

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
“ПРИАЗОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ”

Полянський Володимир Іванович

УДК 621.923: 681.2

**ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ
МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ОТВОРІВ В ДЕТАЛЯХ ГІДРОАПАРАТУРИ**

Спеціальність 05.02.08 – технологія машинобудування

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Маріуполь – 2012

Дисертація є рукопис.

Робота виконана в ТОВ “Імперія металів”, м. Харків

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

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Маргуліс Михайло Володимирович,
ДВНЗ “Приазовський державний технічний університет”,
професор кафедри “Технологія машинобудування”

доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Лавріненко Валерій Іванович,
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
Національної академії наук України,
завідувач відділу

Захист відбудеться “14” листопада 2012 р. о 12.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 12.052.03 в ДВНЗ “Приазовський державний технічний університет” за адресою: 87500, м. Маріуполь, вул. Університетська, 7

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ДВНЗ “Приазовський державний технічний університет” за адресою: 87500, м. Маріуполь, вул. Університетська, 7

Автореферат розісланий “10” жовтня 2012 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Ю.В. Гусєв

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Деталі гідроапаратури, які одержали широке застосування в машинобудуванні й авіаційному виробництві, є найбільш складними у виготовленні, тому що вимагають високоякісної обробки в них великої кількості різноманітних по конструктивному виконанню отворів. В особливій мірі це відноситься до обробки отворів діаметром 8,5 мм у кільцях з високотвердих магнітних сплавів АНКО-3А і ЮНДК-18 (*HRC* 62–63), оскільки при розточуванні по краях отворів утворюються значні мікровідколи, а процес внутрішнього шліфування характеризується високою трудомісткістю обробки у зв'язку зі зніманням відносно великого припуску (0,8 мм на сторону). Низька оброблюваність різанням бронзи Бр 010С2Н3 твердістю $HB \geq 75$ також не дозволяє забезпечити необхідні показники точності й шорсткості поверхні при обробці отворів діаметром 6 – 16 мм у втулках, які використовуються як гільзи циліндрів у блоці циліндрів. У результаті після розточування отвору доводиться прибігати до трудомістких операцій рейберування (обробці бронзи методами пластичного деформування), що знижує ефективність виготовлення блоків циліндрів. Фактично неможливо забезпечити традиційними методами необхідну шорсткість поверхні ($Ra = 1,25$ мкм) при обробці східчастих і різбових отворів у корпусних деталях гідроапаратури, виготовлених з важкооброблюваного матеріалу АЛ9. Як показує практика, застосування більш прогресивних інструментів і раціональних режимів різання не дозволяє вирішити проблему підвищення якості й продуктивності обробки отворів через високу силову й теплову напруженість процесу різання. Кардинальним рішенням даної проблеми може бути застосування процесів високошвидкісної обробки. Однак у силу їхньої недостатньої вивченості, це вимагає проведення комплексу теоретичних і експериментальних досліджень по визначенню оптимальних умов високошвидкісної обробки отворів у деталях гідроапаратури. Тому у роботі вирішується важливе науково-практичне завдання технологічного забезпечення якості й продуктивності обробки отворів у деталях гідроапаратури на основі зменшення силової й теплової напруженості процесів механічної обробки.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до Закону України “Про державну підтримку літакобудівної промисловості в Україні” (№ 2660-3, 12.07.2002 р.), Державної комплексної програми розвитку авіаційної промисловості до 2010 року (затвердженої Постановою Кабінету Міністрів від 12.12.2001 р.), програми розвитку ДП Харківський машинобудівний завод “ФЕД” (затвердженої наказом Мінпромполітики України №534 від 13.10.2004 р.) та тематичного плану робіт ТОВ “Імперія Металів” (м. Харків). Здобувач брав участь у виконанні робіт як відповідальний виконавець.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення якості й продуктивності обробки отворів в деталях гідроапаратури на основі зменшення силової й теплової напруженості процесів механічної обробки.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися наступні задачі:

