

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Доброскок Володимир Ленінмирович

УДК 621.91

**НАУКОВІ ОСНОВИ ФОРМОУТВОРЕННЯ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ КРУГІВ НА
ТОКОПРОВІДНИХ ЗВ'ЯЗКАХ У ПРОЦЕСІ ШЛІФУВАННЯ**

Спеціальність - 05.03.01. - Процеси механічної
обробки, верстати та інструменти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків - 2001

Дисертація є рукопис

Робота виконана на кафедрі "Різання матеріалів та ріжучі інструменти" Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор

Грабченко Анатолій Іванович,

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут, завідувач кафедрою "Різання матеріалів та ріжучі інструменти".

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

Внуков Юрій Миколайович,

Запорізький державний технічний університет, завідувач кафедрою "Верстати та інструменти", проректор з наукової роботи;

доктор технічних наук, професор

Залога Вільям Олександрович,

Сумський державний університет, професор кафедри "Металорізні верстати та інструменти";

доктор технічних наук, ведучий науковий співробітник

Лавріненко Валерій Іванович,

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.Н. Бакуля Національної академії наук України.

Провідна установа:

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", кафедра "Інструментальне виробництво", Міністерства освіти і науки України, м. Київ.

Захист відбудеться "13" грудня 2001 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 в бібліотеці Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут".

Автореферат розісланий "12" листопада 2001 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

Узунян М.Д.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На цей час у світовій практиці при вивченні процесів обробки матеріалів різанням спостерігається тенденція переходу від 2D до 3D моделювання, що диктується необхідністю підвищення адекватності та інформаційної достатності моделей. Передумовою такого переходу є розвиток методів статистичного моделювання, апаратних можливостей обчислювальної техніки і програмного забезпечення на базі візуальних об'єктно-орієнтованих мов програмування. Проте для статистичного моделювання абразивно-алмазних інструментів у країні й за кордоном ще не створені реалістичні системи. Це пов'язано з відсутністю науково-методологічної бази для вирішення такої задачі. Створення системи 3D моделювання абразивно-алмазних інструментів дозволить істотно скоротити обсяг експериментальних досліджень для визначення оптимальних умов шліфування і розробити нові більш прогресивні технології, інструменти й устаткування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Виконання дисертаційної роботи пов'язано з держбюджетною і міжнародною науковою тематикою кафедри "Різання матеріалів і різальні інструменти" Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" по наступних темах і програмах: M2201 "Розробка теоретичних основ та створення нових методів, обладнання і високоефективних інструментів для обробки неметалічних композиційних та інших важкооброблювальних матеріалів", 1991-1993 рр.; KH2211 "Фізичне та математичне моделювання базових процесів прецизійної обробки для забезпечення структурної та параметричної оптимізації", 1993 р.; M2211 "Розробка та дослідження прогресивних методів виготовлення сучасних конструкцій різальних інструментів та виробів з надтвердих матеріалів", 1994-1996 рр.; EC2201 "Прецизійне й ультрапрецизійне точіння та шліфування металів, конструкційної кераміки та полімерів" (проект MINOS № ERB 3512PL964070 по програмі ЄС INCO-COPERNICUS), 1997-2000 рр.; M2223 "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", 1999-2001 рр.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є створення методологічних основ і системи реалістичного 3D моделювання й аналізу статистичних характеристик абразивно-алмазних інструментів і розробка на їхній базі високоефективних процесів виготовлення прецизійних виробів. Задачі дослідження:

1. Розробити методологію і систему комп'ютерного об'єктно-орієнтованого 3D моделювання, що забезпечують реалізацію функціонально-композиційного статистичного

механізму формування характеристик робочої поверхні абразивно-алмазних інструментів на етапах виготовлення та у процесі роботи.

2. Сформулювати принципи регулювання статистичних характеристик робочої поверхні шліфувальних кругів на токопровідних зв'язках і створити на їхній основі базовий процес формоутворення. Ефективно використовувати результати його дослідження для прогнозування функціональних властивостей і експлуатаційних характеристик абразивно-алмазних інструментів при обробці прецизійних виробів.

3. Створити імітаційну модель формоутворення робочої поверхні шліфувальних кругів на токопровідних зв'язках для оптимізації умов виготовлення прецизійного інструмента.

4. Розробити основні принципи практичного використання можливостей регулювання статистичних характеристик поверхні шліфувальних кругів і технологічних процесів на їхній основі.

5. Створити на основі розроблених принципів нові способи обробки, конструкції абразивно-алмазних інструментів, технологічне устаткування й оснастку.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є абразивно-алмазний інструмент і процес шліфування.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є формоутворення робочої поверхні шліфувальних кругів на етапах їх виготовлення та у процесі роботи.

Методи дослідження. Дисертація базується на наукових положеннях теорії різання матеріалів, формоутворення поверхонь, проектування різальних інструментів, теоретичній і прикладній статистиці, викладених у роботах вітчизняних і закордонних учених. Розроблено апарат статистичного об'єктно-орієнтованого 3D моделювання стосовно до предметної області абразивної обробки, що використовує статистичне моделювання (метод Монте-Карло) і методи об'єктного моделювання, які є основою сучасних методів програмування. Результати, висновки і рекомендації підтверджені модельними комп'ютерними і натурними експериментами за алгоритмами і методиками, розробленими і реалізованими автором. Достовірність теоретичних досліджень підтверджена практичним використанням результатів. При виконанні основних досліджень використовувалися такі пакети програм: об'єктно-орієнтоване середовище керування базами даних і створення додатків Visual FoxPro 5, 6; математичні пакети MathCad 6, 7, 2000 і Maple V, 6; таблицний процесор Excel 4-7; пакет для статистичної обробки даних Statistica 5; керуючий елемент Active MS Graph7, 8 (компонент Microsoft Office). Розроблено оригінальні, на рівні винаходів, методики досліджень: методика квазігармонічних багатofакторних експериментів при дослідженні процесу різання матеріалів; методика прогнозування стійкості різальних інструментів; спосіб визначення оптимальних геометричних параметрів ріжучих елементів інструментів.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Запропонована й обґрунтована нова концепція 3D моделювання абразивно-алмазних інструментів на базі об'єктно-статистичної методології - статистичне моделювання з реалізацією в об'єктно-орієнтованому середовищі програмування. Вперше сформульований і практично реалізований комплекс умов, необхідних для реалістичного 3D моделювання абразивно-алмазних інструментів, що включає в себе: наявність технологічної й еволюційної подібності процесу формування моделі (аналогічне процесу формування об'єкта дослідження: технологічне - на етапі створення вихідного абразивного шару; еволюційне - при його зміні в процесі роботи реального об'єкта); геометричну подібність абразивного шару, форми зерен і поверхні зв'язки; статистичну подібність навіски абразивних зерен; структурну подібність створення навіски з кількістю зерен, що відповідають кількості в реальному інструменті (від одиниць до сотень мільйонів шт.), а також розподіл зерен в об'ємі абразивного шару, задання поверхні зв'язки, формування робочої поверхні інструмента з урахуванням зносу зерен і мікрорельєфу поверхні зерен і (або) зв'язки.

2. Вперше теоретично обґрунтований і підтверджений модельними дослідженнями композиційний закон розподілу вершин зерен на робочій поверхні абразивно-алмазного інструмента, що одночасно об'єднує закони розподілу розмірів зерен у навісці і розподіл їхніх центрів в абразивному шарі. При розробці теоретико-ймовірної моделі робочої поверхні абразивно-алмазного інструмента об'єднані і розвинені науково-методичні підходи А.Н. Резнікова й А.К. Байкалова. Проведені дослідження виявили придатність запропонованих законів для всього діапазону можливих значень відносного критичного закріплення зерен у зв'язці (0.1 - 0.9), що створює передумови їхнього використання для опису робочої поверхні абразивно-алмазного інструмента в процесі роботи.

3. Запропоновано й обґрунтовано наукове положення про необхідність статистичної параметризації (на додаток до геометричної і фізичної) при вирішенні задач предметної області абразивної обробки, пов'язане із вихідними розмірами абразивних порошоків. Статистична параметризація забезпечується модифікацією параметрів законів розподілу, що масштабується, з приведенням їх до трьох: характеристичного розміру абразивних зерен, коефіцієнту зсуву математичного чекання щодо характеристичного розміру і коефіцієнту варіації. Модифікація параметрів дозволяє сформулювати поняття статистичної подібності (стосовно до розподілів досліджуваних ознак, пов'язаних із вихідними розмірами абразивних порошоків) і визначити умови його виконання. Запропонована параметризація підвищує вірогідність і змістовність статистичних висновків і дозволяє виявляти загальні закономірності формування робочої поверхні абразивно-алмазного інструмента в процесі шліфування.

4. Запропоновано наукове положення про ключову роль поверхні зв'язки в механізмі формування статистичних характеристик робочої поверхні абразивно-алмазних інструментів.

Вперше вивчено механізм впливу форми поверхні зв'язки на закономірності формування робочої поверхні інструменту. Доведено, що результуючий закон розподілу вершин зерен є композицією їхнього вихідного розподілу і розподілу нерівномірності поверхні зв'язки. Виявлений взаємозв'язок дозволив висунути і підтвердити (модельними і натурними експериментами) гіпотезу про можливість регулювання статистичних характеристик робочої поверхні абразивно-алмазних інструментів шляхом формоутворення поверхні зв'язки в процесі шліфування.

5. Сформульовано основні принципи практичної реалізації регулювання статистичних характеристик робочої поверхні абразивно-алмазних інструментів на токопровідних зв'язках шляхом примусової зміни геометричних і фізичних характеристик поверхні зв'язки, що дозволяє на їхній основі створювати високоефективні робочі процеси у виробництві прецизійних ріжучих інструментів та ін.

