

ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

Добровольська Людмила Георгіївна

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЦЕСУ ПРАВКИ АЛМАЗНИХ ШЛІФУВАЛЬНИХ
КРУГІВ НА МЕТАЛЕВИХ ЗВ'ЯЗКАХ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ЛАЗЕРНОГО
ВИПРОМІНЮВАННЯ

05.03.01 - "Процеси механічної обробки, верстати та інструмент"

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 1996

ДВ 33.500а

Дисертацією в рукописі
Робота виконана на кафедрі
металорізальні верстати" Харківського
го університету

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00761565 (U)

Науковий керівник - кандидат фізико-математичних наук
Добротворський Сергій Семенович

Офіційні опоненти: професор, академік АІНУ та АНТКУ,
доктор технічних наук
Костюк Генадій Ігорович

кандидат технічних наук
Горелік Борис Володимирович

Провідна організація: Інститут надтвердих матеріалів НАН Ук-
раїни

Захист відбудеться "28" 12 1995 р. о 14 годині в
ауд. N 319 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 02.09.01
Харківського державного політехнічного університету за адресою:
310002, м.Харків-2, МСП, вул.Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківсь-
кого державного політехнічного університету.

Автореферат розісланий "24" 12 1995 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Узунян М.Д.

ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Для підвищення якості шліфування в гнучких виробничих модулях (ГВМ) найбільш перспективно використовувати алмазні шліфувальні круги на металевих зв'язках, які дозволяють обробляти матеріали з високим періодом стійкості. Однак їх використання стримується відсутністю ефективних засобів правки, придатних для автоматизації та встановлення в будову ГВМ. У зв'язку з цим, розробка нового засобу правки алмазних кругів на металевих зв'язках являє собою актуальну наукову проблему.

Мета роботи полягає в поширенні технологічних можливостей алмазного шліфування для інтеграції його в ГВМ шляхом гнучкого управління здібностями та параметрами робочої поверхні круга в процесі правки лазерним випромінюванням (ЛВ).

Задачі дисертаційної роботи.

1. Теоретично та експериментально дослідити фізико-хімічні механізми зруйнування поверхнього шару алмазних кругів на бронзових зв'язках під впливом імпульсного і безперервного ЛВ.
2. Визначити параметри ЛВ для здійснення процесу правки та управління здібностями круга.
3. Встановити взаємозв'язок параметрів ЛВ, режимів та схем з якістю та продуктивністю лазерної правки.
4. Дослідити вплив режимів лазерної правки на якість та сили різання при шліфуванні.
5. Виявити переваги лазерної правки порівняно з існуючими засобами, та можливості її для втілювання в ГВМ.

Використані методи досліджень. Для теоретичних досліджень використаний апарат математичної фізики та теорії теплопровід-

ження. Фізико-технічні дослідження здійснювали методами: оптичної та растрової електронної мікроскопії, рентгенівської фотоелектронної спектроскопії (РФЕС), рентгенівського флуоресцентного аналізу (РФА), рентгеноструктурного аналізу, рентгенівської тензометрії, профілографування, тензометрії.

Наукова новизна.

1. Запропоновано та вивчено новий технологічний процес правки алмазних кругів на бронзових зв'язках, в якому як інструмент для правки використовується імпульсне ЛВ ($\lambda=1,06$ мкм, $\tau=2 \times 10^{-7} \dots 4 \times 10^{-3}$ с).
2. Доведена можливість вибіркового вилучення бронзової зв'язки з міжзеренних просторів на робочій поверхні алмазного круга імпульсним ЛВ ($\lambda=1,06$ мкм, $\tau=2 \times 10^{-7} \dots 4 \times 10^{-3}$ с, $q=5 \times 10^6 \dots 5 \times 10^7$ Вт/м²).
3. Встановлено, що зруйнування поверхні бронзових зв'язок М2-01, М1-01 безперервним ($\lambda=1,06$ мкм) та імпульсним ($\lambda=1,06$ мкм, $\tau=2 \times 10^{-7} \dots 4 \times 10^{-3}$ с) випромінюванням в умовах навколишньої атмосфери обумовлено протіканням на ній термохімічних реакцій окислення, стимульованих ЛВ через різноманітні механізми в залежності від режиму роботи лазера, поряд з процесами плавлення та випаровування.
4. Одержані залежності для визначення глибини правки алмазних кругів з бронзовими зв'язками з врахуванням кумулятивної інтенсивності та впливу термохімічних реакцій.
5. Встановлено, що ЛВ ($\lambda=1,06$ мкм, $\tau=2 \times 10^{-7} \dots 4 \times 10^{-3}$ с, $q=5 \times 10^6 \dots 5 \times 10^7$ Вт/м²), веде до закалювання поверхні бронзових зв'язок М2-01, М1-01 шляхом фазових перетворень.
6. Встановлено, що імпульсне ЛВ ($\lambda=1,06$ мкм, $\tau=2 \times 10^{-7} \dots 4 \times 10^{-3}$ с, $q=5 \times 10^6 \dots 5 \times 10^7$ Вт/м²), формує в поверхньому шарі бронзових

зв'язок стислюючі макронапруження.

7. Встановлено, що на якість та продуктивність правки мають вплив щільність потужності q , тривалість τ , частота відбування f та шаг зміщення s імпульсів.