– обґрунтування технологічних закономірностей утворення й умов зменшення мікровідколів при обробці отворів в деталях, виготовлених із високотвердих магнітних сплавів;

- обґрунтування умов ефективного застосування методів різання та пластичного деформування при обробці отворів в деталях, виготовлених із пластичних матеріалів;

- визначення технологічних можливостей ефективного застосування високошвидкісної обробки отворів в деталях гідроапаратури;

- визначення умов зменшення силової й теплової напруженості процесів механічної обробки;

- виконання експериментальних досліджень основних технологічних параметрів обробки отворів в деталях гідроапаратури й оцінка достовірності отриманих теоретичних рішень;

- розробка та впровадження у виробництво ефективних технологій механічної обробки отворів в деталях гідроапаратури.

Об'єкт дослідження – технологічні процеси механічної обробки отворів в деталях гідроапаратури.

Предмет дослідження – теоретичне визначення умов підвищення якості й продуктивності обробки отворів в деталях гідроапаратури на основі зменшення силової й теплової напруженості процесів механічної обробки.

Методи дослідження. Методологічною основою роботи є системний підхід до вивчення й опису технологічних закономірностей формування параметрів якості та продуктивності обробки отворів в деталях гідроапаратури. Теоретичні дослідження базуються на фундаментальних положеннях технології машинобудування, теорії різання матеріалів, фізики, опору матеріалів, математичного аналізу й математичного моделювання. Експериментальні дослідження виконано із застосуванням контрольної-вимірної машини “Wenzel”, профілографа-профілометра мод. 201, твердоміра ПМТ-3, мікроскопа металографічного ММР-4.

Наукова новизна отриманих результатів. 1. Теоретично й експериментально доведена можливість підвищення якості й продуктивності обробки отворів невеликого діаметра в деталях гідроапаратури на основі застосування високошвидкісного різання, що забезпечує істотне зниження силової й теплової напруженості обробки.

2. Визначено технологічні закономірності утворення мікровідколів при лезовій і абразивній обробці отворів у деталях з високотвердих магнітних сплавів, що дозволило науково обґрунтовано підійти до вибору оптимальних варіантів технологічного маршруту й параметрів операцій обробки.

3. Теоретично з єдиних позицій визначені умови здійснення процесів різання й пластичного деформування різних по фізико-механічних властивостях оброблюваних матеріалів.

4. Теоретично доведена можливість досягнення приблизно однакових значень точності й продуктивності обробки при одно- і багатопрхідному зніманні заданого припуску.

5. Одержала подальший розвиток математична модель визначення температури різання з урахуванням періодичного переривання процесу обробки й охолодження оброблюваної деталі, що дозволило уточнити відомі теоретичні рішення й визначити потенційні можливості зниження температури різання.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці ефективних технологій механічної обробки отворів в деталях гідроапаратури, виготовлених із важкооброблюваних матеріалів, котрі дозволяють підвищити якість та продуктивність обробки. Запропоновано методику розрахунку оптимальних умов високошвидкісної обробки отворів в деталях гідроапаратури. Розроблені технології механічної обробки отворів в деталях гідроапаратури впроваджені в основне виробництво ДП Харківський машинобудівний завод “ФЕД” із 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 14 наукових працях. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать: [2] – аналіз умов зменшення напружень, виникаючих в зоні різання; [3] – визначені умови зниження термопружних напружень; [5] – визначені закономірності формування параметрів силової напруженості процесу шліфування; [6] – аналіз умов зменшення силової напруженості процесу шліфування та підвищення продуктивності обробки; [11] – аналітично описані пружні переміщення в технологічній системі та експериментальна оцінка теоретичних рішень; [12] – експериментально визначені технологічні параметри обробки отворів в високотвердих магнітних сплавах.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідалися та обговорювалися на XVI і XVII Міжнародних науково-технічних конференціях “Фізичні та комп’ютерні технології”, м. Харків, 2010–2011 р.р.; XIX Міжнародному науково-технічному семінарі “Високі технології: тенденції розвитку”, Харків – Алушта, 2011 р.; науково-технічній конференції “Нові та нетрадиційні технології в ресурсо- та енергозбереженні”, Одеса – Київ, 2011 р.; 11 Міжнародній науково-практичній конференції “Якість, стандартизація, контроль: теорія та практика”, Ялта – Київ, 2011 р.; VIII Міжнародній науково-технічній конференції “Сучасні інструментальні системи, інформаційні технології та інновації”, м. Курськ, Росія, 2011 р. Роботу в повному обсязі заслухано та схвалено на розширеному науковому семінарі кафедри “Технологія машинобудування” ДВНЗ “Приазовський державний технічний університет” (2012 р.).