6. Запропоновано і практично реалізовано новий підхід при створенні процесів обробки прецизійних інструментів, що полягає в зміні і (або) суміщенні функцій елементів робочого процесу. Формоутворення робочої поверхні доводника (оброблюваним інструментом) при обробці криволінійних ріжучих кромek прецизійного інструменту являє приклад зміни функцій між двома елементами робочого процесу.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено систему реалістичного статистичного об'єктно-орієнтованого 3D моделювання абразивно-алмазних інструментів, що дозволяє створювати і досліджувати моделі нових абразивно-алмазних інструментів із порошків відмінних від стандартних характеристик із можливістю задання орієнтації зерен, аналізувати властивості нового інструмента без створення спеціальних технологій і дослідних зразків оснастки для його виготовлення. Розроблено технічну документацію (МНТК "Практика", м. Харків): комплект типової модернізації існуючого устаткування, що дозволяє виконувати формоутворення робочої поверхні кругів у процесі шліфування; затилування прецизійних розточних різців і кінцевих фрез; шліфування змінних багатогранних пластин в автоматичному режимі; шліфування плашок по зовнішньому діаметру в автоматичному режимі з формоутворенням поверхні кругів у процесі шліфування (ЗАТ "Харківський інструментальний завод", м. Харків); заточування і переточування інструмента (УТПК "Інструмент", м. Харків); розроблена база даних по номенклатурі різального й абразивного інструмента, що використовується в Україні і країнах СНД (більш 14 тис. поз.). Загальний економічний ефект від впровадження результатів роботи складає більш 150 тис. грн. Результати досліджень використовуються в навчальному процесі кафедри "Різання матеріалів і різальні інструменти" НТУ "ХПІ" у дисциплінах: "Прогнозування працездатності прецизійних інструментів", "Об'єктно-орієнтоване моделювання робочих процесів", "Сучасні комп'ютерні технології в дослідженнях".

Особистий внесок здобувача. Теоретичні дослідження, розробка алгоритмів і програмного забезпечення, модельні іспити виконані автором самостійно. Роботи з підготовки авторських посвідчень, патентів і деяких статей виконані за участю співавторів. Розробка технічної документації, модернізація устаткування і проведення виробничих іспитів виконані разом із співробітниками лабораторії "Фінішних методів обробки й випробування різального інструмента" МНТК "Практика" (м. Харків) і кафедри "Різання матеріалів і різальні інструменти" НТУ "Харківський політехнічний інститут".

Апробація результатів дисертації. Основні положення і в цілому дисертаційна робота доповідалися на наукових семінарах кафедри "Різання матеріалів і різальні інструменти" Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут", а також на міжнародних науково - технічних конференціях і семінарах: "Процеси абразивної обробки, абразивні інструменти і матеріали" (Шліфаабразив - 98). - Волзький - 1998; "International Computer Science Conference" (microCAD '96). - Miskolc. - 1996; "Proceeding of the fourth international symposium on measurement technology and intelligent instruments" (ISMТІІ '98) - Miskolc: University of Miskolc. - 1998; "Високі технології в машинобудуванні". - Харків: ХПІ. - 1992; "Проблеми різання матеріалів у сучасних технологічних процесах", Харків: ХПІ. - 1991; "Proceeding of the tenth international conference on tools" (ICT-2000). - Miskolc - 2000; IV Міжнар. конгр. "Конструкторсько-технологічна інформатика - 2000" Станкін - Москва - 2000; "Наука і соціальні проблеми суспільства: людина, техніка, технологія, довкілля" - Харків: НТУ "ХПІ". - 2001; "Високі технології: моделювання, оптимізація, діагностика", Харків-ХДПУ, 1995; II Міжнар. конф. : "Прогресивна техніка і технологія", Київ-Севастополь, 2001; "Надтверді інструментальні матеріали на рубежі тисячоріч: одержання, властивості, застосування" (СТИМ-2001), Київ, 2001; Високі технології в машинобудуванні, Харків-Алушта (1998, 1999 - оприлюднені основні наукові положення на спеціальному засіданні, 2000 - дисертаційна робота в повному обсязі на спеціальному засіданні).

Публікації. За результатами роботи опубліковано 57 статей, із них 18 без співавторів, у тому числі 20 патентів і авторських посвідчень на винаходи.

Структура й обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, 6 розділів основної частини, висновків, списку використаних джерел - 268 найменувань (21 стор.) і додатків (60 стор.). Містить 249 сторінок машинописного тексту, 123 малюнки (83 стор.), 21 таблицю (30 стор.).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Розділ 1. У розділі проведено аналіз методів моделювання абразивно-алмазних інструментів, розглянуто шляхи підвищення ефективності процесу шліфування, роль поперечного

і поздовжнього профілю кругів в оптимізації процесу, зроблена оцінка методів формоутворення робочої поверхні шліфувальних кругів і їхніх технологічних можливостей, визначені напрямки наукового пошуку, сформульовані ціль і задачі дослідження.

Абразивно-алмазна обробка на сучасному етапі характеризується пошуком шляхів підвищення продуктивності й економічності процесу, якості і точності оброблюваних виробів, що повною мірою відноситься і до обробки прецизійного різального інструмента. Великий внесок у рішення багатьох проблем із питань теорії різання матеріалів, формоутворення поверхонь, проектування різальних інструментів і устаткування, прикладної статистики, розглянутих у роботі, висвітлюються в дослідженнях Бакуля В.Н., Байкалова А.К., Беззубенко М.К., Богомолова Н.І., Бокучави Г.В., Ваксера Д.Б., Везузуба В.М., Внукова Ю.М., Вольського Н.І., Гавриша А.П., Галицького В.Н., Глейзера Л.А., Грабченко А.І., Гродзинського Е.Я., Девина Л.Н., Дрожжина В.І., Дьяченко П.Г., Євсєєва Д.Г., Залози В.А., Захаренко І.П., Кашєєва В.Н., Коновалова В.А., Корольова А.В., Корчака С.Н., Костюка Г.І., Лавриненко В.І., Лоладзе Т.Н., Лур'є Г.Б., Маслова Е.Н., Маталіна А.А., Матюхи П.Г., Михайлуци Е.Б., Мишнаєвського Л.Л., Новікова Н.В., Новосолова Ю.К., Островського В.І., Перепелиці Б.О., Подзея А.В., Подкоритова А.Н., Попова С.А., Равської Н.С., Редько С.Г., Резнікова А.Н., Родіна П.Р., Сагарди А.А., Сальникова А.І., Семко М.Ф., Старкова В.К., Терещенко П.М., Тимофієва Ю.В., Узуняна М.Д., Усова А.В., Філімонова Л.Н., Шепелева А.А., Якімова А.В., Якубова Ф.Я., Ящерицина П.І. і багатьох інших.

Проведений аналіз показав, що одним із чинників, значною мірою обумовлюючих ефективність процесу шліфування, є стан його робочої поверхні. Напрямки удосконалювання алмазно-абразивного інструмента пов'язані з поліпшенням його складових і функціональних елементів: зерна, зв'язки, структури робочого шару і конструктивного виконання робочої поверхні круга.

Моделювання абразивно-алмазних інструментів є визначальним етапом при розробці теоретичних основ процесу шліфування. Теоретичні роботи в цій області, як правило, спрямовані на створення модельних уявлень про шліфувальний круг як об'єкт й одержання на їхній основі аналітичних залежностей, що зв'язують вихідні параметри з характеристиками розташування елементів зерен на його робочій поверхні. Складність одержання реалістичної моделі робочої поверхні абразивного інструмента пов'язана зі стохастичною природою вихідного об'єкта. Можна виділити чотири основні елементи, на базі яких будуються статичні моделі робочої поверхні абразивно-алмазного інструмента: форма і закон розподілу розмірів зерен, закон розподілу центрів зерен в абразивному просторі, абразивний шар і поверхня зв'язки, яка певним чином розташована в абразивному просторі. Завдяки багаторічним дослідженням по моделюванню робочої поверхні абразивно-алмазного інструмента накопичено великий методичний досвід і обсяг експериментальних даних. Розбіжність моделей і ступінь схематизації круга як реального об'єкта

визначались задачами дослідження і обчислювальними можливостями (апаратними і системними) на момент виконання робіт. На цей час відсутня модель, що дозволяє визначити закон розподілу вершин зерен на робочій поверхні абразивно-алмазного інструмента з одночасним урахуванням композиції законів розподілу розмірів вихідної навіски зерен і розподілу центрів зерен в абразивному шарі. Створення такої моделі можливо на базі об'єднання наукових положень і методологічних підходів, запропонованих А.Н. Резніковим і А.К. Байкаловим. Сьогодні є методичні передумови і назріла практична необхідність у створенні системи комп'ютерного 3D моделювання абразивно-алмазних інструментів.

Проведений аналіз дозволив визначити основні задачі наукового дослідження.

Розділ 2. У розділі розглянуті питання методології 3D моделювання абразивно-алмазних інструментів; загальні умови, устаткування і прилади, використані в експериментальних дослідженнях; подані використовувані методики, розглянуті результати розробки оригінальних методик; наведена статистична обробка результатів досліджень і використання пакетів прикладних програм.

За методологічну основу прийнято статистичне об'єктно-орієнтоване 3D моделювання стосовно до предметної області абразивної обробки, що базується на статистичному моделюванні (метод Монте-Карло) і методах об'єктного моделювання. Дослідження імовірної моделі виконано двома способами: математичним - спираючись на арсенал засобів і методів, накопичених у теорії імовірностей і математичній статистиці, і шляхом безпосереднього відтворення її функціонування за допомогою ЕОМ - статистичне моделювання. Статистичне моделювання є потужним інструментом роботи з імовірними моделями на всіх етапах дослідження і може використовуватися як самостійно, так і як додатковий прийом до аналітичних методів. При створенні інформаційного середовища моделювання використано метод візуального об'єктно-орієнтованого програмування Microsoft Visual FoxPro. Вибір середовища програмування визначився необхідністю роботи з великими масивами даних.

Розроблено оригінальні методики досліджень процесу різання матеріалів: методику квазігармонійних багатофакторних експериментів; методику прогнозування стійкості різального інструмента (а.с. 1682888); спосіб визначення оптимальних геометричних параметрів різальних елементів інструмента (а.с. 1703270).

Розділ 3. У розділі розглянуті питання параметризації структури й елементів абразивного шару. Проведено оцінку можливості статистичного моделювання навіски зерен. Розглянуто питання модифікації параметрів законів розподілу для вирішення задач статистичного моделювання абразивно-алмазних інструментів, зв'язаних із вихідними характеристиками шліфпорошків. Розроблено систему спільного аналізу наборів розподілів і композицій на їхній основі. Відпрацьовано методологію генерування послідовностей значень елементів абразивного

шару з заданими статистичними властивостями.

