

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кленов Олег Станіславович

УДК 621.923

**ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗДЕФЕКТНОЇ ОБРОБКИ
ДЕТАЛЕЙ ГІДРОАПАРАТУРИ НА ФІНІШНИХ ОПЕРАЦІЯХ**

05.02.08 – технологія машинобудування

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2011

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в ТОВ Фірма “ДіМерус Інженерінг”, м. Харків

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Новіков Федір Васильович,
Харківський національний економічний університет,
професор кафедри “Техніка і технології”

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Якімов Олександр Васильович,
Одеський національний політехнічний університет,
професор кафедри “Технологія машинобудування”

доктор технічних наук, професор
Марчук Віктор Іванович,
Луцький національний технічний університет,
завідувач кафедри “Приладобудування”

Захист відбудеться “25” березня 2011 р. о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.052.02 в Одеському національному політехнічному університеті за адресою: 65044, м. Одеса, пр. Шевченка, 1, ауд. 400–А

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Одеського національного політехнічного університету за адресою: 65044, м. Одеса, пр. Шевченка, 1

Автореферат розісланий “22” лютого 2011 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

В.С. Кравчук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. При фінішній механічній обробці відповідальних деталей гідроапаратури авіаційного призначення постійно виникають проблеми, пов'язані з нестабільністю якості обробки й низькою продуктивністю. Особливо це стосується операцій шліфування високоточних деталей – сепаратора й плунжера – виготовлюваних відповідно зі сталі 20Х3МВФ-Ш твердістю $HB \geq 800$ та сталі Х12МФ-В твердістю $HRC 60...64$. Висока силова й теплова напруженість процесу шліфування спричинює виникнення значних температур різання та появу на оброблюваних поверхнях припикань та мікротріщин. Температурний фактор при цьому є основним чинником, котрий обмежує підвищення продуктивності й інших техніко-економічних показників обробки. Практика свідчить, що зниження режимів різання й застосування більш прогресивних методів шліфування й правки круга проблеми не вирішують. Це вимагає пошуку нових ефективних технологічних рішень для підвищення якості й продуктивності обробки. У зв'язку з цим у роботі вирішується важливе науково-практичне завдання технологічного забезпечення бездефектної обробки деталей гідроапаратури на фінішних операціях на основі оптимізації їх структури й параметрів за температурним критерієм. Це рішення дозволить також обґрунтовано підійти до виявлення технологічних можливостей бездефектної обробки виробів із твердих сплавів, деталей, відновлених зносостійкими наплавленнями тощо.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до науково-технічного напрямку ТОВ Фірма “ДіМерус Інженерінг” (м. Харків), а також Державної комплексної програми розвитку авіаційної промисловості до 2010 року (затвердженої Постановою Кабінету Міністрів від 12.12.2001 р.), Закону України “Про державну підтримку літакобудувальної промисловості в Україні” (№ 2660-3, 12.07.2002 р.) і програми розвитку ДП Харківський машинобудівний завод “ФЕД” (затвердженої наказом Мінпромполітики України №534 від 13.10.2004 р.). Здобувач брав безпосередню участь у виконанні робіт як керівник і відповідальний виконавець.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення якості й продуктивності обробки деталей гідроапаратури на основі оптимізації структури й параметрів фінішних операцій за температурним критерієм.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися наступні задачі:

- обґрунтування умови зменшення основного часу обробки при заданій температурі шліфування;
- визначення технологічних можливостей підвищення якості й продуктивності обробки при багатопрхідному і глибинному шліфуванні з урахуванням раціональних умов охолодження оброблюваної деталі;
- розробка математичної моделі визначення енергоємності обробки при шліфуванні й обґрунтування умов її зменшення;
- виконання експериментальних досліджень основних технологічних параметрів операцій фінішної обробки деталей гідроапаратури й проведення перевірки отриманих теоретичних результатів;

- розробка інженерної методики розрахунку оптимальних режимів шліфування за температурним критерієм;
- розробка та впровадження у виробництво ефективних операцій фінішної обробки деталей гідроапаратури.

Об'єкт дослідження – технологічні процеси фінішної обробки деталей гідроапаратури.

Предмет дослідження – теоретичний аналіз технологічних можливостей підвищення якості й продуктивності фінішної обробки деталей гідроапаратури на основі оптимізації структури й параметрів операцій за температурним критерієм.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження провадилися з використанням методів, котрі базуються на фундаментальних положеннях технології машинобудування, теорії різання матеріалів, опору матеріалів, фізики, математичного аналізу, а також математичного моделювання. Експериментальні дослідження виконано із застосуванням профілографа-профілометра мод. 201, твердоміра ПМТ-3, мікроскопа металографічного ММР-4, електронного мікроскопа, тензометричного стенда для визначення сили різання.

Наукова новизна отриманих результатів. 1. Набуло подальшого розвитку обґрунтування умов зменшення основного часу обробки при заданій температурі шліфування на основі періодичного переривання процесу шліфування, що дозволило визначити раціональні структури й параметри операцій шліфування деталей гідроапаратури за температурним критерієм.

2. Вперше доведено, що при забезпеченні повного охолодження оброблюваної деталі між проходами круга ефективним є шліфування з постійною швидкістю деталі та глибиною шліфування, а при частковому охолодженні оброблюваної деталі – зі зменшеною для чергових проходів швидкістю деталі та збільшеною глибиною шліфування.

3. Вперше доведена можливість істотного підвищення продуктивності обробки при заданій температурі за рахунок застосування шліфування зі зменшеною у часі швидкістю знімання припуску.

4. Теоретично встановлена наявність екстремуму (максимуму) температури шліфування від глибини шліфування при заданій продуктивності обробки, що відкриває нові технологічні можливості підвищення якості й продуктивності обробки при глибинному та багатопрхідному шліфуванні.

5. Набула подальшого розвитку математична модель визначення температури при глибинному шліфуванні, яка дозволяє обґрунтувати умови зменшення температури і глибини проникнення тепла до поверхневого шару матеріалу, котрі полягають у істотному зменшенні відношення швидкості деталі та глибини шліфування.

6. Вперше розроблено математичну модель визначення енергоємності обробки при шліфуванні та обґрунтовано умови її зменшення, котрі полягають, головним чином, у зниженні інтенсивності тертя зв'язки круга з оброблюваним матеріалом.

7. Набула подальшого розвитку математична модель визначення параметрів силової напруженості механічної обробки з урахуванням довжини контакту стружки з передньою поверхнею ріжучого інструменту, що дозволило виявити причини істотної розбіжності розрахункових і експериментальних даних, уточнити відомі теоретичні рішення і визначити умови підвищення ефективності обробки.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що на основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень розроблено ефективні операції шліфування деталей гідроапаратури авіаційного призначення, котрі дозволяють підвищити якість та продуктивність обробки, а також виключити утворення температурних дефектів на оброблюваних поверхнях. Запропоновано методики вибору раціональної структури й параметрів операцій шліфування за температурним критерієм. Розроблені операції шліфування впроваджено на ДП Харківський машинобудівний завод “ФЕД” із загальним економічним ефектом 118195 гривень на рік. Результати теоретичних і експериментальних досліджень роботи використовуються у навчальному процесі на кафедрі “Техніка та технології” Харківського національного економічного університету.

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати, котрі виносяться на захист, отримано здобувачем самостійно й опубліковано у 23 наукових працях. Постановка наукових завдань і обговорення результатів проводились разом з науковим керівником. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать: [1] – експериментально визначені параметри силової напруженості процесу обробки; [2] – результати порівняння продуктивності обробки за різними схемами шліфування; [3] – експериментально визначені сили різання при точінні титанових сплавів; [6] – аналітичні залежності для визначення параметрів силової напруженості процесу різання; [7] – спрощений підхід до розрахунку пружних переміщень при обробці; [8] – розрахунок основного часу обробки і порівняння варіантів шліфування; [9] – результати дослідження параметрів якості обробки при шліфуванні лопаток турбін; [11] – розрахунок основного часу обробки при шліфуванні; [13] – розрахунок температури при глибинному шліфуванні; [14] – розроблена математична модель визначення енергоємності обробки при шліфуванні; [15] – експериментально визначена шорсткість поверхні при абразивній обробці; [16] – оцінка енергоємності обробки при обробці різальним і абразивним інструментом; [17] – експериментально визначені параметри якості обробки при різанні; [19] – методика порівняння параметрів глибинного і багатопрхідного шліфування; [22] – методика розрахунку температури при глибинному шліфуванні.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідалися та обговорювалися на VI, VIII, X, XIII, XIV, XV Міжнародних науково-технічних конференціях “Фізичні та комп’ютерні технології”, м. Харків, 2002–2004, 2007–2009 р.р.; XVII Міжнародному науково-технічному семінарі “Високі технології: тенденції розвитку”, Харків – Алушта, 2008 р.; XIII, XVI, XVII Міжнародних науково-практичних конференціях “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я”, м. Харків, 2005, 2008, 2009 р.р.; науково-технічній конференції “Нові та нетрадиційні технології в ресурсо- та енергозбереженні” (м. Одеса, 2009 р.); V, VI Міжнародних науково-технічних конференціях “Сучасні інструментальні системи, інформаційні технології та інновації”, м. Курськ, Росія, 2007, 2008 р.р.; Міжнародній науково-технічній конференції “Наукові дослідження, автоматика і тривкість машин, інноваційні і природозахисні технології у техносфері”, м. Курськ, Росія, 2008 р. Роботу в повному обсязі заслухано та схвалено на розширеному науковому семінарі кафедри “Технологія машинобудування” Одеського національного політехнічного університету (2010 р.).