На захист виносяться основні положення:

1. При лазерній правці відбувається вибіркове зруйнування матеріалу бронзової зв'язки алмазних кругів ЛВ: $\lambda=1,06$ мкм, $\tau=2 \times 10^{-7} \dots 4 \times 10^{-3}$ с та $q=5 \times 10^6 \dots 5 \times 10^7$ Вт/м².
2. Для підвищення точності визначення глибини правки необхідно урахувати внески сусідніх імпульсів в кумулятивну інтенсивність ЛВ та вплив термохімічних реакцій на вбирання ЛВ.
3. В умовах навколишньої атмосфери основним механізмом зруйнування поверхні бронзових зв'язок при безперервному ($\lambda=1,06$ мкм), та імпульсному ($\lambda=1,06$ мкм, $\tau=2 \times 10^{-7} \dots 4 \times 10^{-3}$ с) випромінюванні ϵ : в діапазоні $q=10^6 \dots 10^7$ Вт/м² термохімічне окислення елементів матриці, причому, імпульсне ЛВ стимулює утворення SnO, SnO₂, а безперервне - CuO, Cu₂O; в діапазоні $q=10^7 \dots 5 \times 10^8$ Вт/м² - випаровування.
4. Імпульсне ($\lambda=1,06$ мкм, $\tau=2 \times 10^{-7} \dots 4 \times 10^{-3}$ с) ЛВ з $q=5 \times 10^6 \dots 5 \times 10^8$ Вт/м² веде до виникнення стислюючих макронапружень в поверхньому шарі бронзових зв'язок алмазних кругів, зростання яких обумовлено переходом частки основної α -фази Cu-Sn твердий розчин в β -фазу та з'явленням нових додаткових γ , δ , ϵ -фаз.
5. На формування рельєфу поверхні алмазного круга мають вплив режими ЛВ (q , τ , f , s) по встановленим залежностям, що дозволяє управляти якістю та продуктивністю шліфування.
6. Лазерна правка імпульсним випромінюванням ($\lambda=1,06$ мкм, $\tau=2 \times 10^{-7}$ с, $q=5 \times 10^6 \dots 10^7$ Вт/м²) підвищує якість шліфування по параметру Ra на 0.5...1 клас порівняно з електроерозійним методом.

Практична цінність роботи. Новий засіб лазерної правки не-збільшує термін служби інструменту в 1,5...1,7 разів, знижує продуктивне втрачання алмазу в 1,2...1,3 разів, підвищує працездатність кругів в 1,25 разів, дозволяє автоматизувати процес та гнучко керувати як здібностями круга, так і шліфуванням в цілому. При цьому підвищується якість обробки, досягається відновлення результатів правки, тобто шліфування, поширюються їх технологічні можливості, знижується застосування кругів на 1/4 за зміну та енерговитрати в 1,15 рази порівняно з електроерозійним засобом.

Реалізація результатів роботи. Дисертаційна робота виконана відповідно з темою, яка належить до комплексної науково-технічної програми, затвердженою постановою ДКНТ України N 52 (завдання 05.43.01/023-93 "Лазерна правка шліфувальних кругів з надтвердих матеріалів"), а також темами, які належать до комплексної цільової науково-технічної програми "Технологія-96", ствердженою міністерством машинобудування, військово-промислового комплексу та конверсії України від 10.03.93, розділ "Лазерна техніка та технологія" (п.3.17 - "Впровадження лазерних технологій правки та профілювання кругів з надтвердих матеріалів в ХНПО ФЕД, м. Харків", п.8.7 - "Розробка та організація виробництва лазерних технологічних комплексів для правки та профілювання кругів з надтвердих матеріалів").

Результати роботи впроваджено в Асоціації центрів інжиніринга та автоматизації (м.Санкт-Петербург) при здійсненні гнучкого багатоопераційного модуля шліфування з інтеграцією нового засобу лазерної правки в структуру наскрізного циклу проектування - виготовлення інтегрованої проектно-виробничої системи механообробки, що дозволило створити нову технологію шлі-

фудвання деталей складної форми (пера лопатки турбини) з важко-оброблюємої кераміки та скоротити цикл "проектування - виготовлення" в 1,7 раз, глибоко керувати шероховатістю шліфувально-го круга та деталей, що шліфуються.

Результати роботи також впроваджені у ХНДІТМ (м.Харків) під час виконання науково-дослідної роботи "Дослідження та оптимізація процесів автоматизованої фізико-механічної обробки в ГВМ", згідно з договором N 69933 від 1.01.87 при розробці гнучких модулів механообробки площинних деталей, твердосплавних наплавок та газотермічних покриттів відновлюваних валів роторів електричних турбін теплових електростанцій. Засіб дозволив підняти якість шліфування на 0,5...1 клас та продуктивність порівняно з технологією, яка існувала на підприємстві, у 1,5 разів. Сумарний економічний ефект в цінах 1990 року склав 167880 крб.

Апробація роботи. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідались на 3х Міжнародних: "Нові технології в машинобудуванні", м. Харків, 1992, 1993, 1994, 4х Всесоюзних: "Розробка та промислова реалізація нових механічних та фізико-хімічних засобів обробки", м. Москва, 1988, "Проблеми здійснення та впровадження гнучких виробничих та робототехнічних комплексів на підприємствах машинобудування", м. Одеса, 1989, "Використання лазерів у народному господарстві", м. Шатура, 1989, "Модифікація здібностей конструкційних матеріалів пучками заряджених частинок", м. Свердловськ, 1991, та 12ти наукових конференціях (Харків, Київ, Санкт-Петербург, Донецьк, 1989-1994).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи видано 26 публікацій, серед них 4 статті та 2 патенти.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку літератури та

додатків. Обсяг дисертаційної роботи складається з 122 сторінок основного машинописного тексту, 59 малюнків, 7 таблиць, 90 найменувань використаних джерел та 4 додатків. Загальний обсяг роботи - 200 сторінок.

ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ. Обгрунтовано актуальність роботи та сформульовано загальні положення, що винесені на захист, приведено наукову новизну та практичну цінність роботи.

В першому розділі дано аналіз існуючим засобам правки алмазних кругів на металевих зв'язках, розроблених та вивчених в роботах Беззубенка М.К., Грабченка А.І., Дорофєєва В.П., Захаренка І.Г., Коломійця В.В., Пахаліна Д.А., Покладія Г.Г., Раба О.Ф., Рижова Е.В., Семка М.Ф., Узуняна М.Д., Хімача О.В., та інших з точки зору використання їх в ГВМ, який показав, що механічним електрофізикохімічним та комбінованим засобам правки присутня обмеженість, яка зв'язана з нестабільністю відновлення ріжучої здатності круга, непродуктивною витратою алмазних зерен, виникаючими екологічними проблемами, та питаннями з техніки безпеки, а також з низькою продуктивністю правки або якістю шліфування.

