

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
„ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**

Сурду Микола Васильович

УДК 621.923.

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ШЛІФУВАННЯ ВАЖКООБРОБЛЮВАНИХ
МАТЕРІАЛІВ ЗА РАХУНОК УДОСКОНАЛЕННЯ КІНЕМАТИКИ ПРОЦЕСІВ**

Спеціальність – 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати
й інструменти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків-2006

Дисертація є рукописом.

Робота виконана в Інституті проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного Національної академії наук України.

Науковий керівник: доктор технічних наук,
старший науковий співробітник
Тарелін Анатолій Олексійович,
Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного Національної академії наук України, м. Харків, заступник директора з наукової роботи;

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Узунян Матвій Данилович,
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут" Міністерства освіти і науки України, м. Харків, кафедра інтегрованих технологій машинобудування ім. М.Ф. Семка;

кандидат технічних наук, доцент

Краснощок Юрій Степанович,
Харківський державний технологічний університет сільськогосподарства Мінагрополітики України, м. Харків, кафедра технології матеріалів

Провідна організація: Запорізький національний технічний університет Міністерства освіти і науки України, м. Запоріжжя

Захист відбудеться „16“ лютого 2006 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.12 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий „ 14“ січня 2006 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

Пермяков О. А.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Незважаючи на великі успіхи у розвитку теорії шліфування, її сучасний рівень поки ще не дозволяє розрахунковим шляхом визначати такі режими шліфування, які б забезпечували максимально можливу продуктивність при заданій високій якості обробки, що виключає, наприклад, навіть вірогідність виникнення дефектів у вигляді шліфувальних тріщин та пропалин. Кінематика відомих методів копіювального формоутворення складнопрофільних поверхонь не забезпечує високої точності відтворення оброблюваної деталі незалежно, наприклад, від швидкості оброблюваної поверхні. Не має вона також і фізично обґрунтованої відповіді на питання про те, як треба організувати кінематику процесу шліфування, щоб процеси фізико-хімічної взаємодії поверхнево-активних речовин (ПАР) змащувально-охолоджувальних рідин (ЗОР) і ювенільних ділянок оброблюваної поверхні у контактній зоні протікали найбільш повно і тим самим максимально б сприяли зниженню енергоємності процесу стружкоутворення за рахунок адсорбційно-пластифікуючого ефекту (АПЕ). Саме тому відсутнє і сучасне устаткування, яке б дозволяло, наприклад, виконувати розмірне шліфування профільної частини пера турбінних лопаток в автоматичному або напівавтоматичному режимі.

Таким чином, дослідження, які направлені на вирішення вищезазначених питань, є актуальними, мають як практичне, так і суто теоретичне значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконана на базі досліджень, які проводилися у відділі загальнотехнічних досліджень в енергетиці Інституту проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України за бюджетними темами:

– «Розробити прогресивну технологію автоматичного шліфування деталей з криволінійними поверхнями, у тому числі турбінних лопаток. Виготовити шліфувальний станок для автоматичного шліфування профілю лопаток» (розпорядження ДКНТ СРСР №274 від 03.08.87 і Постанова Президії АН УРСР №1921 від 10. 09. 1987 р.) №Д.Р. 01870093011;

– 1.7.2.206. «Розробка теоретичних основ методів і способів комплексного розв'язання задачі підвищення ефективності та надійності вихлопної частини енергетичних установок» (Постанова ВФТПЕ НАН України №12, §9 від 05.03.1996 р.). №Д. Р. 01970012284;

– 05.05.02/0016221 (5.5.1.А) „Створення технологічних та технічних основ підвищення продуктивності та якості шліфування плоских та складних поверхонь деталей із важкооброблюваних матеріалів” за договором з МОН України від 14.07.2003 р. №ДП/292-2003. №Д.Р. 0103U004890, де здобувач був відповідальним виконавцем.

Мета і задачі досліджень. Робота націлена на підвищення якості та ефективності процесів шліфування важкооброблюваних матеріалів за рахунок удосконалення кінематики процесів формоутворення й створення умов для взаємодії компонентів змащувально-охолоджувального середовища з

утворюваними під час різання ювенільними ділянками оброблюваної поверхні у достатньому для адсорбційно-пластифікуючого ефекту обсязі.

У зв'язку з цим виникає необхідність розв'язання таких задач:

1. Розробка методики критеріальної оцінки впливу кінематичних параметрів процесу стружкоутворення під час абразивної обробки на умови здійснення адсорбційно-пластифікуючого ефекту.

2. Аналіз моделювання кінематики процесів шліфування націлений на розробку методології визначення можливостей комплексного впливу змащувально-охолоджувальних технологічних середовищ на ефективність процесу стружкоутворення.

3. Удосконалення та розробка нових уявлень відносно мікромеханізму впливу компонентів змащувально-охолоджувального технологічного середовища на процес деформування та руйнування металів під час шліфування та визначення шляхів та способів забезпечення критеріальних вимог, щодо максимального впливу на енергоємність стружкоутворення, перш за все за рахунок удосконалення кінематики процесів формоутворення поверхонь різної кривизни.

4. Експериментальне дослідження впливу кінематичних параметрів процесу шліфування на енергосилові показники та на формування фізико-механічних властивостей поверхневих прошарків важкооброблюваних матеріалів.

5. Розробка моделі та дослідження впливу кінематичних параметрів процесу шліфування на тепловий стан зони різання.

6. Створення та апробація експериментальних зразків технічних рішень і їх впровадження у виробництво.

Об'єкт дослідження – процес шліфування важкооброблюваних матеріалів.

Предмет дослідження – кінематика, за якою виконуються вимоги щодо забезпечення умов ефективного шліфування з урахуванням адсорбційно-пластифікуючого ефекту.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження базуються на фундаментальних положеннях теорії шліфування, механіки пластичного деформування та руйнування металів, молекулярно-кінетичної теорії адсорбції. Для розгляду мікромеханізму прояву адсорбційно-пластифікуючого ефекту використано положення теорії дислокацій. Моделювання теплових явищ досліджуваного процесу проведено з використанням числових методів обчислення на ПЕОМ.

Експериментальні дослідження виконувались у лабораторних умовах із застосуванням електронно-обчислювальної техніки та сучасних методів дослідження і вимірювальної апаратури. Зміну властивостей поверхневих прошарків оброблюваних матеріалів визначалися методами рентгеноструктурного аналізу та за допомогою мікротвердоміра ПМТ-3.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше розроблено критеріальні вимоги щодо кінематичного забезпечення умов для

зниження енергоємності процесу шліфування з урахуванням адсорбційно-пластифікуючого ефекту. Це дозволило визначити шляхи підвищення ефективності процесів шліфування важкооброблюваних матеріалів, серед яких виділено удосконалення кінематики формоутворення оброблюваної поверхні.

2. Отримано теоретичні залежності, що пов'язують фізичні властивості інструменту й оброблюваного матеріалу із кінематичними параметрами процесу шліфування, за яких забезпечується можливість зниження енергосилових параметрів стружкоутворення за рахунок умов, що достатні для прояву адсорбційно-пластифікуючого ефекту.

3. Встановлено, що для забезпечення умов зниження енергосилових параметрів стружкоутворення за рахунок адсорбційно-пластифікуючого ефекту термін часу між послідовним зніманням стружки з однієї й тієї ж ділянки оброблюваної поверхні не повинен бути меншим за термін часу, який необхідний для утворення на ювенільній поверхні адсорбційного шару, який за оцінками знаходиться у діапазоні $10^{-3} \dots 10^{-2}$ с.

