

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Аналіз номенклатури абразивних кругів показав, що найбільш широко застосовуваними при шліфуванні є круги з електрокорунду на керамічній зв'язці, що займають загалом більше 90% усього обсягу. На переважній більшості металообробних підприємств здійснюється технічна підготовка такого інструменту. Від умов технічної підготовки залежать витрати часу й абразивного інструменту, стан його робочої поверхні, основною характеристикою якої є відносна опорна поверхня, що визначає якість обробленої поверхні, продуктивність і собівартість обробки. Тільки за рахунок зміни режимів формування рельєфу абразивних кругів при їхній технічній підготовці шорсткість обробленої поверхні змінюється більш ніж у десять разів. Як правило, витрати при формуванні рельєфу абразивного круга значно перевищують витрати безпосередньо в процесі шліфування. Тому ефективність процесу шліфування багато в чому буде визначатися технічними можливостями раціонального й спрямованого формування опорної поверхні рельєфу робочої поверхні абразивного круга на задану операцію.

Розроблення цієї проблеми доцільне у двох аспектах. З наукового погляду необхідні дослідження механізму крихкого руйнування поверхневого шару абразивного круга й пошук технологічних умов формування заданого рельєфу та відносної опорної поверхні рельєфу круга. Практичне застосування такого підходу дасть можливість шляхом зміни умов формування рельєфу абразивних кругів суміщати при обробці в одному технологічному процесі весь діапазон режимів оброблення від чорнового до чистового шліфування. Ця проблема особливо актуальна в сучасних умовах малих і середніх підприємств, де обмежена наявність широкої номенклатури верстатів та інструментів для продуктивного і якісного шліфування.

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

Робота виконувалася згідно з планом НДР наукової ради з проблеми "Синтез надтвердих матеріалів і їхнє застосування в промисловості" Національної Академії наук України, науково-дослідної лабораторії алмазного інструменту кафедри технології матеріалів і поліграфічного машинобудування Української академії друкарства і пов'язана з науково-технічними темами "Розробка конструкції і технології виготовлення інструментів з НТМ для оброблення підшви взуття" (UA 01900001893), "Розробка техпроцесу виготовлення алмазного інструменту для механічного оброблення азбестових фрикційних виробів" (UA 01002453P), "Розробка конструкції брусків з НТМ для обробки торців шліфувальних кругів" (01910000906), "Розробка конструкції алмазного інструменту для обробки азбестових фрикційних виробів" (UA 01000283P), "Розробка технології виготовлення дослідної партії кранів ДУ -50" (0195V020133), "Теоретичні основи створення високошвид-

кісних шліфувальних інструментів і технологічного забезпечення їх конструктивного виконання” (01203014007289). Участь здобувача у виконанні вищенаведених тем - відповідальний виконавець або науковий керівник.

Метою роботи є розробка наукових і технологічних основ формування різального рельєфу абразивних і алмазних шліфувальних кругів та їх опорної поверхні для підвищення продуктивності інструменту та зниження витрат, пов'язаних із забезпеченням якості обробленої поверхні.

Для реалізації поставленої мети було визначено основні завдання:

– розробка теоретичних основ процесу взаємного контактування абразивного круга на керамічній зв'язці й алмазного інструменту при формуванні різального рельєфу та опорної поверхні абразивного круга методом точіння з урахуванням динамічних явищ;

– дослідження аналітичним методом і на базі 3D – моделювання процесу руйнування робочої поверхні абразивних кругів при формуванні їх рельєфу, визначення межі перехідних процесів субмікроруйнування, мікро- та макро-руйнування абразивних зерен для встановлення технологічних параметрів раціонального формування опорної поверхні рельєфу;

– теоретичні дослідження та на базі 3D – моделювання процесу дії робочої поверхні абразивного круга на оброблювану поверхню для встановлення основних параметрів процесу формування опорної поверхні рельєфу абразивних кругів;

– дослідження динамічних особливостей експлуатації абразивних кругів для розробки шляхів підвищення ефективності формування їх опорної поверхні при шліфуванні на високих швидкостях;

– розробка методу і технології формування рельєфу та опорної поверхні одношарових алмазних кругів на етапі їх виготовлення;

– проведення експериментальних досліджень і промислових випробувань для перевірки запропонованих теоретичних рекомендацій і визначення умов впровадження їх у виробництво.

Об'єктом досліджень виступають процес шліфування заготовок зі сталі та абразивні інструменти.

Предметом дослідження є процес формування різального рельєфу та опорної поверхні абразивних і алмазних шліфувальних кругів.

Методи досліджень. Методологічною базою роботи є комплексний науковий підхід до визначення й прогнозування впливу технологічних параметрів і фізичних явищ при формуванні рельєфу абразивного круга на ступінь руйнування та опорну поверхню його робочого поверхневого шару. Робота виконана на основі фундаментальних положень теорії різання, запропонованих нових методологічних підходів при дослідженні явищ контактування пружних матеріалів. Теоретичні дослідження базуються на основних поло-

женнях теорії шліфування, контактної–хвильової теорії удару та руйнування крихких матеріалів, теорії міцності, пружності і пластичності з широким застосуванням комп’ютерної техніки та систем Excel, MatCad, AutoCAD, Visio, Cosmos, Third Wave AdvantEdge. В експериментальних дослідженнях використовувались методи лазерного сканування, 3D–моделювання, профілографування, ситового аналізу, тензометрії, оптимізації режиму формування рельєфу. Достовірність теоретичних положень роботи підтверджується результатами експериментальних досліджень та промисловим впровадженням.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

– запропоновано нову модель формування робочої поверхні абразивних кругів, що базується на урахуванні розкритих фізико-механічних особливостей руйнування абразивних зерен при їх ударній взаємодії з кристалом алмаза – індентором, яка дозволяє прогнозувати й регулювати задану мікрогеометрію обробленої поверхні деталей шляхом спрямованого формування опорної поверхні рельєфу шліфувальних кругів;

– на основі аналітичних розрахунків і 3D–моделювання напружено-деформованого стану системи з урахуванням основної динамічної характеристики – контактної міцності матеріалу зерна теоретично обґрунтовано можливість регулювання характеристик робочої поверхні круга та його питомої опорної поверхні за рахунок спрямованої ударно-силової дії на систему „зерно – зв’язка”, зміщення полюса руйнування на різні рівні абразивного зерна;

– встановлено, що критерієм мікроруйнування абразивних зерен при переході від субмікроруйнування до мікроруйнування є еквівалентні напруження на периферії поверхні контакту „кристал алмаза – абразивне зерно”, порогові значення яких пов’язані з границею міцності матеріалу абразивного зерна на розтяг; критерієм макроруйнування є максимальні нормальні напруження в полюсі руйнування, порогові значення яких пов’язані з контактною міцністю матеріалу зерна; на основі цих критеріїв визначено шляхи керування питомою опорною поверхнею абразивних кругів;

– встановлено, що при формуванні різального рельєфу абразивного круга та його питомої опорної поверхні шляхом мікроруйнування зерен оброблювана поверхня при швидкісному шліфуванні менше деформується, ніж при макроруйнуванні зерен, що позитивно впливає на якість обробки; виявлено необхідність і реалізовано можливість гасіння тангенціальних напружень, які виникають під впливом сил інерції круга, що сприяє зменшенню вібрацій у технологічній системі, підвищенню стійкості круга й стабільності процесу шліфування;

– визначено умови раціонального формування різального рельєфу та питомої опорної поверхні абразивних кругів з урахуванням їх структури, твердості й зернистості, геометричних параметрів кристала алмаза, його попереочної й поздовжньої подачі, швидкості абразивного круга, що дозволило на базі запропонованої моделі розробити технологічні умови підвищення ефективності експлуатації кругів і ресурсозберігаючого процесу шліфування.

Практична цінність роботи. Одержана в роботі сукупність загальних закономірностей формування різального рельєфу та опорної поверхні шліфувальних кругів у поєднанні з якісними показниками обробленої поверхні є науковою базою створення способів і технологічних умов для ефективного шліфування на підприємствах, де обробляють металеві і полімерні матеріали.

На підставі експериментальних досліджень і промислових випробувань доведено доцільність використання теоретичних положень для якісної і кількісної оцінки процесу формування рельєфу робочої поверхні абразивних кругів і їх питомої опорної поверхні методом точіння однокристалним алмазним інструментом. Практична реалізація отриманих результатів дасть змогу обґрунтовано керувати механізмом формування різального рельєфу та питомою опорною поверхнею шліфувальних кругів залежно від вимог до процесу шліфування. Встановлення взаємозв'язку фізичних критеріїв і кінематичних параметрів процесу формування рельєфу робочої поверхні абразивних кругів дозволяє рекомендувати технологічні режими створення їх питомої опорної поверхні з урахуванням характеристик абразивного круга й алмазного інструменту і вимог технологічної операції.

Розроблено способи підвищення надійності експлуатації абразивних кругів на керамічній зв'язці для швидкісного шліфування та формування опорної поверхні крупнозернистих алмазних інструментів і технологію їх виготовлення.

Отримано 4 авторські свідоцтва на розроблені конструкції і способи виготовлення інструментів. Випробування у виробничих умовах показали, що продуктивність процесу шліфування і профілювання абразивних кругів зростає в 1,5–1,6 разів, зменшилися витрати абразивних кругів у 1,5 – 1,8 разів, значно скоротився брак зі сколювання тонкостінних абразивних кругів у процесі їх профілювання, продуктивність праці при обробці полімерних матеріалів збільшилася в 1,2–1,5 разів. Розроблені рекомендації впроваджено при формуванні рельєфу абразивних кругів і обробці полімерних матеріалів.

Використання одержаних результатів здійснюється у двох напрямках:

– через впровадження розроблених за даними теоретичних та експериментальних досліджень методик при проектуванні технологічних параметрів процесу шліфування деталей на машинобудівних підприємствах;

– шляхом застосування розроблених положень при відновленні деталей устаткування в інших галузях промисловості.