Публікації. Основні результати дисертації опубліковано в 23 наукових працях, у тому числі 16 наукових праць – у виданнях, затверджених ВАК України.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів з висновками, загальних висновків, списку використаних літературних джерел та двох додатків. Загальний обсяг дисертації складає 228 сторінок, з них 105 ілюстрацій на 45 сторінках; 10 таблиць за текстом; 24 таблиці на 11 сторінках, 172 найменувань використаних літературних джерел на 19 сторінках; 2 додатки на 4 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** подано загальну характеристику роботи, у котрій обґрунтовано актуальність, новизну та практичне значення отриманих результатів, сформульовано мету і задачі досліджень. Наведено особистий внесок здобувача у виконану роботу й результати апробації дисертації.

У **першому розділі** проведено аналіз технологічних процесів фінішної обробки високоточних деталей гідроапаратури авіаційного призначення й відмічено їхні недоліки, пов'язані з низькою продуктивністю і якістю обробки у зв'язку з утворенням на оброблюваних поверхнях температурних дефектів (припикань та мікротріщин). Відзначається, що перехід від малоефективного притирання абразивним порошком торцевої поверхні сепаратора (виготовленого зі сталі 20Х3МВФ-Ш твердістю $HV \geq 800$) до його шліфування дозволяє забезпечити високі вимоги щодо точності й шорсткості обробки. Однак, при цьому на оброблюваних поверхнях виникають припикання, котрі знижують ефективність застосування процесу шліфування. Наявність припикань на оброблюваних поверхнях є також характерною для операції безцентрового шліфування плунжера, виготовленого зі сталі Х12МФ-В твердістю $HRC\ 60..64$ та інших деталей. Основним напрямком зменшення теплової напруженості процесу шліфування є зниження режимів різання. Однак, це призводить до зниження продуктивності обробки і не є завжди прийнятним. Тому важливо мати у розпорядженні нові технологічні рішення, котрі одночасно дозволяють підвищити якість та продуктивність обробки деталей.

Відзначається, що у даному напрямку накопичено значний досвід. Розроблено теоретичні основи теплофізики процесу шліфування, які дозволяють у кожному конкретному випадку обґрунтовано підійти до вибору оптимальних умов обробки за температурним критерієм. Серед відомих теоретичних рішень варто відзначити рішення, отримані проф. Якімовим О.В., Новіковим Ф.В. і Яценком С.М. з урахуванням балансу тепла, яке переходить до стружки та оброблюваної деталі (рис. 1):

$$c \cdot \rho \cdot S \cdot V_{piz} \cdot \int_0^{\tau} \theta(\tau) \cdot d\tau + \frac{c \cdot \rho \cdot \lambda \cdot S^2}{2 \cdot N} \cdot [\theta(\tau)]^2 = N \cdot \tau; \quad (1)$$

$$\theta(\tau) = \frac{\sigma}{c \cdot \rho} \cdot z, \quad (2)$$

де $\theta(\tau)$ – температура шліфування, К; τ – час обробки, с; $N = q \cdot S$ – потужність теплового джерела, Вт; S – площа поперечного перерізу деталі, m^2 ; $q = \sigma \cdot V_{piz}$ – щільність теплового потоку, $Вт/m^2$; σ – умовне напруження різання, $Н/m^2$ (енергоємність обробки,

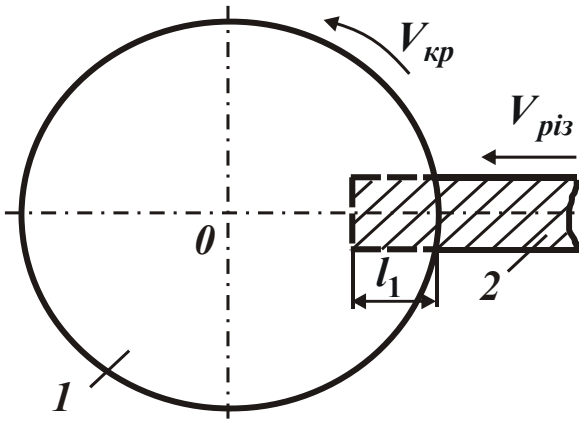


Рис. 1. Розрахункова схема процесу шліфування деталі, що рухається уздовж нормалі до круга: 1 – круг; 2 – деталь

деталей гідроапаратури, а також інших виробів, наприклад, твердосплавних різальних інструментів; ущільнювальних кілець зі зносостійкого композиційного матеріалу на основі реліту, котрі використовуються у парах тертя для герметизації валів гідрозахисту заглибних електродвигунів електробурильної техніки; ялинкових замків турбінних лопаток з жароміцного сплаву на нікелевій основі марки ЧС88У-ВИ; деталей, відновлених методом наплавлення дроту Нп-12Х18Н9Т ($HRC\ 35$) і ПП-Нп-10Х14Т ($HRC\ 52$) діаметром 1,2 мм тощо. На підставі цього сформульовані мета й задачі дослідження, наведені вище.

У другому розділі аналітично визначено умови підвищення якості та продуктивності обробки при шліфуванні прямолінійної деталі, що рухається уздовж нормалі до круга з постійною швидкістю (рис. 1). Для цього на основі рівняння (1) з урахуванням того, що при шліфуванні величина $z < 0,2$, отримано спрощену залежність для визначення температури шліфування:

$$\theta = \sigma \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot V_{пиз} \cdot l_1}{c \cdot \rho \cdot \lambda}} \quad (3)$$

Доведено, що розрахункові значення температури шліфування відрізняються від експериментальних у межах 10 %. Це засвідчує вірогідність отриманого теоретичного розв'язання. Із залежності (3) впливають основні умови зменшення температури шліфування, які полягають у зменшенні умовної напруги різання σ (енергоємності обробки) і в зніманні припуску Π невеликими частинами l_1 за рахунок періодичного переривання процесу шліфування з метою охолодження нагрітої деталі (рис. 2). Зменшуючи $l_1 \rightarrow 0$, можна фактично необмежено збільшити швидкість деталі $V_{пиз}$ й відповідно продуктивність обробки при тій самій температурі шліфування θ . Цим засвідчується наявність значних резервів шліфування. У зв'язку з цим проведено оптимізацію структури й параметрів операції шліфування в n переходів за найменшим основним часом обробки τ з урахуванням обмеження за температурою шліфування θ :

Дж/м³); $V_{пиз}$ – швидкість переміщення деталі, м/с; c – питома теплоємність матеріалу, Дж/(кг·К); λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, Вт/м·К; ρ – щільність матеріалу, кг/м³; z – відносна температура, яка змінюється в межах 0...1 і визначається з рівняння $\frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot l_1 \cdot V_{пиз} = -\ln(1-z) - z$; l_1 – товщина знятого шару матеріалу, м.

Наведене рішення дозволяє виявити основні шляхи підвищення якості й продуктивності обробки деталей для різних методів механічної обробки. Це відкриває нові можливості визначення умов бездефектної обробки на операціях шліфування

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_n = \frac{\left[\Pi_1^2 + \Pi_2^2 + \dots + \Pi_{n-1}^2 + (\Pi - \Pi_1 - \Pi_2 - \dots - \Pi_{n-1})^2 \right]}{A}, \quad (4)$$

де $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$ – припуски, які знімаються на переходах; $\Pi_1 + \Pi_2 + \dots + \Pi_n = \Pi$ – сумарний припуск, м; $A = \left(\frac{c \cdot \rho \cdot \lambda}{2} \right) \cdot \left(\frac{\theta}{\sigma} \right)^2$.

Із залежності (4) випливає нескінченна безліч екстремумів (мінімумів) основного часу обробки τ від величин $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$ (рис. 3,а). Підпорядковуючи функцію τ необхідній умові екстремуму: $\tau'_{\Pi_1} = 0; \tau'_{\Pi_2} = 0; \tau'_{\Pi_n} = 0$, визначимо екстремальні значення параметрів: $\Pi_1 = \Pi_2 = \dots = \Pi_n = \frac{\Pi}{n}$; $\tau_{min} = \frac{\Pi^2}{n \cdot A}$; $V_{piz} = \frac{n \cdot A}{\Pi}$ (рис. 3,в).

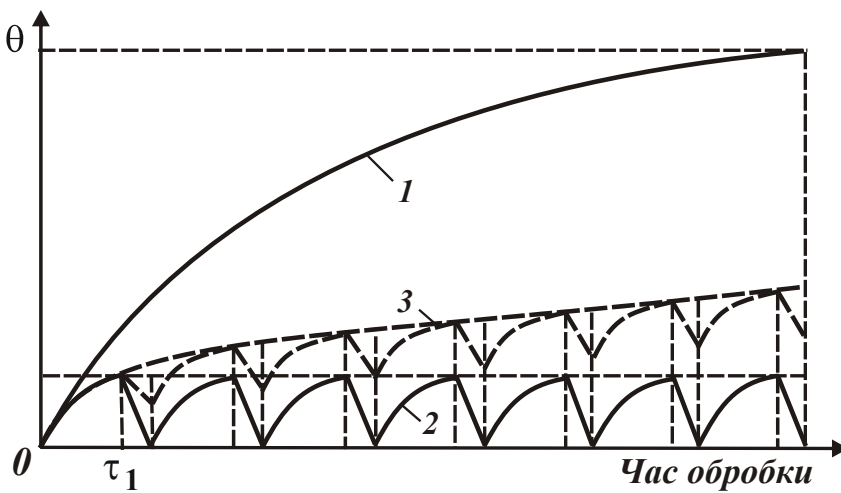


Рис. 2. Залежність температури шліфування θ від часу при обробці в один перехід і відсутності охолодження деталі (1) та при обробці в n переходів при повному (2) і частковому (3) охолодженні деталі

У результаті досліджень встановлено, що при забезпеченні повного охолодження деталі між переходами (але без урахування часу, що витрачається на її охолодження) основний час обробки набуває мінімальне значення за умови розбивки припуску, що знімається, на однакові частини й виконання обробки за n переходів з однаковою швидкістю V_{piz} . При цьому значення τ_{min} тим менше, чим більше кількість переходів n .