4. Доведено, що використання принципів планетарно-врізного та планетарно-спряженого шліфування поверхонь з різною кривизною забезпечує можливість зменшення енергосилових параметрів шліфування за рахунок умов, що достатні для прояву адсорбційно-пластифікуючого ефекту.

5. Вперше встановлено, що лінійна швидкість обертання заготовки, за якої забезпечується зниження енергосилових параметрів круглого шліфування за рахунок умов для адсорбційно-пластифікуючого ефекту в 5-10 разів повинна перевищувати значення, що відомі з практики та нормативно-довідкової літератури.

Практичне значення одержаних результатів

1. Розроблена методика розрахунку раціональних значень кінематичних параметрів процесу формоутворення криволінійних та плоских поверхонь, за яких виконуються критеріальні вимоги щодо адсорбційно-пластифікуючого ефекту під час шліфування, прояв якого спонукає зниження питомої ефективної роботи шліфування в 1,5-3 рази, а температура у зоні різання знижується до величин, за яких виключається ймовірність виникнення шліфувальних тріщин та припалин, при цьому в декілька разів знижуються обсяги витрат змащувально-охолоджувальної рідини. Це сприяє підвищенню ефективності шліфування важкооброблюваних матеріалів

2. Створено експериментальний зразок копіювально-шліфувального верстата для реалізації планетарно-врізного способу шліфування криволінійних поверхонь у разі обробки випуклої частини профілю пера турбінних лопаток з використанням раціональних кінематичних параметрів обробки, за яких забезпечуються умови для адсорбційно-пластифікуючого ефекту під час шліфування та прояву спонукуваних ним переваг. Верс-

тат був виготовлений та застосований в ІПМаш НАН України для виконання планових досліджень за бюджетною тематикою.

3. Для відтворення планетарно-спряженого способу шліфування плоских поверхонь виготовлено промислово-дослідний зразок планетарно-шліфувальної головки (ПШГ), використання якої дозволило підвищити продуктивність шліфування важкооброблюваних матеріалів (по відношенню до глибинного) в 3-5 разів, при цьому на порядок зменшити (або виключити) обсяг змащувально-охолоджувальної рідини й повністю виключити ймовірність виникнення шліфувальних тріщин та припалін. ПШГ випробувана на ПО "Ленінградський завод турбінних лопаток" ім. 50-річчя СРСР, м. Санкт-Петербург, ДП НПО «ЗОРЯ-МАШПРОЕКТ» м. Миколаїв та запроваджена на дослідному виробництві ІПМаш НАН України.

4. Створено й випробувано у лабораторних умовах багатомісне пристосування до круглошліфувального верстату для групового планетарно-врізного шліфування заготовок зразків для механічних випробувань, що вирізаються із турбінних лопаток і мають на початку довільну форму. Пристрій дозволяє використання раціональних значень кінематичних параметрів, за яких забезпечуються умови для адсорбційно-пластифікуючого ефекту під час шліфування та прояву спонукуваних ним переваг.

5. Розроблена конструкторська документація на модернізацію універсального круглошліфувального верстата мод. ЗУ151 та ЗА151 пристроями, які призначені забезпечити можливість відтворення планетарно-врізного способу шліфування профілю пера турбінних лопаток та кулачків кулачкових валів з використанням раціональних кінематичних параметрів.

Особистий внесок здобувача. Всі положення дисертації, що винесені на захист, отримані здобувачем особисто. Постановка задач й аналіз деяких результатів виконані з науковим керівником і частково зі співавторами публікацій. Розробка технічної документації та модернізація устаткування й проведення виробничих іспитів виконані разом зі співробітниками ІПМаш ім. А.М. Підгорного НАН України.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень доповідалися і обговорювалися на всесоюзній конференції "Надтверді матеріали та інструменти у ресурсозберігаючих технологіях" (Інститут надтвердих матеріалів АН України, Київ, 1989 р.); Всесоюзній науково-технічній конференції "Шляхи підвищення стійкості і надійності різальних та штампових інструментів" (Всесоюзний НДІ технології суднового машинобудування "СІРІУС", Миколаїв, 1990 р.); УІ міжнародній науково-технічній конференції Micro-Cad-99 (Харків 1999 р.); міжнародній науково-технічній конференції "Удосконалення турбоустановок методами математичного і фізичного моделювання" (Харків 2000 р.); Міжнародному науково-технічному семінарі "Високі технології в машинобудуванні" (Україна, Харків – 2000 р.); ІІ Міжнародній конфе-

ренції Воднева обробка матеріалів "ВОМ-2001" (Україна, Донецьк – 2001 р.); 1 та 2 міжнародній науково-технічній конференції «Нові технології та розробки в турбогазобудуванні» на базі ОАО КрТЗ «КОНСТАР» (м. Кривий Ріг – 2003 та 2004 рр.).

У повному обсязі дисертація доповідалася на засіданні науково-технічної проблемної Ради „Теплофізика та енергомашинобудування” Інституту проблем машинобудування ім. А.М.Підгорного НАН України, та на семінарі на кафедрі "Різання матеріалів та різальних інструментів".

Публікації. Основні положення дисертації викладені у 21 публікації. З них 7 - статті у фахових виданнях ВАК України, 7 - матеріали конференцій та семінарів, 5 - авторські свідоцтва та патенти на винаходи.

Структура і обсяг роботи. Структура: вступ, 4 розділи, загальні висновки, список використаних джерел, додатки. Обсяг: 237 с., 44 малюнка (40 стор.), 7 таблиць (7 стор.), список літератури з 121 найменувань (10 стор.) і додатків (36 стор.).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ. У вступній частині обґрунтовується актуальність теми дисертаційної роботи, викладається наукова новизна, зазначаються положення, які виносяться здобувачем на захист, теоретична та практична цінність отриманих результатів досліджень та їхній зв'язок з науковими програмами, темами, планами, подана інформація про апробацію роботи.

У першому розділі проведено аналіз сучасних методів формалізації абразивного інструменту і визначення основних (геометричних, кінематичних, силових та теплових) параметрів процесу шліфування. В аналізі зазначається, що теорія абразивної обробки значно розвинена, але її сучасний стан відносно шліфування ще не досяг своєї завершеності і саме цим можна пояснити таке велике різноманіття емпіричних, напівемпіричних та аналітичних формул, які використовують для розрахунку того чи іншого параметру процесу.

Серед питань, які ще потребують свого вирішення в теорії і практиці шліфування можна виділити сучасні погляди науковців на вплив адсорбційно-пластифікуючого ефекту (АПЕ) на енергосилові параметри процесу пластичного деформування і руйнування металів при стружкоутворенні. Аналіз літературних джерел показав, що питання стосовно того, які умови створюються і які вони повинні бути у зоні різання, щоб вплив АПЕ був найбільш ефективний в теорії шліфування ще не вирішувалися, незважаючи на те, що експерименти показують, що і тип, і фізико-хімічний склад, і спосіб подачі в контактну зону змащувально-охолоджувальних технологічних середовищ (ЗОТС) має дуже велике значення на всі показники процесу шліфування в цілому.

Аналізуючи літературні джерела, що стосуються дисертаційної роботи були розглянуті роботи таких відомих учених, як Аввакумов С. Г., Альохін В. П., Байкалов А. К., Берлінер С.