Статистичне моделювання розподілу розмірів зерен у навісці шліфпорошку з надтвердих матеріалів у середовищі MathCad дозволило зробити висновок про можливість якісної і кількісної оцінки параметрів розподілу розмірів зерен шліфпорошка. Успішне вирішення проблеми найкращої статистичної обробки і моделювання вихідних даних істотно залежить від знання придатних моделей і можливості їхньої модифікації, які визначають специфіку задачі, що аналізується в конкретній предметній області. Статистичне дослідження починали з аналізу закону розподілу розмірів зерен у навісці шліфпорошка. Проаналізовано основні властивості нормального закону розподілу

$$f_{Norm}(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right)^2 \right],$$

де μ і σ^2 - параметри закону, що інтерпретуються відповідно як середнє значення і дисперсія даної випадкової величини та похідного від нього логарифмічно-нормального:

$$f_{\ln Norm}(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{x \cdot \sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma} \right)^2 \right], \text{ якщо } x > 0; 0, \text{ інакше,}$$

де μ і σ - параметри закону які найчастіше використовувались для опису розподілу параметрів робочої поверхні абразивного інструменту і вихідних характеристик шліфпорошків.

Аналіз розглянутих законів розподілів показав: для нормального закону розподілу параметри μ і σ^2 мають представницький характер ($\mu = E$ - середнє арифметичне розглянутої ознаки, що є центром групування; $\sigma^2 = D$ - дисперсія, що характеризує ступінь розкиду випадкової величини щодо середнього значення); для логарифмічно-нормального закону розподілу параметри втрачають явне представництво, тому що їхнє обчислення робилося при переході до функціональної шкали $\hat{x} = \ln x$; при необхідності розгляду розподілу однієї і тієї ж величини (для нашого випадку розмірів зерен шліфпорошка або інших елементів абразивно-алмазного інструменту) при оцінці придатності нормального або логарифмічно-нормального розподілу виникають проблеми сумісності результатів внаслідок принципового розходження значень параметрів μ , σ^2 .

Аналогічні проблеми виникають і при використанні інших розподілів. Для рішення задач предметної області абразивної обробки, зв'язаних із вихідними розмірами абразивних порошків, було висунуто і реалізоване наукове положення про необхідність статистичної параметризації (на додаток до геометричної і фізичної). Статистична параметризація здійснювалася модифікацією параметрів законів розподілу, що масштабуються, з приведенням їх до трьох: a_0 - характеристичний розмір абразивних зерен (масштабний коефіцієнт) - перша цифра в позначенні

зернистості (для шліфпорошків - розмір верхнього сита у світлі, мікропорошків - півсума максимальних розмірів проекції зерна); $k_m = E / a_0$ - коефіцієнт зсуву математичного сподівання E щодо характеристичного розміру a_0 (коефіцієнт відносного положення математичного сподівання); $k_v = s / E$ - коефіцієнт варіації (коефіцієнт форми) - відношення середньоквадратичного відхилення s до математичного сподівання E . Модифікація параметрів дозволила сформулювати поняття статистичної подібності (стосовно до розподілів досліджуваних ознак, зв'язаних із вихідними розмірами абразивних порошоків) і установити умови його виконання: необхідне - розподіли адекватно описуються тим самим масштабуємим законом розподілу; достатнє - безрозмірні модифіковані параметри форми і відносного зсуву математичного сподівання рівні або незначно (при заданому рівні значущості) відрізняються одне від одного. Запропонована нами параметризація дозволяє: підвищити представництво і змістовність статистичних висновків; порівнювати закони розподілу досліджуваних ознак при різних зернистостях вихідних навісок абразивно-алмазних порошоків; робити узагальнені висновки для широкого діапазону зернистостей. Таким чином, з'являється можливість виявляти загальні закономірності формування робочої поверхні абразивно-алмазних інструментів, які після статистичної перевірки можна приймати в якості законів.

У загальному випадку для законів розподілу, що масштабуються, задача переходу до модифікованих параметрів нами вирішувалася в такий спосіб: з урахуванням взаємозв'язку між статистичними характеристиками розподілу E , D і характеристичними параметрами $E = a_0 \cdot k_m$; $D = s^2 = (a_0 \cdot k_m \cdot k_v)^2$, перехід до характеристичних параметрів для щільності імовірності заданого закону розподілу $f(x; a_0, k_m, k_v) \equiv f(x; p_1, p_2)$ робився шляхом визначення залежності параметрів розподілу від його статистичних характеристик методом моментів $p_1, p_2 = f(E, D)$.

Вибір тих або інших законів розподілів для опису робочої поверхні визначається двома основними причинами - відповідність математичних властивостей розподілу задачам дослідження й адекватний опис отриманих експериментальних даних. У зв'язку з відсутністю науково-обгрунтованого підходу до вибору законів розподілів при вирішенні задач опису рельєфу робочої поверхні були обрані 17 одномірних неперервних розподілів з тих, що найчастіше використовуються у теорії і практиці статистичних досліджень. До їх числа ввійшли такі розподіли (у дужках зазначене їхнє умовне позначення): 1 - рівномірний (*Rand*); 2 - нормальний (*Norm*); 3 - логарифмічно-нормальний (*lnNorm*); 4 - логарифмічно-нормальний розподіл із заданою основою логарифму (*logNorm*); 5 - розподіл Вейбулла (*Weibull*); 6 - експоненціальний (показовий) розподіл (*Exp*); 7 - гамма-розподіл (*Gamma*); 8 - бета-розподіл (*Beta*); 9 - хі-квадрат (Hi^2); 10 - Фішера (*F*); 11 - розподіл за законом арксинуса (*ArcSin*); 12 - трикутний розподіл Сімпсона (*Simpson*); 13 - Релея (*Relay*); 14 - Максвелла (*Maxwell*); 15 - логістичний розподіл (*Logistic*); 16 - Парето (*Pareto*); 17 - трапеційдальний розподіл Сімпсона (*Simpson2*). Номери розподілів

відповідають номерам позицій меню розробленої системи статистичного аналізу.

Виконана в роботі модифікація параметрів і отримані розрахункові співвідношення послужили методичною основою для створення підсистеми статистичного аналізу досліджуваних ознак, що входить складовою частиною в наступні системи: система 3D моделювання абразивно-алмазних інструментів; система спільного аналізу наборів розподілів і композицій на їхній основі. Система спільного аналізу наборів розподілів і композицій на їхній основі дозволяє візуалізувати щільності або інтегральні функції наборів розподілів (до 100 графіків одночасно). Введені параметри розподілів зберігаються в базі даних і можуть бути об'єднані в набори простановкою міток вибору. На мал. 1 подано варіант візуалізації набору розподілів, які запропоновані автором для статистичних досліджень робочої поверхні абразивно-алмазних інструментів. Ці розподіли мають однакові модифіковані нами параметри: $k_m = 0.9$ - коефіцієнт розташування математичного сподівання щодо характеристичного розміру; $k_v = 0.2$ - коефіцієнт варіації.

За теоретичну базу при розробці алгоритмів одержання композиційних розподілів були використані залежності для визначення результуючих законів розподілу сум незалежних випадкових величин. Створена система дозволяє робити компонування розподілів у кількості від 2 до 5 в одному наборі.

На мал. 2 подана композиція двох рівномірних розподілів із параметрами, що відрізняються, $f_1 \equiv f_{Rand}(x_{min} = 0, x_{max} = 0.5)$ и $f_2 \equiv f_{Rand}(x_{min} = 0.25, x_{max} = 1)$. Результуючий закон розподілу $c_1 = f_1 * f_2$ є трапеційдальним законом Сімпсона. Послідовна композиція п'ятьох рівномірних розподілів з однаковими параметрами $f_1 = f_2 = f_3 = f_4 = f_5 \equiv f_{Rand}(x_{min} = 0, x_{max} = 0.5)$ подана на мал. 3. Закон розподілу суми декількох складових знаходиться шляхом послідовної композиції двох законів розподілу: спочатку для перших двох складових $c_1 = f_1 * f_2$, потім для їхньої суми і третьої складової $c_2 = c_1 * f_3$ і т. д. ($c_3 = c_2 * f_4$, $c_4 = c_3 * f_5$). Підсумовування двох рівномірних розподілів з однаковими параметрами $f_1 * f_2 = c_1$ приводить до одержання трикутного розподілу Сімпсона. Подальше компонування може служити в якості ілюстрації статистичного механізму виникнення нормального розподілу - одного з основних законів розподілу суми незалежних випадкових складових.

При вирішенні задач статистичного моделювання абразивного інструменту відпрацьовування методик генерування послідовностей випадкових чисел виконувалось для рівномірного розподілу (координати центрів зерен в абразивному шарі) і законів розподілу на основі нормального (розміри зерен). При 3D моделюванні абразивно-алмазних інструментів необхідно генерувати значну кількість випадкових чисел для формування навіски зерен і розміщення їх в абразивному шарі. Так, наприклад, в абразивному шарі шліфувального круга 12A2x45° 150x10x3 AC6 100/80 у залежності від концентрації алмазів у крузі міститься 2...18 млн.

зерен. Тому важливу роль відіграє метод їхнього одержання, що визначає тривалість моделювання і відтворення заданих параметрів законів розподілу. У результаті досліджень був обраний метод генерування нормально розподілених значень із використанням зворотної функції розподілу. Визначення значень цієї функції робиться з використанням апроксимаційних формул. Оцінка точності відомих апроксимаційних залежностей показала, що вони забезпечують точність до третьої-четвертої значущої цифри. При рішенні задач моделювання абразивного шару така точність недостатня, тому було вирішено питання її підвищення шляхом введення додаткових членів в апроксимаційну залежність за аналогією з існуючими виразами. Після тотожних перетворень для підвищення швидкості розрахунків і охоплення всього можливого інтервалу значень імовірності ($0 \leq p \leq 1$) була отримана апроксимаційна залежність для функції, зворотної функції Лапласа:

$$\psi(p) = \begin{cases} t = \sqrt{-2 \cdot \ln(1-p)}, \text{ коли } p < 0.5; p, \text{ инакше}; \\ \left| t - \frac{c_0 + t [c_1 + t (c_2 + c_3 \cdot t)]}{1 + t \{d_1 + t [d_2 + t (d_3 + d_4 \cdot t)]\}} \right|, \end{cases}$$

де $c_0 = 3.2555230991$, $c_1 = 10.20513574$, $c_2 = 3.2615610115$, $c_3 = 0.145248675$, $d_1 = 6.0002774126$, $d_2 = 5.3170230129$, $d_3 = 0.9367393163$, $d_4 = 0.0244291756$ - коефіцієнти, що забезпечують точність до восьмої значущої цифри.