Встановлено, що врахування часу, котрий витрачається на повне охолодження деталі між переходами, не змінює екстремального характеру залежності (4) основного часу обробки від n , однак, збільшує мінімальне значення τ_{min} (рис. 3,б):

$$\tau_{min} = \frac{\tau}{n} + (n-1) \cdot \tau_{охол} = \frac{1}{n} \cdot \left(\tau - \frac{\sqrt{0,5 \cdot c \cdot \rho \cdot \lambda \cdot \tau}}{\alpha} \right) + \frac{\sqrt{0,5 \cdot c \cdot \rho \cdot \lambda \cdot \tau}}{\alpha}, \quad (5)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·К); $\tau_{нагр}$, $\tau_{охол}$ – час нагрівання й охолодження

деталі, с; $\tau_{охол} = \frac{\sqrt{0,5 \cdot c \cdot \rho \cdot \lambda \cdot \tau_{нагр}}}{\alpha}$; $\frac{\tau_{охол}}{\tau_{нагр}} = \frac{1}{\alpha} \cdot \sqrt{\frac{c \cdot \rho \cdot \lambda}{2 \tau_{нагр}}}$; $\tau_{нагр} = \frac{\tau}{n^2}$; $\tau = \frac{\Pi^2}{A}$ – час

знімання припуску Π за один перехід за умови забезпечення заданої температури θ , с.

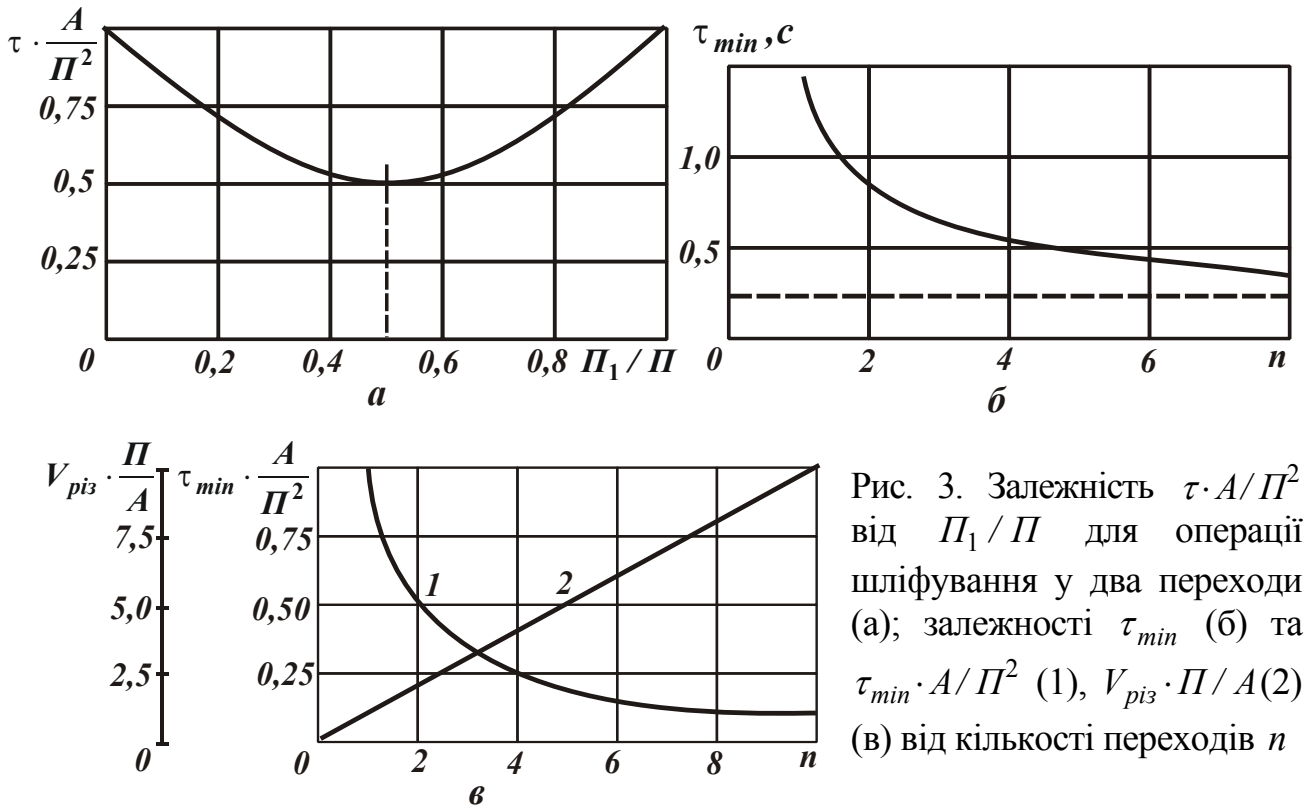


Рис. 3. Залежність $\tau \cdot A / \Pi^2$ від Π_1 / Π для операції шліфування у два переходи (а); залежності τ_{min} (б) та $\tau_{min} \cdot A / \Pi^2$ (1), $V_{piz} \cdot \Pi / A$ (2) (в) від кількості переходів n

Встановлено, що зі збільшенням n величина τ_{min} зменшується не нескінченно (як у попередньому рішенні), а до кінцевого значення, зумовленого другим доданком залежності (5). При цьому відношення значень τ_{min} , отриманих із залежностей (5) і (4), становить 1,17 (при $n=2$) і 3,53 (при $n=16$).

Розв'язання (5) отримано за умови рівності кількості тепла, що витрачається на нагрівання $Q_{нагр} = S \cdot \theta \cdot \sqrt{0,5 \cdot c \cdot \rho \cdot \lambda \cdot \tau_{нагр}}$ й охолодження $Q_{охол} = \alpha \cdot (\theta - \theta_0) \cdot S \cdot \tau_{охол}$ оброблюваної деталі, де θ_0 – температура деталі після її охолодження ($\theta_0 = 0$). Розрахунки виконані для наступних вихідних даних: $\rho = 14,5 \cdot 10^3$ кг/м³; $c = 40$ кал/(кг·град); $\lambda = 14$ кал/(м·с·град); $\alpha = 10^4$ кал/(м²·с·град); $\theta = 1000^\circ\text{C}$; $\sigma = 10^5$ Н/мм²; $\Pi = 0,1$ мм; $A = 7 \cdot 10^{-9}$ м²/с. Розрахунками встановлено, що зі збільшенням кількості переходів n відношення $\tau_{охол} / \tau_{нагр}$ також збільшується (таблиця), а довжина робочого виступу круга l (при переривчастому шліфуванні зі швидкістю круга 30 м/с) приймає значення, котрі неможливо реалізувати на практиці. Отже, за допомогою переривчастого шліфування складно виконати умови обробки, що відповідають кривій 2 (рис. 2). Фактично можна реалізувати криву 3, котра допускає лише часткове охолодження оброблюваної деталі в період переривання процесу шліфування, що також створює ефект обробки, підтверджений експериментальними даними. Реалізувати ж криву 2 (рис. 2) і, таким чином, домогтися найбільшої продуктивності при заданій температурі шліфування θ можна за рахунок застосування, наприклад, схеми шліфування, коли оброблювана деталь рухається не уздовж нормалі (рис.1), а по дотичній до робочої поверхні круга (виконуючи зворотно-поступальні рухи в тангенціальному напрямку), тобто за рахунок застосування схем плоского й круглого зовнішнього шліфування.

Розрахункові значення $\tau_{нагр}$, $\tau_{охол}/\tau_{нагр}$ і l для $\Pi=0,1$ мм

n	1	2	3	4	8	16
$\tau_{нагр}$, с	1,43	0,357	0,159	0,089	0,022	0,0056
$\tau_{охол}/\tau_{нагр}$	–	0,337	0,505	0,675	1,358	2,693
l , м	–	10,7	4,74	2,7	0,66	0,17

Щоб реалізувати криву 2 (рис. 2) при частковому охолодженні деталі між переходами, отримано нове розв'язання, аналогічне розв'язанню (4). Основний час обробки в цьому випадку також змінюється за екстремальною залежністю. Однак, мінімум часу обробки зумовлений нерівномірним зняттям на переходах припуску, котрий підлягає закону, близькому до зростаючої геометричної прогресії. При цьому швидкість радіальної подачі для переходів змінюється за законом, близьким до спадної геометричної прогресії (рис. 4,а), а мінімальний час обробки є тим меншим, чим більшою є кількість переходів n (рис. 4,б). Отже, реалізація умов шліфування з дискретно змінюваною (зменшуваною) для переходів швидкістю радіальної подачі дозволяє підвищити продуктивність обробки при забезпеченні заданої температури θ . Розрахунками встановлено, що основний час обробки на переходах, наприклад, при шліфуванні в 4 переходи, підкоряється залежності $\tau = (0,021 + 0,063 + 0,133 + 0,233) \cdot \Pi^2 / A$, тобто на останньому переході він значно більший, ніж на першому. Швидкість V_{pi31} на першому переході у 7 разів більша швидкості V_{pi3} при шліфуванні в один перехід, а на четвертому переході – більша усього в 1,5 рази (рис. 4,а).