Як показав аналіз, використання лазерів в ГВМ є вельми перспективним, а в галузі шліфування існує досвід профілювання (А.с. 939175 от 14.11.80, СРСР, патент DE 3202697 А1 від 28.01.82, Германія), а також правки Al_2O_3 кругів на керамічних зв'язках (Індія).

Порівняльний аналіз спектрів вбирання компонентів, що входять до поверхнього шару кругів показав, що в галузі максимального пропускання ЛВ алмазами $0.8\text{мкм} \leq \lambda \leq 4.8\text{мкм}$, метали мають достатньо високий коефіцієнт вбирання, що дозволило для подаль-

ших досліджень вибрати довжину хвилі $\lambda = 1,06$ мкм, передбачувану вибірковою дію ЛВ на зв'язку круга.

В другому розділі проведені теоретичні дослідження з метою побудовання аналітичної моделі для математичного опису процесу зруйнування бронзових поверхонь тіл обертання кінцевих розмірів та обчислювання глибини видаляемого шару під впливом імпульсного та безперервного ЛВ.

Засновком для побудови моделі з'явилось припущення, що енергія ЛВ, яка підводиться до елементарної площадки поверхні, витрачається на випаровування матеріалу та кондуктивний переніс тепла.

Вираз для обчислювання приросту глибини видаляемого шару ΔD при безперервному ЛВ:

$$\Delta D = \frac{aP}{\pi^{1/2} \rho v R (c_p (T_s - T_0) + L)}$$

де a - вбираюча здатність, P - потужність лазера, R - радіус лазерного променя, ρ - щільність, v - швидкість сканування, c_p - питома теплоємність, L - скрита теплота випаровування, T_s - температура випаровування, T_0 - температура середовища.

Вираз для обчислювання ΔD при імпульсному ЛВ відрізняється урахуванням кумулятивної інтенсивності у точці підсумування об'єктів інтенсивностей від кожного розподілу Гаусса, заданого у будь-якій дискретній точці імпульсу а також від деяких дискретних точок сусідніх імпульсів, число яких перебуває у межах K .

Характерною особистістю взаємодії ЛВ з бронзовими мішенями є присутність окисних плівок, швидкість утворення яких визначається дифузійю, зв'язаною за теорією Вагнера з концентраційним градієнтом, що веде до параболічної залежності вигляду

$$\frac{dx}{dt} = \frac{d}{x} \exp\left(-\frac{T_d}{T}\right),$$

де d і T_d - константи, залежним чином зв'язані з мікроскопічними характеристиками речовини.

Існування окисної плівки має вплив на вибирачу здатність матеріалу мішені: $a(x, t) = a_0 + bx(t)$; де $b = 4\pi^2(n^2 - 1)a_0/\lambda$, a_0 - початкова вибирача здатність матеріалу мішені; n - дійсна частка комплексної діелектричної проникності окислу $\sqrt{\epsilon} = n + ik$; λ - довжина хвилі ЛВ.

Вираз для встановлення початкової температури мішені перед черговим проходом променю одержано інтегруванням диференціального рівняння $m \frac{dT}{dt} = -P_{\text{пот}}(T)$, яке описує процес охолодження мішені під впливом конвективного та радіаційного теплообміну з навколишнім середовищем.

За одержаними формулами були проведені чисельні рахунки та побудовані графічні залежності $x(t)$, $a(t)$, $T(t)$, $\Delta D(q)$, які дозволили встановити необхідний енергетичний діапазон для правки та показали, що урахування кумулятивної інтенсивності та термохімічних реакцій веде до збільшення розрахункової величини глибини правки у 1,5...2 рази.

В третьому розділі описані: експериментальне обладнання, умови та методи досліджень. Експериментальна установка на базі АІГ лазера ЛТІ-502 ($\lambda = 1,06$ мкм, f до 50 кГц), працюючого як у безперервному, так і в імпульсному режимі з модульованою добротністю, дозволяла змінювати у широких межах умови та режими обробки шляхом регулювання енергетичними, просторовими та часовими параметрами ЛВ; була оснащена трьохкоординатним столом, приладом для обертання кругів, системою ЧПК зі стойкою НЗ-3М та

ЕОМ "Електроніка-100". Використовувалась також промислова установка "Квант-12".

Як зразки використовувались бруски, вирізані з алмазозного шару та алмазні круги промислового виготовлення. Зразки відрізнялись типом зв'язки (М2-01, М1-01), зернами (АС4, АС6), зерністістю (162/125, 100/80, 80/63, 50/40).

В четвертому розділі приведені результати та дано аналіз експериментальних досліджень дії ЛВ на поверхневий шар алмазних кругів на бронзових зв'язках.

На основі оптичного дослідження лунок побудовані графічні залежності їх геометричних параметрів від інтенсивності ЛВ, які збігаються з теоретичними в інтервалі $q = 5 \times 10^6 \dots 5 \times 10^7$ Вт/м². Відхилення теоретичних результатів від експериментальних складає не більш, ніж 7% у вказаному діапазоні.

Хімічний аналіз методами РФЭС и РФА дозволив встановити склад зв'язок М2-01 та М1-01, а по інтенсивності ліній $Cu-k_a$, $Sn-k_a$ та $Zn-k_a$ судити про зміну кількості компонент у поверхневому шарі, а також по лініям, відповідним С и О, судити про наявність алмазів та процесів окислення.