Розроблено і впроваджено у виробництво практичні рекомендації з використання наукових розробок у ВАТ “Мікроприлад” (м. Львів) і „Львівський завод фрезерних верстатів” (м. Львів), на заводі азбестових-технічних виробів (м. Біла Церква), підприємстві „Індустрія” (м. Львів), взуттєвій фабриці (м. Виноградів Закарпатської обл.). Загальний економічний ефект від впровадження склав більше 200 тис. грн.

Результати досліджень використовуються у навчальному процесі студентів спеціальності 8.090202 – “технологія машинобудування” Української академії друкарства.

Особистий внесок здобувача. Усі основні положення дисертації, винесені на захист, одержано здобувачем особисто. Серед них – теоретичні й експериментальні дослідження, розробка алгоритмів і розрахунок режимів. Постановка задач і аналіз результатів досліджень виконані разом з науковим консультантом. Розробка технічної документації та проведення промислових випробувань здійснені спільно із співробітниками лабораторії алмазного інструменту при кафедрі „Технологія матеріалів і поліграфічного машинобудування” Української академії друкарства. Головні наукові і практичні результати роботи одержано здобувачем самостійно.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертаційної роботи оприлюднювалися на конференціях і семінарах, зокрема, на Республіканській науково-технічній конференції “Сверхтвердые материалы и инструменты в ресурсосберегающих технологиях” (Київ, 1989), на 2, 3, 5, 6, 7–му Міжнародних симпозиумах українських інженерів-механіків (Львів, 1997–2005 рр.), на щорічних науково-технічних конференціях Української академії друкарства (Львів, 1989–2006 рр.).

У повному обсязі дисертаційна робота доповідалась на наукових семінарах лабораторії та відділу правки Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля Національної академії наук України (Київ, 1997, 1999 рр.), на спеціальному засіданні XIV міжнародного науково-технічного семінару „Високі технології: тенденції розвитку” (Алушта, 2006 р.), розширеному науковому семінарі профілюючих кафедр факультету поліграфічного устаткування Української академії друкарства (Львів, 2006 р.), наукових семінарах кафедри „Інтегровані технології машинобудування” ім. М.Ф. Семка, Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” (2005, 2006 рр.).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 47 робіт, у тому числі 1 монографія, 27 статей у фахових виданнях ВАК України, 4 авторських свідоцтва на винаходи.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, семи розділів, висновків і додатків. Повний обсяг дисертації – 341 сторінка, з яких 42 ілюстрації на 26-и сторінках, 32 ілюстрацій за текстом, 14 таблиць на десяти сторінках, 7 таблиць за текстом, додатків на 13 сторінках, список використаних літературних джерел з 206 найменувань на 19 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ. Проаналізовано напрямки підвищення ефективності процесу шліфування в сучасному машинобудуванні. Відзначено можливість підвищення ефективності експлуатації абразивних та алмазних шліфувальних кругів за рахунок керування їх рельєфом і питомою опорною поверхнею. Обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і завдання досліджень, визначено новизну і практичне значення результатів досліджень.

Розділ I. Проведено аналіз стану проблеми підвищення ефективності процесу шліфування з використанням абразивних та алмазних кругів на основі керування їх різальними властивостями та питомою опорною поверхнею в умовах підвищення швидкості обробки.

У процесі шліфування під дією сил різання і високих температур, а також контактної взаємодії абразивний круг спрацьовується, втрачає геометричну форму і різальні властивості. Такі явища призводять до погіршення якості оброблюваної поверхні, збільшення шорсткості та хвилястості, появи припалювання, зниження інтенсивності зрізання припуску. У роботах В.В. Авакяна, А.К. Байкалова, Р.О. Березняка, Г.І. Віманна, А.І. Грабченка, В.Л. Доброскока, К. Єкогава, А. Єкоо, Л.П. Калафатової, В.І. Кальченка, В.В. Коломійця, А.В. Корольова, В.І. Лавріненка, Б.І. Полулана, А.Н. Резнікова, Н.Р. Сміта, В.О. Федоровича, М.Л. Філімонова, В.О. Шальнова, К. Ямада, наукових дослідників ІНМ НАН України і ВНДІалмазу (Росія) розроблено фундаментальні положення теорії і практики забезпечення якості шліфування та показано значення процесу формування рельєфу абразивних кругів при шліфуванні.

А.Н. Резніковим уперше здійснено спробу теоретично обґрунтувати вплив технологічних параметрів процесу формування рельєфу на ступінь руйнування поверхневого шару абразивних кругів з метою призначення технологічних режимів процесу залежно від вимог до процесу шліфування. Йошикавою Х. виконано ймовірнісні розрахунки для з'ясування впливу поперечної подачі алмазного інструменту при формуванні рельєфу на ступінь руйнування робочої поверхні абразивного круга і на процес шліфування. Л.М. Філімонов рекомендує із-за значного руйнування поверхневого шару абразивного круга при високих швидкостях шліфування обмежувати швид-

кість формування рельєфу до 50 м/с, а також показує вплив режимів процесу формування рельєфу на результати шліфування, причиною яких є зміни на робочій поверхні абразивного круга.

У більшості операцій шліфування при різанні бере участь лише верхня частина рельєфу круга, яка для найбільш розповсюджених абразивних кругів зернистості (16, 25, 40) складає всього 0,1 ... 0,05 частини висоти їх рельєфу. Формування рельєфу абразивних кругів і руйнування їх поверхневого шару при цьому також відбуваються на зовнішній частині рельєфу. Ці обставини суттєво впливають на розподіл абразивних зерен на поверхні круга, основною характеристикою якого є питома відносна опорна поверхня його робочого шару. Оскільки вихідні параметри процесу шліфування визначаються в основному розподілом зерен на робочій поверхні абразивного круга, то слід очікувати впливу величини його питомої відносної опорної поверхні на якісні параметри оброблюваної поверхні. На питому опорну поверхню робочого шару абразивних кругів значно впливають технологічні параметри процесу формування рельєфу. Це пов'язано з характером руйнування робочої поверхні абразивного круга в процесі формування його рельєфу алмазним інструментом. При визначенні питомої опорної поверхні слід враховувати і дію технологічних параметрів процесу формування різального рельєфу абразивних кругів на утворення декількох різальних кромek на зернах і суттєвого зменшення радіуса заокруглення, що досягається виключно мікроруйнуванням зерен.

Таким чином, створення можливостей керування характером руйнування робочого поверхневого шару абразивних кругів при формуванні їх робочого рельєфу дозволить вплинути на питому відносну опорну поверхню кругів та якісні параметри оброблюваної поверхні при шліфуванні.

На основі аналізу визначено мету й завдання досліджень.

Розділ II. Присвячено теоретичним дослідженням взаємодії абразивних кругів на керамічній зв'язці та алмазного інструменту при формуванні їх рельєфу для встановлення можливостей регулювання питомою відносною опорною поверхнею кругів.

Формування рельєфу і питомої опорної поверхні абразивних кругів алмазним інструментом відбувається в ударній контактній системі "кристал алмаза – абразивне зерно – зв'язка абразивного круга". Залежно від характеру руйнування цієї системи визначаються стан опорної поверхні та розвиненості робочої поверхні абразивного круга і придатність його до виконання операції шліфування. Руйнування абразивних зерен розглядається при їх безпосередньому контакті з кристалом алмаза, а руйнування зв'язки пов'язується з проходженням ударної хвилі крізь абразивне зерно. У цьому випадку з'являється можливість керування характером руйнування робочої поверхні

абразивного круга та формування його рельєфу і питомої опорної поверхні шляхом концентрації контактної навантаження в межах абразивного зерна або передачею її до зв'язки абразивного круга. Розв'язання цієї проблеми залежить від співвідношень між основними параметрами удару, зокрема періодом тріщиноутворення та проходження ударної хвилі крізь абразивне зерно. Тому пошук шляхів керування рельєфом і питомою опорною поверхнею абразивних кругів алмазним інструментом вирішується на підставі використання основних закономірностей ударних процесів, теоретичною базою яких є динаміка твердого тіла й матеріальної точки, теорія пружності в статичній і динамічній модифікаціях. Виходячи з цього, процес формування рельєфу розглядається як ударна взаємодія зерна абразивного круга та кристала алмаза правлячого інструмента. Процес подано як стадії пружного деформування в системі "зерно–зв'язка", тріщиноутворення, характерного для крихких матеріалів, утворення ядра і самого руйнування. Прийняті наступні припущення: матеріали абразивного зерна та кристала алмаза однорідні й ізотропні, деформування здійснюється у межах пружності, поверхня контакту – мала порівнянно з поверхнями контактуючих тіл. У результаті отримано базові рівняння, за якими встановлено, що у межах пружної поведінки абразивного зерна розміри поверхні контакту збільшуються із зростанням навантаження. Одночасно з деформуванням абразивного зерна на стадії зростання навантаження здійснюється зміщення зв'язки абразивного круга, що утримує зерно.

Ударну систему „кристал алмаза – абразивне зерно – зв'язка абразивного круга”, як у випадку співударяння двох пружних тіл при наявності в зоні контакту деформівного елемента (абразивного зерна), представлено механічною системою з одним ступенем свободи. У результаті встановлено, що дія збуджуючої сили при певних швидкостях формування рельєфу викликає незначні зміщення зв'язки абразивного круга, тобто остання не встигає повністю реагувати на миттєві зміни збуджуючої сили, чим і пояснюються руйнування більш міцної ланки системи – зерна абразивного круга. Фізична сутність цього явища встановлена законами контактної-хвильової теорії.