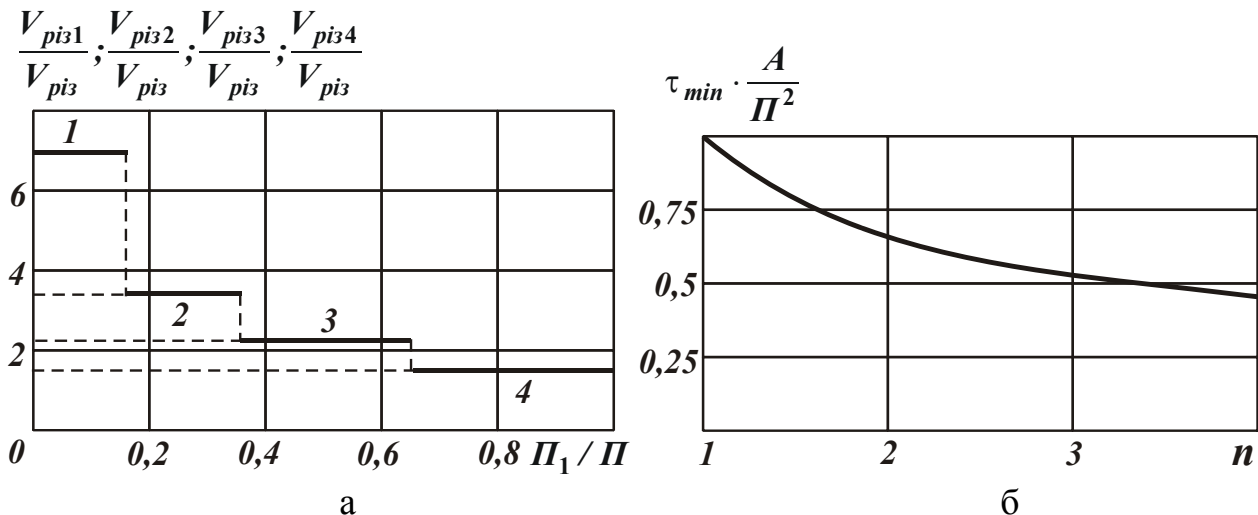


Рис. 4. Характер зміни відношень V_{pi31}/V_{pi3} (1), V_{pi32}/V_{pi3} (2) і V_{pi33}/V_{pi3} (3) V_{pi34}/V_{pi3} (4) на чотирьох переходах (а) і залежність $\tau_{min} \cdot A / \Pi^2$ від n (б)

Аналогічне рішення отримане спрощеним методом при розгляді залежності (3) у вигляді $V_{pi3} = \sqrt{A/\tau}$. Із залежності випливає можливість забезпечення заданої температури шліфування θ за рахунок зменшення у часі швидкості V_{pi3} . Вели-

чина знятого припуску $\Pi = \int_0^{\tau} V_{piz} \cdot d\tau$, звідки $\tau = 0,25 \cdot \Pi^2 / A$. Очевидно, при шліфуванні деталі з постійною швидкістю V_{piz} час знімання припуску Π дорівнює $\tau = \Pi^2 / A$. Отже, при шліфуванні з неперервно зменшуваною у часі швидкістю V_{piz} основний час обробки може бути зменшений у 4 рази при однаковій температурі шліфування. Практично реалізувати цю схему шліфування можна при виходженні. У цьому випадку швидкість радіальної подачі підлягає закону, близькому до спадної геометричної прогресії, тобто такому ж, як і при обробці зі зменшуваною на переходах (у часі) швидкістю V_{piz} .

У третьому розділі проведено теоретичний аналіз умов підвищення ефективності плоского шліфування на основі температурного критерію. Встановлено, що перехід від схеми шліфування, показаної на рис. 1, до плоского багатопрхідного шліфування (при розгляді оброблюваної деталі як пакета деталей, котрі рухаються по дотичній до круга зі швидкістю V_{det} , рис. 5,а) дозволяє у найпростіший спосіб реалізувати ефект періодичного переривання процесу шліфування з метою охолодження оброблюваної деталі й забезпечення максимальної продуктивності обробки. Це особливо стосується шліфування периферією круга, де відношення $\tau_{охол} / \tau_{нагр} \gg 1$ і де на відміну від торцевого шліфування, можна значно простіше забезпечувати повне охолодження деталі між проходами круга. Для зниження температури при торцевому шліфуванні доцільно використовувати переривчасті круги (реалізуючи криву 2 (рис. 2)), а також зменшувати кут α (рис. 5,а):

$$\theta = \sigma \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot V_{det} \cdot l_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha}{c \cdot \rho \cdot \lambda}} \quad (6)$$

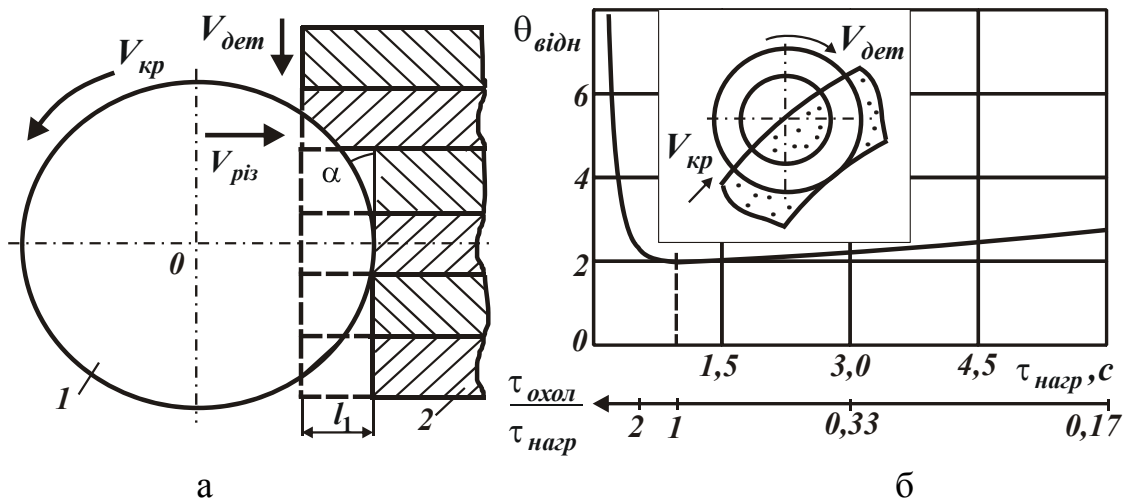


Рис. 5. Розрахункова схема шліфування (а) і залежність відносної температури $\theta_{відн}$ від часу $\tau_{нагр}$ (б): 1 – круг; 2 – деталь

На основі залежності (6) встановлено відносну температуру $\theta_{відн}$ (рис. 5,б) та визначено умови її зменшення для заданої продуктивності шліфування торцем круга торцевої поверхні циліндричної деталі. Вони полягають у встановленні площі контакту

круга з деталлю, рівною половині площі оброблюваної поверхні, а також у зменшенні швидкості обертання деталі до значення, при котрому забезпечується повне охолодження оброблюваної поверхні:

$$\theta_{min} = 2 \cdot \sigma \cdot V_{piz} \cdot \sqrt{\frac{1}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{\pi \cdot D_{dem}}{V_{dem}}} \quad (7)$$

За аналогією з отриманими розв'язаннями (рис. 3,а й рис. 4,а), проведено оптимізацію параметрів операції плоского шліфування за найменшим основним часом обробки з урахуванням обмеження за температурою шліфування θ для випадків повного й часткового охолодження оброблюваної деталі між проходами круга. Доведено, що у першому випадку можна домогтися значно меншого основного часу обробки, ніж у другому. При цьому глибину шліфування й швидкість деталі для проходів варто встановлювати однаковими, збільшуючи кількість проходів і приймаючи швидкість деталі максимально можливою. У другому випадку необхідно глибину шліфування для проходів збільшувати, а швидкість деталі зменшувати за законами, близькими до геометричної прогресії, наприклад, при зніманні припуску Π за 4 проходи: $t_1 = 0,146 \cdot \Pi$; $t_2 = 0,219 \cdot \Pi$; $t_3 = 0,285 \cdot \Pi$; $t_4 = 0,35 \cdot \Pi$; $\frac{V_{dem1}}{V_{dem}} = 18,193$; $\frac{V_{dem2}}{V_{dem}} = 7,427$; $\frac{V_{dem3}}{V_{dem}} = 4,011$; $\frac{V_{dem4}}{V_{dem}} = 2,538$, де V_{dem} – швидкість деталі при зніманні припуску за один прохід. Це свідчить про те, що на останньому проході фактично реалізуються умови глибинного шліфування. Тому в роботі визначено температуру при глибинному шліфуванні (рис. 6,а). Встановлено, що у зв'язку із криволінійністю контакту круга з деталлю швидкість V_{piz} перерізання адіабатичних стержнів, котрими умовно представлено припуск, що знімається, зменшується в часі τ . Це приводить до екстремального характеру зміни температури θ уздовж товщини припуску, котрий знімається (в часі τ):

$$\frac{\theta}{\theta_*} = \left(1 - \frac{\tau}{\tau_*}\right) \cdot \sqrt{\frac{\tau}{\tau_*}} \quad (8)$$

де $\theta_* = \frac{\sigma}{\lambda} \cdot \frac{V_{dem}^2 \cdot \tau_*}{R_{кр}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot \tau_*}$; $\tau_* = \frac{\sqrt{2 \cdot R_{кр} \cdot t}}{V_{dem}}$ – час контакту круга зі стержнем, с.