Результати досліджень показали, що із збільшенням q ЛВ на поверхню зразків змінюється валентний стан основних металевих компонент, що свідчить про перехід їх із вільного стану в окислений, тобто у зруйнуванні зв'язки беруть участь два механізми: випаровування та термохімічні реакції окислення. Причому на стехіометрію має вплив режим роботи лазера. При імпульсному ЛВ відбувається більш швидке окислення Zn та Sn , а при безперервному — Cu . Це можна пояснити тим, що при імпульсному ЛВ крім впливу температури відбувається стимулювання реакцій окислення в результаті збігу частот ЛВ з коливаннями атомно-молекулярних

зв'язків, а при безперервному, коли інтенсивність ЛВ менша, процеси окислення відбуваються при більш рівноважних умовах та визначаються, перш за все, температурою поверхні.

При імпульсному ЛВ із збільшенням q до 4.3×10^7 Вт/м² інтенсивність ліній С зростає, що може відповідати інтенсифікації процесу виявлення алмазів, а далі знижується, що відображає процес їх зруйнування. При безперервному ЛВ інтенсивність ліній С знижується постійно, отже, тільки імпульсне ЛВ вибірково здійснює вплив на зв'язку.

Фазовий склад поверхневого шару круга із зв'язкою М2-01 у початковому стані являє собою набір ліній: (311) та (222), відповідних сплаву Cu-Sn-твердий розчин олова у міді α -фази, (220)-Cu₃Sn β -фази, яка входить до складу ефектоїду $\alpha+\beta$, а також лінія значної інтенсивності, яка характеризує присутність алмаза.

Після ЛВ спостерігається зростання інтенсивності та звуження ліній (222) α -фази, ліній (220) β -фази, а також з'явлення додаткових ліній, які можна ідентифікувати як γ , δ та ϵ - фази (Cu₃Sn). Із збільшенням потужності ЛВ інтенсивність додаткових ліній та відношення інтенсивностей ліній β та α -фаз зростають. Як видно, внаслідок междендритної ліквідації відбувається зміщення двухфазної області діаграми стану в сторону малих концентрацій, що веде до виникнення проміжних фаз γ , δ та ϵ , а також збільшенню кількості δ -фази.

Виникнення кристалів γ , δ , ϵ -фаз у структурі зв'язки сумісно з кристалами α -фази у вигляді дрібнокристалевої сумішні, значно знижує її пластичність та в'язкість. Отже, ЛВ веде до закалки бронзової зв'язки, що повинно привести до більш міцного кріплення зерен та як наслідок, зниженню питомої витрати алмазу при шліфуванні.

Рентгеноструктурні дослідження також показали, що при імпульсному ЛВ із збільшенням q до $1,5 \times 10^7$ Вт/м² інтенсивність ліній алмазу зростає. При цьому ідентифікація експериментальних та табличних значень міжплощинної відстані вказує, що решітка алмаза залишається у початковому стані. Потім інтенсивність ліній алмазу знижується і при $q = 1,9 \times 10^8$ Вт/м² на диференційній картині залишається тільки її слід. При безперервному режимі обробки інтенсивність ліній алмаза знижується постійно.

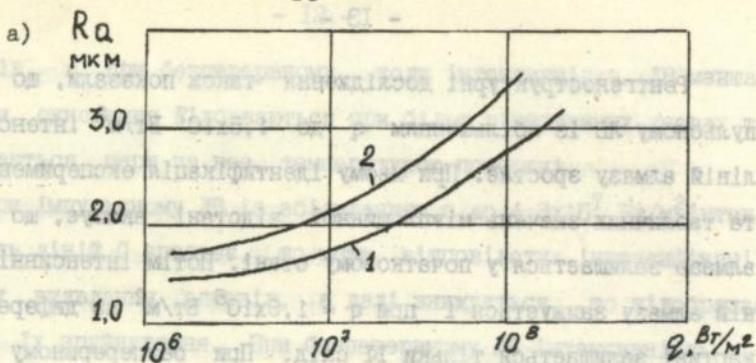
Дослідження розподілу остатніх макронапружень показали, що ЛВ веде до виникнення стислюючих остатніх напружень σ в приповерхневому шарі зразків, оброблених з інтенсивністю $5 \times 10^6 \dots 10^9$ Вт/м², причому більш напружений шар розташовується у приповерхній області.

Зростання інтенсивності ЛВ більш 10^8 Вт/м² веде до деякого зниження σ , що пояснюється впливом не тільки остатніх пластичних деформацій, викликаних тепловою дією, а і об'ємними ефектами структурних перетворень.

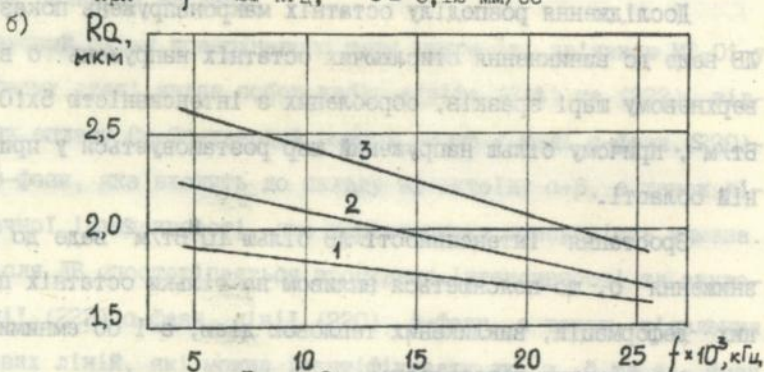
В п'ятому розділі досліджені технологічні особистості процесу лазерної правки.

Аналіз схем правки показав, що їх вибір залежить від кінематичних особистостей обладнання, форми робочої поверхні круга та геометричних характеристик променя.