Контактне руйнування крихкого матеріалу абразивного зерна пояснюється внутрішніми розривами. Причиною таких розривів є існування зони B (рис. 1) напружень розтягу в глибині матеріалу. Найбільші напруження знаходяться на осі прикладання зусилля, де напруження, спрямовані перпендикулярно до цієї осі, визначаються залежністю

$$\sigma_y = 0,75 \left(2(1 + \mu) \left(1 - \frac{z}{a} \operatorname{arctg} \frac{a}{z} \right) - \frac{a^2}{(z^2 + a^2)} \right) \sigma_k, \quad (1)$$

де μ – коефіцієнт Пуасона матеріалу зерна абразивного круга; z – глибина полюса руйнування абразивного зерна; a – радіус поверхні контакту між кристалом алмаза та абразивним зерном.

У цьому випадку, як показав аналіз механізму руйнування зерна абразивного круга, форма і розміри зони руйнування не збігатимуться з геометричними параметрами кристала алмаза. Глибини зони руйнування перевищують рівень проникнення кристала алмаза, що пов'язано з утворенням зони напружень розтягу у середині матеріалу (рис.1). З рівняння (1) встановлено, що глибина полюса p_0 , в якій напруження розтягу максимальні, складає $Z=1,58a$. На підставі цього встановлено, що максимальні напруження можна зв'язати з контактними напруженнями так: $\sigma_y = 0,0274\sigma_k$ (рис. 2). Контактна міцність матеріалу абразивного зерна визначається як $\sigma_K = 36,5\sigma_p$, де σ_p – границя міцності матеріалу зерна на розтяг.

Рис.1. Епюра напружень розтягу в абразивному зерні

Рис. 2. Вплив співвідношення z/a на значення напружень розтягу в абразивному зерні

Положення полюса руйнування пов'язане з розмірами поверхні контакту, що, у свою чергу, визначається глибиною взаємодії, яка є геометричною характеристикою контакту, та поперечною подачею алмазного інструмента і розміром кристала алмаза. На цій основі визначено можливість дії на положення полюса і ступінь руйнування абразивного зерна за рахунок даних параметрів процесу формування рельєфу.

У процесі ударного контактування з кристалом алмаза абразивне зерно перебуває в складному напруженому стані, а в зоні контакту, крім нормальних зусиль P , діють і тангенціальні T . Тангенціальні зусилля разом з нормальними збільшують напруження на поверхні контакту. Зокрема, для коло-

вої поверхні контакту компоненти напружень під дією нормальних зусиль визначаємо рівняннями:

$$\begin{aligned}\sigma_x^{(0)} &= -(1-y^2)^{1/2} + \frac{1-2\mu}{3y^2}(1-(1-y^2)^{3/2})\sigma_k, \\ \sigma_y^{(0)} &= (-2\mu(1-y^2)^{1/2} - \frac{1-2\mu}{3y^2}(1-(1-y^2)^{3/2}))\sigma_k.\end{aligned}\quad (2)$$

Компоненти напружень при дії дотичних зусиль знаходимо за рівняннями:

$$\sigma_x'' = k \frac{3\pi}{8} \mu y \sigma_k; \quad \sigma_y'' = k \frac{\pi}{8} (4 + \mu) y \sigma_k, \quad (3)$$

де $k = T/P$; y – координата радіусу поверхні контакту по осі OY .

Сумарні напруження розтягу досягають максимуму при $y = -1$, де нормальні напруження з рівнянь (2) і (3) становлять:

$$\sigma_1 = \sigma_x = \sigma_x^{(0)} + \sigma_x''; \quad \sigma_3 = \sigma_y = \sigma_y^{(0)} + \sigma_y''. \quad (4)$$

Чисельні значення напружень при $\mu = 0,15$ можна отримати за такими рівняннями:

$$\sigma_x = (0,2333 + 0,1766 \frac{T}{P})\sigma_k; \quad \sigma_y = (-0,2333 + 1,6290 \frac{T}{P})\sigma_k. \quad (5)$$

Залежності (5) дозволили визначити глибину (рис. 3) взаємодії h кристалу алмаза з радіусом r_2 і абразивного зерна з радіусом r_1 , що відповідає початку крихкого руйнування абразивного зерна. Вони прийняті за границю відбування перехідних процесів субмікроруйнування та мікроруйнування абразивних зерен.

Методом 3D–моделювання напружено-деформованого стану системи „кристал алмаза–абразивне зерно–зв’язка” в програмному пакеті "Cosmos" проведено аналіз стану системи залежно від лінійного переміщення кристала алмаза, чим імітується поперечна подача при формуванні рельєфу. Така модель (рис. 4) дозволяє визначити умови руйнування абразивного зерна або зв’язки круга. За критерії мікроруйнування зерна прийнято напруження, які досягають границі міцності матеріалу на розтяг, а за критерій макроруйнування – напруження, що відповідають контактній міцності матеріалу зерна.

Відхилення глибини контакту кристала алмаза й абразивного зерна для наведених умов руйнування за теоретичними закономірностями і 3D–моделюванням знаходяться в межах 12...17%. Ці дослідження дозволяють визначити наближений розмір зруйнованої частини від абразивного зерна. Наприклад, для умов перехідних процесів (рис. 3) при формуванні різального рельєфу абразивного круга зернистістю 16 кристалом алмаза з радіусом 0,1 мм збільшення глибини взаємодії h у межах 0,0003 ... 0,0007 мм

спричиняє утворення полюса руйнування в зерні на відстані 0,0067 ... 0,0101 мм від поверхні контакту.

Рис. 3. Залежність визначення початку крихкого руйнування абразивного зерна: 1 – $r_2=0,1$ мм; 2 – $r_2=0,2$ мм; 3 – $r_2=0,4$ мм.
Для кривої 1: 1 см – зона субмікроруйнування; 1 мк – зона мікроруйнування

Рис. 4. Модель напружено-деформованого стану системи „кристал алмаза–абразивне зерно–зв’язка”

Такі умови формування різального рельєфу, звичайно, приводять до збереження абразивних зерен на робочій поверхні круга та утворення декількох різальних кромки на їх поверхні і, відповідно, до збільшення відносної опорної поверхні і зменшення питомої величини. За цих умов можна отримати мінімальну шорсткість обробленої поверхні в процесі шліфування.

Розділі III. Наведено теоретичні дослідження визначення технологічних умов руйнування поверхневого шару абразивного круга алмазним інструментом і формування його різального рельєфу та опорної поверхні.

У процесі формування рельєфу абразивного круга сила, яка виникає при співударянні абразивного зерна і кристала алмаза, створює напруження в зерні та елементі зв'язки круга, що викликає руйнування або абразивного зерна, або зв'язки, котра визначає стан опорної поверхні круга. Абразивні зерна і зв'язка розглядаються як дві групи матеріалів різної міцності. Для дослідження умов крихкого руйнування самих зерен на поверхні абразивного круга припускається, що вони є жорсткими тілами, а момент початку деформації зв'язки визначається часом проходження ударної хвилі крізь абразивне зерно за період удару. Ступінь крихкого руйнування самих абразивних зерен встановлюється їх мікро- або макроруйнуванням. Крихке мікроруйнування абразивних зерен спричиняється коловими конічними тріщинами на площі контакту між кристалом алмаза і зерна при досягненні величин контурних напружень, які відповідають еквівалентному напруженню, що визначається за теорією максимальних нормальних напружень та при, наприклад, $P_T/P_H = 0,5$ відповідає глибині взаємодії кристала алмаза й абразивного зерна

$$h = 6,58 \left[\frac{\sigma_K r_1}{K} \right]^2, \quad (6)$$

де K – коефіцієнт жорсткості системи „кристал алмаза – абразивне зерно”.

Гранично можлива глибина взаємодії в режимі неповного крихкого руйнування абразивного зерна знаходиться за виразом

$$h_K < \frac{9 (r_1 + r_2) P_K}{8 \pi r_1 r_2 \sigma_K}, \quad (7)$$

де P_K –зусилля, які викликають макроруйнування абразивного зерна.

Виходячи з вищевикладеного, прийнято, що коли дійсна глибина формування рельєфу h буде меншою за критичну h_K , яка визначається із залежності (7), то переважно матиме місце мікроруйнування зерен на поверхні круга в процесі формування його рельєфу. Це приведе також до збереження абразивних зерен на робочій поверхні круга та утворення нових різальних кромки на них. Але значення відносної опорної поверхні буде меншим порівняно з умовами, наведеними на рис. 3. Якщо ж $h > h_K$, процент об'ємного руйнування абразивних зерен зросте. У цьому випадку абразивні зерна при контакті з кристалом алмаза будуть повністю зруйновані, що призведе до зменшення їх кількості на робочій поверхні круга та величини опорної поверхні рельєфу і зміни її питомого значення. Це викликатиме підвищення шорсткості оброблюваної поверхні при шліфуванні.

На рис. 5 наведено закономірності впливу розміру кристала алмаза й абразивного зерна на мінімальну глибину їх взаємодії, при якій відбувається

повне руйнування зерна, отримані за рівнянням (7). Зі збільшенням розміру кристала алмаза при одному і тому ж розмірі абразивного зерна глибина взаємодії h , при якій відбувається повне руйнування зерна, зменшується. Збільшення ж розміру абразивного зерна призводить до зростання глибини взаємодії. Важливість отриманих закономірностей для процесу шліфування полягає в тому, що встановлюється діапазон можливого керування ступенем крихкого руйнування абразивного зерна при формуванні різального рельєфу абразивного круга та його опорної поверхні на задану операцію шліфування. Наведемо такі дані для зернистості 16 і 40. Порівняння результатів (рис. 3 і 5) дозволяють встановити діапазони глибин взаємодії для мікроруйнування абразивних зерен кристалом алмаза різних розмірів. Для зернистості 16 при радіусі кристала алмаза $r_2 = 0,1$ мм цей діапазон складає $h = 0,0005 - 0,028$ мм; при $r_2 = 0,2$ мм, $h = 0,0004 - 0,022$ мм; при $r_2 = 0,4$ мм, $h = 0,00038 - 0,018$ мм. Для зернистості 40: при $r_2 = 0,1$ мм, $h = 0,0007 - 0,048$ мм; при $r_2 = 0,2$ мм, $h = 0,00052 - 0,032$ мм; при $r_2 = 0,4$ мм, $h = 0,00047 - 0,024$ мм.