Підпорядковуючи залежність (8) необхідній умові екстремуму, встановимо, що при $\tau = \tau_* / 3$ має місце максимум функції θ / θ_* (рис. 6,б). Встановлено також, що при постійній швидкості V_{piz} перерізання адіабатичного стержня температура θ_1 безупинно збільшується із часом обробки τ (рис. 6,б):

$$\theta_1 = \frac{\sigma}{\lambda} \cdot \frac{V_{dem}^2 \cdot \tau_*}{R_{кр}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot \tau_* \cdot \frac{\tau}{\tau_*}} \quad \text{або} \quad \frac{\theta_1}{\theta_*} = \sqrt{\frac{\tau}{\tau_*}} \quad (9)$$

Отже, завдяки реалізації зменшеної в часі швидкості V_{piz} максимальна температура шліфування θ / θ_* менша приблизно у 3 рази температури θ_1 / θ_* й досягається фактично в початковий момент перерізання адіабатичного стержня. Це свідчить про те, що нагрівається головним чином припуск, котрий знімається, тобто при глибинному шліфуванні до стружки відходить значно більш тепла, ніж у оброблювану деталь.

Температура θ поверхневого шару деталі, $y=0$ (рис. 6,а), визначається

$$\theta = \frac{0,94 \cdot \sigma}{\lambda \cdot \sqrt{R_{кр}}} \cdot \left(\sqrt{\frac{0,94 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot \sqrt{R_{кр}} \cdot U} - U \right), \quad (10)$$

де $U = Q_{y0} \cdot \sqrt{t}$ – змінна величина; $Q_{y0} = t \cdot V_{дем}$ – питома продуктивність обробки, m^2/c ; $R_{кр}$ – радіус круга, м.

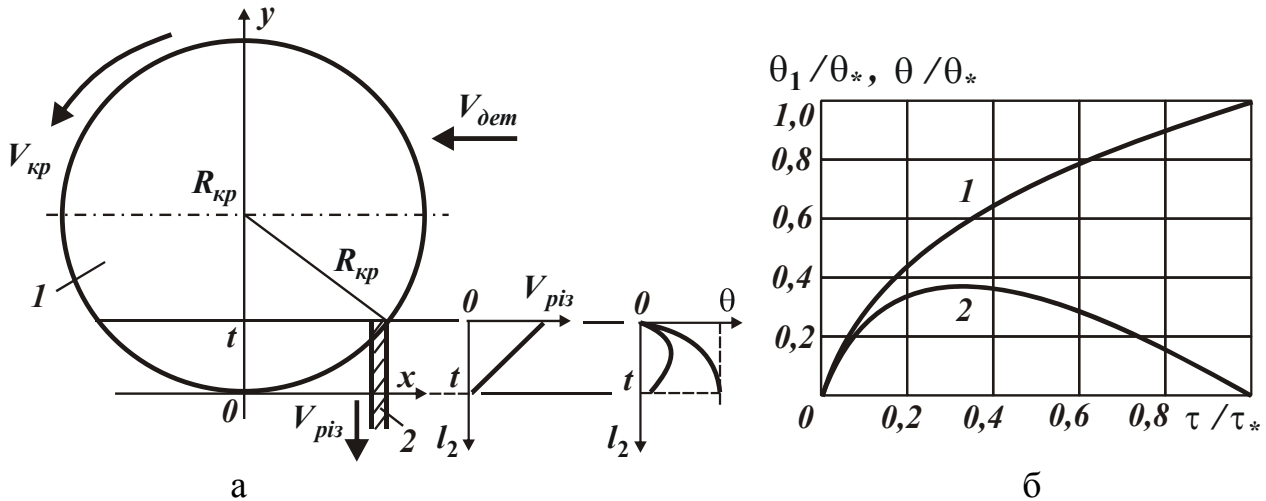


Рис. 6. Розрахункова схема температури глибокого шліфування: 1 – круг; 2 – адіабатичний стержень (а) і залежності θ_1 / θ_* (1), θ / θ_* (2) від τ / τ_* (б)

Підпорядковуючи функцію θ необхідній умові екстремуму, визначимо екстремальні значення: $U = \frac{0,94 \cdot \lambda \cdot \sqrt{R_{кр}}}{4 \cdot c \cdot \rho}$; $\theta_{max} = 0,22 \cdot \frac{\sigma}{c \cdot \rho}$. Відповідно температура θ поверхневого шару обробленої деталі зі збільшенням глибини шліфування (при заданій продуктивності обробки) змінюється за екстремальною залежністю, проходячи точку максимуму (рис. 7). Це свідчить про те, що зменшити температуру шліфування можна двома шляхами: застосуванням багатопрохідного шліфування (з відносно високою швидкістю деталі) і глибокого шліфування (з досить малою швидкістю деталі). Отже, реалізувати бездефектне глибоке шліфування можна з відносно великою питомою продуктивністю обробки, рівною 5–10 тис. $mm^3/(xv \cdot mm)$ і глибиною шліфування до 10 мм і більше, наприклад, при розрізуванні заготовок на частини, вишліфовуванні глибоких пазів та канавок. Отриманий висно-

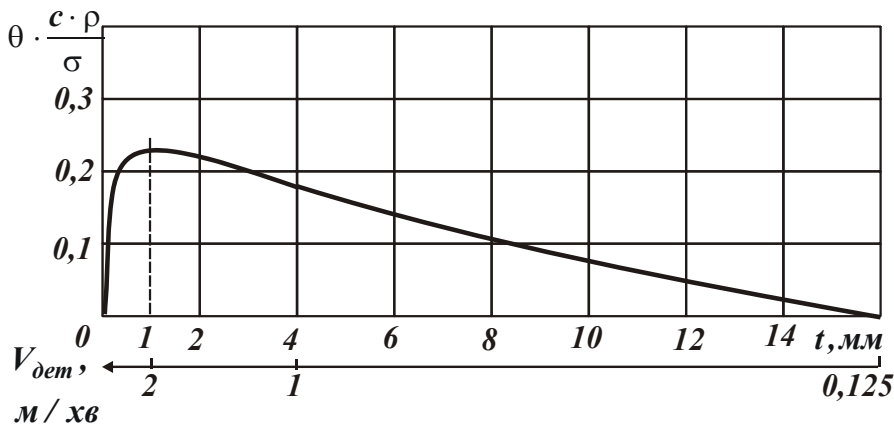


Рис. 7. Зміна функції $\theta \cdot c \cdot \rho / \sigma$ від глибини шліфування t (при зміні швидкості деталі $V_{дем}$)

вати бездефектне глибоке шліфування можна з відносно великою питомою продуктивністю обробки, рівною 5–10 тис. $mm^3/(xv \cdot mm)$ і глибиною шліфування до 10 мм і більше, наприклад, при розрізуванні заготовок на частини, вишліфовуванні глибоких пазів та канавок. Отриманий висно-

вок узгоджується з відомими експериментальними даними проф. Вернера Г. (США), а також свідчить про те, що глибинне шліфування є високопродуктивним методом обробки, цілком конкурентоспроможним відносно обробки різальним інструментом.

У четвертому розділі наведено математичну модель визначення енергоємності обробки при шліфуванні (умовне напруження різання σ) з урахуванням процесів різання й тертя зв'язки круга з матеріалом. Встановлено, що при шліфуванні за схемою, наведеною на рис. 1, і при плоскому шліфуванні (рис. 6) величина σ визначається, як:

$$\sigma = \sigma_{piz} + \left(\frac{V_{piz}}{V_{piz0}} - 1 \right) \cdot \frac{c \cdot f \cdot \tau \cdot V_{кр}}{S}; \quad \sigma = \sigma_{piz} + \left(\frac{t}{t_{\phi}} - 1 \right) \cdot \frac{c \cdot f \cdot n \cdot V_{кр}}{B \cdot V_{дет}},$$

де σ_{piz} – умовне напруження різання (враховує різання зернами круга, але не враховує тертя зв'язки круга з матеріалом), Н/м²; V_{piz}, V_{piz0} – фактична й номінальна лінійні швидкості знімання матеріалу, м/с; f – коефіцієнт тертя зв'язки круга з матеріалом; c – жорсткість технологічної системи, Н/м; $V_{кр}$ – швидкість круга, м/с; B – ширина шліфування, м; t, t_{ϕ} – номінальна й фактична глибини шліфування, м; n – кількість проходів круга.

Перші доданки залежностей зумовлені процесом різання, а другі – тертям круга з оброблюваним матеріалом у зв'язку з розходженням параметрів V_{piz}, V_{piz0} і t, t_{ϕ} через виникнення в технологічній системі пружних переміщень.