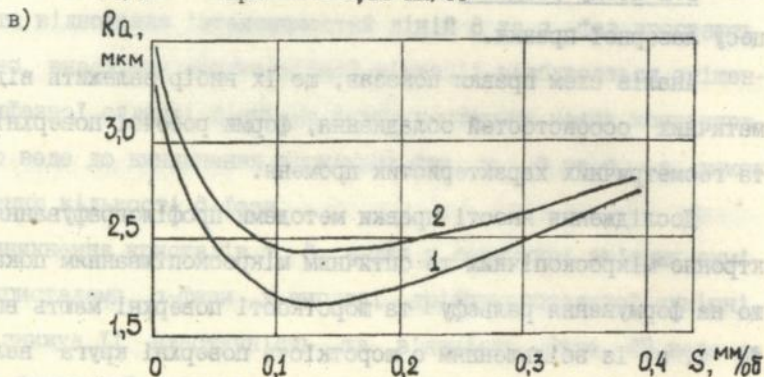
Дослідження якості правки методами профілографування, електронно-мікроскопічним та оптичним мікроскопіюванням показали, що на формування рельєфу та шорсткості поверхні мають вплив q , f , τ , v . Із збільшенням q шорсткість поверхні круга нелінійно зростає, що пояснюється переважністю одного з механізмів зруйнування та видалення зв'язки (термохімічного: $5 \times 10^6 < q < 10^7$ Вт/м², або теплового: $q > 10^7$ Вт/м²) (мал.1а). Із збільшенням f , шорст-



1. связка М2-О1, 2. связка М1-О1
при $f = 21 \text{ кГц}$, $S = 0,12 \text{ мм/об}$



1. $q = 5 \times 10^5 \text{ Вт/м}^2$, 2. $q = 8 \times 10^6 \text{ Вт/м}^2$, 3. $q = 3 \times 10^7 \text{ Вт/м}^2$
при $S = 0,12 \text{ мм/об}$



1. $q = 8 \times 10^6 \text{ Вт/м}^2$, 2. $q = 3 \times 10^7 \text{ Вт/м}^2$ при $f = 20 \text{ кГц}$

Рис. 1. Зависимость параметра R_a шероховатости поверхности алмазного круга при лазерной правке круга IAI AC6 I25/100 при $\tau = 2 \times 10^{-7} \text{ с}$, $d_1 = 0,12 \text{ мм}$ от:

а) плотности мощности, б) частоты следования импульсов, в) продольной подачи.

кість поверхні круга зменшується, тому що змінюються енергетичні параметри імпульса (мал.1б). Мінімальні значення s , коли перекриття лунок $0 < k_{\Pi} < 0,3$ веде до збільшення глибини видаляемого шару зв'язки, шорсткість визначається значним виступом алмазних зерен (мал. 1в). Із збільшенням s глибина відкриття та виступ зерен зменшуються. Подальше збільшення s веде до відсутності перекриття та нерівномірності відкриття, тому поверхня набуває періодичного характеру, чим і пояснюється тенденція до збільшення параметру шорсткості поверхні. Таким чином, при коефіцієнті перекриття $0,7 \leq k_{\Pi} \leq 1$ досягається мінімальна шорсткість поверхні круга.

Дослідження впливу режимів лазерної правки на якість шліфування деталей із сплавів ВК-8 показало, що при $\tau = 2 \times 10^{-7}$ с із збільшенням q до 10^7 Вт/м² шорсткість деталі нелінійно зростає (мал.2). Це обумовлено зростанням глибини заточки круга та нерівномірністю виступу алмазів. При $10^7 \leq q \leq 10^8$ Вт/м² інтенсифікується процес мікросколювання зерен та з'являється часткова графітизація, що веде до зниження шорсткості шліфованої поверхні. Подальше збільшення q веде до катастрофічного зруйнування алмазів і втрати кругом ріжучих здібностей. При заточці круга з $\tau = 4 \times 10^{-3}$ с шорсткість шліфованої поверхні вища, ніж при більш коротких імпульсах, тому що ефективність мікрозруйнувань нижча, а різновисотність зерен більша.

Порівняльний аналіз якості поверхні та сил різання у залежності від тривалості шліфування показав, що шорсткість деталі після лазерної правки нижча, ніж після електроерозійної, тому що вона дозволяє сформувати меншу різновисотність зерен, а нормальна складаюча сили різання вища, тому що в різанні бере участь більше число зерен (мал.3).

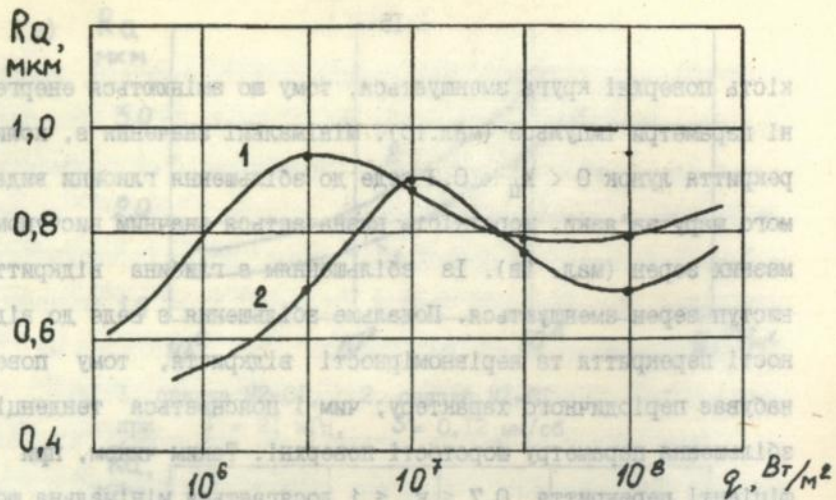


Рис. 2. Зависимость параметра R_a шероховатости поверхности детали из ВК-8 от плотности мощности q лазерного излучения, с которой проводилась правка круга IAI AC6 I25/I00 M2-OI 100%, при $d_{\lambda} = 0,12$ мм, $S = 0,12$ мм/об, $f = 13,5$ кГц и $t_{\text{шл}} = 1$ мин. $\tau = 4 \times 10^{-3}$ с, 2. $\tau = 2 \times 10^{-7}$ с.