М., Бутягін П. Ю., Везуб М. Д., Грабченко А.І., Доброскок В. Л., Євсєєв Д. Г., Іванов В. С., Карпенко Г. В., Колачев Б. Л., Корчак С. М., Коттрел А., Латишев В. Н., Лоладзе Т. М., Маслов Є. Н., Подураєв В. М., Попов С. А., Ребіндер П. О., Резніков А. Н., Сілін С. С., Сіпайлов В. А., Старков В. К., Філімонов Л. М., Філімонов Л. Р., Фінкель В. М., Хрульков В. А., Шальнов В. А., Шаповалов В. І., Щукін Є. Д., Ентеліс С. Г., Федорович В. О., Юнусов Ф. С., Якімов О. В., Ящерицин П. І. та ін.

Проведений аналіз дозволив визначити основні задачі наукового дослідження.

У другому розділі розглянуто методичне забезпечення досліджень. Обґрунтовано вибір оброблюваних матеріалів, характеристик шліфувальних кругів, базового обладнання, дослідної виміральної апаратури та методики експериментальних досліджень. Розроблено методику оцінки адсорбційного впливу технологічних середовищ (ТС) на пластичне деформування та руйнування металів під час абразивної обробки, яка враховує особливості будови ядра дислокації та механізму впливу на це адсорбованих атомів ТС. Отримано формулу для розрахунку величини рівноважного радіуса r_0 порожнини повздож осі ядра дислокації, "внутрішня поверхня" якої може бути електрично заряджена

$$r_0 = \frac{\mu b^2}{8\pi^2 \gamma \cdot (1-\nu)} + \frac{Q_\Sigma^2}{2\pi^2 \gamma \cdot \epsilon_0 \cdot a^2},$$

де μ - модуль зсуву; b – вектор Бюргерса; γ - питома поверхнева енергія; ν - коефіцієнт Пуассона; a – період кристалеві решітки, Q_Σ – сумарний електричний заряд дислокації довжиною, яка дорівнює a ; ϵ_0 – електрична постійна.

На основі проведених оцінок та аналізу одержаних результатів було розроблено робочу гіпотезу мікромеханізму впливу адсорбованих атомів ТС на формоутворення та еволюцію ядер дислокацій під час пластичного деформування й руйнування металів. Показано, що вплив технологічного середовища на енергосилові параметри пластичного деформування металів складається із комплексу паралельно-послідовних явищ, від відношення кінетичних параметрів яких та їхніх температурно-швидкісних умов (ТШУ) здійснення і залежить інтенсивність і ступінь прояву АПЕ.

Запропоновано методи критеріальної оцінки кінетичних умов щодо можливості прояву АПЕ у зоні контакту під час шліфування, які базуються на такому:

1. Проміжок часу ($\Delta\tau_p$) між послідовним зніманням стружки з однієї й тієї ж ділянки оброблюваної поверхні не повинен бути меншим ніж латентний період $\Delta\tau_x$ часу розвитку АПЕ, тобто

$$Sr = \Delta\tau_p / \Delta\tau_x \geq 1. \quad (1)$$

2. Кількість атомів (молекул) Ω_k середовища, яке підводиться у контактну зону до ювенільних ділянок поверхні, повинна бути достатньою для того, щоб здійснилася повномасштабна адсорбція, тобто щоб утворився адсорбційний шар з показником $\theta=1$. Аналітично цей критерій можна подати у вигляді

$$\Omega_k/\Omega_{ад} \geq P, \quad (2)$$

де $\Omega_{ад}$ – кількість атомів (молекул) у адсорбційному шарі, $P \gg 1$.

З урахуванням схеми Бутягина під час аналізу кінетики адсорбційних процесів у разі абразивного різання металів та положень запропонованої гіпотези мікромеханізму АПЕ вищенаведені критеріальні вимоги (1) і (2) приведено до вигляду:

$$Sr = \frac{\Delta \tau_p}{\Delta \tau_x} = \frac{\Delta \tau_p \cdot \left[\frac{\alpha p}{\sqrt{2 \pi M k T}} - \xi \theta^2 \cdot \exp\left(-\frac{Q}{k T}\right) \right] \cdot a^2 \tau_0}{\tau_0 \left\{ 1 + \pi \cdot r_0 \cdot (\rho_m - \rho_0) \left(\frac{h}{\chi + 1} + \bar{a}_z \right) + h \cdot \rho_0 \right\} - \frac{a^2 (1 - \theta) \cdot \bar{a}_z}{2 \pi d \cdot S_{\pi} \cdot B}} \geq 1, \quad (4)$$

де α – ймовірність хімічної реакції під час зіткнення; p – тиск середовища у вигляді газу; M – маса адсорбованих молекул середовища; T – температура; k – стала Больцмана; ξ – коефіцієнт пропорційності; θ – доля поверхні, яка зайнята адсорбованою речовиною; Q – енергія активації процесу десорбції; \bar{a}_z – середньостатистична товщина елементарної стружки; a – період кристалічної решітки; τ_0 – час загибелі центрів адсорбції, ρ_0, ρ_m – початкова та кінцева щільність дислокацій; S_{π} – поперечна подача; d – діаметр виробу; h – глибина розподілення дислокацій; χ – коефіцієнт; B – висота абразивного круга.

$$\frac{\Omega_k}{\Omega_{ад}} = \frac{a^2 \cdot \pi l_p \cdot h_{cp} \cdot N_A \cdot \bar{a}_z}{V_0 \cdot 4 \pi d \cdot S_{\pi} \cdot \left(1 + \pi r_0 \cdot (\rho_m - \rho_0) \left(\bar{a}_z + \frac{h}{\chi + 1} \right) + h \cdot \rho_0 \right)} \geq P, \quad (5)$$

де h_{cp} – середня висота пори, яка утворюється між кругом та оброблюваною поверхнею, V_{π} ; N_A – число Авогадро; V_0 – нормальний об'єм 1 г/моля речовини.

Розрахунками було встановлено, що за відомих методів та режимів шліфування ні вимога (4), ні вимога (5) не виконуються, оскільки було одержано, що $Sr = \Delta \tau_p / \Delta \tau_x = (0,00145 \div 0,184) \ll 1$, а $\Omega_k / \Omega_{ад} = (0,02 \div 10) \cdot 10^{-3} \ll 1$. Отриманий результат вказує на причини протиріч у висновках різних науковців щодо можливості і характеру впливу АПЕ на енергосилові параметри процесу стружкоутворення під час шліфування.

Для дослідження впливу кінематики формоутворення на теплові явища контактної зони, від яких багато в чому залежить формування фізико-механічних властивостей поверхневого шару, було розроблено відповідну модель. Основна частина теплових досліджень зводилася до

вирішення задачі нестационарної теплопровідності у двовимірній постановці для прямокутного об'єкту.

У зоні різання, яка має фіксовані розміри, до поверхні оброблюваної деталі підводиться тепловий потік, величина якого змінюється з часом (в імпульсному режимі з періодом $\Delta\tau_p$) і по координаті й визначається силовими параметрами процесу різання. Як головний фактор розглядалось формування температурного поля у поверхневому шарі контактної зони в залежності від часу. Зв'язок теплового стану об'єкта з навколишнім повітрям або ЗОР встановлюється шляхом завдання температури навколишнього середовища T_{cp} та коефіцієнта тепловіддачі α . На поверхні деталі виділено п'ять ділянок із різними за величиною T_{cp} і α . Для числового вирішення система диференціальних рівнянь вихідної моделі перетворювалась шляхом скінченно-різницевої апроксимації в систему нелінійних алгебраїчних рівнянь, які можна було вирішувати методом ітерацій.