Рис. 5. Залежність визначення початку повного руйнування абразивного зерна: 1 – $r_2=0,1$ мм; 2 – $r_2=0,2$ мм; 3 – $r_2=0,4$ мм.

Для кривої 1: 1 мак – зона макроруйнування; 1 мік – зона мікроруйнування

Для умов перехідних процесів (рис. 5) при формуванні різального рельєфу абразивного круга зернистістю 16 кристалом алмаза радіусом 0,1 мм збільшення глибини взаємодії h у межах 0,01 ... 0,03 мм призводить до утворення полюса руйнування в зерні на відстані 0,0370 ... 0,0586 мм від поверхні контакту. Чим більша глибина полюса руйнування, тим значніші руйнування абразивних зерен, що призводить до зменшення величини відносної опорної поверхні, підвищення шорсткості оброблюваної поверхні при шліфуванні. Мінімальну величину відносної опорної поверхні буде досягнуто при макроруйнуванні зерен на робочій поверхні абразивного круга.

Технологічні можливості керування руйнуванням абразивних зерен і величиною відносної опорної поверхні круга будуть забезпечені, якщо зв'язка круга зберігає стійкість. Стійкість зв'язки абразивного круга розглядається у порівнянні з періодом руйнування зерна та передачею навантаження крізь абразивне зерно зв'язці. Тому ці явища пояснюються з позицій положень контактної-хвильової теорії з урахуванням місцевих деформацій і хвильових процесів при співударі.

При взаємодії алмаза й абразивного зерна деяка частина сили буде втрачена на деформацію абразивного зерна і викличе його руйнування. При цьому частина сили удару передається крізь зерно зв'язці абразивного круга і в часі визначається рівнянням

$$P_c = P e^{-\varphi_y t_y}, \quad (8)$$

де t_y – тривалість ударного контактування кристала алмаза й абразивного зерна; φ_y – коефіцієнт часу, $\varphi_y = K (\rho a_c F)$; ρa_c – акустична жорсткість матеріалу абразивного зерна; ρ – густина матеріалу абразивного зерна; a_c – швидкість хвилі звуку в матеріалі зерна; F – площа поперечного перерізу абразивного зерна.

Сила (8), що виникає на площі контакту „абразивне зерно – зв'язка”, створює напруження в зв'язці абразивного круга. Якщо ці напруження будуть перевищувати допустимі, то ударна сила, передана через абразивне зерно, зруйнує зв'язку абразивного круга. Найбільші напруження стиску в зв'язці визначаються із залежності

$$\sigma_c = \frac{4}{3} \frac{\sigma_k h e^{-\varphi_y t_d}}{r_1} \left(\left(1 + \frac{V_n}{V_c} \right)^2 \right)^{1/3}, \quad (9)$$

де V_n та V_c – відповідно, об'єми пор і зв'язки абразивного круга.

Розрахунки за рівнянням (9) показали, що для широкого інтервалу технологічних умов формування рельєфу абразивних кругів напруження стиску, які виникають в елементах зв'язки, забезпечують їх стійкість, внаслідок чого руйнування поверхневого шару абразивного круга відбувається в основному по абразивних зернах.

Проведене 3D моделювання напружено-деформованого стану системи „кристал алмаза – абразивне зерно – зв'язка абразивного круга” підтверджує, що при малих швидкостях абразивного круга руйнування його поверхневого шару відбувається головним чином по зв'язці. Із збільшенням швидкості абразивного круга максимальні напруження утворюються в абразивному зерні на деякій відстані від контактної поверхні, що свідчить про утворення полюса руйнування в зерні. Модель (рис. 6) наведено для умов: радіус кристала алмаза 0,25 мм; зернистість круга – 40; глибина контакту – 0,025 мм.

За 3D моделлю максимальні напруження, які виникають при цьому, перевищують контактну міцність матеріалу абразивного зерна і тому є достатніми для реалізації макроруйнування (повного руйнування) абразивного зерна, що на 15 ... 19 % відрізняється від теоретичних розрахунків.

Рис. 6. 3D модель зони утворення напружень у зерні при формуванні різального рельєфу з швидкістю абразивного круга 35 м/с

Аналіз результатів, одержаних аналітичним шляхом та 3D-моделюванням, підтвердив достовірність отриманих теоретичним шляхом закономірностей руйнування поверхневого шару кругів з можливістю регулювання параметрами різального рельєфу та їх опорної поверхні.

Таким чином, залежно від технологічних параметрів процесу формування різального рельєфу абразивних кругів алмазними інструментами можна керувати характером руйнування зерен та відносною опорною поверхнею і її питомою величиною для обробки на різних операціях шліфування.

Розділ IV. Наведено результати експериментальних досліджень процесу формування рельєфу та опорної поверхні абразивних кругів.

Процес досліджувався на прикладі формування рельєфу абразивних кругів алмазним олівцем. Вимірювання складових сил при цьому показали, що із збільшенням радіуса при вершині кристала алмаза, глибини та швидкості сили зростають. Це відповідає теоретичним закономірностям. Результатом дії сил визначаються ступінь руйнування поверхневого шару абразивного круга і параметри його рельєфу. Основним показником цього прийнята відносна опорна поверхня рельєфу абразивного круга.

Зростання глибини взаємодії між кристалом алмаза і абразивним кругом, а також швидкості їх взаємодії призводить до більш розвиненого рельєфу робочої поверхні круга, що пов'язано із збільшенням ступеня руйнування його поверхневого шару. Це підтверджується дослідженнями закономірностей руйнування робочої поверхні абразивних зерен (рис. 7) при різних глибинах взаємодії h .

Рис. 7. Зруйновані поверхні кристалів електрокорунду нормального

Для дослідження впливу ступеня руйнування абразивних зерен на формування відносної опорної поверхні абразивного круга в роботі застосовано лазерне сканування його робочої поверхні і комп'ютерну обробку параметрів топографії різального рельєфу. Це дозволило досліджувати зміни 3D параметрів рельєфу, у комп'ютерному режимі оцінювати вплив технологічних режимів процесу формування на його відносну опорну поверхню. На рис. 8 наведено результати сканування та комп'ютерної обробки топографії спрацьованого круга (А) і формованого при $h = 0,005$ мм (Б) та $h = 0,03$ мм (В), де чітко прослідковуються зміни параметрів різального рельєфу і відносної опорної поверхні порівняно із спрацьованим кругом. В отриманих даних важливим є те, що за рахунок технологічних режимів формування рельєфу можна створити опорну поверхню робочої поверхні абразивного круга ідентичну спрацьованому кругу (рис. 8А), у тому числі за рахунок збільшення кількості різальних кромek у режимі мікроруйнування зерен (рис. 8Б). Така відносна опорна поверхня дозволяє отримати мінімальну шорсткість оброблюваної поверхні при шліфуванні. Крива відносної опорної поверхні (рис. 8В) показує, що формування рельєфу абразивного круга з $h = 0,03$ мм приводить до більшої його розвиненості та пов'язане з макроруйнуванням зерен і зменшенням їх кількості на робочій поверхні круга. Така опорна поверхня забезпечуватиме високу різальну спроможність абразивного круга, але при цьому одержання шорсткості оброблюваної поверхні при шліфуванні ускладнюється й вимагатиме більшого часу на обробку. Ці результати отримано за сприяння спеціалістів з Магдебурзького університету.

Рис. 8. 3D модель топографії рельєфу робочої поверхні абразивного круга

Закономірності зміни рельєфу та опорної поверхні абразивних кругів залежно від умов його формування відповідно впливають на шорсткість оброблюваної поверхні при шліфуванні (рис. 9).

За однакової кількості виходжування менша шорсткість оброблюваної поверхні досягається при формуванні рельєфу абразивного круга малими поперечними подачами алмазного інструменту, що забезпечує мікроруйнування його зерен та більшу відносну опорну поверхню круга.

Рис. 9. Утворення шорсткості обробленої поверхні при шліфуванні без виходжування

Аналіз абразивного шламу показав, що процес формування рельєфу протікає в основному шляхом крихкого мікроруйнування зерен, що викликає утворення нових різальних елементів на робочій поверхні абразивного круга.

Проведеними експериментальними дослідженнями підтверджено можливості формування спрямованого рельєфу та опорної поверхні абразивного круга залежно від вимог процесу шліфування. Встановлені закономірності формування рельєфу та опорної поверхні абразивних кругів рекомендуються також для створення передумов поєднання чорнового і чистового шліфування в одну технологічну операцію.

Розділ V. Проведено комплексний теоретичний аналіз результатів дії технологічних умов формування рельєфу й опорної поверхні абразивного круга на якісні параметри шліфованої поверхні.

Під дією сили різання в зоні контакту „абразивний круг – оброблювана заготовка” відбуваються пружні та пластичні деформації, що призводить до зміни шорсткості оброблюваної поверхні, яка визначається з геометричної схеми її утворення.

Для виявлення позитивних ефектів від примусового керування ступенем руйнування на опорній поверхні абразивного круга проведено теоретичні дослідження закономірностей проходження пружних та пластичних дефо-

рмацій у зоні контакту „абразивний круг – оброблювана заготовка”, які мають вплив на утворення шорсткості оброблюваної поверхні в процесі шліфування.