Для перевірки розглянутої методології було проведено моделювання формування навіски алмазних зерен (зернистістю 100/80 мкм), що мають форму тривісного еліпсоїда з нормальним законом розподілу розмірів по вісям ($\mu = 89.5$ мкм, $\sigma = 8.95$ мкм). Навіска зерен формувалася для заповнення алмазоносного шару торцевого шліфувального круга 12A2x45° 150x10x3 із концентрацією зерен у шарі 4 (100%), що відповідає ? загального об'єму. Статистичне дослідження отриманої об'єктної моделі навіски зерен у кількості 8,788,322 шт. показало достатню збіжність значень вихідних параметрів і вибіркового статистик (μ - до четвертої, σ - до третьої значущих цифр). Розроблені методики послужили основою для створення системи 3D моделювання абразивно-алмазних інструментів.

Розділ 4. У розділі викладена концепція 3D моделювання абразивно-алмазних інструментів на базі об'єктно-статистичної методології - статистичне моделювання з реалізацією в об'єктно-орієнтованому середовищі програмування. Розглянуто структуру й основні елементи розробленої системи. Сформульовано комплекс умов, необхідних для реалістичного 3D моделювання абразивно-алмазних інструментів. Розглянуто питання моделювання абразивного шару з урахуванням моделі навіски і робочої поверхні інструментів. Структурна схема розробленої системи 3D моделювання зображена на мал. 4. Розроблена система є

багатоваріантною. Реалізація системи виконана в середовищі візуального об'єктно-орієнтованого програмування Microsoft Visual FoxPro.

Структура системи при створенні варіанта моделі і її складові частини:

- формування абразивного простору (форма і розміри абразивного шару, концентрація зерен, визначення об'єму навіски);
- формування навіски зерен (модельна форма зерен, статистичний закон розподілу розмірів зерен, коефіцієнт заповнення моделі зерен, формування БД навіски зерен);
- імітаційний контроль зернового складу навіски: метод розсіювання - шліфпорошки; метод проєкцій - мікропорошки; комплексний контроль для всього діапазону зернистостей шліфпорошків і мікропорошків методами розсіювання і проєкцій (БД навіски зерен, визначення відсоткового змісту фракцій і коефіцієнта форми зерен);
- визначення координат центрів зерен методом Монте-Карло (форма і розміри абразивного простору, БД навіски зерен, формування БД 3D моделі абразивного шару);
- статистичний аналіз модельних характеристик абразивного шару: розміри зерен по просторових вісях; співвідношення розмірів зерен; об'єм зерен; координати зерен (БД 3D моделі абразивного шару, визначення статистичних характеристик, гістограм розподілів, візуалізація, аналіз законів розподілу);
- завдання поверхні зв'язки в абразивному просторі (параметри абразивного простору, параметри поверхні зв'язки, формування 3D моделі поверхні зв'язки);
- формування робочої поверхні (мал. 5) інструмента (БД 3D моделі абразивного простору, 3D модель поверхні зв'язки, коефіцієнт відносного критичного заглиблення зерен у зв'язку, створення БД 3D моделі робочої поверхні);
- формування зносу зерен (мал. 6) по заданому закону зношування вершин зерен і виду їхнього зносу; завдання мікрорельєфу зерен і (або) зв'язки;
- статистичний аналіз модельних характеристик робочої поверхні: (БД 3D моделі робочої поверхні, визначення інтегральних і статистичних характеристик досліджуваних ознак, гістограм розподілів, візуалізація, аналіз законів розподілу, функціональний регресійний і кореляційний аналіз модельних залежностей); інтегральні характеристики: максимальні елементи рельєфу (висота зерен, глибина лунок, рельєф); номінальні об'єми робочого простору (область зерен і лунок, рельєф): кількість, площа, об'єм зерен і лунок; статистичні характеристики: висота виступання зерен над рівнем зв'язки; відстань до вершин зерен від максимально виступаючого; нерівномірність поверхні зв'язки та ін.;
- формування поперечного і поздовжнього профілю робочої поверхні інструмента (база даних 3D моделі робочої поверхні, параметри перетинів, формування бази даних 2D моделей профілів, візуалізація).

Схему даних системи 3D моделювання алмазно-абразивних інструментів приведено на мал. 7. Вихідні дані і результати моделювання зберігаються в базах даних (БД). БД можна поділити на дві групи: системні або загального користування (використовуються при роботі системи) і створювані для кожного екземпляра об'єктів системи. Ім'я таких БД закінчується на "_NNN", де NNN - номер варіанта моделі. Кожний екземпляр 3D моделі визначається комплектом БД: ZERO_NNN - абразивний шар (розміри і координати центрів кожного зерна); CONT_NNN - результати імітаційного контролю зернового складу навіски; STAT_NNN, GIST_NNN - статистичні характеристики і дані гістограм досліджуваних елементів абразивного шару; Z3DM_NNN - робоча поверхня (розміри зерен, координати поверхні зв'язки і центрів зерен приналежної поверхні зв'язки для заданої ділянки робочої поверхні); ST3D_ , GI3D_NNN - статистичні характеристики і дані гістограм досліджуваних елементів робочої поверхні; Z3DG_NNN - координати 3D робочої поверхні (з урахуванням зносу зерен і мікрорельєфа зв'язки і зерен); Z3DG_NNN. PRN - матриця координат поверхні для 3D візуалізації в середовищі MathCad; Z2XM_NNN, Z2ZM_NNN - поперечний і поздовжній профіль (розміри зерен, координати поверхні зв'язки і центрів зерен приналежної поверхні зв'язки для заданого перерізу ділянки робочої поверхні); Z2XG_NNN, Z2ZG_NNN - координати поперечного і поздовжнього профілів робочої поверхні. 3D і 2D візуалізація виконується з використанням вмонтованих у форми Visual FoxPro графіків Microsoft Graph і MathCad.

Адекватність моделей, що отримані у розробленій системі (мал. 4), містить у собі систему подібностей: технологічна й еволюційна подібність процесу формування моделі (аналогічне процесу формування об'єкта дослідження: технологічне - на етапі створення вихідного абразивного шару; еволюційне - при його зміні в процесі роботи); геометрична подібність абразивного шару, форми зерен і поверхні низки; статистична подібність навіски абразивних зерен; структурне: створення навіски, розподіл зерен в об'ємі абразивного шару, задання поверхні зв'язки, формування робочої поверхні інструменту.

Розділ 5. У розділі розроблена методологія статистичного аналізу законів розподілу досліджуваних ознак при 3D моделюванні абразивно-алмазного інструмента. Проведено регресійний аналіз взаємозв'язку між параметрами розподілу розмірів зерен і відсоткового змісту фракцій. Визначено параметри розподілів розмірів зерен для всіх зернистостей абразивно-алмазних шліфпорошків і мікропорошків відповідно до стандарту. Проведено комплекс модельних і теоретичних досліджень статистичних механізмів формування робочої поверхні абразивно-алмазних інструментів.

Представляє практичний і методичний інтерес статистична обробка результатів модельних експериментів, яка проведена в єдиному середовищі моделювання - системі програмних засобів, що включають усі необхідні користувачу засоби й забезпечують однакову взаємодію з ними. Під

досліджуваними ознаками розуміються випадкові величини, одержувані в результаті модельних експериментів при статистичному моделюванні. Вихідними даними є значення досліджуваних ознак, що знаходяться в БД (або ті, що розраховуються) ZERO_NNN (абразивний шар - 9 ознак) або Z3DM_NNN (робоча поверхня - 12 ознак). Статистичний аналіз проводиться у два етапи: аналіз всіх ознак для одержання загальних статистичних характеристик і кореляційний аналіз; аналіз законів розподілу стосовно до заданої окремої досліджуваної ознаки. При аналізі окремих ознак використовуються 17 базових законів розподілів, розглянутих вище, набір спеціально розроблених законів, що описують розподіл вершин і центрів зерен на робочій поверхні інструмента, а також передбачена можливість комбонування заданих ознак. Визначення параметрів модельних законів розподілу робилося методом моментів із використанням їхньої модифікації. При оцінці згоди модельної вибірки з теоретичним законом розподілу використовувалися критерії згоди: χ^2 , Колмогорова, ω^2 . Розглянутий підхід дозволив вирішувати задачі статистичного аналізу законів розподілу досліджуваних ознак при 3D моделюванні абразивно-алмазних інструментів у єдиному середовищі даних.

Регресійний аналіз взаємозв'язку між параметрами розподілу розмірів зерен у формі тривісного еліпсоїда і відсоткового складу фракцій дозволив одержати апроксимаційні вираження $P = f(k_m, k_v)$, де P - відсотковий склад окремої зернової фракції в навісці; k_m, k_v - модифіковані параметри нормального і логарифмічно-нормального законів розподілу. Для одержання значень параметрів модифікованих законів розподілу розмірів зерен був проведений їхній підбір із використанням імітаційного контролю по фракціях зернистості. Підбір робився методом покрокової оптимізації параметрів k_m, k_v з кроком 0.005 і обмеженнями по зерновому складу навіски відповідно до стандарту. У якості цільової функції приймалося максимальне значення коефіцієнта варіації k_v . Початкові наближення значень параметрів визначалися рішенням рівнянь регресії $P = f(k_m, k_v)$ щодо k_m, k_v для значень P , відповідних основній і великій фракціям. Отримані параметри законів розподілів (мал. 8), що забезпечують зерновий склад відповідно до стандарту, були занесені в спеціальну базу даних. У розробленій системі моделювання абразивно-алмазного інструмента передбачені вибір і встановлення цих параметрів у залежності від типу абразивного порошку (шліфпорошки широкого і вузького діапазонів зернистості, мікропорошки) і його зернистості. Надалі при реалістичному моделюванні використовувалися отримані значення параметрів законів розподілу розмірів зерен.