На основі проведеного аналізу зроблено висновок, що для підвищення ефективності стружкоутворення за рахунок забезпечення у зоні різання умов для АПЕ кінематика процесів шліфування потребує удосконалення, шляхи якого слід визначити.

У третьому розділі розглянуто способи інтенсифікації процесу шліфування. Показано, що підвищення ефективності шліфування за рахунок забезпечення критеріальних вимог (1) і (2) у загальному випадку можна досягти такими способами: 1) *кінематичними* (удосконалення кінематики процесу шліфування); 2) *фізико-хімічними* (різноманітні засоби активації процесу хімічної адсорбції); 3) *комбінованими* (одночасне збільшення $\Delta\tau_p$ та зменшення $\Delta\tau_x$).

Кінематичний спосіб. Із аналізу кінематики процесу шліфування, випливає, що для того, щоб збільшити проміжок часу ($\Delta\tau_p$); взаємодії компонентів ЗОТС с ювенільною поверхнею, необхідно встановити таке співвідношення між лінійною швидкістю V_k ріжучої поверхні інструменту і лінійною швидкістю V_d переміщення оброблюваної поверхні виробу, щоб виконувалася вимога:

$$Sr = \frac{\Delta\tau_p}{\Delta\tau_x} \geq 1 \Rightarrow \begin{cases} \frac{(\ell_p - L_k) \cdot V_d}{L_k \cdot V_k} \geq 1 \\ V_d \leq \pi d / \Delta\tau_x \end{cases},$$

де ℓ_p - середньостатистична відстань між різальними зернами, які розташовані одне за одним;
 L_k - довжина дуги контакту або зони різання.

Виконання цієї вимоги для круглого шліфування означає, що ювенільна поверхня, яка утворюється під час знімання стружки і різальним зерном, виходить із зони різання і знову до неї ввійде тільки через проміжок часу, який необхідно для одного оберту виробу навколо осі обертання.

Для аналітичного розрахунку зазначеної величини швидкості V_d обертання виробу у разі круглого шліфування здобуто формулу

$$V_d = \sqrt[3]{-q/2 + \sqrt{\left(q/2\right)^2 + \left(p/3\right)^3}} + \sqrt[3]{-q/2 - \sqrt{\left(q/2\right)^2 + \left(p/3\right)^3}} + A/3, \quad (6)$$

де $q = -\frac{2A^3}{27} - \frac{2V_k A^2}{3} - V_k^2 A$; $p = -\frac{6AV_k + A^2}{3}$; $A = \frac{16\pi R_k \cdot r_d^2 \cdot S_n}{\ell_p^2 (R_k + r_d)}$; r_d – радіус оброблюваної поверхні виробу; R_k – радіус різальної поверхні абразивного круга; t – глибина шліфування; $\ell_p \in (0,08 \dots 0,15) \ell_m$; ℓ_m – середня відстань між зернами.

Оцінки, проведені за формулою (6), показали, що для граничних значень режимних параметрів лінійна швидкість обертання оброблюваної поверхні виробу, за якої забезпечуються вимоги для прояву АПЕ у найбільш повній можливій мірі, знаходиться у діапазоні $V_d \in 2,5 \div 12$ м/с. Це значно перевищує ті значення, що передбачені нормативно-довідковою літературою.

Для уможливлення використання таких режимів швидкості оброблюваної поверхні під час шліфування виробів зі складною криволінійною поверхнею було розроблено спосіб формоутворення криволінійних поверхонь методом планетарно-врізного шліфування, схему якого зображено на рис. 1. Задану форму оброблюваної поверхні виробів, наприклад турбінних лопаток, одержують у вигляді кусково-неперервної лінії, що складається із формуючих у вигляді ділянок кругових циліндрів поверхонь, які утворюються під час переміщення виробів за траєкторією окружності в процесі керування їх кутовими положеннями навколо планетарних осей та радіусом кривизни $R_{\phi i}$ формуючих циліндричних поверхонь.

Цей спосіб було покладено в основу розробки будови копіювально-шліфувального верстата для обробки профілю пера турбінних лопаток.

Визначення подовжньої подачі. Під час визначення режимів подовжньої подачі використано розрахункову схему, що зображено на рис. 2, та прийняті такі умови:

1. Кожне різальне абразивне зерно має радіус ρ закруглення різальної кромки.
2. Об'єм металу, який необхідно зняти під час переміщення абразивного круга у подовжньому напрямку відносно оброблюваного виробу на відстань $S_{пр}$, повинен бути не більшим ніж загальний об'єм металу, який може бути знятий загальною кількістю різальних зерен за цей час.

За таких умов одержано формулу для розрахунку величини подовжньої подачі:

$$S_{пр} \leq \frac{\Delta \cdot V_k \cdot n_p \cdot \rho^2 \cdot (\alpha - 0,5 \cdot \sin 2\alpha)}{S_c \cdot \sin \beta} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot R_k \cdot R_{\phi i} \cdot \bar{a}_z}{R_k + R_{\phi i}}},$$

де n_p – середньостатистична щільність різальних абразивних зерен; R_k – радіус різальної поверхні абразивного круга; $R_{\phi i}$ – поточне значення радіуса формуючого кола; \bar{a}_z – середньостатистична товщина стружки, що знімається різальним абразивним зерном; 2α – кут дуги контакту

різального виступу абразивного зерна з оброблюваною поверхнею; S_c – площа криволінійного трикутника $\Delta A_i B_i B_{i+1}$ (див. рис. 2); β – кут косоного шліфування.

Визначення кутової подачі на строчку. Послідовне обертання лопатки навколо планетарної осі окремо на кожну стрічку визначається за вимоги, що глибина шліфування не буде перевищувати граничнодопустимої величини $[t]$. У даному випадку як параметр $[t]$ вибирається середньостатистична товщина стружки a_z , тобто, $[t]=a_z \in [1 \div 15] \cdot 10^{-6}$ м. Методика визначення кутової подачі виробу на строчку полягає в такому.

1. Вибирається початкова (або перша) точка ($A_i = A_1$) готового профілю, ділянку поверхні з якою буде сформовано під час обробки першої строчки, і визначаються координати осі $O_{крі}=O_{кр1}$ (див. рис. 2), шляхом вирішення системи двох рівнянь, одне з яких описує коло з радіусом R_0 і центром на початку системи координат і друге - рівняння нормалі до поверхні профілю готового виробу у точці $A_i = A_1$. Аналітично це має вигляд

$$\left. \begin{array}{l} x_{A_i} = x_{A_1} \\ y_{A_i} = y_{A_1} \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} y - y_{A_1} = -\frac{x - x_{A_1}}{F'(x_{A_1}; y_{A_1})} \\ y^2 + x^2 = R_0^2 \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} x = x_{O_{кр1}} \\ y = y_{O_{кр1}} \end{array} \right\}, \quad (7)$$

де $F'(x_{A_1}; y_{A_1})$ - значення похідної у точці A_1 від функції $F_o(x; y)=0$, яка описує профіль готового виробу.