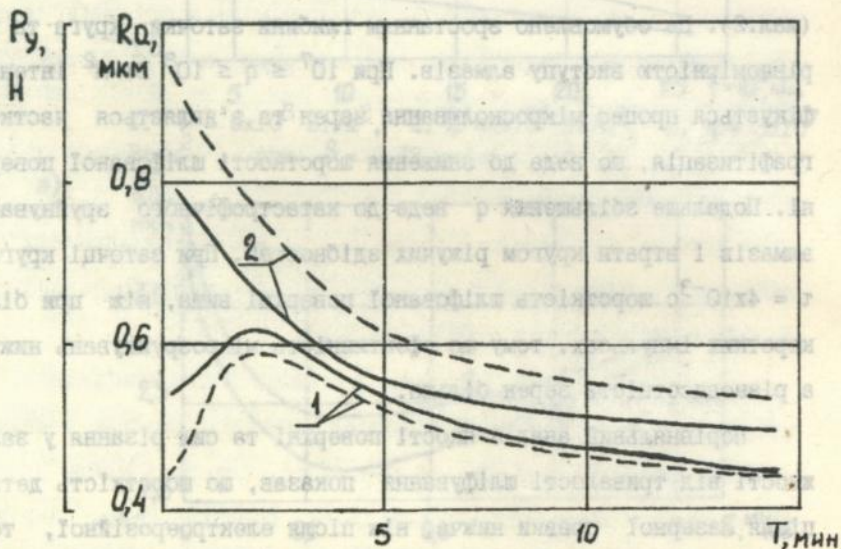


Рис. 3. Зависимость 1. нормально составляющей силы резания P_y и 2. параметра шероховатости R_a шлифованной поверхности из материала ВК-8 кругом IAI AC6 I25/I00 M2-OI 100% от длительности обработки: — после лазерной правки, - - - после электроэрозионной правки.

Порівняльний аналіз працездатності кругів (мал.4) показав, що продуктивність кругів після лазерної правки вища, ніж після абразивної, але нижча, ніж після електроерозійної. Однак, зниження питомої витрати алмазів (мал.5) утворює спосіб економічно вигідним. Це обумовлено тим, що ЛВ веде до термозміцнення зв'язки та з'явлення стислюючих макронапружень, а також стимулює залікування дефектів в алмазах, які потенціально можуть стати джерелом їх зруйнування при шліфуванні.

Наприкінці розділу приведені: техніко-економічна ефективність метода, досвід впровадження, практичні рекомендації.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Шліфування алмазними кругами на металевих зв'язках надто перспективне і доцільно використовувати у ГВМ за унікальними якостями та можливостями зв'язки та абразива, що обумовлює необхідність розробки примусової правки, котра повинна забезпечити: 1) стабільність ріжучих здібностей інструменту, 2) повторення результатів, 3) автоматизацію процесу, 4) вбудування його в ГВМ, 5) поширення технологічних можливостей шліфування.

Мажучи на увазі, що можливості існуючих засобів правки за їх технічними та технологічними особистостями не дозволяють комплексно вирішувати перелічені задачі, розроблено новий спосіб правки, який використовує ЛВ як мікроінструмент, що дозволяє керувати параметрами та здібностями робочої поверхні круга.

2. Розроблена математична модель, яка враховує внесок сусідніх імпульсів в кумулятивну інтенсивність та вплив термохімічних реакцій окислення матеріалу мішені, дозволила встановити необхідний енергетичний діапазон $10^6 \dots 5 \times 10^7$ Вт/м², для правки кругів, підвищити точність рахунків глибини видаляемого шару та

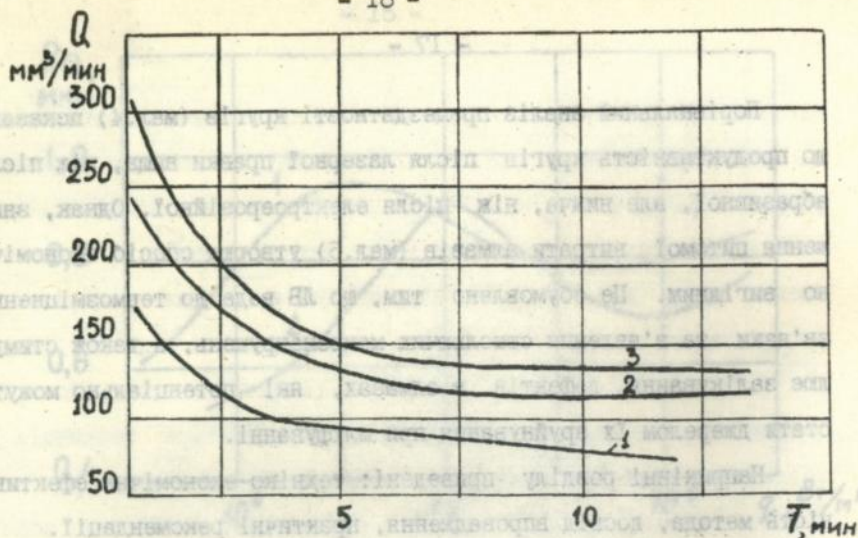


Рис. 4. Сравнение производительности шлифования при обработке твердого сплава ВК-8 после: 1. абразивной правки, 2. после лазерной правки, 3. после электроэрозионной правки.

