскування НТМ, визначено поперечну подачу або нормальний тиск у контакті.

7. Взаємозалежне моделювання напружено-деформованого стану зони точіння інструментом з НТМ і зони його шліфування дозволило визначити характеристики алмазного круга і режими заточування різців з надтвердих матеріалів під конкретні умови наступної експлуатації з метою зниження їх відмов через руйнування різальної частини інструмента.

8. На основі комплексного підходу до 3D моделювання напружено-деформованого стану елементів зони спікання алмазоносного шару круга і зони шліфування НТМ визначено науково обґрунтовані рекомендації з вибору раціональних характеристик алмазного круга для ефективної обробки досліджуваних марок НТМ із керуванням ріжучим рельєфом круга і без нього. Результати роботи впроваджено у ВАТ “Полтавський алмазний завод” з річним економічним ефектом 35 тис. грн. (за даними замовника).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Островерх Е.В., Маслов В.А., Козакова Н.В. Тепловые процессы в шлифуемых двухслойных пластинах // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: ХГПУ. – 1995-1996. – Вып. 50. – С. 138-142.

Здобувачем встановлено залежності температур шліфування від часу і пояснено теоретичні передумови появи їх критичних значень.

2. Козакова Н.В., Лушпенко С.Ф., Маслов В.А., Островерх Е.В. Математическое

моделирование тепловых процессов при тонком алмазном шлифовании сверхтвердых пластин путем решения сопряженных задач // Високі технології в машинобудуванні. – Харків: ХДПУ. – 1998. – С. 157-160.

Здобувачем запропоновано в якості інформації про теплове джерело алмазного шліфування використовувати експериментально встановлену функціональну залежність потужності обробки від часу.

3. Островерх Е.В., Лушпенко С.Ф., Козакова Н.В., Маслов В.А. Особенности динамики температурных полей в шлифуемых двухслойных пластинах // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: ХГПУ. – 1999. – Вып. 54. – С. 184-188.

Здобувачем сформовано масиви даних з потужності шліфування та номінальної площі контакту для розрахунків в системі “PHOENICS” і проведено аналіз одержаних температурних полів і полів температурних градієнтів.

4. Козакова Н.В. Расчет локальных температур при шлифовании сверхтвердых пластин // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: ХГПУ. – 2000. – Вып. 56. – С. 91-95.

5. Козакова Н.В. Анализ локальных температур при тонком шлифовании сверхтвердых поликристаллических материалов // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: ХГПУ. – 2000. – Вып. 57. – С. 122-125.

6. Козакова Н.В., Островерх Е.В., Хавин Г.Л. Методика расчета температуры хрупкого разрушения системы “алмазный кристаллит–металлофаза” // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2001. – Вып. 59. – С. 124-128.

Здобувачем запропоновано методику розрахунку температури крихкого руйнування системи “алмазний кристаліт–металофаза”.

7. Козакова Н.В. Оценка температуры разрушения в системе “алмазный кристаллит–металлофаза” с учетом внутренних дефектов алмазов // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПИ”. – 2001. – № 6. – С. 122-125.

8. Федорович В.А., Островерх Е.В., Козакова Н.В. Обеспечение надежности лезвийного инструмента из сверхтвердых материалов на стадии его изготовления // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2002. – Вып. 62. – С. 158-161.

Здобувачем розроблено алгоритм визначення умов заточування лезового інструмента з НТМ за його напружно-деформованим станом.

9. Козакова Н.В., Федорович В.А. Влияние прочностных свойств элементов системы “круг–деталь” на оптимальную концентрацию алмазных зерен // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2003. – Вып. 64. – С. 133-140.

Здобувачем досліджено вплив властивостей зв'язок шліфувального круга на величину

концентрації алмазних зерен.

10. Федорович В.А., Гламазда С.Л., Козакова Н.В. 3D моделювання напружено-деформованого стану зони шліфування // Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету. – Кіровоград: КДТУ. – 2003. – Вип. 13. – С. 71-76.

Здобувачем проведено аналіз результатів теоретичних розрахунків напружено-деформованого стану елементів зони шліфування з точки зору впливу на нього фізико-механічних властивостей металевих зв'язок круга.

11. Козакова Н.В. Влияние прочности связки, алмазных зерен и их концентрации на работоспособность шлифовального круга // Високі технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2003. – Вип. 2(7). – С. 45-50.

12. Федорович В.А., Козакова Н.В. Влияние прочности элементов системы “СТМ–зерно–связка” на эффективность шлифования // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2003. – № 9, т. 1. – С. 85-92.