Публікації. Основні результати дисертації опубліковано в 14 наукових працях, у тому числі 9 наукових праць – у виданнях, затверджених ДАК МОНмолоді-спорту 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 221 сторінку, з них 95 ілюстрацій на 46 сторінках; 17 таблиць за текстом; 9 таблиць на 4 сторінках, 154 найменування використаних літературних джерел на 17 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, сформульо-

вано мету і задачі досліджень. Наведено особистий внесок здобувача у виконану роботу й результати апробації дисертації.

У першому розділі: “Аналіз діючих технологічних процесів механічної обробки отворів у деталях гідроапаратури й шляхи їхнього вдосконалювання” – виконана оцінка рівня діючих технологічних процесів механічної обробки отворів у деталях гідроапаратури авіаційного призначення й виявлені їхні основні недоліки, які полягають в низькій якості й високій трудомісткості обробки у зв'язку з підвищеними фізико-механічними властивостями оброблюваних матеріалів. У значній мірі це відноситься до механічної обробки отворів невеликого діаметра (8,5 мм) у кільцях з високотвердих магнітних сплавів АНКО-3А і ЮНДК-18 (*HRC* 62–63), які характеризується утворенням значних мікровідколів по краях оброблюваних отворів на операції їхнього розточування твердосплавним різцем. У результаті обробку доводиться виконувати винятково методом внутрішнього шліфування з надзвичайно низькою продуктивністю, що при зніманні значних припусків (до 0,8 мм на сторону) різко збільшує трудомісткість обробки.

Малоефективною є також обробка високоточних отворів у втулках із бронзи Бр 010С2Н3 твердістю $HB \geq 75$, які використовуються як вставні гільзи в блоках циліндрів гідроагрегатів. Попередня обробка розточуванням характеризується низькими показниками точності й шорсткості поверхонь, що вимагає застосування наступних трудомістких операцій рейберування (на основі пластичного деформування матеріалу) і доведення текстолітовим притиром з пастою КТ.

Фактично неможливо забезпечити необхідну шорсткість поверхні при лезовій обробці східчастих і різьбових отворів у гідроагрегатах, виготовлених з важкооброблюваного матеріалу АЛ9. У результаті доводиться прибгати до трудомістких операцій доведення. Все це вимагає пошуку нових технологічних рішень по підвищенню ефективності механічної обробки отворів у деталях гідроапаратури на основі зниження її силової й теплової напруженості.

Відзначається, що в агрегатобудуванні в цьому напрямку накопичений певний досвід, заснований, насамперед, на застосуванні процесів високошвидкісної обробки на високооберткових верстатах зі ЧПУ. Вони забезпечують підвищення якості й продуктивності обробки таких важкооброблюваних матеріалів як високоміцні сталі й сплави. Однак, ці процеси мало вивчені, відсутні обгрунтовані рекомендації з вибору раціональних режимів різання й інших умов обробки, що утрудняє їхнє ефективне використання на практиці. Тому представляється важливим і актуальним визначення технологічних можливостей застосування високошвидкісної обробки отворів у деталях гідроапаратури. У зв'язку із цим науковими передумовами роботи стали відомі теоретичні підходи до визначення сили й температури різання, пружних переміщень у технологічній системі, величин мікровідколів на оброблюваній поверхні та інших параметрів якості обробки лезовими й абразивними інструментами. Їхній подальший розвиток дозволить науково обгрунтовано підійти до вирішення задач підвищення якості й продуктивності обробки отворів в деталях гідроапаратури.