Розрахунки засвідчили, що при шліфуванні за схемою, показаною на рис. 1, енергоємність обробки є у багато разів більшою, ніж при плоскому шліфуванні. Наприклад, при $V_{piz}/V_{piz0}=2$; $c=10^7$ Н/м; $\tau=60$ с; $f=0,5$; $V_{кр}=30$ м/с; $S=20$ мм² і

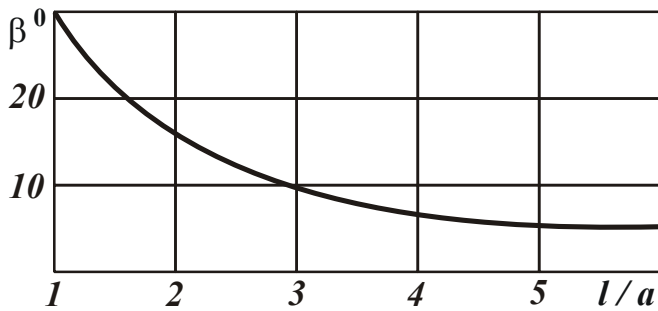


Рис. 8. Залежність кута β від l/a

$t/t_{\phi}=2$; $B=20$ мм; $V_{дет}=30$ м/хв другі доданки наведених вище залежностей, які обумовлені тертям зв'язки круга з матеріалом, відповідно становлять $15 \cdot 10^7$ МПа і $30 \cdot 10^4$ МПа, а $\sigma_{piz}=(1,5...2) \cdot 10^4$ МПа. Отже, більш ефективно подачу деталі при шліфуванні здійснювати не уздовж нормалі до круга (рис. 1), а уздовж дотичної до

нього (рис. 5,а). У цьому випадку зменшуються пружне переміщення в технологічній системі, інтенсивність тертя зв'язки круга з матеріалом, енергоємність обробки й температура. При виключенні тертя зв'язки круга з матеріалом енергоємність визначається лише умовним напруженням різання зернами круга σ_{piz} . Виходячи із цього, сформульовано умови зменшення енергоємності обробки. Вони полягають у зменшенні розбіжності номінальної й фактичної глибин шліфування, зумовлених пружними переміщеннями в технологічній системі. Це досягається збільшенням виступання вершин зерен над рівнем зв'язки круга й своєчасним видаленням з робочої поверхні круга затуплених зерен за рахунок застосування ефективних методів виправлення й режиму самозагострювання круга.

У роботі також визначено умови зменшення величини $\sigma_{piz} = \sigma_{cm} / \operatorname{tg}\beta$, що полягають у збільшенні умовного кута зсуву матеріалу β (де σ_{cm} – межа міцності на стиск оброблюваного матеріалу, Н/м²). Встановлено, що кут β однозначно визначається відношенням довжини контакту стружки з передньою поверхнею інструмента l й товщини зрізу a (рис. 8). Чим меншим є відношення l/a , тим більший кут β і відповідно менша величина σ_{piz} . Зі збільшенням відношення l/a кут β може приймати невеликі значення ($\beta < 10^\circ$). Це підтверджується експериментальними даними, отриманими при дослідженні процесу обробки різальним інструментом. Пояснити наявність таких невеликих значень кута β на основі відомих розрахункових схем (наприклад, схеми, запропонованої проф. Зворикіним К.О.) неможливо. Це пов'язане з тим, що у розрахунках силу різання необхідно розглядати не у вигляді зосередженої сили, прикладеної до вершини інструмента (як це прийнято), а у вигляді рівномірно розподіленого навантаження, котре діє на передній поверхні інструмента. Таким чином, розроблені методики розрахунку енергоємності обробки та сили різання дозволяють уточнити відомі теоретичні рішення в даному напрямку й визначити умови зниження силової напруженості процесу обробки.

У п'ятому розділі наведено результати експериментальних досліджень, розробки й впровадження у виробництво ефективних операцій шліфування деталей гідроапаратури. Експериментально встановлено, що реалізація на верстаті "Теленхауз" схеми шліфування торцевої поверхні сепаратора (виготовленого зі сталі 20Х3МВФ-Ш твердістю $HV \geq 800$) торцем круга з безупинно зменшуваною в часі швидкістю знімання припуску, здійснюваною шляхом періодичного створення в технологічній системі натягу величиною 0,01 мм (рис. 9), виключає утворення припикань на оброблюваних поверхнях без зниження продуктивності обробки.

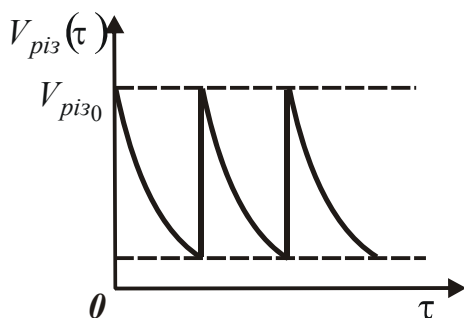


Рис. 9. Характер зміни швидкості знімання припуску $V_{piz}(\tau)$

Це підтверджує теоретичні результати, викладені у розділі 2, і дозволяє здійснити перехід від малоефективного притирання сепаратора абразивним порошком до його шліфування, що забезпечує високі вимоги щодо точності й шорсткості обробки (площинність обробки – до 0,005 мм, шорсткість поверхні $R_a = 0,16$ мкм). Обробка виконується чашковим циліндричним кругом розміром 36x50x12 із зернистістю 4 і твердістю Т3 (при чорновому шліфуванні) і кругом із зернистістю М7 (при чистовому шліфуванні), СОТС – трансформаторне масло.

Також експериментально встановлено, що застосування круглого зовнішнього шліфування на сучасному верстаті "Okamoto" плунжера діаметром 13 мм і довжиною 54,5 мм (виготовленого зі сталі Х12МФ-В твердістю $HRC 60...64$) замість безцентрового шліфування дозволило усунути утворення на оброблюваних поверхнях припикань і окремих рисок-подряпин, вирішити задачу високоякісної обробки (конусність і овальність не перевищують 0,003 мм, шорсткість поверхні відповідає 11-му класу чистоти) і виключити наступні трудомісткі операції доведення на плиті послідовно пастою й повстяним кругом. Позитивні результати досягнуто завдяки зни-

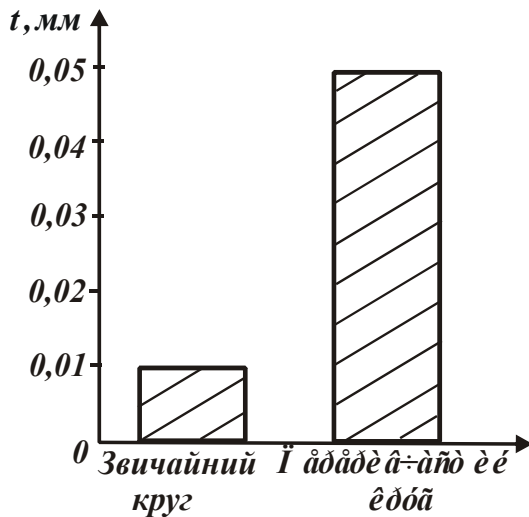


Рис. 10. Значення глибин шліфування, при яких виключається утворення температурних дефектів на оброблюваних поверхнях

фуванням звичайним алмазним кругом дозволило до 5 разів підвищити продуктивність обробки при забезпеченні високої якості оброблюваних поверхонь (рис. 10), що узгоджується з теоретичними висновками. Ефект досягнуто за рахунок зниження температури шліфування θ й градієнта температури $grad\theta$ наслідком зменшення щільності теплового потоку q й часу контакту круга з матеріалом τ :

$$\theta = q \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda}} \cdot \tau; \quad grad\theta = \frac{q}{\lambda}.$$

Встановлено, що шліфування твердосплавних інструментів алмазним кругом на металевій зв'язці (1A1 300x25x6 AC6 125/100 M1-01 4 з режимом шліфування: $V_{кр}=30$ м/с, $V_{дет}=12$ м/хв, $S_{нон}=0,02$ мм/подв.хід) після його електроерозійного правлення в порівнянні зі звичайним алмазним шліфуванням і алмазним електроерозійним шліфуванням дозволяє підвищити якість обробки, забезпечує формування в поверхневому шарі матеріалу сприятливих стискаючих залишкових напружень, виключає утворення прип'якань і мікротріщин. Ефект досягається за рахунок високої ріжучої здатності круга й зниження енергоємності обробки (величини σ).

Аналогічні результати отримано при експериментальному дослідженні алмазного торцевого шліфування (круги 12A2 45° 150x10x3x32 AC6 100/80 4 M1-01 та 12A2 45° 200x20x5x32 AC6 100/80 4 M1-01; $V_{кр}=28$ м/с; $P_{уд}=0,7$ МПа; охолоджуюча рідина – 3 %-ний розчин Na_2NO_3) торця кільця, що обертається зі швидкістю $V_{дет}=30$ м/хв., із зносостійкого композиційного матеріалу на основі реліту (карбіду вольфраму). Встановлено, що залежність імовірності появи прип'якань на поверхні кільця від площі його контакту з кругом має екстремум (мінімум). Це досягається за умови, коли дана площа дорівнює половині оброблюваної поверхні. Отриманий експериментально результат узгоджується з теоретичним рішенням (рис. 5,б). При цьому мікротвердість поверх-

женню енергоємності обробки за рахунок застосування абразивних кругів 300x25x27 64С 40СМ 25, що характеризуються високою ріжучою здатністю. Режими шліфування: $n_{кр}=1778...2145$ об/хв; $n_{дет}=150$ об/хв; $S_{прод}=3$ м/хв (при чорновому шліфуванні); $S_{прод}=1,1$ м/хв (при чистовому шліфуванні); ЗОТС – Тенол ПЛ-1СН-И.

Отримані теоретичні рішення використано для розробки операцій шліфування виробів із твердих сплавів та інших важкооброблюваних матеріалів з метою підвищення якості й продуктивності обробки. Так, періодичне переривання процесу торцевого шліфування твердосплавних пластин Т30К4 за рахунок застосування переривчастого алмазного круга 12A2 45° 150x42x10x5x32 AC6 160/125 4 В1-13 у порівнянні зі шлі-

ні обробленого кільця дорівнює 113 МПа, а на глибині 5 мкм – 98,5 МПа, що свідчить про перевагу силового фактора у процесі шліфування.