Здобувачем проведено порівняльний аналіз полів температурних, силових і термосилових напруг в системі “НТМ–зерно–зв’язка”.

13. Козакова Н.В., Наконечный Н.Ф., Федорович В.А. 3D моделювання при определении оптимальных характеристик алмазных кругов // Високі технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2004. – Вип. 1(8). – С. 81-86.

Здобувачем розроблено модель зони спікання алмазоносного шару круга і виконано теоретичні розрахунки напружено-деформованого стану її елементів.

14. Федорович В.А., Козакова Н.В. Определение режимов и условий заточки лезвийного инструмента из сверхтвердых материалов в зависимости от его эксплуатационного назначения // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2004. – Вып. 66. – С. 203-208.

Здобувачем отримано характеристики круга і режими шліфування для заточування різців з досліджуваних марок НТМ під конкретні умови його експлуатації.

15. Федорович В.А., Козакова Н.В. Влияние фактической площади контакта в системе “РПК–СТМ” на эффективность шлифования // Високі технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2004. – Вип. 2(9). – С. 210-220.

Здобувачем здійснено аналіз результатів теоретичного та експериментального визначення відносної опорної площі робочої поверхні алмазного круга.

16. Декл. пат. 69218 А Україна, МПК В24D5/14, В24D7/14, В24B1/100 / А.І. Грабченко, В.О. Федорович, Н.В. Козакова; НТУ “ХПІ”. Матеріал абразивного круга – № 20031211637;

Заяв. 16.12.2003; Опубл. 16.08.2004, Бюл. № 8.

Здобувачем встановлено кореляцію між міцносними показниками оброблюваного матеріалу, алмазного зерна і зв'язки круга та концентрацією зерен в алмазозносному шарі шліфувального круга.

17. Грабченко А.И., Островерх Е.В., Козакова Н.В., Маслов В.А. Численное моделирование взаимосвязи температуры шлифования с теплоотдачей поверхности обрабатываемых сверхтвердых поликристаллов // Материалы междунар. научн.-техн. конф. “Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье”. – Харьков: ХГПУ, 1995. – С. 52.

Здобувачем встановлено кількісні залежності температури шліфування від умов тепловіддачі.

18. Федорович В.О., Козакова Н.В. Роль співвідношення міцностей інструментального і оброблювального матеріалів в процесі шліфування // Доп. міжнар. наук.-практ. конф. “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2003. – С. 268.

Здобувачем отримано граничні значення напруг на розтяг для різних марок та зернистостей алмазних зерен з використанням експериментальних даних на їх діаметральне стиснення.

АНОТАЦІЇ

Козакова Н.В. Визначення раціональних характеристик алмазних кругів шляхом 3D моделювання процесів їх виготовлення і шліфування надтвердих матеріалів. – *Рукопис*.

Дисертація у вигляді рукопису на здобуття ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати й інструменти. – Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2004.

Дисертація присвячена вирішенню проблеми підвищення ефективності алмазного шліфування за рахунок визначення раціональних характеристик алмазних кругів на етапах їх виготовлення і експлуатації. На основі комплексного 3D моделювання напружено-деформованого стану елементів зон спікання алмазозносного шару круга, шліфування надтвердих матеріалів (НТМ) і точіння інструментом з НТМ розроблено алгоритм експертної системи визначення характеристик алмазного круга, що забезпечують цілісність його зерен, підвищення продуктивності шліфування, зменшення дефектності НТМ і питомої витрати алмазних зерен, а також зниження експлуатаційних відмов лезового інструмента з НТМ, що заточується.

Ключові слова: шліфувальний круг, різець, надтвердий матеріал, алмазне зерно, металева зв'язка, концентрація, зернистість, напруга, температура шліфування, 3D моделювання.

Козакова Н.В. Определение рациональных характеристик алмазных кругов путем 3D моделирования процессов их изготовления и шлифования сверхтвердых материалов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.01 – процессы механической обработки, станки и инструменты. – Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2004.

Диссертация посвящена решению проблемы повышения эффективности алмазного шлифования синтетических сверхтвердых материалов (СТМ) за счет определения рациональных характеристик алмазных кругов на этапе их изготовления и шлифования СТМ. Актуальность работы связана с приоритетами развития инструментального производства, среди которых одно из первых мест занимает применение инструментов из синтетических сверхтвердых материалов, открывающих новые перспективы усовершенствования технологий изготовления разнообразных изделий.