У другому розділі: “Теоретичні й експериментальні дослідження умов підвищення якості обробки отворів у деталях гідроапаратури” – розроблена математична модель визначення величин мікровідколів при механічній обробці

отворів у кільцях з високотвердих магнітних сплавів твердістю $HRC\ 62\text{--}63$. У її основу покладене відоме поняття про окружність (діаметром d) однакових дотичних напружень $\tau = P/d$, що виникають від дії в точці O (рис. 1,а) сили різання P . За умови $\tau = \tau_{зсув}$ можливе руйнування оброблюваного матеріалу усередині окружності діаметром $d = P/\tau_{зсув}$, де $\tau_{зсув}$ – межа міцності на зсув оброблюваного матеріалу, Н/м^2 . Виходячи із цього, руйнування оброблюваного матеріалу в момент виходу різця з контакту з оброблюваною деталлю (рис. 1,а) відбудеться уздовж ліній OA й OB , тобто рівноймовірні процеси стружкоутворення й утворення мікровідколу величиною

$$h = \frac{a}{\left(\frac{1}{\sin \omega} - 1\right)}, \quad (1)$$

де $\omega = \psi - \gamma$ – кут дії; ψ – умовний кут тертя на передній поверхні інструмента ($\text{tg } \psi = f$ – коефіцієнт тертя); γ – позитивний передній кут інструмента.

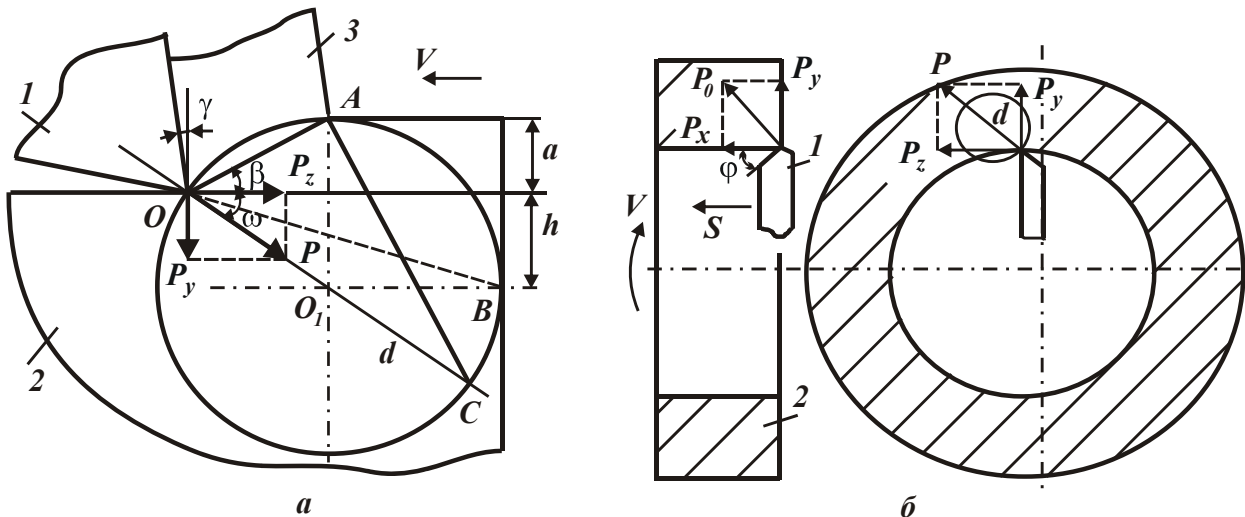


Рис. 1. Розрахункові схеми параметрів процесу різання (а) і обробки отвору (б): 1 – різець; 2 – оброблювана деталь; 3 – стружка.