Встановлено, що застосування високопористих абразивних кругів дозволяє виключити утворення температурних дефектів на оброблюваних поверхнях при глибинному шліфуванні ($t=4$ мм, $V_{кр}=30$ м/с; $V_{дет}=120$ мм/хв) ялинкових замків турбінних лопаток, виготовлених з жароміцного сплаву на нікелевій основі марки ЧС88У-ВИ. При цьому шорсткість поверхні $R_a=1,0-1,25$ мкм, а продуктивність відповідає продуктивності обробки різанням, що дозволяє перейти від фрезерування до глибинного шліфування із забезпеченням необхідної якості обробки. Отримані експериментальні дані підтверджують теоретичні висновки, наведені у розділі 3.

Експериментально встановлено, що при обробці штоків гідроциліндрів, відновлених методом наплавлення дроту Нп-12Х18Н9Т (HRC 35) і ПП-Нп-10Х14Т (HRC 52) діаметром 1,2 мм, з метою зниження теплової напруженості процесу й підвищення якості обробки, замість шліфування необхідно використовувати обробку різцями із синтетичних надтвердих матеріалів (СТМ) на основі нітриду бору типу гексаніт-Р (К10) і кіборит (К11), $V=1-4$ м/с; $S=0,1$ мм/об.; $t=0,2$ мм, без застосування охолоджуючої рідини. При цьому також встановлено, що застосування різців з від'ємним переднім кутом ($-30^0 \dots -40^0$) зміцнює поверхневий шар оброблюваного матеріалу (глибиною до 0,2 мм) і забезпечує високу зносостійкість відновлених деталей. Це підтверджує теоретичні висновки, наведені в розділі 4, стосовно можливості зниження енергоємності при обробці різальним інструментом.

На основі отриманих результатів розроблено ефективні операції шліфування деталей гідроапаратури, а також деталей із важкооброблюваних матеріалів, що дозволило підвищити якість та продуктивність їх обробки. Економічний ефект від впровадження на ДП Харківський машинобудівний завод "ФЕД" склав 118195 гривень на рік.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі отриманих нових науково обґрунтованих результатів вирішено актуальне науково-практичне завдання технологічного забезпечення бездефектної обробки деталей гідроапаратури на фінішних операціях за рахунок оптимізації їх структури й параметрів за температурним критерієм.

1. Теоретично обґрунтовано умови підвищення якості й продуктивності обробки деталей гідроапаратури при заданій температурі шліфування, які полягають в періодичному перериванні процесу шліфування шляхом застосування багатопрхідної обробки й переривчастого шліфування. Це дозволило визначити оптимальну кількість проходів, значення швидкостей подач та глибини шліфування на кожному проході й науково обґрунтовано підійти до вибору раціональної структури й параметрів операцій шліфування деталей гідроапаратури залежно від умов їх нагрівання й охолодження.

2. Доведено, що при забезпеченні охолодження оброблюваної деталі між проходами круга є ефективним виконання шліфування з постійною швидкістю деталі та глибиною шліфування, а при частковому охолодженні оброблюваної деталі

– зі зменшеною для проходів швидкістю деталі та збільшеною глибиною шліфування. Це дозволяє підвищити продуктивність обробки деталей до чотирьох разів при заданій температурі шліфування.

3. Теоретично встановлено наявність екстремуму (максимуму) температури від глибини шліфування при заданій продуктивності обробки, що узгоджується з експериментальними даними й відкриває подальше підвищення якості й продуктивності обробки при глибинному й багатопрхідному шліфуванні.

4. Теоретично та експериментально обґрунтовано умови зменшення температури при шліфуванні торцевих поверхонь циліндричних деталей. Вони полягають у встановленні площі контакту круга з деталлю, рівною половині площі оброблюваної поверхні, а також у зменшенні швидкості деталі до значення, при котрому забезпечується охолодження оброблюваної поверхні в часі переривання її контакту з кругом.

5. Уперше отримано аналітичні залежності для визначення енергоємності шліфування з урахуванням процесів різання зернами й тертя зв'язки круга з оброблюваним матеріалом. Це дозволило обґрунтувати умови зменшення енергоємності шліфування, які полягають в зниженні інтенсивності тертя зв'язки круга з оброблюваним матеріалом за рахунок забезпечення збільшеного виступання ріжучих зерен над рівнем зв'язки круга.

6. Проведено експериментальні дослідження параметрів якості й продуктивності обробки, які дозволили перевірити й уточнити отримані теоретичні розв'язання. Експериментально встановлено, що реалізація на верстаті "Теленхауз" схеми шліфування торцевої поверхні сепаратора торцем круга зі зменшеною в часі швидкістю знімання припуску, здійснюваною шляхом періодичного створення в технологічній системі натягу величиною 0,01 мм, виключає утворення припикань на оброблюваних поверхнях без зниження продуктивності, забезпечує дотримання високих вимог щодо точності й шорсткості обробки (площинність обробки до 0,005 мм, шорсткість поверхні $R_a=0,16$ мкм). Це дало змогу перейти від притирання сепаратора абразивним порошком до його шліфування й підвищити ефективність обробки.

7. Доведено, що застосування круглого зовнішнього шліфування плунжера на сучасному верстаті "Okamoto" замість безцентрового шліфування забезпечує відсутність утворення на оброблюваних поверхнях припикань та окремих ризкоподряпин і виключає наступні трудомісткі операції доведення. Ефект досягнуто завдяки зниженню енергоємності обробки за рахунок застосування абразивних кругів 300x25x27 64С 40СМ 25, що характеризуються високою ріжучою здатністю.

8. Експериментально встановлено, що застосування переривчастих алмазних кругів і електроерозійного правлення алмазних кругів на металевих зв'язках при шліфуванні твердосплавних інструментів виключає температурні дефекти і до п'яти разів збільшує продуктивність обробки. Також встановлено, що застосування високопористих абразивних кругів зменшує імовірність утворення припикань і мікротріщин на оброблюваних поверхнях при високопродуктивному глибинному шліфуванні ялинкових замків турбінних лопаток, виготовлених з жароміцного сплаву ЧС88У-ВИ.

9. На основі отриманих результатів розроблено ефективні операції фінішної обробки деталей гідроапаратури, а також деталей з важкооброблюваних матеріалів, які підвищують якість і продуктивність обробки. Економічний ефект від їхнього впровадження на ДП ХМЗ "ФЕД" склав 118195 гривень на рік.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Коломиец В.В. Изменение контактных напряжений в процессе обработки наплавленных материалов / В.В. Коломиец, С.А. Клименко, И.А. Фабричникова, О.С. Кленов, Л.Н. Переверзева // Вісн. Харків. держ. техн. ун-ту сільськ. госп-ва. – Харків: ХДТУСГ. – 2003. – Вип. 15. – С. 226-230.
2. Новиков Г.В. Выбор и обоснование высокопроизводительных кинематических схем алмазного шлифования / Г.В. Новиков, О.С. Кленов, С.И. Дорош // Вісн. НТУ “ХП”. Зб. наук. пр. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ “ХП”. – 2004. - № 44. – С. 118-123.
3. Коломиец В.В. Обрабатываемость резанием титановых сплавов BT-22 и OT4 / В.В. Коломиец, В.А. Фадеев, О.С. Кленов // Вісн. Харків. держ. техн. ун-ту сільськ. госп-ва. – Харків: ХДТУСГ. – 2004. – Вип. 24. – С. 26-29.
4. Кленов О.С. Расчет и исследование параметров силовой напряженности процессов механической обработки материалов / О.С. Кленов // Вісн. Харків. нац. техн. ун-ту сільськ. госп-ва ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ. – 2007. – Вип. 61. – С. 231-238.
5. Кленов О.С. Теоретическая оценка энергетических показателей процесса механической обработки / О.С. Кленов // Вісн. Харків. нац. техн. ун-ту сільськ. госп-ва ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ. – 2008. – Вип. 68. – С. 167-175.
6. Новиков Ф.В. Аналитическое определение параметров силовой напряженности процесса резания с учетом действия на передней поверхности инструмента равномерно распределенной нагрузки / Ф.В. Новиков, О.С. Кленов, И.Н. Снисаренко // Вісн. НТУ “ХП”. Зб. наук. пр. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ “ХП”. – 2008. – № 23. – С. 22-26.
7. Новиков Г.В. Определение упругих перемещений и производительности при механической обработке на основе баланса перемещений в технологической системе / Г.В. Новиков, О.С. Кленов // Наук. пр. Донецьк. нац. техн. ун-ту. Серія: Машинобудування і машинознавство. – Донецьк: ДонНТУ. – 2008. – Випуск 5 (139). – С. 154-159.
8. Новиков Ф.В. Оптимизация параметров операций шлифования с учетом ограничений по температуре резания / Ф.В. Новиков, О.С. Кленов // Вісн. НТУ “ХП”. Зб. наук. пр. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ “ХП”. – 2009. – № 2. – С. 45-53.
9. Кленов О.С. Повышение долговечности турбинных лопаток / О.С. Кленов, Ф.В. Новиков // Вісн. Харків. нац. техн. ун-ту сільськ. госп-ва. – Харків: ХНТУСГ. – 2009. – Вип. 80. – С. 131-135.
10. Кленов О.С. Оптимизация условий обработки для заданной температуры шлифования / О.С. Кленов // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 2/1 (38). – С. 17-20.
11. Новиков Ф.В. Определение условий уменьшения основного времени обработки при шлифовании с учетом ограничения по температуре резания / Ф.В. Новиков, О.С. Кленов // Наук. пр. Донецьк. нац. техн. ун-ту. Серія: Машинобудування і машинознавство. – Донецьк: ДонНТУ. – 2009. – Випуск 6 (154). – С. 174-180.

12. Кленов О.С. Сравнение температуры резания при глубинном и многопроходном шлифовании / О.С. Кленов // Вісн. Харків. нац. техн. ун-ту сільськ. госп-ва ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ. – 2009. – Вып. 81. – С. 197-203.