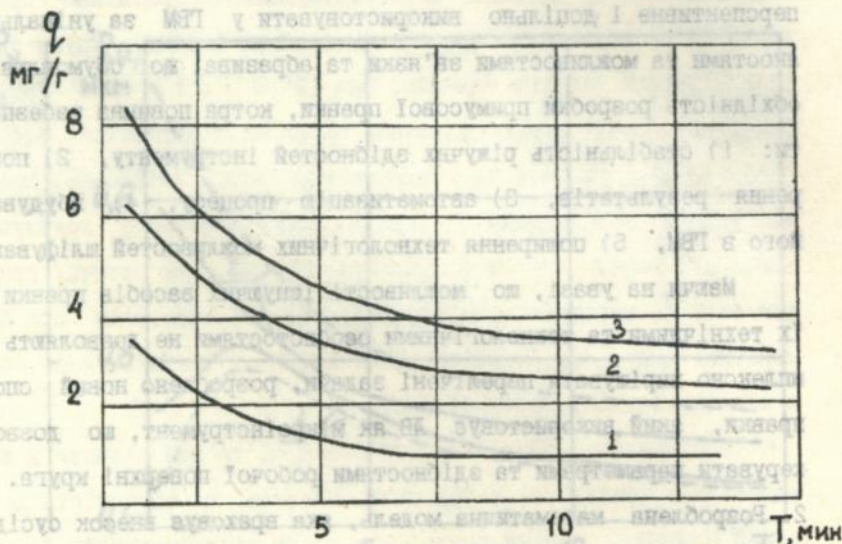


Рис. 5. Сравнение удельного расхода алмазов при обработке твердого сплава ВК-8 после правки: 1. абразивной, лазерной, 3. электроэрозионной.

вточнити необхідні енерговитрати в сторону їх зниження. Одержані результати збігаються з експериментальними в інтервалі $q = 10^5 \dots 5 \times 10^7$ Вт/м².

3. На основі виконаних комплексних досліджень хімічного складу, структури, топографії та результатів шліфування доведена змога використання ЛВ для вибіркового зруйнування матеріалу зв'язки з метою правки алмазних шліфувальних кругів. Встановлено, що механізм вибіркової лазерної дії на зв'язку відбувається в імпульсному режимі ЛВ ($\lambda = 1,06$ мкм, $\tau = 2 \times 10^{-7} \dots 4 \times 10^{-3}$ с, $q = 5 \times 10^6 \dots 5 \times 10^7$ Вт/м²). Причому, вибірковість постає в видаленні або тільки зв'язки, або разом з цим мікросколюванні зерен, без втрати ними своїх здібностей. Безперервне ЛВ із зростанням q веде до поступової графітизації алмаза, та до повного його вигорання.

4. Експериментальні дослідження хімічного складу та структури показали, що в умовах навколишньої атмосфери основним механізмом зруйнування поверхні бронзових зв'язок М2-01 та М1-01 при безперервному та імпульсному ЛВ в діапазоні $q = 10^6 \dots 10^7$ Вт/м² є термохімічне окислення елементів матриці, причому, імпульсне ЛВ стимулює утворення SnO, SnO₂, а безперервне - CuO, Cu₂O. Подальше збільшення $q = 10^7 \dots 5 \times 10^8$ Вт/м² веде до інтенсифікації процесів випаровування та зниження внеска в зруйнування поверхні термохімічних реакцій.

5. Одержані експериментальні залежності геометричних параметрів лунки від інтенсивності дії можуть бути використані для керування глибиною правки, тому що в інтервалі $q = 5 \times 10^6 \dots 5 \times 10^7$ Вт/м² глибина лунки змінюється найбільш інтенсивно (0,15...0,85 мм), а залежність має близький до лінійного характер.

6. Встановлено, що ЛВ веде, по-перше: до фазових перетворень, які знижують пластичність та в'язкість бронз, утворюючи їх кри-

хкими та твердими, а по-друге: до зростання стислюючих остатніх макронапружень, з'явлення яких обумовлено як пластичними деформаціями, викликаними тепловою дією променя, так і об'ємними ефектами структурних перетворень. Нелінійна залежність стислюючих остатніх макронапружень від зростання інтенсивності ЛВ обумовлена порушенням умови однофазності.

7. Спосіб дозволяє знизити питому витрату алмазів за рахунок підвищення їх міцності, утворення меншої різновисотності зерен, термозміцнення зв'язки та зростання стислюючих макронапружень.

8. Спосіб дозволяє доцільно спрямовано впливати на якість та продуктивність шліфування шляхом утворення необхідного мікрорельєфу круга за рахунок змінювання контрольованих параметрів ЛВ (q , t , f , s). Це дає змогу створювати шліфувальні ГВМ без автоматичної зміни кругів, яка до наступного часу технічно не вирішена.

9. Для процесу лазерної правки потрібна двох-, трьохкоординатна система відносного зміщення променя та круга, тому треба віддавати перевагу використанню способу у високоавтоматизованих системах з ЧПК, причому для правки плоских ріжучих поверхонь надається перевага схемі падіння променя по нормалі, а для складних - по дотичній.

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ВІДОБРАЖЕНІ У ПУБЛІКАЦІЯХ:

1. Гурьянов С.В. Добротворский С.С., Добровольская Л.Г. Особенности правки шлифовальных кругов в условиях ГПС // Вопросы оборонной техники: Н.-т.об. Сер.2, вып.5 (212), М., 1989.-С.46-49.

2. Добровольская Л.Г. Правка алмазных шлифовальных кругов в автоматизированном производстве // Вестник ХПИ, N 273, Вып. 1, 1990. - С.22-25.

3. Добротворский С.С., Добровольская Л.Г. Основы лазерной правки алмазных кругов // Резание и инструмент: Респ. межведомств. научно-техн. сб. Вып. 46, Харьков - 1991. - С.135-136.
4. Добротворский С.С., Добровольская Л.Г., Скорописов В.П. Лазерная правка алмазных шлифовальных кругов // Інформація та нові технології: Науч.-техн. журнал, Вып. 3-4, Киев, 1993. - С.45.
5. Патент SU N 1777579 АЗ "Способ правки алмазных кругов" Добротворский С.С., Добровольская Л.Г., Скорописов В.П., Опубл. 23.11.92, Бил. N 43.
6. Патент SU N 1787102 АЗ "Способ абразивной обработки" Добротворский С.С., Добровольская Л.Г., Опубл. 07.01.93, Бил. N1.
7. Добротворский С.С., Мовшович И.Я., Добровольская Л.Г. Алмазно-искровое глубинное и маятниковое шлифование, как метод повышения гибкости шлифовальных модулей в ГПС // Разработка и промышленная реализация новых механических и физико-химических методов обработки: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф., г. Москва, 1988г. - С.140-141.
8. Добротворский С.С., Глухов Е.В., Добровольская Л.Г. Проблемы создания шлифовальных модулей и ГАУ для ГПС механообработки // Проблемы создания и внедрения гибких производственных и робототехнических комплексов на предприятиях машиностроения: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф., г. Одесса, 1989г. - С.51-52.
9. Добровольская Л.Г., Добротворский С.С. Применение лазеров в процессе механообработки деталей шлифованием // Применение лазеров в народном хозяйстве: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф., г. Шатура, 1989г. - С.83.
10. Добротворский С.С., Добровольская Л.Г., Глухов Е.В., Ковтун Р.Ю., Лазаренко А.Г. Изменение свойств алмазосодержащих материалов при воздействии концентрированных потоков энергии // Модификация и обработка материалов