При цьому $d = 2/(1 - \sin \omega)$. Очевидно, чим більше кут дії ω , тим більше відносні величини $d/2a$ й h/a (рис. 2,а). Отже, абразивна обробка менш ефективна лезової обробки. Однак лезова обробка здійснюється зі значно більшими товщинами зрізу a й тому домогтися зменшення величини мікровідколу h можна, насамперед, при абразивній обробці. Для ефективного використання лезової обробки необхідно істотно зменшити кут дії $\omega = \psi - \gamma$ й товщину зрізу a (на основі застосування високошвидкісної обробки й створення фасок по краях оброблюваного отвору). Розрахунками встановлено, що характер зміни величини h залежно від кута дії ω такий же, як і сили різання P і її тангенціальної P_z й радіальної P_y складових, виражених у відносних величинах (рис. 2,б):

$$\bar{P} = \frac{P}{2a \cdot \tau_{зсув}} = \frac{1}{(1 - \sin \omega)}; \quad \bar{P}_z = \frac{P_z}{2a \cdot \tau_{зсув}} = \frac{\cos \omega}{(1 - \sin \omega)}; \quad \bar{P}_y = \frac{P_y}{2a \cdot \tau_{зсув}} = \frac{\sin \omega}{(1 - \sin \omega)}.$$

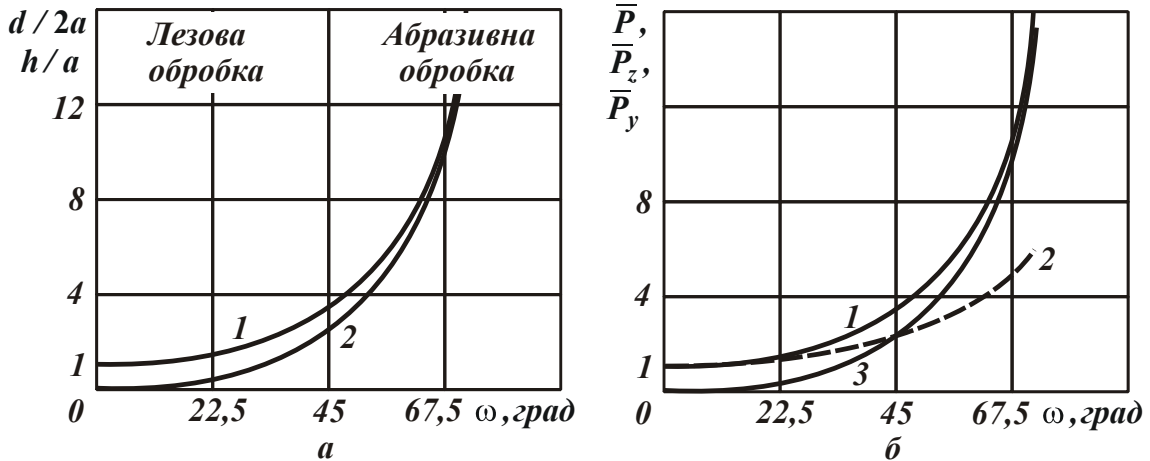


Рис. 2. Залежності безрозмірних величин $d/2a$ (1), h/a (2) (а) і \bar{P} (1), \bar{P}_z (2), \bar{P}_y (3) (б) від кута дії ω .

Відношення $\bar{P}_z / \bar{P}_y = \text{ctg} \omega$ зменшується зі збільшенням кута дії ω , що вказує на більш високу енергоємність абразивної обробки в порівнянні з лезовою обробкою. На основі розрахункової схеми, показаної на рис. 1,б, отримана уточнена залежність для визначення діаметра d окружності однакових (граничних) дотичних напруг:

$$d = 2 \cdot a \cdot b \cdot \left(\frac{1}{K_{\text{різ}}} + \sqrt{1 + \frac{1}{K_{\text{різ}}^2}} \right) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{\cos \varphi}{K_{\text{різ}}} \right)^2}, \quad (2)$$

де b – ширина зрізу, м; $K_{\text{різ}} = P_z / P_0$; $P_0 = \sqrt{P_y^2 + P_x^2}$; φ – кут різця в плані.