На основі прийнятих припущень – кривина абразивного круга і заготовки не змінюється уздовж лінії контакту; контактуючі тіла розташовані на жорстких опорах; зближення абразивного круга і заготовки відбувається поступовим переміщенням – встановлено закономірності утворення пружних деформацій на поверхні оброблюваної заготовки у процесі шліфування

$$\delta_o = \frac{P_y}{\pi E_2 B} \left[2(1 - \mu_2^2) \ln \frac{2R_o}{a(x)} - \mu_2(1 + \mu_2) \right], \quad (10)$$

де P_y/B – навантаження по довжині лінійного контакту абразивного круга з оброблюваною заготовкою; R_o – радіус оброблюваної заготовки; E_2 та μ_2 – відповідно, модуль пружності та коефіцієнт Пуасона матеріалу оброблюваної заготовки; $a(x)$ – ширини контактної напівплощини.

Різальна кромка зерна абразивного круга при зрізанні металу утворює зріз з навалами, причиною яких є пластичне відтиснення металу по боках зрізу. Ступінь пластичних деформацій і величина навалів залежать від властивостей оброблюваного матеріалу, геометрії різальних кромки абразивних зерен та глибини їх різання

$$\delta_n = 6,25 \cdot 10^{-2} \left(1 - \frac{2\tau_0}{\sigma_m} \right) \left[\frac{2S_n V_o l_s}{\pi V_k d} + \rho_s \left(1 - \frac{2\tau_0}{\sigma_m} \right) \right], \quad (11)$$

де ρ_s – радіус заокруглення різальної кромки абразивного зерна; τ_0 – границя міцності на зсув оброблюваного матеріалу; σ_m – границя текучості оброблюваного матеріалу; S_n – поздовжня подача при шліфуванні; V_o – швидкість заготовки; V_k – швидкість круга; l_s – відстань між абразивними зернами; d – діаметр заготовки.

Встановлено, що режим мікроруйнування абразивних зерен при формуванні різального рельєфу та питомої відносної опорної поверхні круга, який забезпечує зменшення радіуса при вершині абразивного зерна, визначає менший ступінь деформації оброблюваної поверхні, у тому числі висоту навалів при шліфуванні, і позитивно впливає на утворення її шорсткості (рис. 10 і 11, Сталь 45).

Оскільки формування рельєфу абразивного круга в режимі крихкого руйнування його поверхневого шару сприяє зменшенню радіуса при вершині абразивного зерна на опорній поверхні, тому знижуються радіальні складові сили різання та товщини пластично деформованого шару під обробленою поверхнею, що визначається за залежністю

$$\alpha_{nl} = \sqrt{\frac{P - P_S}{2,3\pi g^2 \left(\frac{\gamma_k}{2}\right) \sigma_T}}, \quad (12)$$

де P та P_S – радіальна складова сили різання на абразивному зерні та сила, яка відповідає початку проходження пластичної деформації, γ_k – кут при вершині кристалу алмаза.

Рис. 10. Вплив радіуса при вершині абразивного зерна (ρ_3) на пружну деформацію (δ_d) оброблюваної поверхні при: $t = 0,01$ мм; $S_{II} = 10$ мм/об; $V_D = 30$ м/хв.; 1 – $V_K = 30$ м/с; 2 – $V_K = 80$ м/с

Рис. 11. Вплив радіуса при вершині абразивного зерна (ρ_3) на пластичну деформацію (δ_n) оброблюваної поверхні при: $t = 0,01$ мм; $S_{II} = 10$ мм/об; $V_D = 30$ м/хв.; 1 – $V_K = 80$ м/с; 2 – $V_K = 30$ м/с

Для розрахунку радіальної складової сили різання на абразивному зерні

запропоновано залежність

$$P = 1,2\pi\sigma_r(2r_1a_z - a_z^2) \times \left(1 + 4\mu_2 \left(\frac{2r_1}{a_z} - 1 \right)^{1/2} \right), \quad (13)$$

де a_z – товщина мікрорізання абразивним зерном.

Наведена методика розрахунку товщини наклепаного шару оброблюваної поверхні дозволяє спрогнозувати її розмір (рис. 12) та визначити технологічні режими шліфування деталей різного призначення.

Рис.12. Вплив глибини шліфування та радіуса при вершині абразивного зерна на товщину пластично-деформованого шару сталі 18X2H4BA: 1– $\rho_3 = 0,075$ мм; 2 – $\rho_3 = 0,125$ мм

При моделюванні напружено-деформованого стану системи „абразивний круг–оброблювана заготовка” за сприяння професора Я. Кундрака використано сучасний пакет прикладних програм для методу скінченних елементів типу „Third Wave AdvantEdge”, що дозволило в умовах, максимально наближених до реальних, оцінювати вплив глибини шліфування та радіуса при вершині абразивного зерна на напружено-деформований стан поверхнього шару (рис. 13). Як видно з наведених результатів моделювання (рис. 13), при різанні із загостреним інструментом (аналогічно мінімальному радіусу при вершині абразивного зерна) забезпечуються менша глибина розповсюдження напружень та товщина пластично-деформованого шару, ніж при великому радіусі при вершині. Порівняльний аналіз показав, що запропоновані теоретичні закономірності можуть бути використані для прогнозування результатів шліфування.

Порівняння отриманих теоретичних залежностей (11) і (12) з експериментальними графіками, що наведені в спеціальній літературі, показали збіжність результатів з різницею не більше як на 12%-15%. Таким чином, вста-

новлено можливість залежно від поставленої мети передбачати технологічні умови формування рельєфу й опорної поверхні абразивних кругів та процесу шліфування з метою створення під оброблюваною поверхнею пластично-деформованого шару певної товщини, або визначати мінімальний припуск, який необхідно залишити на чистове шліфування.

Рис. 13. Розповсюдження напружень при утворенні пластично-деформованого шару під обробленою поверхнею при шліфуванні

Дослідження показали, що для збільшення стійкості рельєфу та зменшення витрат абразивних кругів, пов'язаних з періодичністю формування рельєфу, при шліфуванні доцільно підвищувати швидкість кругів.

Однак підвищення швидкості абразивного круга викликає збільшення діаметрального зазора між шпинделем шліфувального верстата та кругом на величину c

$$c = 7,85 \cdot 10^{-6} \frac{R_k \gamma_k \omega_k^2}{2gE} \left[(3 + \mu_k) R_k^2 + (1 - \mu_k) r_k^2 \right], \quad (14)$$

де ω_k – кутова швидкість абразивного круга; E та μ_k – відповідно, модуль пружності і коефіцієнт Пуасона матеріалу абразивного круга; R_k і r_k – зовнішній радіус і радіус посадочного отвору абразивного круга; γ_k – густина матеріалу абразивного круга.

Встановлено, що діаметральний зазор між кругом і шпинделем верстата можна обмежувати, якщо на стінці посадочного отвору круга створити попередні компенсуючі напруження стиску ($\sigma_{об}$) за рахунок обтискання металевим ободом

$$\sigma_{id} = \frac{\gamma_k v_k^2}{8g} \left((3 + \mu_k) + (1 - \mu_k) k_k \right) \frac{r_o^2 - r_k^2}{r_o^2}, \quad (15)$$

де r_o – радіус рівня закріплення обода; k_k – співвідношення R_k/r_k .

Розроблено конструкцію круга, яка при встановленні металевого обода на рівні притискних шайб забезпечує обмеження величини зазора між шпинделем верстата та посадочним отвором шліфувального круга, зниження напружень розтягу в 2,35 раза, що сприяє підвищенню стійкості рельєфу опорної поверхні, розривної швидкості абразивних кругів у 1,52 раза і дозволяє застосовувати їх на існуючому технологічному устаткуванні.

Розділ VI. Розглядаються теоретичні питання з кінематики та визначення режимів процесу попереднього формування профілю абразивних кругів перед встановленням їх на шліфувальні верстати. При попередньому формуванні профілю абразивних кругів відокремлюється значний шар абразивно-керамічного матеріалу. В таких умовах застосування методу точіння не є ефективним через великі витрати алмазних інструментів і невисоку продуктивність процесу. З огляду на це процес доцільно виконувати методом шліфування алмазними кругами. Процес попереднього формування профілю абразивного круга відбувається при великих ударних навантаженнях. У цьому випадку рельєф алмазного круга з упорядкованим розташуванням орієнтованих відносно зовнішньої його робочої поверхні зерен сприяє збільшенню величини відносної опорної поверхні за рахунок технологічних методів і стабілізації процесу формування профілю абразивного круга. Розроблені методи і конструкції інструментів передбачають примусове упорядкування опорної поверхні рельєфу для забезпечення рівнозначних умов різання для кожного алмазного зерна та всього інструменту загалом. Геометричні параметри рельєфу таких інструментів проектуються з урахуванням кінематики процесу формування профілю абразивного круга та основних закономірностей крихкого руйнування його поверхневого шару. За основну геометричну характеристику рельєфу таких інструментів прийнято відстань між алмазними зернами в напрямку швидкості різання. При виборі відстані між алмазними зернами l_z на робочій поверхні алмазного інструмента основною умовою приймається співвідношення між кінематичною глибиною взаємодії h_z та критичної $h_k - h_z < h_k$. У цьому випадку видалення шару з робочої поверхні абразивного круга відбувається мікроруйнуванням зерен, що сприяє зменшенню як витрат на формування його рельєфу при шліфуванні, так і збільшенню величини відносної опорної поверхні для надійного закріплення металевого обода на маточині абразивного круга для швидкісного шліфування.

Виходячи з умови забезпечення мікроруйнування абразивних зерен, що визначається співвідношенням між критичною h_k (7) і глибиною взаємодії алмазного зерна з абразивним при профілюванні круга методом шліфування

$$\frac{9(r_1 + r_2)P_K}{8\pi r_1 r_2 \sigma_K} > \frac{24 V_K l_3}{V_I R_K \varphi_1 + V_K l_3}. \quad (16)$$

Відстань l_3 між алмазними зернами обчислюємо як

$$l_3 < \frac{V_I P_K \varphi_1}{V_K \left(\frac{8\pi r_1 r_2 h_k \sigma_K}{9(r_1 + r_2) P_K} - 1 \right)}, \quad (17)$$

де φ_1 – кут контакту абразивного круга з алмазним кругом; V_i – швидкість алмазного круга.