фикация свойств конст-рукционных материалов пучками заряженных частиц: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф., г. Свердловск, 1991г. - С.68-69.

11. Добротворский С.С., Добровольская Л.Г., Скорописов В.П., К.Егиноглу, К.Гуринг Лазерное профилирование и правка шлифовальных кругов из сверхтвердых материалов // Новые технологии в машиностроении: Тез. докл. Междунар. науч.-техн.конф., гг.Рыбачье-Харьков, 1992г. - С.67-70.

12. Добровольская Л.Г. Разработка и исследование лазерного автоматизированного способа правки и профилирования шлифовальных кругов из сверхтвердых материалов // Автоматика, управление и автоматизация технологических процессов экологического контроля и мониторинга": Тез. докл. I Украинской науч.-метод. конф., г. Харьков, 1993г. - С.77.

13. Добровольская Л.Г. Формирование микропрофиля шлифовальных кругов из СТМ при лазерной правке // Современная технология упрочнения, восстановления и механической обработки деталей с покрытиями: Тез. докл. науч.-техн. конф., г.Киев, 1993г.- С.14-15.

14. Добротворский С.С., Добровольская Л.Г. Особенности лазерного профилирования шлифовальных кругов из сверхтвердых материалов // Новые технологии в машиностроении: Тез. докл. Межд. науч.-техн. конф., гг.Рыбачье-Харьков, 1994г. - С.241.

15. Добротворский С.С., Глухов Е.В., Добровольская Л.Г. Проблемы интеграции процессов шлифования в гибкое автоматизированное производство // Методологические и организационно-экономические проблемы формирования гибких автоматизированных производств: Тез. докл. обл. науч.-техн.конф., г.Харьков, 1989г. - С.307.

16. Добротворский С.С., Добровольская Л.Г. Алмазное шлифование труднообрабатываемых материалов // Технология ремонта машин и

- механизмов: Тез. докл. науч.-техн. конф., Крым, 1994г. - С.77.
17. Добротворский С.С., Добровольская Л.Г., Ковтун Р.Ю. Математическое моделирование оптимального управления лазерными воздействиями при лазерной правке шлифовальных кругов // САПР конструкторской и технологической подготовки автоматизированного производства в машиностроении: Тез. докл. Респ. науч.-практ. конф., г. Харьков, 1990г. - С.20.
18. Добротворский С.С., Добровольская Л.Г., Лазаренко А.Г. Исследование физических особенностей разрушения связки алмазных кругов при воздействии лазерного излучения // Прогрессивные технологические процессы в машиностроении и стимулирование их внедрения в производство: Тез. докл. Обл. науч.-практ. конф., г. Харьков, 1990г. - С.138.
19. Добротворский С.С., Добровольская Л.Г. Лазерная правка алмазосодержащих шлифовальных кругов // Прогрессивные технологические процессы в механообрабатывающем и сборочном производстве: Тез. докл. науч.-техн. конф., Санкт-Петербург, 1992. - С.92-93.

SUMMARY

L.G. Dobrovolskay. Improvement of Technology of Forming Process of Grinding Diamond Wheels on the Metal Bases Using Laser Emission.

This thesis is a manuscript being submitted for a Candidate of Sciences Degree (Engineering) in the speciality 05.03.01 - "Mechanical treatment processes, machine tools and equipment". Kharkov State Polytechnical University, Kharkov, 1995.

Theoretical, physical and technical peculiarities of laser forming process of grinding diamond wheels on metal base. A new method, regimes and schemes of forming process are proposed.

Given are the results of analytical determination of forming process depth, physical and technical investigations of laser emission effect on chemical composition, structure and strained deformed state of base surface layer, quality of surface wheel and detail, forming process and grinding productivity, cutting forces, specific diamond consumption and comparative analysis with respect to existing forming processes.

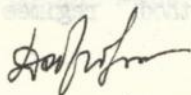
АННОТАЦИЯ

Л.Г. Добровольская. Совершенствование технологии процесса правки алмазных шлифовальных кругов на металлических связках путем использования лазерного излучения.

Диссертация является рукописью, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.01 - "Процессы механической обработки, станки и инструмент". Харьковский государственный политехнический университет, Харьков, 1995г.

Исследуются теоретические и физико-технические особенности процесса лазерной правки алмазных шлифовальных кругов на металлических связках. Предлагаются новый способ, режимы и схемы правки. Приведены результаты аналитического определения глубины правки, физико-технических исследований влияния лазерного излучения на изменения в химсоставе, структуре и напряженно-деформированном состоянии приповерхностного слоя связки, качества поверхности круга и детали, производительности правки и шлифования, сил резания, удельного расхода алмазов, сравнительного анализа с существующими методами правки.

Ключові слова: правка, шлифування, лазерне випромінювання, алмазні круги, металева зв'язка.



Підп. до друку 20.11.95. Формат 60x84/16. Папір друк.
Ум. друк. арк. 1.0. Тираж 100. Зам. 14-09.

Редакційно-видавничий відділ
Харківського Державного політехнічного університету
310002, м.Харків, МСП, вул. Фрунзе, 21.

44 4125

444126

AB 33.552

AB 33.552