2. Визначається установчий кут $\varphi_i=\varphi_0$ лопатки (рис. 2) за формулою

$$\varphi_0 = \arctg \left| y_{O_{кр1}} / x_{O_{кр1}} \right|. \quad (8)$$

3. Визначається радіус R_{φ_1} окружності, яка формує точку A_1

$$R_{\varphi_1} = \sqrt{\left(x_{A_1} - x_{O_{кр1}} \right)^2 + \left(y_{A_1} - y_{O_{кр1}} \right)^2}. \quad (9)$$

4. Визначаються координати точки B_1 , що лежить на перетині лінії профілю заготовки з лінією окружності, що формує точку A_1

$$\left. \begin{array}{l} F_3(x, y) = 0 \\ \left(y - y_{O_{кр1}} \right)^2 + \left(x - x_{O_{кр1}} \right)^2 = R_{\varphi_1}^2 \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} x = x_{B_1} \\ y = y_{B_1} \end{array} \right\}. \quad (10)$$

5. Вибирається наступна точка обробки $A_i = A_2$ і аналогічно з попереднім за формулами (7)-(10) визначаються координати точки $O_{кр2}$ і значення φ_2 і R_{φ_2} .

6. Перевіряється виконання вимоги обмеження

$$\left| \sqrt{\left(x_{B_i} - x_{O_{кр i+1}} \right)^2 + \left(y_{B_i} - y_{O_{кр i+1}} \right)^2} - \left(R_{\varphi_{i+1}} + a_z \right) \right| \leq \varepsilon, \quad (13)$$

де ε - число яке визначає задану точність виконання умови.

Якщо вимога (13) не виконується, то необхідно задати нове положення точки A_{i+1} , яке буде ближче до точки A_i , і знову повторити розрахунки за згаданим алгоритмом. Ця процедура повторюється до виконання вимоги (13), після чого величина кутової подачі на строчку визначається як $\Delta\varphi_i = |\varphi_{i+1} - \varphi_i|$.

Так визначаються кутові подачі на строчку для всіх ділянок готового профілю.

Визначення лінійної швидкості V_d оброблюваної поверхні. На етапі врізання (під час формування ділянки з точкою A_1) швидкість V_d визначається за формулою (6), але при цьому замість r_d використовуються значення $R_{\phi 1}$, а на етапі здійснення подовжньої подачі поперечна подача S_n визначається за формулою $S_n = S_{np} \cdot \operatorname{tg}\beta$.

За вищенаведеним алгоритмом можна визначати режими планетарно-врізного шліфування будь-яких виробів із монотонною криволінійною поверхнею, яку можна сформувати у вигляді кусково-неперервної поверхні із ділянок кругових циліндрів.

Проведений аналіз показав, що використання планетарно-врізного розмірного шліфування виробів з криволінійною формою оброблюваної поверхні дозволяє, по-перше, підвищити точність обробки таких складних поверхонь, як турбінні лопатки, кулачкові розподільні вали і т. і., а по-друге – підвищити якість оброблюваної поверхні шляхом використання раціональних кінематичних параметрів, які забезпечують значне зниження енергоємності та теплонапруженості процесу за рахунок АПЕ.

Інтенсифікація шліфування плоских поверхонь. Розроблено спосіб планетарно-спряженого шліфування плоских поверхонь, який передбачає використання спеціальної планетарно-шліфувальної головки (ПШГ) й дозволяє вести обробку в режимі маятникового та врізного шліфування і забезпечує виконання вимог (1) та (2) для прояву АПЕ в найбільш повній можливій мірі. Спосіб включає етапи правки інструменту, чорнової та чистової обробки і полягає в такому.

Як абразивний інструмент беруть ПШГ (рис. 3), абразивні круги якої мають ділянки для чистової та чорнової обробки. При цьому ділянки для чистової обробки формують у вигляді поверхні, спряженої з поверхнею готового виробу, а ділянки для чорнової обробки формують у вигляді поверхні, спряженої з площиною, яка розташована по відношенню до ділянки для чистової обробки під кутом $\alpha = \arcsin(\delta/L)$, де δ - глибина шліфування; L - довжина ділянки чорнової обробки.

Шліфування ведуть зі швидкістю подовжньої подачі $S_{np} \leq \omega_{кр} \cdot m \cdot L \cdot [a_z]/\delta$, де $[a_z]$ – гранично допустима величина припуску, що знімається зерном за один прохід; m - кількість абразивних кругів на ПШГ; $\omega_{кр}$ - кутова швидкість обертання ПШГ, яку визначають за вимоги забезпечення умов для АПЕ за формулою $\omega_{кр} \leq 1/(m \cdot \Delta\tau_x)$.

Визначення режиму катодної поляризації виробів під час шліфування. Зроблено припущення, що раціональною ефективність електрохімічного шліфування буде тоді, коли кількість протонів (катионів), які підводяться до ювенільної поверхні, буде співпадати з кількістю центрів адсорбції, що знаходяться на утвореній ювенільній поверхні. За таких умов здобуто формулу для розрахунку величини струму катодної поляризації оброблюваної поверхні, яка має вигляд

$$I \geq \frac{e \cdot BV_k \cdot n_p \cdot L_k \cdot \sqrt{\rho \cdot \bar{a}_z}}{a^2} \cdot \left[1 + \left(2\pi \cdot a \cdot r_o + a \cdot \sqrt{\rho \cdot \bar{a}_z} \right) \cdot (\rho_m - \rho_o) \left(\frac{h}{\lambda + 1} + \bar{a}_z \right) \right], \quad (14)$$

де e – елементарний заряд, ρ – радіус ріжучого виступу абразивного зерна.

Аналіз формули (14) показує, що з урахуванням впливу насичення воднем на енергоємність стружкоутворення раціональна величина струму катодної поляризації залежить як від чисто режимних параметрів шліфування, так і від характеристик абразивного інструменту та властивостей оброблюваного металу.

Четвертий розділ присвячено експериментальним дослідженням. Досліджено вплив кінематичних параметрів та катодної поляризації оброблюваної поверхні на енергетичні та силові показники процесу круглого шліфування таких важкооброблюваних матеріалів, як 20Х13Ш, ЭИ957, ЖС6-К та інструментальної сталі У8А та на розподіл фізико-механічних властивостей сформованого поверхневого шару по глибині, які визначалися методом виміру мікротвердості та рентгеноструктурних досліджень й зображено на рис.4 – 9.

Як видно з графіків (див. рис.4 –7), енергетичні та силові показники процесу круглого шліфування досліджених матеріалів значно залежать як від швидкості подачі V_d , так і від наявності катодної поляризації оброблюваної поверхні. Так, із зростанням V_d (див. рис. 4), в усьому дослідженому діапазоні інтенсивності W_i [мм²/с] шліфування питома тангенціальна складова сили шліфування P_z [Н/мм] та питома ефективна робота, зменшуючись, сягають свого мінімуму за таких величин V_d , коли виконуються критеріальні вимоги (1) і (2). При цьому, якщо контурна подача виробу V_d , за якої досягається мінімум тангенціальної складової сили шліфування P_z , залежить від інтенсивності шліфування W_i [мм²/с], то абсолютне мінімальне значення P_z майже не залежить. Аналогічно змінюється і залежність питомої роботи $A_{уд}$ шліфування від швидкості оброблюваної поверхні (див. рис. 5) та проміжку часу Δt_p (див. рис. 6). Слід відзначити, що за умов використання раціональної швидкості оброблюваної поверхні (за якої критеріальні умови прояву АПЕ виконуються) питома робота шліфування $A_{уд}$ сягає мінімуму і майже не залежить від інтенсивності шліфування (див. лінію 6 на рис. 6 і лінію 4 на рис. 7). Катодна поляризація оброблюваної поверхні найбільший вплив на P_z та $A_{уд}$ чинить в основному за малих значень швидкості оброблюваної поверхні $V_d \leq 0,7$ м/с, тобто за відомих режимів шліфування (див. рис. 4-5 і рис. 7). Коли ж $V_d > 2,5$ м/с, то катодна поляризація приводить до збільшення $A_{уд}$ в порівнянні зі шліфуванням без катодної поляризації (див. рис. 5). Однак застосування катодної поляризації приводить до збільшення зносостійкості абразивного інструменту. Що ж до електричних параметрів наси-

чення катодним воднем, то для дослідженої інтенсивності шліфування металів і використання в якості ЗОТС 3÷5% содового розчину, раціональною виявляється густина електричного струму катодної поляризації $[j]=1500\div 2000$ (А/м²).