13. Новиков Ф.В. Математическая модель определения температуры при глубинном шлифовании / Ф.В. Новиков, О.С. Кленов // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2009. – Вып. 76. – С. 133-141.

14. Новиков Г.В. Аналитическая оценка энергоемкости обработки при шлифовании / Г.В. Новиков, В.А. Андилахай, О.С. Кленов // Високі технології в машинобудуванні: Зб. наук. пр. – Харків: НТУ”ХПІ”. – 2009. – Вып. 1 (18). – С. 151-156.

15. Дудко П.Д. Закономерности формирования параметров шероховатости поверхности при абразивной обработке / П.Д. Дудко, В.Г. Шкурупий, О.С. Кленов // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2008. – Вып. 74. – С. 133-139.

16. Новиков Г.В. Исследование энергоемкости процессов лезвийной и абразивной обработки материалов / Г.В. Новиков, О.С. Кленов // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2008. – Вып. 75. – С. 282-288.

17. Коломиец В.В. Упрочнение деталей резанием / В.В. Коломиец, С.А. Клименко, И.А. Фабричникова, О.С. Кленов // Труды 6-й Междунар. науч.-техн. конф. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”. – 2002. – С. 41-42.

18. Кленов О.С. Расчет параметров силовой напряженности процесса резания с учетом действия на передней поверхности инструмента равномерно распределенной нагрузки / О.С. Кленов // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: материалы V Междунар. науч.-техн. конф.: Курск. гос. техн. ун-т., Курск. – 2007. – С. 156-161.

19. Новиков Ф.В. Глубинное алмазное шлифование быстрорежущей стали / Ф.В. Новиков, И.А. Рябенков, О.С. Кленов // Труды 13-й Междунар. науч.-техн. конф. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”. – 2007. – С. 232-236.

20. Кленов О.С. Обоснование путей уменьшения температуры шлифования / О.С. Кленов // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: материалы VI Междунар. науч.-техн. конф.: в 2 ч. Ч. 1: Курск. гос. техн. ун-т., Курск. – 2008. – С. 181-186.

21. Кленов О.С. Теоретический анализ условий уменьшения температуры при шлифовании твердосплавных режущих пластин / О.С. Кленов // Труды 14-й Междунар. науч.-техн. конф. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”. – 2008. – С. 469-473.

22. Новиков Ф.В. Технологические возможности уменьшения температуры при глубинном шлифовании / Ф.В. Новиков, О.С. Кленов // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: материалы науч.-техн. конф., Одесса – Киев: АТМ України. – 2009. – С. 136-140.

23. Кленов О.С. Повышение эффективности операций шлифования изделий из труднообрабатываемых материалов на основе уменьшения теплонапряженности процесса / О.С. Кленов // Труды 15-й Междунар. науч.-техн. конф. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”. – 2009. – С. 203-214.

Кленов О.С. Технологічне забезпечення бездефектної обробки деталей гідроапаратури на фінішних операціях. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування. – Одеський національний політехнічний університет, Одеса, 2011.

Дисертацію присвячено розробці ефективних фінішних операцій бездефектної обробки деталей гідроапаратури на основі оптимізації структури й параметрів за температурним критерієм. З цією метою теоретично обґрунтовані умови зменшення основного часу обробки при заданій температурі шліфування на основі періодичного переривання процесу шліфування за рахунок застосування багатопрохідної обробки і переривчастого шліфування. Встановлено, що при забезпеченні повного охолодження деталі між проходами круга ефективним є виконання шліфування з постійними швидкістю деталі та глибиною шліфування, а при частковому охолодженні деталі – зі зменшеною при проходах швидкістю деталі та збільшеною глибиною шліфування. Доведено можливість істотного підвищення продуктивності обробки при заданій температурі за рахунок застосування шліфування із зменшеною в часі швидкістю знімання припуску. Вперше теоретично встановлено наявність екстремуму (максимуму) залежності температури шліфування від глибини шліфування при заданій продуктивності обробки. Розроблено математичну модель визначення енергоємності шліфування та обґрунтовані умови її зменшення, що полягають у зниженні інтенсивності тертя зв'язки круга з оброблюваним матеріалом. На основі результатів досліджень розроблено ефективні операції шліфування деталей гідроапаратури (сепараторів і плунжерів), а також твердосплавних інструментів, ущільнювальних кілець зі зносостійкого композиційного матеріалу на базі реліту, ялинкових замків турбінних лопаток і деталей, відновлених методом наплавлення. Вони забезпечують підвищення продуктивності, точності й шорсткості обробки, виключають температурні дефекти на оброблюваних поверхнях деталей.

Ключові слова: шліфування, абразивний круг, температура шліфування, якість обробки, математична модель

Кленов О.С. Технологическое обеспечение бездефектной обработки деталей гидроаппаратуры на финишных операциях. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения. – Одесский национальный политехнический университет, Одесса, 2011.

Диссертация посвящена разработке эффективных финишных операций бездефектной обработки деталей гидроаппаратуры на основе оптимизации их структуры и параметров по температурному критерию. Для этого теоретически обос-

нованы условия уменьшения основного времени обработки при заданной температуре шлифования на основе периодического прерывания процесса шлифования. Установлено, что при обеспечении полного остывания детали между проходами круга эффективно шлифование производить с постоянными скоростью детали и глубиной шлифования, а при частичном остывании детали – с уменьшающейся по проходам скоростью детали и увеличивающейся глубиной шлифования. Обоснована возможность существенного повышения производительности при заданной температуре за счет применения шлифования с уменьшающейся во времени скоростью съема припуска.

Впервые теоретически установлено наличие экстремума (максимума) зависимости температуры шлифования от глубины шлифования при заданной производительности обработки. Обоснованы условия уменьшения температуры при глубинном шлифовании, состоящие в существенном уменьшении отношения скорости детали и глубины шлифования. Разработана математическая модель определения энергоемкости шлифования и выявлены условия ее уменьшения, состоящие в снижении интенсивности трения связки круга с обрабатываемым материалом. Получила дальнейшее развитие математическая модель определения параметров силовой напряженности механической обработки с учетом длины контакта стружки с передней поверхностью инструмента, что позволило уточнить известные аналогичные решения и определить условия повышения эффективности обработки.

Проведены экспериментальные исследования параметров качества и производительности обработки. Экспериментально установлено, что реализация на станке "Теленхауз" схемы шлифования торцевой поверхности ответственной детали гидроаппаратуры – сепаратора из закаленной стали – торцом круга с непрерывно уменьшающейся во времени скоростью съема припуска, осуществляемой путем периодического создания в технологической системе натяга величиной 0,01 мм, исключает образование прижогов на обрабатываемых поверхностях без снижения производительности, обеспечивает высокие требования по точности и шероховатости обработки (плоскостность обработки до 0,005 мм, шероховатость поверхности $R_a=0,16$ мкм). Установлено, что применение круглого наружного шлифования плунжера на современном станке "Okamoto" взамен применявшегося бесцентрового шлифования позволяет устранить образование на обрабатываемых поверхностях прижогов и отдельных рисок-царапин и исключить последующие трудоемкие операции доводки. Эффект достигнут благодаря снижению энергоемкости обработки путем применения абразивных кругов, обладающих высокой режущей способностью.

Полученные теоретические решения были также использованы для разработки операций шлифования изделий из твердых сплавов и других труднообрабатываемых материалов. Экспериментально установлено, что применение прерывистых алмазных кругов и электроэрозионной правки алмазных кругов на металлических связках при шлифовании твердосплавных инструментов позволяет исключить прижоги и микротрещины, до 5 раз увеличить производительность обработки. Доказано, что при алмазном торцевом шлифовании вращающегося кольца из износостойкого композиционного материала на основе релита уменьшить вероятность появления прижогов на его поверхности можно за счет установления площади

контакта круга с кольцом равной половине обрабатываемой поверхности. Установлено также, что применение высокопористых абразивных кругов позволяет исключить образование прижогов и микротрещин на обрабатываемых поверхностях при глубинном шлифовании (с глубиной шлифования до 4 мм) елочных замков турбинных лопаток, изготовленных из жаропрочного сплава ЧС88У-ВИ. Экспериментально доказано, что при обработке деталей, восстановленных методом наплавки, для устранения прижогов эффективно вместо шлифования использовать точение резцами из СТМ. Внедрение разработанных финишных операций в производство позволило повысить качество и производительность обработки, исключить образование температурных дефектов на обрабатываемых поверхностях деталей.

Ключевые слова: шлифование, абразивный круг, температура шлифования, качество обработки, математическая модель

Klenov O.S. Technological support of a defect-free processing of parts of hydraulic equipment for finishing operations. – Manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.02.08 – engineering technology. – Odessa National Polytechnical University, Odessa, 2011.

The paper substantiates the ground to reduce the processing time at a given temperature grinding through periodic interruption of the process through the use of multi-pass processing, and intermittent grinding. Established that with full details of cooling passages between the range of grinding efficiently produce a constant speed and depth of grinding parts, and a partial cooling of the details - the aisles with a decreasing rate of increasing depth and detail sanding, obeying the laws, close to a geometric progression. Was first theoretically established the presence of an extremum (maximum) depending on the temperature of the grinding depth for a given performance and determined energy grinding. The effective operation of grinding parts of hydraulic equipment (separators and plungers), excluding the thermal defects and provide increased productivity, as well as the operation of grinding carbide tools, O-rings relit, Christmas locks the turbine blades and components, reduced surfacing.

Keywords: grinding, abrasive wheel, grinding temperature, processing quality, mathematical model