- Рис.14. Технологічна схема виготовлення алмазних інструментів з орієнтуванням зерен по зовнішній поверхні робочого шару:
- I – нанесення клейової плівки на робочу поверхню форми; II – установка і закріплення екрана - програмоносія; III – розташування алмазних зерен; IV – формування алмазоносного каркаса; V – з'єднання алмазоносного каркаса з несучим корпусом; VI – видалення і доводка інструменту.
 - 1 – робоча форма; 2 – клейова плівка; 3 – екран; 4 – алмазне зерно; 5 – зв'язка; 6 – корпус; 7 – проміжний шар

Для цього розроблена спеціальна технологія виготовлення (рис. 14) алмазних кругів. Запропонована технологія забезпечує розташування вершин алмазних зерен на однаковій відстані від осі обертання інструменту, що дозволяє стабілізувати величину питомої відносної опорної поверхні по товщині алмазоносного шару та шорсткість оброблюваної поверхні.

При обробці інших матеріалів, які не чинять абразивної дії і не сприяють самозагостренню інструменту (при обробці полімерних матеріалів), розвинутий рельєф забезпечується виступанням вершин різальних елементів відносно рівня зв'язки. Конструкція таких інструментів передбачає примусове зменшення тертя зв'язки інструмента з оброблюваним матеріалом, що є основним шляхом зниження сили та температури різання і позитивного впливу на вихідні параметри процесу обробки.

Розділ VII. Присвячений створенню технологічних можливостей використання отриманих рекомендацій з формування рельєфу абразивних кругів та їх опорної поверхні на операціях шліфування. Подано результати промислових випробувань і впроваджень у виробництво.

Для визначення впливу технологічних режимів формування різального рельєфу та опорної поверхні абразивного круга на шорсткість оброблюваної поверхні отримано залежність, за якою встановлено вплив комплексних параметрів процесу шліфування на шорсткість

$$Rz_B = \xi^{\frac{n(B-1)}{S_n}} \left\{ 0,77 \left(\frac{V_\theta I_3}{V_\kappa} \sqrt{\frac{t(D+d)}{Dd}} + \frac{1}{\pi} \left(\frac{V_\theta}{V_\kappa} \pm 1 \right) \sqrt{\frac{tDd}{D+d}} \left[\frac{S}{d} + \frac{S_n}{D} \right] \left(tg \left(90 - \frac{\gamma_\kappa}{2} \right) \right)^{-1} \right) + \right. \\ \left. + \frac{P_y}{\pi E_2 B} \left[2(1 - \mu_2^2) \ln \frac{d}{a(x)} - \mu_2(1 + \mu_2) \right] + \right. \\ \left. + 6,25 \cdot 10^{-2} \left(1 - \frac{2\tau_0}{\sigma_m} \right) \left[\frac{4S_n V_\theta I_3}{\pi V_\kappa d} + \rho_s \left(1 - \frac{2\tau_0}{\sigma_m} \right) \right] + \frac{\Delta P_{zn} [E_2(1 - \mu_1^2) + E_1(1 - \mu_2^2)]}{\pi \rho_\kappa E_1 E_2 \sqrt{T_2^2 \omega^2 + (1 - T_1^2 \omega^2)^2}} \right\}, \quad (18)$$

де B – товщина абразивного круга; n – кількість виходжувань при шліфуванні; t – глибина шліфування; D – діаметр круга; S – поздовжня подача при формуванні рельєфу круга; T_1 – інерційна постійна часу; T_2 – постійна часу демпфування; ω – частота вимушених коливань; ξ – коефіцієнт виходжування; E_1 та μ_1 – відповідно, модуль пружності та коефіцієнт Пуасона зв'язки абразивного круга; $\Delta P_{zn} = (0,15-0,20)P$.

Звичайно, ця залежність носить детермінований характер, але за відсутністю стохастичних закономірностей, які враховували б вплив комплексу параметрів процесу шліфування, у тому числі режимів формування різального рельєфу на шорсткість оброблюваної поверхні, вона дозволяє оцінити внесок складових умов шліфування на шорсткість.

З виразу (18) можна встановити, що на шорсткість при шліфуванні мають вплив відстані між різальними елементами на опорні поверхні абразивного круга, які визначаються поздовжньою подачею S алмазного інструмента при формуванні рельєфу та розміром між зернами I_3 . Тому режим мікро-руйнування зерен при формуванні різального рельєфу абразивного круга,

який сприяє збереженню їх на робочій поверхні круга та утворенню нових різальних елементів, призводить до збільшення відносної опорної поверхні круга та зменшення шорсткості оброблюваної поверхні на чистових операціях шліфування. Величину поздовжньої подачі визначаємо з умов неперервності процесу $-s = 2\sqrt{2r_2h - h^2}$.

При стабілізації процесу шліфування виникає проблема визначення періодичності виконання процесу формування рельєфу абразивного круга. Таку періодичність рекомендується прийняти залежно від стійкості робочої поверхні абразивного круга в забезпеченні як якості оброблюваної поверхні, так і продуктивності процесу шліфування. Але період стійкості роботи абразивних кругів залежить від інтенсивності зрізання припуску. Тому періодичність виконання операції формування рельєфу абразивного круга визначається за рівняннями основного часу на обробку і періоду стійкості абразивного круга та рекомендується розрахувати за виразом

$$P_n = \frac{C_m S_n t V_o}{\pi L d H}, \quad (19)$$

де C_m – період стійкості абразивного круга; L – довжина оброблюваної заготовки; H – товщина припуску.

За основу визначення умов шліфування приймається собівартість як функція від стійкості круга та швидкості зрізання припуску.

Розроблені нами рекомендації з технологічних режимів процесу формування рельєфу кругів і шліфування заготовок деталей оснащення та обладнання впроваджено на інструментальному виробництві ВАТ “Мікроприлад” (м. Львів), „Львівський завод фрезерних верстатів” (м. Львів). Ефективність та підвищення продуктивності процесу шліфування досягнуто за рахунок обмеження глибини формування рельєфу та кількості виходжувань при забезпеченні необхідної шорсткості оброблюваної поверхні, скорочення витрат абразивних кругів та алмазного інструмента на цій операції.

Рекомендації з формування рельєфу абразивних кругів і режимів шліфування впроваджено на підприємстві “Індустрія” (м. Львів) у технологічному процесі виробництва промислових кранів дискових DN32, DN50, DN80. Це дозволило скоротити загальний час на обробку заготовок опорних кришок на 35%.

У виробничих умовах Московського абразивного заводу було проведено випробування на операції розмірної обробки торцевих поверхонь тонкостінних абразивних кругів на керамічній зв'язці. Втрати внаслідок руйнувань на операції обробки торцевих поверхонь тонкостінних абразивних кругів твердості СТ2 запропонованими інструментами знижувалися від 40 до 0,5% за рахунок оптимального проектування конструктивних параметрів алмазного шару інструментів і забезпечення їх безперервного самозагострення.

Проведені випробування алмазних відрізних кругів діаметром 315 мм із синтетичних полікристалів АРСЗ (а.с. 1828800, 1602722) на операції різання брикетів фрикційних накладок показали, що напрацювання нового алмазного відрізного круга досягало 100...140 тис. штук накладок, що в 1,3...1,5 раза більше аналогічного показника серійних інструментів. Конструкція алмазного відрізного круга і технологія його виготовлення впроваджена на заводі азбестових технічних виробів (м. Біла Церква).

Алмазні інструменти з відкритою структурою та орієнтацією вершин упорядкованих різальних зерен по зовнішній поверхні робочого шару (а.с. 1814865, 1834167) пройшли промислові випробування і впроваджені на Виноградівській взуттєвій фабриці на операції шорсткування підошви взуття. Ефект від експлуатації таких інструментів досягається за рахунок підвищення продуктивності обробки, створення однорідності шорсткості поверхні і підвищення якості виготовлення продукції.

Впровадження результатів досліджень тривають.

За результатами досліджень у роботі наведено розрахунок технологічних параметрів процесу формування різального рельєфу абразивних кругів методом точіння для напівчистового і чистового шліфування.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню науково-практичної задачі розробки теоретико-технологічних основ формування різального рельєфу абразивних кругів методом точіння однокристальним алмазним інструментом на основі встановлених закономірностей керування крихким руйнуванням їх робочої поверхні, а також технологічних способів виготовлення алмазних кругів. У процесі досліджень зроблено наступні висновки:

1. На основі запропонованої моделі формування рельєфу робочої поверхні абразивних кругів з урахуванням динамічних особливостей руйнування абразивних зерен при ударному контактуванні з алмазним інструментом встановлено можливість прогнозування та регулювання заданої мікрогеометрії обробленої поверхні деталі шляхом спрямованого формування параметрів опорної поверхні кругів у режимах крихкого мікро- і макроруйнування.

2. Встановлені закономірності впливу динаміки процесу формування рельєфу на напружений стан системи "зерно – зв'язка" показали, що керування характером руйнування робочої поверхні абразивного круга можливо концентрацією ударного навантаження в межах абразивних зерен або передачею її до зв'язки круга. Найбільш розвинутого рельєфу на робочій поверхні абразивного круга можна досягти за умови передачі сили співударяння абразивного зерна і кристала алмаза менш міцній ланці – зв'язці. Це забезпечує мініма-

льну величину відносної опорної поверхні абразивного круга та рекомендується для чорнового шліфування, де основною вимогою є досягнення високої продуктивності зрізання припуску з поверхні заготовки, що, однак, не дозволяє досягти високої точності і низької шорсткості оброблюваної поверхні.