Моделювання теплового стану зони різання. Розрахунки показали, що на тепловий стан зони різання під час шліфування дуже впливають кінематичні параметри процесу. Встановлено, що за традиційних режимів шліфування, коли $V_d=0,26$ м/с, температура на поверхні зони різання (рис.10 а) сягає найбільших значень ($T\geq 700^\circ\text{C}$). У разі збільшення швидкості V_d переміщення оброблюваної поверхні відносно інструменту вона зменшується (див. рис. 10 б і 11 а) і сягає мінімальних значень за умов забезпечення критеріальних вимог щодо прояву адсорбційного ефекту, за яких на поверхні металу температура сягає $150\div 200^\circ\text{C}$ (див. рис. 11 б) для круглого шліфування й $60\text{-}120^\circ\text{C}$ (рис. 12) для планетарно-спряженого навіть без застосування ЗОР, що й підтвердили випробовування.

Таким чином, забезпечення критеріальних вимог щодо прояву адсорбційного ефекту сприяє значному зниженню інтенсивності теплових явищ зони різання і тим самим повинно сприяти підвищенню міцності та якості оброблюваних поверхонь.

Фізико-механічні показники. Розподіл мікротвердості (див. рис. 8, лінія 2) та залишкових мікронапружень (див. рис. 9, лінії 1-3) в поверхневому шарі зразків оброблених за відомих режимів, тобто коли $V_d\leq 0,7$ м/с, зростає від мінімальних значень на поверхні до максимальних на глибині, причому, за інших рівних умов, характер розподілення і темп зростання залежить від інтенсивності шліфування. Шліфування за умов прояву АПЕ в найбільшій мірі (у даному випадку коли $V_d = 5,5\text{-}7,5$ м/с) сприяє зміні характеру розподілення по глибині поверхневого шару і мікротвердості (див. рис. 8 лінія 1), і мікронапруження (див. рис. 9 лінії 4-6). Найбільша мікротвердість й найбільше мікронапруження виникає на поверхні й знижуються по глибині до вихідних значень.

ВИСНОВКИ

1. Запропоновано методику критеріальної оцінки наявності умов для прояву адсорбційного ефекту під час шліфування. Визначено, що досягнення зазначених вимог можливе за рахунок керування кінематичними параметрами процесу, або за рахунок електрохімічних, хімічних та інших впливів на процес взаємодії мастильно-охолоджувального технологічного середовища з оброблюваною поверхнею, або за рахунок одночасного використання того й іншого водночас.

2. Розвинене уявлення відносно механізму впливу адсорбованих атомів на утворення та еволюцію ядер дислокацій, що стало основою робочої гіпотези мікромеханізму адсорбційного ефекту та було використане під час розробки методики розрахунку латентного періоду його розвитку в процесі шліфування.

3. Теоретично обґрунтовано й експериментально досліджено кінематичний спосіб інтенсифікації процесу круглого шліфування за рахунок забезпечення критеріальних вимог для прояву адсорбційно-пластифікуючого ефекту шляхом регулювання лінійної швидкості V_d обертання оброблюваної поверхні. Встановлено, що, в залежності від розмірів та властивостей абразивного круга й виробу, раціональні значення лінійної швидкості V_d , за якої виконуються критеріальні вимоги, обіймають діапазон $V_d \in 3,5 \dots 14$ м/с, що в 5÷10 разів перевищує значення, відомі з практики.

4. Виявлено, що використання раціональних значень кінематичних параметрів шліфування, за яких забезпечуються критеріальні умови для прояву адсорбційно-пластифікуючого ефекту, якісно змінює процес стружкоутворення та сприяє підвищенню його ефективності, яке виявляється як:

- зменшення енергетичних та силових параметрів у 1,5-3 рази;
- зниження температури у зоні різання до значень, за яких повністю виключається ймовірність виникнення шліфувальних тріщин та припалин;
- підвищення мікротвердості поверхні та зміна на краще розподілу фізико-механічних показників утворених поверхонь по глибині;
- зменшення на порядок потреб у витратах охолоджувальної рідини, причому вимоги до їхніх фізико-хімічних властивостей стають менш критичними.

Крім того, у 2-5 разів підвищується стійкість та зносостійкість абразивного інструменту. Встановлено також, що планетарно-сполучений спосіб шліфування за допомогою планетарно-шліфувальної головки дозволяє вести високоякісну глибину обробку навіть без застосування мастильно-охолоджувальних рідин.

5. Експериментально встановлено, що за відомих кінематичних параметрів круглого шліфування доцільне застосування катодної поляризації оброблюваної поверхні поза зоною різання, що дозволяє у 1,2-1,5 рази знизити питому ефективну енергоємність процесу стружкоутворення, підвищити зносостійкість абразиву у 1,5-3 рази й покращити показники фізико-механічних властивостей оброблюваної поверхні.

6. Запропоновано та обґрунтовано оригінальні способи та будови пристроїв для групового планетарно-врізного й планетарно-спряженого шліфування складних криволінійних та плоских поверхонь виробів типу турбінних лопаток, кулачкових валів, зразків для механічних випробовувань і т. і., які дозволяють кінематичне забезпечення критеріальних вимог для прояву адсорбційно-пластифікуючого ефекту під час шліфування зі всіма їхніми перевагами.

7. Розрахунками показано, що за кінематичного забезпечення умов для прояву адсорбційно-пластифікуючого ефекту (коли $\Delta\tau_p \geq \Delta\tau_x$) температура у зоні різання знижуються в 3,5-6 разів і не перевищує 150 °С для круглого шліфування без охолодження рідиною та 60 °С – для планетарно-спряженого. Це дозволяє повністю виключити ймовірність виникнення шліфувальних тріщин та

припалин й спростити вимоги до вибору мастильно-охолоджувальних рідин.

8. За розробленими способами шліфування створено експериментальні зразки пристроїв, які пройшли успішні випробовування у лабораторних та промислових умовах й підтвердили очікувані результати. Окремі результати дисертаційної роботи були впроваджені на дослідному виробництві Інституту проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України та були використані при виконанні науково-дослідних робіт за бюджетними та хоздоговірними темами, про що свідчать відповідні протоколи іспитів та акти впровадження.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. *А. А. Тарелин, Н. В. Сурду.* Планетарно-врезное шлифование изделий с аэродинамическим профилем типа турбинных лопаток // Пробл. машиностроения. – Харьков, 1998. – Т. 1. – №2. – С.109-116.