Моделі, які застосовувались до цього часу, не дозволяли визначити закон розподілу вершин зерен на робочій поверхні абразивно-алмазного інструмента з одночасним урахуванням композиції законів розподілу розмірів вихідної навіски зерен і розподілу центрів зерен в абразивному шарі. Ця задача вирішена автором при розробці теоретико-імовірнісної моделі робочої поверхні абразивно-алмазного інструмента, на основі об'єднання і розвинення

науково-методичних підходів А.Н. Резнікова (враховується тільки розподіл розмірів зерен) і А.К. Байкалова (враховується тільки розподіл центрів зерен). Одержання законів розподілу вершин зерен робилося послідовно для абразивного простору, півпростору і робочої поверхні інструмента.

Для абразивного простору задається область значень координат центрів зерен $-\delta \leq y_{\text{ц}} \leq \delta$. Тоді щільність імовірності для закону рівномірного розподілу центрів зерен у центрованому виді задається формулою:

$$\varphi_{\text{ц}}(y_{\text{ц}}) = \frac{1}{2 \cdot \delta}; \text{ якщо } -\delta \leq y_{\text{ц}} \leq \delta; \text{ інакше } 0.$$

Розміри зерен мають нормальний закон розподілу. Щільність імовірності розподілу діаметрів зерен по вісі Y визначається формулою:

$$\varphi_{\text{д}}(y_{\text{д}}) = \frac{1}{\sigma_{\text{д}} \sqrt{2 \cdot \pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \frac{(y_{\text{д}} - \mu_{\text{д}})^2}{\sigma_{\text{д}}^2} \right], \quad (-\infty < y_{\text{д}} < \infty),$$

де $\mu_{\text{д}}$, $\sigma_{\text{д}}$ - математичне сподівання і середньоквадратичне відхилення діаметрів зерен.

Розподіл розмірів радіусів зерен відповідає закону розподілу їхніх діаметрів, але з іншими значеннями параметрів $\mu_{\text{р}} = 0.5 \cdot \mu_{\text{д}}$, $\sigma_{\text{р}} = 0.5 \cdot \sigma_{\text{д}}$.

Визначення композиції двох законів розподілу $\varphi_{\text{ц}}(y_{\text{ц}}) * \varphi_{\text{р}}(y_{\text{р}})$ робиться для меж інтегрування по $y_{\text{ц}}$ від $(y_{\text{в}} - \delta)$ до $(y_{\text{в}} + \delta)$:

$$\varphi_{\text{в}}(y_{\text{в}}) = \frac{1}{2 \cdot \delta} \frac{1}{\sigma_{\text{р}} \sqrt{2 \cdot \pi}} \int_{y_{\text{в}} - \delta}^{y_{\text{в}} + \delta} \exp \left(-\frac{1}{2} \frac{y_{\text{ц}}^2}{\sigma_{\text{р}}^2} \right) dy_{\text{ц}}, \quad (-\infty < y_{\text{в}} < \infty).$$

Більш компактний і зручний для розрахунків вид рівняння можна одержати, використовуючи функцію Лапласа $\Phi(z)$, тоді щільність розподілу вершин зерен щодо січної площини в абразивному просторі прийме остаточний вид:

$$\varphi_{\text{в.а}}(y_{\text{в.а}}) = \frac{1}{2 \cdot \delta} \left[\Phi \left(\frac{y_{\text{в.а}} + \delta}{\sigma_{\text{р}}} \right) - \Phi \left(\frac{y_{\text{в.а}} - \delta}{\sigma_{\text{р}}} \right) \right], \quad (-\infty < y_{\text{в.а}} < \infty),$$

де $\sigma_{\text{р}}$ - середньоквадратичне відхилення радіусів зерен ($\sigma_{\text{р}} = 0.5 \cdot \sigma_{\text{д}}$); δ - параметр, що залежить від властивостей абразивного простору.

Перехід від закону розподілу вершин зерен для абразивного простору до закону їхнього розподілу над поверхнею зв'язки (абразивний півпростір) робиться усіканням вихідного закону розподілу для від'ємних значень координат вершин зерен:

$$\varphi_{BC}(y_{BC}) = \frac{1}{\delta} \left[\Phi \left(\frac{y_{BC} + \delta}{\sigma} \right) - \Phi \left(\frac{y_{BC} - \delta}{\sigma} \right) \right], \quad (0 \leq y_{BC} < \infty),$$

де σ - параметр, що залежить від середньоквадратичного відхилення розмірів зерен і рівний для абразивного півпростору середньоквадратичному відхиленню радіусів зерен ($\sigma_P = 0.5 \cdot \sigma_D$); δ - параметр, що залежить від розподілу центрів зерен в абразивному просторі.

Для робочої поверхні розподіл вершин зерен над поверхнею зв'язки буде відповідати раніше отриманому закону, але обмежений інтервалом $0 \leq y_{BCPI} \leq y_{BCPI(MAX)}$. Тоді необхідний закон розподілу може бути отриманий усіканням правої частини рівняння для абразивного півпростору до координати максимально виступаючого зерна:

$$\varphi_{BCPI}(y_{BCPI}) = \begin{cases} k \frac{1}{\delta} \left[\Phi \left(\frac{y_{BCPI} + \delta}{\sigma} \right) - \Phi \left(\frac{y_{BCPI} - \delta}{\sigma} \right) \right], \\ \text{якщо } 0 \leq y_{BCPI} \leq y_{BCPI(MAX)}; 0, \text{ інакше,} \end{cases}$$

де k - коефіцієнт, що компенсує усікання ($k > 1$, для практичних розрахунків $k \cong 1$).

Отримавши статистично-обґрунтований закон розподілу вершин зерен щодо поверхні зв'язки, можна від нього перейти до закону розподілу зерен відносно найбільше виступаючих (виступаючого):

$$\varphi_{BBPI}(y_{BBPI}) = \begin{cases} k \frac{1}{\delta} \left[\Phi \left(\frac{\Delta_{MAX} - y_{BBPI} + \delta}{\sigma} \right) - \Phi \left(\frac{\Delta_{MAX} - y_{BBPI} - \delta}{\sigma} \right) \right], \\ \text{якщо } 0 \leq y_{BBPI} \leq \Delta_{MAX}; 0, \text{ інакше,} \end{cases}$$

де k - коефіцієнт, що компенсує усікання ($k > 1$, для практичних розрахунків $k \cong 1$); Δ_{MAX} - висота зерна, яке максимально виступає над рівнем зв'язки; δ - параметр, що залежить від розподілу центрів зерен в абразивному просторі; σ - параметр, що залежить від середньоквадратичного відхилення розмірів зерен.

Оцінка придатності запропонованих законів розподілу робилася в системі 3D моделювання. Додатково до вищевикладених умов у системі моделювання встановлювався коефіцієнт критичного заглиблення зерен у зв'язці $\varepsilon_{кр} = 0.1 \dots 0.9$. Варіант результатів статистичного аналізу модельної щільності розподілу висоти виступання вершин зерен для $\varepsilon_{кр} = 0.5$ зображено на мал. 9. Середньоквадратичне відносне відхилення теоретичного розподілу від модельного для обох випадків $< 2\%$. Проведений аналіз показав високу ступінь відповідності модельних розподілів теоретичним. Така взаємна перевірка підтверджує слушність вибору методології 3D моделювання та обґрунтованість функціонально-композиційного статистичного механізму формування законів розподілу вершин зерен в абразивному шарі і на робочій поверхні абразивно-алмазних

інструментів.

Модельні дослідження з оцінки впливу нерівномірності поверхні зв'язки на розподіл вершин зерен показали, що щільність розподілу висоти виступання вершин зерен із зв'язки не залежить від нерівномірності її поверхні. Це пов'язано з однорідністю абразивного простору і вибором поверхні зв'язки за базу відліку. Розподіл висоти вершин зерен по глибині робочої поверхні повною мірою залежить від розподілу нерівномірності поверхні зв'язки. При наявності нерівномірності зв'язки вид щільності розподілу вершин зерен істотно змінюється. Це дозволяє висунути доказову гіпотезу про можливість регулювання статистичних характеристик розподілу вершин зерен шляхом зміни статистичних характеристик поверхні зв'язки.

Розділ 6. У розділі розглянуто комплекс питань розробки робочих процесів, заснованих на застосуванні цілеспрямованої примусової зміни геометричних і фізичних параметрів ріжучої поверхні кругів у процесі роботи. Процеси розроблені стосовно до інструментального виробництва, що включає етапи вибору раціональної конструкції та технології виготовлення, які створюють передумови підвищення його експлуатаційних властивостей.

Виходячи з можливостей 3D моделювання запропоновані конструкції робочої поверхні шліфувальних кругів із заданими статистичними характеристиками поперечного (а.с. 1733210) і (або) повздовжнього профілю (пат. 37898) робочої поверхні. Розроблено способи формоутворення робочої поверхні шліфувальних кругів на токопровідних зв'язках (пат. 37932, 677894) і пристрої для їхньої реалізації (пат. 37908, 37973, 3835166, 8814192, 8803505). Запропоновано й апробовано спосіб регулювання характеристик міцності ферромагнітних зв'язок у процесі шліфування намагнічуванням або розмагнічуванням (а.с. 1669690). Такий підхід дозволяє змінювати фізичні характеристики зв'язок на додаток до формоутворення.

Розроблено способи шліфування циліндричних (а.с. 1158329) і некруглих виробів (пат. 37950), що забезпечують суміщення і комбінацію "пружної" і "жорсткої" схем обробки. Такий підхід дозволяє реалізувати переваги кожної із схем на різних етапах формоутворення оброблюваного виробу.

Розроблено спосіб доведення ріжучих елементів прецизійного інструмента з криволінійними ріжучими лезами (а.с. 1701495). При обробці кожного окремого інструмента робиться перерозподіл функцій між ним і доводником. Спочатку робиться формоутворення робочої поверхні доводника ріжучим інструментом, що переміщується по заданій траєкторії, після чого виконується процес доведення його прикромочних ділянок задньої поверхні. Такий підхід розширює технологічні можливості доведення ріжучих елементів інструментів.