3. На основі аналітичних розрахунків і 3D-моделювання напружено-деформованого стану системи "зерно – зв'язка" з урахуванням основної динамічної характеристики – контактної міцності матеріалу абразивних зерен і встановлених закономірностей їх крихкого руйнування – обґрунтовано шляхи регулювання характеристик рельєфу робочої поверхні круга та його відносної опорної поверхні за рахунок спрямованої ударно = силової дії на систему "зерно – зв'язка" і керування переміщенням полюса руйнування по висоті абразивних зерен.

4. Встановлено, що критерієм мікроруйнування абразивних зерен є еквівалентні напруження на периферії поверхні контакту „кристал алмаза – абразивне зерно”, порогові значення яких пов'язані з границею міцності матеріалу зерна на розтяг. Критерієм макроруйнування абразивних зерен є максимальні нормальні напруження в полюсі руйнування, порогові значення яких пов'язані з контактною міцністю матеріалу зерна.

5. Аналітичним методом досліджено взаємозв'язок величини контактних напружень у системі "кристал алмаза – абразивне зерно" з технологічними умовами формування різального рельєфу абразивних кругів, що дозволило встановити діапазони поперечної подачі алмазного інструменту для керування ступенем мікроруйнування абразивних зерен і параметрами відносної опорної поверхні кругів на операціях напівчистового і чистового шліфування.

6. Визначено технологічні умови формування різального рельєфу абразивних кругів з урахуванням їх твердості і зернистості, а також геометричних параметрів кристала алмаза інструмента. Отримані закономірності дають можливість створити швидкий і стійкий налагоджувальний процес керування відносною опорною поверхнею різального рельєфу абразивних кругів за рахунок технологічних параметрів його формування. У цьому є також одна з основних передумов об'єднання напівчистового і чистового шліфування в одну технологічну операцію, що скорочує витрати на процес шліфування.

7. Аналітичним методом встановлено позитивний вплив режиму мікроруйнування зерен на формування різального рельєфу абразивних кругів, що сприяє зменшенню питомої опорної поверхні та радіуса при вершині зерен, а також на якісні показники оброблюваної поверхні при звичайному і швидкісному шліфуванні. Зменшення радіуса при вершині абразивного зерна, наприклад удвічі, сприяє зниженню пластичної деформації оброблюваної по-

верхні в $1,5 \div 1,2$ рази та товщини пластично = деформованого шару в $1,8 \div 2$ рази.

8. Встановлено, що збільшення швидкості абразивних кругів сприяє підвищенню періоду стійкості їх різального рельєфу та зниженню витрат, пов'язаних як зі шліфуванням, так і з формуванням рельєфу. Тому встановлено можливість обмеження зазора між шпинделем шліфувального верстата і посадочним отвором круга, що зменшує вібрації в технологічній системі та підвищує стійкість рельєфу круга і надійність процесу шліфування.

9. На основі проведених теоретичних і експериментальних досліджень, у тому числі лазерного сканування робочої поверхні кругів, підтверджено можливість керування опорною поверхнею абразивних кругів при формуванні їх різального рельєфу та запропоновано технологічні режими процесу і періодичності його виконання на операціях напівчистового і чистового шліфування. Встановлені режими при формуванні рельєфу абразивних кругів твердістю вище СМ2 та зернистістю 16...40 методом точіння однокристалним інструментом з розмірами кристала алмаза $0,2 \dots 1,0$ мм.

10. Розроблено метод керування рельєфом та опорною поверхнею на етапі виготовлення одношарових алмазних кругів, конструкції і технологія їх виробництва для попереднього профілювання абразивних кругів. Розроблено конструкції алмазних кругів для обробки полімерних матеріалів. Застосування таких інструментів забезпечує підвищення продуктивності процесу шліфування в $1,2 \dots 1,9$ рази, зменшення витрат в $1,5 \dots 2$ рази, що сприяє зниженню собівартості виготовлення деталей.

11. Технологічні режими процесу формування рельєфу абразивних кругів, конструкції алмазних інструментів і технологія їх виробництва впроваджені у виробництво із загальним економічним ефектом 200 тис. грн., і в навчальний процес зі спеціальності 8.090202 Української академії друкарства.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Шахбазов Я.О. Керування робочою поверхнею шліфувальних кругів. – Львів: Фенікс, 1998. – 136 с.

2. Виксман Е.С., Шахбазов Я.А., Антоник М.С., Гринев В.Ф. Инструменты для обработки и правки шлифовальных кругов // Станки и инструменты. – М., 1989. – N 6. – С. 38. Здобувачем розроблено конструктивні параметри робочого шару алмазного інструмента, досліджено шорсткість і точність обробки.

3. Виксман Е.С., Шахбазов Я.А., Антоник М.С., Глибовецкий Б.Е. Инструменты для профилирования шлифовальных кругов // Машиностроитель.

– М., 1989. – № 5. – С. 37. Здобувачем розроблено технологію виготовлення алмазного інструменту і практичні рекомендації.

4. Виксман Е.С., Шахбазов Я.А., Антоник М.С. Инструменты из синтетических алмазов для обработки шлифовальных кругов // Сверхтвердые материалы. – К., 1990. – № 4. – С. 47–49. Здобувачем розроблено режимні параметри експлуатації алмазного інструменту, проаналізовано й узагальнено результати.

5. Морозов В.А., Шахбазов Я.А., Антоник М.С. Алмазные отрезные круги с программированным расположением зерен // Автомобильная промышленность. – М., 1992. – С. 25–26. Здобувачем розроблено метод і технологію формування рельєфу робочої поверхні відрізного круга.

6. Шахбазов Я.О. Фізичні параметри процесу руйнування абразивних зерен при правленні алмазним інструментом // Машинознавство. – Львів, 1997. – № 4. – С. 14–16.

7. Шахбазов Я.О. Динамічні переміщення в системі „абразивне зерно-зв'язка” абразивного шліфувального круга на керамічній зв'язці при правленні алмазним інструментом // Машинознавство. – Львів, 1998. – № 8. – С. 36–37.

8. Шахбазов Я.О. Обработка фрикционных гальмівних накладок транспортных засобів // Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів: Асоціація „Автобус” Мінпромполітики України. – Львів, 1998. – № 1. – С. 110–111.

9. Шахбазов Я.О. Стійкість зв'язки абразивного шліфувального круга при правленні алмазним інструментом // Машинознавство. – Львів, 1998. – № 7. – С. 38–39.

10. Шахбазов Я.О., Морзов В.О., Ничкало В.С. Забезпечення точності та шорсткості при шліфуванні профільної поверхні фрикційних гальмівних накладок транспортних засобів // Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів: Асоціація „Автобус” Мінпромполітики України. – Львів. – 1999. – № 2. – С. 104–105. Здобувачем запропоновано конструкцію робочої поверхні алмазного круга, проведено промислові випробування.

11. Шахбазов Я.О., Ничкало В.С. Закономірності впливу пружних та пластичних деформацій на шорсткість шліфованої поверхні // Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів: Асоціація „Автобус” Мінпромполітики України. – Львів, 2000. – № 4. – С. 108–111. Здобувачем сформульовано задачу досліджень, проведено теоретичні дослідження.

12. Шахбазов Я.О., Ничкало В.С. Технологічне забезпечення процесу попереднього шліфування // Машинознавство. – Львів, 2000. – № 6/7. – С. 46-

48. Здобувачем зроблено теоретичні обґрунтування щодо вибору режимів формування робочої поверхні абразивного круга.

13. Шахбазов Я.О., Ничкало В.С. Обробка деталей шліфуванням за параметром шорсткості обробленої поверхні // Укр. міжвідомчий наук.-техн. зб.: Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – Львів, 2000. – № 35. – С. 55–58. Здобувачем розроблено методологію досліджень, дано висновки і практичні рекомендації.

14. Шахбазов Я.О., Ничкало В.С. Технологічні можливості підвищення якості обробки валиків фарбового апарата // Наукові записки Української академії друкарства. – 2000. – № 2. – С. 6-7. Здобувачем проведено аналіз, дано висновки і практичні рекомендації.

15. Шахбазов Я.О. Технологічне забезпечення процесу швидкісного шліфування абразивними кругами // Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів: Асоціація „Автобус” Мінпромполітики України. – Львів, 2000. – № 3. – С. 116 – 118.

16. Шахбазов Я.О. Шліфування з правкою абразивного круга за параметром шорсткості шліфованої поверхні деталі // Вісн. Національного ун-ту "Львівська політехніка": Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні і приладобудуванні. – Львів, 2000. – № 394. – С. 32 – 34.

17. Шахбазов Я.О. Технологічна спадковість утворення шорсткості при викінчувальному шліфуванні абразивними кругами // Вісн. Національного ун-ту "Львівська політехніка": Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні і приладобудуванні. – Львів, 2001. – № 422. – С. 42 – 45.

18. Шахбазов Я.О., Ничкало В. С., Чаплінський Д. О. Технологічні можливості підвищення швидкості шліфування абразивними кругами // Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів: Асоціація „Автобус” Мінпромполітики України. – Львів, 2001. – № 5. – С. 146 – 148. Здобувачем розроблено методологію підвищення розривної міцності абразивних кругів на керамічній зв'язці.

19. Шахбазов Я.О. Технологічні умови формування шорсткості обробленої поверхні при шліфуванні // Вісн. Національного ун-ту "Львівська політехніка": Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні і приладобудуванні. – Львів, 2002. – № 442. – С. 74 – 77.

20. Шахбазов Я.О. Визначення величини пластичної деформації оброблюваної поверхні при шліфуванні // Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів: Асоціація „Автобус” Мінпромполітики України. – Львів, 2002. – № 6. – С. 178 – 181.

21. Шахбазов Я.О., Ничкало В. С., Чаплінський Д. О. Інструментальне забезпечення швидкісного шліфування // *Машинознавство*. – Львів, – 2002. – № 5. – С. 53 – 55. Здобувачем запропоновано методологію розробки конструкції швидкісних абразивних кругів.