Здобувач приймав участь у постановці задачі й розробив методику та алгоритм розрахунку кінематичних параметрів процесу планетарно-врізного шліфування виробів з аеродинамічним профілем.

2. *Н. В. Сурду.* Адсорбционное влияние сред при шлифовании // Пробл. машиностроения. – Харьков, 1999. – Т. 2. – №1-2. – С.106-113.

3. *Н. В. Сурду.* Минимизация подачи СОТС в зону шлифования путем совершенствования кинематики процесса // Високі технології в машинобудуванні. - Харьков: НТУ "ХПІ", 2000. – С. 253-259.

4. *Н. В. Сурду, А. И. Долматов, А. Ф. Горбачев, А. А. Горбачев.* Влияние скорости круговой подачи и катодной поляризации обрабатываемой поверхности на эффективность круглого врезного шлифования // Вопросы проектирования и производства летательных аппаратов. – Харьков: НАКУ "ХАИ", 2000. – Вып. 21 (4) . – С.130-140.

Здобувач розробив методику обробки експериментальних результатів, та здійснив їхній аналіз.

5. *Н. В. Сурду, А. И. Долматов, А. Ф. Горбачев, А. А. Горбачев.* Повышение эффективности шлифования путем совершенствования кинематики процесса // Вопросы проектирования и производства летательных аппаратов. – Харьков: НАКУ "ХАИ", 2000. – Вып. 22 (5) . – С.118-124.

Здобувачем визначено основні вимоги що до методів удосконалення кінематики процесів формоутворення виробів, та здійснено основні узагальнення.

6. *Н. В. Сурду.* Микромеханизм влияния сред на пластическое деформирование и разрушение металлов. Часть 1. О наличии полости вдоль оси дислокации // Вопросы проектирования и производства летательных аппаратов. – Харьков: НАКУ "ХАИ", 2000. – Вып. 23 (6) . – С.116-123.

7. Н. В. Сурду. Микромеханизм влияния сред на пластическое деформирование и разрушение металлов. Часть 2. Модель микромеханизма // Вопросы проектирования и производства летательных аппаратов. – Харьков: НАКУ "ХАИ", 2001. – Вып. 24 (1) . – С.139-147.

8. Н. В. Сурду. Планетарно-сопряженное шлифование плоских поверхностей изделий // Материали міжнар. наук.-практ. конф. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. – Харків: НТУ "ХПІ", 1999. – Вип. 7. – Ч 2. – С. 202-207.

9. Н. В. Сурду. Повышение эффективности шлифования путем совершенствования кинематики процесса // Оборудование и инструмент для профессионалов. – Харьков. –2004. – №2 (49). – С.32-36.

10. Н. В. Сурду, А. А. Тарелин. "Холодное" шлифование – реальность? // Бизнес-мост. – Харьков. – 2004. – №2 (21) . – С. 15- 17.

Здобувач провів обробку та аналіз результатів експериментальних досліджень та брав участь у розробці узагальнень.

11. Пат. №1732599 РФ, МКИ В24В 1/00. Способ абразивной обработки деталей / Н.В. Сурду, А.А. Тарелин, А.Ф. Горбачев, Э.В. Подольский. (Украина) - №4739272; Заявл. 20.09.89; Оpubл. 19.03.93, Бюл. № 25. – 3 с., ил.

Здобувач брав участь у розробці формули винаходу та розробив алгоритм розрахунку швидкості обертання оброблюваної поверхні.

12. А.с. №1682131 СССР, МКИ В24В 19/14, В23Q 35/00. Копировально-шлифовальный станок / Э.В. Подольский, А.А. Тарелин, Н.В. Сурду. (Украина). – №4763629; Заявл. 17.10.89; Оpubл. 07.10.91, Бюл. №37. – 3 с.

Здобувач брав участь у розробці формули винаходу та розробив алгоритм розрахунку подачі оброблюваної поверхні навколо планетарної осі обертання.

13. Пат. №7840 Україна, МКИ В 24 В 51/00. Спосіб шліфування складних поверхонь та пристрій для його здійснення / Сурду Н.В., Тарелін А.А., Горбачов О.Ф., Криженко В.П. (Україна). – №1378228/SU; Заявл. 05.08. 86; Оpubл. 26.12.95, Бюл. №4. – 3 с.

Здобувач запропонував пружний контакт інструменту з виробом, за якого під час обробки радіальну складову сили шліфування регулюють пропорційно площі контакту інструменту з виробом, та обґрунтував можливість здійснення способу шліфування.

14. Пат. №2066268 РФ, МКИ В24В 1/00 Способ шлифования / Н.В. Сурду, И.М. Буюкли, А.А. Тарелин, А.Ф. Горбачев. (Украина). – №5064223; Заявл. 05.10.92; Оpubл. 10.09.96, Бюл. №25.– 5 с.

Здобувач брав участь у розробці формули винаходу та алгоритму розрахунку повздовжньої подачі, крім того, обґрунтував можливість здійснення способу шліфування.

15. Пат. №2080238 РФ, МКИ В 24 В 51/00. Способ шлифования / Н.В. Сурду, Э.В. По-

дольский, А.А. Тарелин, А.Ф. Горбачев. (Украина). – №5064219; Заявл. 05.10.92; Опубл. 27.05.97, Бюл. № – 5 с.

Здобувач брав участь у розробці формули винаходу та обґрунтував можливість здійснення способу шліфування.

16. *Н.В. Сурду*. Тарелин А.О., Подольский Э.В. Повышение эффективности абразивной обработки материалов // Тез. докл. Республиканской научно-технической конференции "Сверх-твердые материалы и инструменты в ресурсосберегающих технологиях". – Киев: УКРИНИИНТИ. – 1989. – Вып. 2. – С. 29-30

17. *Н.В. Сурду*. О физических основах интенсификации процессов деформирования и разрушения металлов при резании // Тез. докл. Всесоюзной научно-технической конференции "Пути повышения стойкости и надежности режущих и штамповых инструментов". – Николаев: Всесоюзный НИИ технологии судового машиностроения "СИРИУС". – 1990 г. – С.130-131.

18. *Н.В. Сурду*. Физические предпосылки и технологические методы повышения эффективности шлифования плоских и криволинейных поверхностей // Совершенствование турбоустановок методами математического и физического моделирования: Материалы международной научно-технической конференции (18-22 сент. 2000 г.). – Харьков: ИПМаш НАН Украины, 2000. – С.197.

19. *Н.В. Сурду*. Микромеханизм адсорбционного влияния сред на свойства деформируемых металлов // Труды III Международной конференции "ВОМ-2001": Водородная обработка материалов. - Донецк: ДГТУ, 2001.- Т.2. - С.374-376.

20. *Н.В. Сурду*. Влияние катодного наводораживания обрабатываемой поверхности на эффективность круглого врезного шлифования // Труды III Международной конференции "ВОМ-2001": Водородная обработка материалов. - Донецк: ДГТУ, 2001.- Т.2. - С.241-243.

21. *Н.В. Сурду*. К вопросу о наличии полости в ядре дислокации // Труды III Международной конференции "ВОМ-2001": Водородная обработка материалов. - Донецк: ДГТУ, 2001.- Т.2. - С. 371-373.

АНОТАЦІЯ

Сурду М. В. Підвищення ефективності шліфування важкооброблюваних матеріалів за рахунок удосконалення кінематики процесів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти. – ИПМаш ім. А. М. Підгорного НАН України, Харків, 2005 р.