Об'єктами обробки були прецизійні реальні інструменти, що забезпечують підвищення технологічності виготовлення та експлуатаційних характеристик виробів. Розточувальні різці з раціональним відношенням гнучкої і крутильної жорсткості (а.с. 1738478), або наявністю на

поверхні державки ділянок, що демпфують та забезпечують підвищення стійкості інструменту і точності обробки (пат. 1802757). Розроблено конструкцію змінних ріжучих пластин (а.с. 1143518), у яких кріпильний отвір виконано у формі гіперболоїда обертання, що підвищує надійність кріплення за рахунок забезпечення заданого кута контакту між кріпильним елементом і отвором. Розроблено конструкцію двошарових ріжучих пластин із поверхнею поділу у формі параболоїда обертання (а.с. 1701429), що забезпечує підвищення стійкості інструменту за рахунок збільшення механічної міцності різального шару. Запропоновано конструкцію кінцевих ріжучих інструментів із задніми поверхнями, виконаними по комбінованій гармонійній кривій (а.с. 1738500). Відпрацьовано спосіб затилування таких інструментів і розроблено пристрій для його здійснення.

ВИСНОВКИ

1. У результаті теоретичних, модельних і експериментальних досліджень розроблені наукові основи створення нових інструментів із заданими характеристиками робочої поверхні і вирішена науково-технічна проблема підвищення ефективності процесу шліфування шляхом спрямованої примусової зміни геометричних і фізичних параметрів робочої поверхні в процесі роботи.

Запропонована й обгрунтована концепція 3D моделювання абразивно-алмазних інструментів на базі об'єктно-статистичної методології - статистичне моделювання з реалізацією в об'єктно-орієнтованому середовищі програмування. Методологія містить у собі: задання форми і розмірів абразивного простору; генерування навісок абразивних зерен необхідної форми і закону розподілу розмірів із забезпеченням заданих статистичних характеристик і зернового складу; розміщення навісок зерен в абразивному просторі методом Монте-Карло; задання 3D поверхні зв'язки і формування робочої поверхні абразивного інструменту з урахуванням глибини закріплення зерен у зв'язці; задання закону зношування вершин зерен і виду їхнього зносу; задання параметрів мікрорельєфу поверхні зерен і зв'язки; статистичний аналіз елементів рельєфу і візуалізацію 3D моделі та її заданих трансформацій в процесі шліфування. Сформульовано і практично реалізовано комплекс умов, необхідних для реалістичного 3D моделювання абразивно-алмазних інструментів, що включає в себе систему подібностей.

2. Обгрунтована необхідність і запропоновано метод статистичної параметризації при вирішенні задач предметної області абразивної обробки, пов'язаних із вихідними розмірами абразивних порошоків. Розроблено систему аналізу наборів розподілів і композицій на їхній основі, що дозволяє робити спільний аналіз групи законів розподілів із заданням параметрів, як у традиційному виді, так і з використанням запропонованої параметризації.

3. Розроблена система імітаційного контролю зернового складу навіски дозволяє підбирати параметри законів розподілу розмірів зерен відповідно до стандарту. Визначено параметри для

всіх зернистостей шліфпорошків і мікропорошків, використання яких дозволяє проводити реалістичне 3D моделювання абразивно-алмазних інструментів.

4. Теоретично обґрунтований і підтверджений модельними дослідженнями композиційний закон розподілу вершин зерен на робочій поверхні абразивно-алмазного інструменту, що одночасно об'єднує закони розподілу розмірів зерен у навісці і розподіл їхніх центрів в абразивному шарі. Проведені дослідження виявили придатність запропонованих законів для всього діапазону можливих значень відносного критичного закріплення зерен у зв'язці (0.1 - 0.9), що створює передумови їхнього використання для опису робочої поверхні абразивно-алмазних інструментів в процесі роботи.

5. Визначена ключова роль поверхні зв'язки в механізмі формування статистичних характеристик робочої поверхні абразивно-алмазних інструментів. Вперше вивчено статистичний механізм впливу форми поверхні зв'язки на закономірності формування робочої поверхні інструменту. Виявлений взаємозв'язок законів розподілу вершин зерен і розподілу нерівномірності поверхні зв'язки дозволив висунути і підтвердити гіпотезу про можливість регулювання статистичних характеристик робочої поверхні абразивно-алмазних інструментів шляхом формоутворення поверхні зв'язки в процесі шліфування. Оцінка можливості керування міцністю зв'язки шліфувального круга шляхом впливу на неї магнітним полем показала перспективність даного напрямку робіт.

6. Розроблені способи, устаткування та імітаційна модель формоутворення робочої поверхні кругів, що дозволяють створювати нові і підвищувати ефективність існуючих робочих процесів прецизійного шліфування виробів інструментального виробництва. При розробці робочих процесів застосовано комплексний підхід, який включає етапи вибору або розробки раціональної конструкції і технології виготовлення та використовує спрямоване формоутворення робочої поверхні інструменту. Для технологічної підготовки робочих процесів, що використовують запропонований метод шліфування, розроблено систему імітаційного моделювання формоутворення робочої поверхні кругів на токопровідних зв'язках електрохімічним методом. Розроблено процеси виготовлення прецизійних інструментів на базі регулювання статистичних характеристик робочої поверхні абразивно-алмазних інструментів.

7. Доведено доцільність виконання формоутворення задніх поверхонь прецизійного кінцевого інструменту з надтвердих матеріалів по комбінованій гармонійній кривій. Розроблено пристрій для затилування ріжучих елементів запропонованим методом, що дозволяє з високою точністю забезпечувати задані геометричні параметри інструмента з урахуванням особливостей контактування його задньої поверхні зі шліфувальним кругом.

8. Підвищення ефективності виробництва багатограних пластин з надтвердих матеріалів забезпечено шляхом вирішення комплексної задачі: виготовлення ріжучого шару перемінним по

товщині; використання способу шліфування периферії пластини за квазіпружною схемою з одночасним формоутворенням робочої поверхні шліфувального круга в процесі роботи.

9. Прикладом ефективного використання суміщення "пружної" і "жорсткої" схем базування є процес шліфування плашок по зовнішній поверхні. Зниження зусиль шліфування і зносу інструмента забезпечується використанням безупинного формоутворення робочої поверхні алмазного круга. Формоутворення робочої поверхні доводника при обробці криволінійних ріжучих кромки прецизійного інструмента є прикладом перерозподілу функцій між двома елементами робочого процесу. Такий підхід дозволяє доводити тільки локальну робочу частину задньої поверхні різального інструменту, що безпосередньо примикає до ріжучої кромки.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ З ТЕМИ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в наукових виданнях

1. Доброскок В.Л., Наконечный Н.Ф., Федорович В.А. Оценка потенциальной режущей способности алмазных кругов // Резание и инструмент. - Харьков. - 1993. Вып. 47. - С. 77-78.

2. Доброскок В.Л. Формообразование рабочей поверхности круга при прецизионном шлифовании полузакрытых поверхностей // Высокие технологии в машиностроении. Сборник научных трудов ХГПУ. - Харьков: ХГПУ. - 1998. - С. 95-98.

3. Доброскок В.Л. Влияние продольного профиля круга на характер динамических явлений при шлифовании // Резание и инструмент в технологических системах, Межд. научн.-техн. сборник, Вып. 52. - Харьков: ХГПУ. - 1998. С. 234-236.

4. Доброскок В.Л. Исследование взаимосвязи параметров продольного профиля кругов с выходными показателями процесса шлифования // Резание и инструмент в технологических системах. Межд. научн.-техн. сборник. - Харьков: ХГПУ. - 1999. Вып. 54. - С. 80-89.

5. Доброскок В.Л. Метод квазигармонических многофакторных экспериментов при исследовании процесса резания материалов // Вестник ХГПУ. - Харьков: ХГПУ. - 1999. Вып. 118. - С. 38-40.

6. Доброскок В.Л. Миграция продольного профиля по длине рабочей поверхности шлифовальных кругов на токопроводных связках // Вестник ХГПУ. - Харьков: ХГПУ. - 1999. Вып. 54. - С. 22-28.

7. Доброскок В.Л. Моделирование процесса формообразования поперечного профиля рабочей поверхности алмазных кругов в процессе шлифования. // Резание и инструмент в технологических системах, Межд. научн.-техн. сборник. - Харьков: ХГПУ. - 1999. Вып. 53. - С. 42-47.

8. Доброскок В.Л. Моделирование формообразования лунки на рабочей поверхности шлифовального круга от единичного импульса напряжения // Информационные технологии:

наука, техника, технология, образование, здоровье. Сб. науч. тр. ХГПУ. - Харьков: ХГПУ. - 1999. Вып. 7. В 4-х частях. Ч. 2. - С. 87-90.

9. Доброскок В.Л. Особенности формирования поперечного профиля кругов в процессе шлифования // Вестник ХГПУ. - Харьков: ХГПУ. - 1999. Вып. 32. - С. 101-106.

10. Доброскок В.Л. Повышение эффективности процесса шлифования многогранных неперетачиваемых пластин. Резание и инструмент в технологических системах, Межд. научн.-техн. сборник. - Харьков: ХГПУ. - 1999. Вып. 55. - С. 86-90.

11. Доброскок В.Л. Статистическое моделирование распределения размеров зерен в навеске шлифпорошка из сверхтвердых материалов // Високі технології в машинобудуванні. Збірник наукових праць ХДПУ. - Харків: ХДПУ. - 1999. - С. 102-106.

12. Доброскок В.Л., Жорник Н.И. Совершенствование конструкции инструментальных пластин из современных материалов для прецизионной лезвийной обработки // Надежность режущего инструмента и оптимизация технологических систем. Науч.-техн. сб. - Краматорск: ДДМА. - 1999. С. 59-62.

13. Грабченко А.И., Доброскок В.Л. Доводка криволинейных режущих кромок прецизионного инструмента из сверхтвердых материалов // Авиационно-космическая техника и технология. Труды Гос. аэрокосмич. ун-та им. Н.И. Жуковского "ХАИ". - Харьков: Гос. аэрокосмич. ун-т им. Н.И. Жуковского "ХАИ". - 2000. Вып. 14. - С. 293-295.

14. Доброскок В.Л. Модификация законов распределения на основе нормального для решения задач статистического моделирования параметров шлифовальных кругов связанных с исходными характеристиками шлифпорошков // Резание и инструмент в технологических системах. Межд. научн.-техн. сборник. - Харьков: ХГПУ. - 2000. Вып. 56. - С. 55-64.