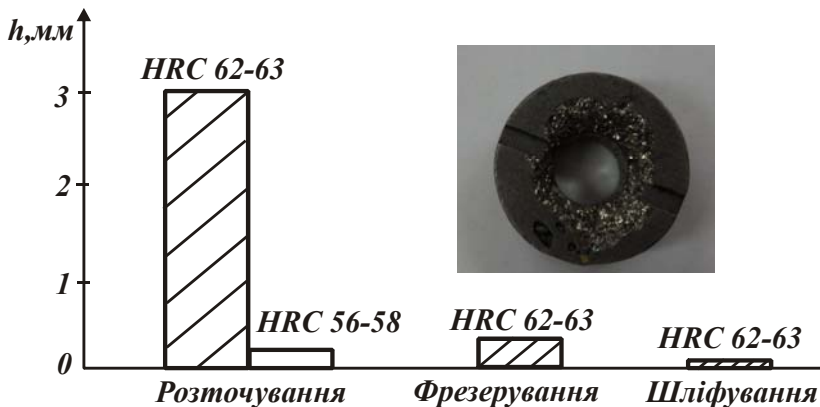


Рис. 3. Вплив методу обробки отворів на величину мікротріщин.

Зменшити величину мікротріщини $h=d$ можна зменшенням параметрів a , b і збільшенням $\varphi \rightarrow 90^\circ$ і $K_{\text{різ}}$. Проведені експериментальні дослідження підтвердили вірогідність теоретичних результатів (рис. 3). При обробці отворів у кільцях з магнітних сплавів твердістю HRC 62–63 найбільші мікротріщини утворюються при розточуванні різцем із твердого сплаву T15K6 (глибина різання $t=0,1$ мм, частота обертання оброблюваного кільця $n=600$ об/хв, подача $S=0,05$ мм/об, припуск – 0,8 мм), а найменші – при внутрішньому шліфуванні абразивним кругом ПП 8x20x3 25А 25Н СТ 7К5 35 м/с (швидкість круга $V_{\text{кр}}=16,7$ м/с; швидкість позовжньої подачі $S_{\text{позд}}=2$ м/хв; частота обертання оброблюваного кільця $n=600$ об/хв; глибина шліфування $t=0,005$ мм). При високошвидкісному розфрезеруванні отвору (частота обертан-

ня фрези – 20000 об/хв; подача – 0,2 м/хв; глибина різання (за прохід) $t=0,05$ мм) утворюються мікровідколи до 0,3 мм, що дозволяє даний метод використовувати при попередній обробці, а внутрішнє шліфування – при остаточній обробці отворів. Розточування твердосплавним різцем може бути ефективно використано лише при попередній обробці отворів у магнітних сплавах твердістю HRC 56-58 за умови зменшення кута дії $\omega = \psi - \gamma$. Тому на основі встановленого відношення

$$\frac{a_1}{a} = \frac{2 \cdot \tau_{зсуб}}{HV} \cdot \frac{\cos \gamma \cdot \cos \psi}{[1 - \sin(\gamma + \psi)]} \quad (3)$$