В дисертації викладено результати теоретичних та експериментальних досліджень взаємозв'язку кінематичних параметрів шліфування з кінетичними умовами адсорбційного впливу ЗОТС у зоні різання на енергетичні та силові показники процесу. Запропоновано методика та критеріальні вимоги щодо визначення та забезпечення прояву адсорбційно-пластифікуючого ефекту (АПЕ) у найбільш повній можли-

вій мірі. Показано, що кінематичні параметри відомих методів шліфування не забезпечують прояв АПЕ у найбільш повному можливому обсязі. Експериментально досліджено вплив кінематики та катодної поляризації на енергетичні та силові параметри процесу шліфування та на формування фізико-механічних властивостей поверхневого шару. Встановлено, що забезпечення критеріальних вимог щодо прояву АПЕ сприяє зниженню енергетичних та силових параметрів процесів шліфування в 1,5-3 рази, а застосування катодної поляризації оброблюваної поверхні доцільне за відомих режимів шліфування. Розроблено теоретичні та технологічні передумови для застосування раціональних кінематичних параметрів процесів шліфування плоских та складних криволінійних поверхонь виробів із важкооброблюваних матеріалів за рахунок удосконалення кінематики процесів формоутворення. Наведено будову оригінальних пристроїв для групового планетарного, та планетарно-спряженого шліфування виробів, експериментальні зразки яких випробувано.

Ключові слова: шліфування, абразивне диспергування, адсорбційний ефект, дислокації, пластичне деформування, якість поверхонь, напруження, поверхня, процес.

АННОТАЦІЯ

Сурду Н. В. *Повышение эффективности шлифования труднообрабатываемых материалов за счет усовершенствования кинематики процессов.* - Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.03.01 – процессы механической обработки, станки и инструменты. – ИПМаш им. А. Н. Подгорного НАН Украины, Харьков, 2005 г.

Диссертационная работа посвящена разработке теории и способов повышения эффективности шлифования труднообрабатываемых материалов за счет обеспечения условий для проявления адсорбционного эффекта в наиболее полной возможной мере путем совершенствования кинематики процессов формообразования.

Проведен анализ теории шлифования материалов, который показал, что как физическое явление она основана на явлении пластического деформирования и разрешения, энергетические и силовые параметры которого и определяют эффективность и качество обработки. Показано, что на интенсивность и характер процесса стружкообразования значительно может влиять адсорбционный эффект, микромеханизм и условия проявления, которого при шлифовании мало изучены и приводят иногда к противоречивым суждениям. Сделан вывод о необходимости теоретического решения этого вопроса, что потребовало решения ряда задач.

Предложена научно обоснованная методика критериальной оценки наличия в зоне шлифования кинетических условий для проявления адсорбционного эффекта в наиболее полной возможной мере. Для ее реализации были развиты физические представления о способе влияния адсорбированных атомов на зарождение и эволюцию дислокаций, которые использованы при разработке рабочей гипотезы микромеханизма проявления адсорбционного эффекта и

определения латентного периода его развития при шлифовании. Проведен анализ кинетики адсорбционных процессов, протекающих в зоне резания при шлифовании. Установлено, что при известных методах и режимах шлифования критериальные требования для протекания адсорбционных явлений в наиболее полной возможной мере чаще всего не обеспечиваются. Сделан вывод о необходимости усовершенствования процессов шлифования и выявлены возможные пути повышения их эффективности, среди которых особое внимание уделено усовершенствованию кинематики процессов формообразования.

Разработаны и теоретически обоснованы способы группового планетарно-врезного и планетарно-сопряженного шлифования сложных криволинейных и плоских поверхностей изделий из труднообрабатываемых материалов, кинематика которых позволяет обеспечить выполнение критериальных требований для проявления адсорбционного эффекта в наиболее полной возможной мере.

Экспериментально исследовано влияние кинематических параметров на энергетические и силовые параметры процесса шлифования труднообрабатываемых материалов 20Х13ШЗ, ЭИ957, ЖС6-К и инструментальной стали У8А. Показано, что при кинематическом обеспечении критериальных условий для проявления адсорбционного эффекта удельные энергосиловые параметры снижаются в 1,5-2,5 раза и практически не зависят от интенсивности шлифования. При этом значительно снижается потребность в обильном охлаждении при помощи СОЖ, а требования к их физико-химическим свойствам становятся менее критичными.

Методами численного моделирования показано, что кинематические параметры процесса шлифования оказывают значительное влияние на тепловые явления зоны резания и при обеспечении критериальных требований для проявления адсорбционного эффекта температура на поверхности зоны резания снижается в несколько раз и достигает значений $T \leq 160$ °С для круглого шлифования и $T \leq 60-100$ °С для планетарного.

Приведено описание конструктивных решений для практической реализации разработанных способов шлифования криволинейных и плоских поверхностей таких деталей как турбинные лопатки, кулачковые валы, образцы для механических испытаний и др., экспериментальные образцы которых были созданы и прошли успешные испытания в лабораторных и производственных условиях. Полученные результаты подтвердили высокую эффективность кинематических методов интенсификации процессов шлифования.

Ключевые слова: шлифование, абразивное диспергирование, адсорбционный эффект, качество поверхности, пластическое деформирование, напряжение, поверхность, круг, процесс, связка, инструмент.

SUMMARY

Surdu N.V. Increasing the effectiveness of grinding hard-to-machine materials by improving the process kinematics.–Manuscript.

Thesis for a Candidat's degree by speciality 05.03.01 – machining processes, machines and tools. A.N. Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems of NAS of Ukraine, Kharkov, 2005.

The work describes the results of theoretical and experimental research in the relationship of kinematic grinding parameters with the kinetic conditions of the adsorption affect of cooling process media in the cutting zone on the energy and force parameters of the process. A technique and criteria requirements have been suggested for identifying the adsorption effect and ensuring its manifestation to the utmost degree. It has been shown that the kinematic parameters of known methods and regimes of grinding fail to ensure meeting the criteria conditions for manifestation of the adsorption effect to the utmost degree. The influence of the kinematics and cathode polarisation on the energy and force parameters of the grinding process, and on formation of the physico-mechanical properties of the surface layer have been investigated experimentally. It has been found that ensuring the criteria requirements concerning manifestation of the adsorption effect allows reducing the energy and force parameters of the grinding process by 1.5-3-fold. Employing cathode polarisation of the machined surface is practical for known kinematic parameters of grinding. The theoretical and technological assumptions of employing effective kinematic parameters of the processes of grinding flat and complex-shape curvilinear surfaces of parts made of hard-to-machine materials due to improving the kinematics of the processes of shape forming have been developed. Devices for unique fixtures intended for group planetary and planetary-conjugate grinding of parts are shown. The experimental prototypes of these devices have been tested successfully.

Keywords: grinding, abrasive dispersing, adsorption effect, surface quality, plastic strain, stress, surface, wheel, process, linkage, tool.

Підп. до друку 23 грудня 2005 р. Формат видання 145×215.
Формат паперу 60×90/16. Папір ксероксний 80 г/м². Друк - ризографія.
Обсяг 0,90 авт. арк.. Наклад 100 прим. Замовлення № 9585

Віддруковано в типографії
ТОВ СУНП «Бруксафоль-Курсор Поліси»
61057, м. Харків, пр. Театральний, 11/13,
т. (0572) 714-38-74, 706-31-73