15. Доброскок В.Л. Объектно-статистическая параметрическая модель рабочей поверхности шлифовальных кругов из сверхтвердых материалов // Вестник ХГПУ. - Харьков: ХГПУ. - 2000. Вып. № 78. - С. 50-51.

16. Доброскок В.Л. Повышение эксплуатационных характеристик прецизионных расточных резцов из сверхтвердых материалов // Вестник ХГПУ. - Харьков: ХГПУ. - 2000. Вып. 82. - С. 33-36.

17. Доброскок В.Л. Формообразование задних поверхностей прецизионного концевго инструмента из сверхтвердых материалов // Вестник ХГПУ. - Харьков: ХГПУ. - 2000. Вып. 80. - С. 48-50.

18. Грабченко А.И., Доброскок В.Л., Месарош И. 3D моделирование рабочей поверхности шлифовальных кругов из сверхтвердых материалов // Високі технології в машинобудуванні. Збірник наукових праць ХДПУ. - Харків: ХДПУ. - 2000. Вип. 1(3). - С. 58-71.

19. Грабченко А.И., Доброскок В.Л. Формування робочої поверхні шліфувальних кругів при

3D моделюванні // Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. Серія: технічні науки. - Житомир: . - 2000. Вип. 15. - С. 52-57.

20. Доброскок В.Л. Визуализация результатов моделирования в среде Visual FoxPro с использованием графиков MS Graph // Резание и инструмент в технологических системах. -Межд. научн.-техн. сборник. - Харьков: ХГПУ. - 2000. Вып. 57. - С. 69-77.

21. Доброскок В.Л. Генерирование последовательностей случайных чисел на основе нормального закона распределения при решении задач статистического моделирования // Вестник ХГПУ. - 2000. Вып. 100. - С. 56-65.

22. Доброскок В.Л. Имитационная модель контроля зернового состава абразивных порошков из сверхтвердых материалов // Резание и инструмент в технологических системах. Межд. научн.-техн. сб. - Харьков: ХГПУ. - 2000. Вып. 58. - С. 123-133.

23. Грабченко А.И., Доброскок В.Л. Статистический анализ законов распределения исследуемых признаков при 3D моделировании абразивно-алмазного инструмента // Резание и инструмент в технологических системах Межд. научн.-техн. сб. - Харьков: НТУ "ХПИ". - 2001. Вып. 59. - С. 35-44.

24. Доброскок В.Л. Статистические механизмы формирования рабочей поверхности абразивно-алмазных инструментов // Резание и инструмент в технологических системах Межд. научн.-техн. сб. - Харьков: НТУ "ХПИ". - 2001. Вып. 60. - С. 51-73.

25. Доброскок В.Л., Гаращенко Я.Н. Выбор параметров распределения размеров зерен шлифпорошка в соответствии с заданными требованиями по содержанию фракций // Високі технології в машинобудуванні Зб. наук. праць НТУ "ХПИ". - Харків. - 2001. Вип. 1(4). - С. 55-63.

26. Доброскок В.Л., Гаращенко Я.Н., Воронков В.И. Взаимосвязь зернового состава навески с параметрами распределения размеров зерен // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут": Збірка наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. - Харків: НТУ "ХПИ". - 2001. № 7. - С. 60-67.

27. Доброскок В.Л., Уварова Ю.Л. Направленное регулирование вибрационных характеристик прецизионных расточных резцов из сверхтвердых материалов // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут": Збірка наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. - Харків: НТУ "ХПИ". - 2001. № 6. - С. 57-63.

Авторські посвідчення на винаходи і патенти

28. Режущая пластина: А.с. 1143518 СССР, МКИ В 23 В 27/00. / В.Ф. Дрожин, А.К. Синельщиков, В.Л. Доброскок, А.И. Михайлов, А.М. Боярунас, Д.Э. Белявский. № 3602190/25-08; Заявлено 08.06.83; Опубл. 07.03.85, Бюл. № 9. - 2 с. ил.

29. Станок для шлифования цилиндрических деталей: А.с. 1158329 СССР, МКИ В 24 В

5/14; В 24 В 5/04. / А.М. Боярунас, В.Ф. Дрожин, А.И. Грабченко, В.Л. Доброскок, А.И. Михайлов. № 3569307/25-08; Заявлено 31.03.83; Оpubл. 30.05.85, Бюл. № 20. - 2 с. ил.

30. Пат. P.V 8814192 Франция (Memoire descriptif depose a l'appui d'une demande de brevet d'invention en France) / V.L. Dobroskok, V.F. Drozhin, A.I. Grabchenko, A.I. Mikhailov, D.E. Belyavsky, V.L. Rokhlin (Kharkov SU). Помещено 28.10.88. - 29 с.

31. Пат. 8803505 Швеция, МКИ В 23 Н 9/02. / V.L. Dobroskok, V.F. Drozhin, A.I. Grabchenko, A.I. Mikhailov, D.E. Belyavsky, V.L. Rokhlin (Kharkov SU); Заявл. 03.10.88; Оpubл. 13.09.90. - 31 с.

32. Пат. DE 3835166 A1 ФРГ (Offenlegungsschrift), МКИ В 24 В 53/00; В 23 Н 7/22 // В 23 Н 3/04. / V.L. Dobroskok, V.F. Drozin, A.I. Grabchenko, A.I. Michailov, D.E. Beljavskij, V.L. Rochlin (Charkov SU); Заявл. 15.10.88; Оpubл. 19.04.90. - 9 с.

33. Режущая пластина: А.с. 1701429 СССР, МКИ В 23 В 27/14. / В.Л. Доброскок, Н.Е. Волик, Ю.И. Литвишко, В.Л. Рохлин, Д.Э. Белявский. № 4759893/08; Заявлено 21.11.89; Оpubл. 30.12.91, Бюл. № 48. - 3 с. ил.

34. Способ доводки режущего инструмента: А.с. 1701495 СССР, МКИ В24 В 37/00. / В.Л. Доброскок, В.Ф. Дрожин, А.И. Грабченко, В.Л. Рохлин. № 4748000/08; Заявлено 31.07.89; Оpubл. 30.12.91, Бюл. № 48. - 3 с. ил.

35. Способ прогнозирования стойкости режущего инструмента: А.с. 1682888 СССР, МКИ G 01 N 3/58. / Н.В. Новиков, Л.Н. Девин, А.К. Пискунов, В.Ф. Дрожин, В.Л. Доброскок. № 4687407/28; Заявлено 03.05.89; Оpubл. 07.10.91, Бюл. № 37. - 4 с. ил.

36. Способ шлифования: А.с. 1669690 СССР, МКИ В 24 В 1/00. / В.И. Кононенко, Д.Э. Белявский, А.И. Грабченко, В.Л. Доброскок, Л.И. Пупань. № 44798226/08; Заявлено 10.08.88; Оpubл. 15.08.91, Бюл. № 30. - 4 с.

37. Пат. 677894 Швейцария, МКИ В 24 В 53/00; В 23 Н 5/08; В 24 D 3/34. / V.L. Dobroskok, V.F. Drozhin, A.I. Grabchenko, A.I. Mikhailov, D.E. Belyavsky, V.L. Rokhlin (Kharkov SU); Заявл. 27.09.88; Оpubл. 15.07.91. - 20 с.

38. Концевой режущий инструмент: А.с. 1738500 СССР, МКИ В 23 С 5/10; В 23 В 29/00. / В.Ф. Дрожин, А.И. Грабченко, В.Л. Доброскок, В.Л. Рохлин, А.В. Желудков. № 4878568/08; Заявлено 29.10.90; Оpubл. 07.06.92, Бюл. № 21. - 4 с. ил.

39. Расточной резец: А.с. 1738478 СССР, МКИ В 23 В 27/00 // В 29/02. / В.Л. Доброскок, В.Ф. Дрожин, В.Л. Рохлин, Д.Э. Белявский. № 4812409/08; Заявлено 09.04.90; Оpubл. 07.06.92, Бюл. № 21. - 4 с. ил.

40. Режущий инструмент: А.с. 1703270 СССР, МКИ В 23 В 27/00. / В.Ф. Дрожин, В.Л. Доброскок, В.С. Мурас, В.И. Кононенко, Д.Э. Белявский. № 4685011/08; Заявлено 03.05.89; Оpubл. 07.01.92, Бюл. № 1. - 3 с. ил.

41. Способ шлифования кругами на электропроводной связке: А.с. 1733210 СССР, МКИ В 23 Н 5/06. / В.Л. Доброскок, В.Ф. Дрожин, А.И. Грабченко, А.И. Михайлов, В.Л. Рохлин, Д.Э. Белявский. № 3864547/08; Заявлено 11.03.85; Опубл. 15.05.92, Бюл. № 18. - 5 с. ил.

42. Пат. 1802757 СССР, МКИ В 23 В 27/00, 29/02. Державка сборного инструмента / В.Ф. Дрожин, А.И. Михайлов, В.Л. Доброскок, В.Л. Рохлин, С.В. Верезуб. № 4910263/08; Заявлено 29.12.90; Опубл. 15.03.93, Бюл. № 10. - 3 с. ил.

43. Пат. 37898 А УКРАЇНА, МПК В24В1/00 / А.І. Грабченко А.І., М. Хорват (НУ), В.Л. Доброскок, Ф. Лієрат (DE), Ю.Л. Уварова, Я.М. Гаращенко; ХДПУ. Шліфувальний круг і спосіб формування і підтримки його подовжнього профілю - № 2000042461; Заяв. 28.04.2000; Опубл. 15.05.2001, Бюл. № 4.

44. Пат. 37908 А УКРАЇНА, МПК В24D17/00 / А.І. Грабченко, М. Хорват (НУ), В.Л. Доброскок, Ю.Л. Уварова, Я.М. Гаращенко; ХДПУ. Пристрій для електрохімічної правки шліфувальних кругів на електропровідній металевій зв'язці - № 2000052513 Заяв. 04.05.2000; Опубл. 15.05.2001, Бюл. № 4.