Методической основой работы является комплексная методика исследования пространственных систем “алмазное зерно–связка” на этапе изготовления алмазного круга, “СТМ–зерно–связка” на этапе шлифования и “резец из СТМ–деталь” на этапе точения включающая 3D моделирование и теоретическое изучение теплового и напряженно-деформированного состояния элементов данных систем, а также экспериментальное изучение параметров поверхностей, взаимодействующих в процессе шлифования.

Впервые примененная к процессу спекания алмазоносного слоя шлифовального круга методика 3D моделирования напряженно-деформированного состояния его компонентов позволила определить условия обеспечения целостности алмазных зерен при изготовлении алмазно-абразивного инструмента на металлических связках. Рекомендуемые составы алмазно-металлических композиций отличаются от используемых в серийно выпускаемых кругах пониженными до 5-45% значениями концентрации алмазных зерен, что является важным фактором обеспечения не только целостности зерен в инструменте, но и снижения его себестоимости в 1,2-2 раза.

Для реалистичного моделирования зоны шлифования определялись температуры в макро- и микрообъеме шлифуемых СТМ. На основе 3D моделирования нестационарного теплового поля установлены закономерности изменения температур и температурных градиентов в зависимости от режимов шлифования и характеристик алмазных кругов.

Примененный трехмерный подход к моделированию процессов разрушения в зоне шлифования позволил за счет рационального сочетания прочностных и теплофизических свойств обрабатываемого сверхтвердого материала, металлической связки и зерен круга использовать алмазоносный слой с пониженной концентрацией зерен (защищен патентом), который при шлифовании с их минимальной рабочей высотой обеспечивает производительную и малодефектную обработку СТМ.

На основе взаимосвязанного 3D моделирования напряженно-деформированного состояния

зоны точения в процессе лезвийной обработки инструментом из СТМ и зоны шлифования в процессе заточки этого инструмента установлены характеристики алмазного круга, обеспечивающие повышение производительности шлифования в 1,4 раза, уменьшение удельного расхода алмазных зерен на 40%, снижение брака шлифуемых СТМ – на 30% или исключаящие разрушение режущей части затачиваемых резцов из СТМ.

Практические рекомендации по сочетанию марки алмазного зерна, концентрации, зернистости, марки металлической связки позволяют снизить себестоимость алмазного шлифования, а также осуществлять заточку лезвийного инструмента из СТМ под конкретные условия его последующей эксплуатации.

Разработанный алгоритм экспертной системы определения рациональных характеристик алмазных кругов, объединяющий три взаимосвязанных процесса: спекание алмазных кругов на металлической связке, шлифование СТМ и точение инструментом из СТМ, позволил повысить эффективность абразивной и лезвийной обработки инструментом из СТМ.

Ключевые слова: шлифовальный круг, резец, сверхтвердый материал, алмазное зерно, металлическая связка, концентрация, зернистость, напряжение, температура шлифования, 3D моделирование.

Kozakova N.V. Determination of efficient characteristics of diamond wheels by means of 3D simulation of process of their production and grinding of superhard materials.–Manuscript.

Thesis as a manuscript on competition of academic degree of candidate of technical sciences on speciality 05.03.01 – processes of machining, machine tools and tools. – National technical university “Kharkov polytechnic institute”, Kharkov, 2004.

The thesis is devoted to solution of the problem of diamond grinding process efficiency increase owing to determination of the best characteristics of diamond wheels on the stages of their production and exploitation. The algorithm of the expert system of determination of the diamond wheel characteristics, which ensure integrity of grains of the tool, increase of grinding productivity, decrease of superhard material (SHM) defectiveness, specific consumption of diamond grains and operational failure of sharpened single-point tool made of SHM has been developed on the basis of the complex 3D simulation of deflected mode of sintering zone elements of diamond-bearing layer of the wheel, grinding of SHM and turning by the tool made of SHM.

Key words: grinding wheel, edged tool, superhard material, diamond grain, metal bond, concentration, graininess, stress, grinding temperature, 3D simulation.

Підписано до друку 2004 р. Формат 145x215 .
Формат паперу $60 \times 84 \frac{1}{16}$. Папір ксерокс ний 80 г/м². Друк - різнографія.
Обсяг 0,9 авт. арк. Наклад 100 прим. Зам. №

Віддруковано в типографії
ТОВ СУНП “Бруксафоль - Курсор Фолієн”
61057, м. Харків, пр. Театральний 11/13
т. (057) 714-38-74, 706-31-73