22. Шахбазов Я.О. Закономірності утворення шорсткості обробленої поверхні у процесі шліфування абразивними кругами // *Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів: Асоціація „Автобус”* Мінпромполітики України. – Львів, 2003. – № 7. – С. 175 – 178.

23. Шахбазов Я.О. Визначення шорсткості обробленої поверхні при шліфуванні абразивними кругами // *Вісн. Національного ун-ту „Львівська політехніка”*: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні і приладобудуванні. – Львів, 2003. – № 480. – С.132 - 136.

24. Шахбазов Я.О. Аналіз механізму спрямованого упорядкування робочої поверхні абразивних шліфувальних кругів з позиції забезпечення шорсткості шліфованої поверхні // *Резание и инструмент в технологических системах*. – Х.: НТУ „ХП”, 2004. – Вып. 66. – С. 223 – 228.

25. Шахбазов Я.О. Визначення товщини пластично – деформованого шару обробленої поверхні при шліфуванні // *Високі технології в машинобудуванні*. – Х.: НТУ „ХП”. – 2004. – № 1. – С. 189 – 193.

26. Шахбазов Я.О. Технологічні можливості зниження амплітуди коливань технологічної системи шліфування // *Вісн. Національного ун-ту „Львівська політехніка”*. Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні і приладобудуванні. – Львів, 2004. – № 515. – С. 51 – 54.

27. Чаплінський О.Д., Шахбазов Я.О., Чаплінський Д.О. Технологія класифікації тонкоподрібнених порошкових матеріалів з використанням енергії електростатичних полів // *Машинознавство*. – Львів, 2004. – № 2. – С. 52 – 54. Здобувачем запропоновано технологічні схеми класифікації абразивних матеріалів.

28. Шахбазов Я.О. Аналіз механізму утворення та прогнозування шорсткості обробленої поверхні деталей при круглому шліфуванні// *Резание и инструмент в технологических системах*. – Х.: НТУ „ХП”. –2005. – Вып. 69. – С. 365 – 372.

29. А.с. 1602722 СССР, МКИ В 24 D 5/00, 3/06. Абразивный инструмент /Я.А. Шахбазов, В.Ф. Гринев, М.М. Грона, В.Д. Алексаян. Оpubл. 30.10.90. – Бюл. N 40. – 1990. – 4 с. Здобувачем запропоновано склад зв'язки алмазного інструменту.

30. А.с. 1814865 СССР, МКИ А 43 D 37/00. Инструмент для взерошивания и шлифования деталей обуви /Я.А. Шахбазов, В.Ф. Гринев, М.М. Грона, В.Н. Деври, Ю.Л. Полищук. Оpubл. 15.05.93. – Бюл. N 18. – 1992. – 2 с. Здо-

бувачем розроблено конструкцію інструменту та технологію формування робочого шару.

31. А.с. 1828800 СССР, МКИ В 24 D 5/10. Алмазный отрезной круг /В.Ф. Гринев, М.М. Грона, Б.Д. Матвеев, И.О. Стыранкевич, Я.А. Шахбазов. Опубл. 23.07.93. – Бюл. N 27. – 1992. – 2 с. Здобувачем розроблено конструктивні параметри робочого шару інструменту.

32. А.с. 1834167 СССР, МКИ В 24 D 17/00. Способ изготовления абразивного инструмента /Я.А. Шахбазов, В.Ф. Гринев, М.М. Грона. – 1992. – 3 с. Здобувачем запропоновано склад зв'язок ы послідовність їх нанесення на робочу поверхню алмазного інструменту.

33. Шахбазов Я.А., Гринев В.Ф., Грона М.М., Матвеев Б.Д. Инструменты из СТМ и ресурсосбережение при обработке низкоабразивных материалов //Сверхтвердые материалы и инструменты в ресурсосберегающих технологиях: Тезисы докл. Респуб. науч.-техн. конф.– К., 1989. – С. 38 – 40. Здобувачем виконано теоретичне обґрунтування вибору параметрів робочого шару інструменту, проведено випробування.

34. Шахбазов Я., Жук М., Гриньов В. Основы керування процесом шліфування // Тези допов. 3-го міжнар. симпоз. укр. інж - мех. – Львів, 1997. – С. 125 – 126. Здобувачем розроблено методологію призначення технологічних параметрів процесу шліфування.

35. Шахбазов Я.О., Ничкало В. С., Чаплінський Д. О. Инструментальне забезпечення швидкісного шліфування // Тези допов. 5-го міжнар. симп. укр. інж.-мех. – Львів, 2001. – С. 91 – 92. Здобувачем запропоновано методологію розробки конструкції швидкісних абразивних кругів.

36. Шахбазов Я.О. Керування процесом шліфування з позиції забезпечення шорсткості обробленої поверхні // Тези допов. МНТК “Динаміка наукових досліджень 2004”. – Дніпропетровськ: Наука і світ, 2004. – Т. 62. – С. 52 – 53.

37. Шахбазов Я.О. Аналіз механізму утворення та прогнозування шорсткості обробленої поверхні деталей при круглому шліфуванні// Тези доп. XIV між. наук.техн. семінару „Высокие технологии – тенденции развития”. Х. – Алушта: НТУ „ХПИ”. – 2005. – С. 142.

АНОТАЦІЇ

Шахбазов Я.А. Наукові і технологічні основи формування різального рельєфу шліфувальних кругів з метою підвищення ефективності обробки. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук із спеціальності 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструмен-

ти. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». –Харків, 2007.

Дисертація містить теоретичні й експериментальні дослідження з розробки наукових і технологічних основ формування різального рельєфу абразивних і алмазних шліфувальних кругів. Виявлено позитивний ефект впливу процесу мікроруйнування та макоруйнування абразивних зерен на параметри відносної опорної поверхні абразивного круга та, відповідно, на якість обробки чистового і продуктивність чорнового шліфування.

Встановлено доцільність керування рельєфом робочої поверхні на етапі проектування й виготовлення алмазних інструментів для попереднього профілювання абразивних кругів і шліфування полімерних матеріалів, що дозволяє стабілізувати параметри їх опорної поверхні, підвищити продуктивність обробки та надійність роботи інструмента.

Реалізація розроблених технічних рішень і рекомендацій для практичного застосування дозволяє підвищити ефективність процесу шліфування при обробці матеріалів з різними фізико – механічними властивостями.

Ключові слова: процес шліфування, процес формування рельєфу, абразивний круг, питома відносна опорна поверхня, алмазний інструмент, крихке руйнування, 3D-моделювання, лазерне сканування.

Шахбазов Я.А. Научные и технологические основы формирования режущего рельефа шлифовальных кругов с целью повышения эффективности обработки.– 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, 2007.

Диссертация содержит теоретические и экспериментальные исследования по разработке научных и технологических основ формирования режущего рельефа абразивных и алмазных шлифовальных кругов. На основе представления процесса в виде ударной контактной системы „кристалл алмаза – абразивное зерно – связка ”, с учетом контактной прочности абразивного зерна, исследованы особенности хрупкого разрушения рабочей поверхности абразивных кругов на керамической связке и их влияние на относительную опорную поверхность, что определяет качество и производительность процесса шлифования. На основе выявленных в результате теоретических исследований особенностей ударного разрушения, с применением основных положений контактно-волновой теории удара, установлены закономерности смещения связки абразивного круга в процессе формирования его режущего рельефа алмазным инструментом.

В соответствии с предложенной концепцией проектирования оптимальных параметров ударного взаимодействия системы „кристалл алмаза – абразивное зерно” разработаны теоретические основы процесса и впервые установлены технологические условия микро- и макроразрушения абразивных зерен, что определяет величину относительной опорной поверхности и степень развитости рельефа рабочей поверхности абразивного круга и пригодность его на разные операции шлифования.

Выявлен положительный эффект воздействия рельефа рабочей поверхности абразивного круга, сформированного в режиме микроразрушения абразивных зерен и повышения скорости шлифования, на качественные параметры обработанной поверхности заготовки.

Установлена целесообразность управления рельефом рабочей поверхности и, соответственно, относительной опорной поверхностью на этапе проектирования и изготовления алмазных инструментов для шлифования полимерных материалов, что позволяет стабилизировать выходные параметры процесса шлифования и повысить надежность работы инструмента.

Ключевые слова: процесс шлифования, процесс формирования рельефа, абразивный круг, удельная относительная опорная поверхность, алмазный инструмент, хрупкое разрушение, 3D-моделирование, лазерное сканирование.

Shakhbazov Ja.A. Scientific and technological bases of cutting relief forming of grinding wheels with the purpose to increase of treatment efficiency. – Manuscript.

The thesis for obtaining a scientific degree of Doctor of Technical Sciences, specialization 05.03.01 – machining processes, equipment and tools. – National Technical University “Kharkov Polytechnical Institute”. Kharkov, 2007.

The thesis contains theoretical and experimental researches in the field of development of scientific bases of polishing efficiency increasement by the management of grinding wheels’ working surface relief in the process of exploitation and multiplying of polishing speed by application of new constructions of speedy wheels. On the basis of presentation of process as a shock contact system „diamond crystal - an abrasive grain - a copula”, taking into account contact durability of abrasive grain, the features of fragile destruction of working surface of abrasive circles on a ceramic copula and their influence are tested on the relief relative supporting surface, that determines quality and productivity of polishing process.

There was found out the positive effect of influence of abrasive circle working surface relief, formed in the mode of micro-destruction of abrasives’ grains at the wheel correction by a diamond tool by the method of sharpening and increasement polishing speed, on the quality parameters of the treated surface of the

tool.

Expedience of working surface relief management is set on the stage of planing and making of diamond instruments, intended for polishing of polymeric materials, that allows to stabilize the initial parameters of polishing process and to promote reliability of instrument's work.

Keywords: grinding process, process of relief forming, abrasive wheel, specific relative supporting surface, diamond tool, fragile destruction, 3D-modelling, laser scanning.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'S. S. S.', located in the lower right quadrant of the page.