45. Пат. 37932 А УКРАЇНА, МПК В24В53/00 / А.І. Грабченко, М. Хорват (НУ), В.Л. Доброскок, Ю.Л. Уварова, Я.М. Гаращенко; ХДПУ. Спосіб формування переривчастої робочої поверхні шліфувального круга - № 2000052558; Заяв. 04.05.2000; Опубл. 15.05.2001, Бюл. № 4.

46. Пат. 37950 А УКРАЇНА, МПК В24В1/00, В24В17/00 / А.І. Грабченко, В.Л. Доброскок, А. Мамалис (GR), Ю.Л. Уварова, Я.М. Гаращенко; ХДПУ. Спосіб шліфування некруглих деталей - № 2000052622; Заяв. 06.05.2000; Опубл. 15.05.2001, Бюл. № 4.

47. Пат. 37973 А УКРАЇНА, МПК В24В53/04 / А.І. Грабченко, М. Хорват (НУ), В.Л. Доброскок, Я.М. Гаращенко, Ю.Л. Уварова; ХДПУ. Пристрій для правки шліфувального круга з переривчастою робочою поверхнею на електропровідній зв'язці - № 2000052685; Заяв. 12.05.2000; Опубл. 15.05.2001, Бюл. № 4.

Праці конференцій

48. Дрожин В.Ф., Михайлов А.И., Доброскок В.Л. Повышение эффективности применения лезвийного инструмента из сверхтвердых материалов // Тезисы докл. межд. научн.-техн. семинара "Проблемы резания материалов в современных технологических процессах". В 2-х частях. - Ч.1. - Харьков: ХПИ. - 1991. - С. 105-108.

49. Дрожин В.Ф., Михайлов А.И., Доброскок В.Л. Двухслойные пластины из СТМ для финишной обработки материалов // Тезисы докл. межд. научн.-техн. семинара "Высокие технологии в машиностроении". - Харьков: ХПИ. - 1992. - С. 40-41.

50. Доброскок В.Л., Кононенко В.И., Пупань Л.И. Повышение эффективности алмазного шлифования на основе управления прочностью связки алмазно-абразивных кругов с помощью магнитного поля // Высокие технологии в машиностроении: моделирование, оптимизация,

диагностика: тезиси докладов, 27 сентября - 2 октября 1995 г. - Харьков: ХГПУ. - 1995. - С. 29-31.

51. Grabchenko A.I., Dobroskok V.L., Nakonechniy N.F. Mathematical modelling for designing the longitudinal profile of diamond grinding wheels // Труды Междунар. конф. "International Computer Science Conference" (microCAD '96). - Miskolc:.. - 1996. - С. 27-31.

52. Доброскок В.Л. Пути снижения уровня вибраций при шлифовании // Сб. трудов конф. "Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы" (Шлифабразив - 98). - Волжский:.. - 1998. - С. 123-126.

53. Grabchenko A.I., Dobroskok V.L. Peculiarities of forming wheel cross profile in grinding process // Труды Междунар. конф. "Proceeding of the fourth international symposium on measurement technology and intelligent instruments" (ISMТII '98) - Miskolc: University of Miskolc. - 1998. С. 35-37.

54. Грабченко А.И., Доброскок В.Л., Федорович В.А. 3D моделирование рабочей поверхности и абразивоносного слоя шлифовальных кругов из сверхтвердых материалов // Труды IV Междунар. конгр. "Конструкторско-технологическая информатика - 2000" В 2-х т. Т. 1. М.: Изд-во "Станкин". - 2000. - С. 154-155.

55. Grabchenko A.I., Dobroskok V.L. Object-oriented modeling the process of forming the working superface of grinding wheels // Труды Междунар. конф. "Proceeding of the tenth international conference on tools" (ICT-2000). - Miskolc: University of Miskolc. - 2000. - С. 297-303.

56. Грабченко А.И., Доброскок В.Л. Подобие при 3D моделировании алмазно-абразивных инструментов // Тези доп. II Міжнар. конф. "Прогресивна техніка і технологія". Київ-Севастополь - 2001. - С. 44-46.

57. Доброскок В.Л. Система 3D моделирования абразивных инструментов из сверхтвердых материалов // Мат. межд. научн.-техн. конф. "Сверхтвердые инструментальные материалы на рубеже тысячелетий: получение, свойства, применение" (СТИМ-2001). -Киев: ИСМ НАН Украины, 2001. - С. 221-222.

АНОТАЦІЇ

Доброскок В.Л. Наукові основи формоутворення робочої поверхні кругів на токопровідних зв'язках у процесі шліфування. - Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.03.01 - процеси механічної обробки, верстати й інструменти. - Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, 2001.

У дисертації вирішена науково-технічна проблема, що має важливе значення для підвищення ефективності шліфування важкооброблюваних матеріалів. Запропоновано методологію і розроблена система статистичного об'єктно-орієнтованого 3D моделювання абразивно-алмазних інструментів, виявлено композиційний статистичний механізм формування

закону розподілу вершин зерен на робочій поверхні інструменту. На базі теоретичних, модельних і експериментальних досліджень розроблені основні принципи практичної реалізації регулювання статистичних характеристик шліфувальних кругів на токопровідних зв'язках шляхом примусової зміни геометричних і фізичних характеристик поверхні зв'язки. Розроблено технічні рішення і рекомендації для практичного застосування, які дозволяють створювати високоефективні робочі процеси обробки важкооброблюваних матеріалів та виготовлення прецизійних ріжучих інструментів.

Ключові слова: формоутворення, моделювання, поверхня, круг, процес, зв'язка, характеристика, шліфування, інструмент.

Доброскок В.Л. Научные основы формообразования рабочей поверхности кругов на токопроводных связках в процессе шлифования. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.03.01 - процессы механической обработки, станки и инструменты. - Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", Харьков, 2001.

В диссертации решена научно-техническая проблема, имеющая важное значение для повышения эффективности шлифования труднообрабатываемых материалов. Предложена методология и разработана система статистического объектно-ориентированного 3D моделирования абразивно-алмазных инструментов, выявлен композиционный статистический механизм формирования закона распределения вершин зерен на рабочей поверхности инструмента. На базе теоретических, модельных и экспериментальных исследований разработаны основные принципы практической реализации регулирования статистических характеристик шліфувальних кругів на токопровідних зв'язках путем принудительного изменения геометрических и физических характеристик поверхности связки. Разработаны технические решения и рекомендации для практического применения, что позволяет на их основе создавать высокоэффективные рабочие процессы обработки труднообрабатываемых материалов и изготовления прецизионных режущих инструментов.

Ключевые слова: формообразование, моделирование, поверхность, круг, процесс, связка, характеристика, шлифование, инструмент.

Dobroskok V.L. Scientific foundations of forming of wheel working surface with resistance bonds during grinding process. – Manuscript.

Thesis for a Doctor's degree on specialty 05.03.01 – Machining processes, machine-tools and tools. – National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Kharkov, 2001.

Scientific and technical problem being of great importance in creation of scientific foundations of

hard-to-work materials grinding is solved in the thesis. As a result of theoretical, model and experimental investigations, scientific foundations are developed, and scientific-technical problem of grinding process efficiency increase by means of forced change of geometrical and physical parameters of bond surface during grinding process is solved.

Method of statistical parametrization is proposed for solution of tasks connected with initial sizes of abrasive dusts in abrasive treatment domain. Statistical parametrization is provided by modification of parameters of scaled distributive laws with their reduction to three: characteristic sizes of abrasive grains, coefficient of displacement of expectation relatively characteristic size, and coefficient of variation. System for analysis of distributions sets and compositions on their ground is developed. This system allows to make joint analysis for group of distributive laws with assigning of parameters both in the conventional form and using proposed parameterization.

Conception of 3D modeling of abrasive-diamond tools on the basis of object-oriented methodology – statistical modeling with realization in object-oriented programming environment is proposed and vindicated. System of required conditions for realistic 3D modeling of abrasive-diamond tools is formulated and realized in a practical manner. This system includes: availability of technological and evolutionary similitude of the model formation process (analogously as for process of formation of subject of inquiry: technological – at the stage of initial abrasive layer creation; evolutionary – at its change during real object run process); geometrical similitude of abrasive layer, grain shape and bond surface; statistical similitude of weight measure (gang and collection) of abrasive grains; structural similitude: creation of weight measure with number of grains corresponding with their number in real tool (from single to hundreds of millions grains), and also distribution of grains in abrasive layer space, assigning of bond surface, forming of tool working surface, calculation of grain wear and surface microrelief of grains and (or) bond. Developed system of simulation monitoring for grain composition of weight measure allows to select parameters of distributive laws for grain sizes in accordance with all-Union State Standard.

Composition law of grain peaks distribution over working surface of abrasive-diamond tools is theoretically grounded and confirmed by model investigation. This law combines simultaneously laws of grains size distribution in weight measure and distribution of their centers in abrasive layer. Carried out investigations reveal applicability of proposed laws for the whole range of possible values of relative critical embedding of grains in the bond (0.1 - 0.9) that creates preconditions for their use when describing working surfaces of abrasive-diamond tool during working process.

Key role of bond surface in mechanism of forming of statistical characteristics of working surface of abrasive-diamond tool is revealed. Statistical mechanism of influence of bond surface shape on forming behaviour of wheel working surface has been studied for the first time. Revealed interconnection of laws of grain peaks distribution and bond surface irregularity distribution allows to advance and to

confirm hypothesis about resources for regulation of statistical characteristics of working surface of abrasive-diamond tool by means of forming of bond surface during grinding process.

Philosophy of practical implementation of statistical characteristics regulation for grinding wheels with resistance bonds by means of forced change of geometrical and physical characteristics of bond surface are developed on the basis of theoretical, model and experimental investigations.

Engineering solutions and recommendations for practical application are developed that allows on their basis to create high-effective working processes of precision cutting tool production.

Integrated approach was used when developing working processes. This approach includes stages of selection or development of reasonable design and manufacturing technique, which is used directional forming of tool working surface.

Key words: forming, modeling, surface, wheel, process, bond, characteristic, grinding, tool.

Підп. До друку 03.11.2001. Формат 60x90/16 Автор.арк. 1,9 Тираж 100 прим.

Облік.вид.арк. 2,07 Замовлення № 1211

Видавництво ЧП Червяк

61120, Харків, вул. Гв.Широнінців, 18, кв. 179