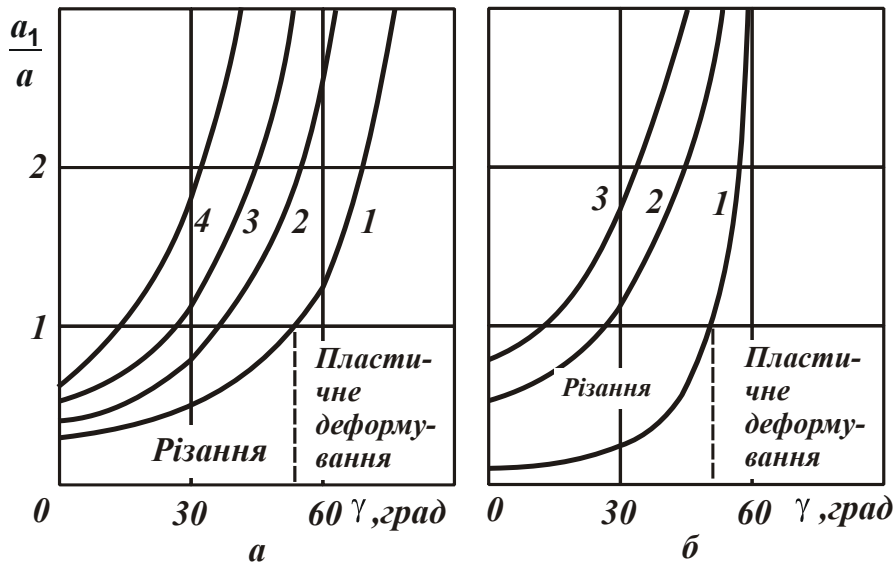


Рис. 4. Залежності відношення a_1/a від кута γ : а – оброблюваний матеріал – сталь Р12Ф5М (1 – $\psi = 0^\circ$; 2 – $\psi = 10^\circ$; 3 – $\psi = 20^\circ$; 4 – $\psi = 30^\circ$); б – твердий сплав ВК8 (1); сталь Р12Ф5М (2); мідь (3) для $\psi = 20^\circ$.

визначено граничні значення негативного переднього кута інструмента γ , при яких виконується умова $a_1/a = 1$ й процес різання переходить у процес пластичного деформування оброблюваного матеріалу. Тут a_1 – товщина шару оброблюваного матеріалу, який контактує з передньою поверхнею інструмента, м; HV – твердість оброблюваного матеріалу (за Вікерсом), Н/м^2 .

Як впливає з рис. 4,а, зі збільшенням кута ψ граничний негативний передній кут інструмента γ зменшується, приймаючи значення, близькі до нуля. При обробці міді умова $a_1/a = 1$ виконується при менших значеннях кута γ , чим при обробці швидкорізальної сталі Р12Ф5М і твердого сплаву ВК8 (рис. 4,б). Отже, стружкоутворення при різанні пластичних матеріалів (кольорових металів) утруднено, у цьому випадку ефективно використовувати методи пластичного деформування (наприклад, рейберування) або різання лезовим інструментом з позитивним переднім кутом γ . При обробці крихких матеріалів (твердих сплавів, магнітних сплавів) умова $a_1/a = 1$ виконується при більших негативних кутах γ , тому доцільно використовувати абразивні інструменти, які характеризуються більшою міцністю ріжучого елемента. Отримані результати дозволяють установити основні напрямки ефективної обробки отворів у різних по фізико-механічних властивостях матеріалах. У роботі також з умови $\beta = 45^\circ - (\gamma + \psi)/2 \geq 0$ й залежності

$$\frac{a}{R} = \frac{HV}{\tau_{зсуб}} \cdot \frac{\cos \gamma}{\cos \psi} \cdot [1 - \sin(\gamma + \psi)] \quad (4)$$

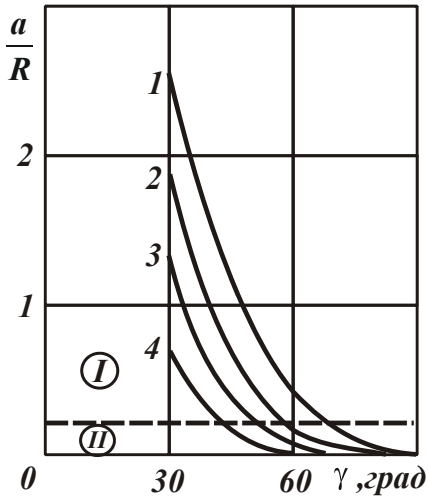


Рис. 5. Залежність a/R від кута γ : 1 – $\psi=0$; 2 – $\psi=10^\circ$; 3 – $\psi=20^\circ$; 4 – $\psi=30^\circ$ (зона I – процес різання; зона II – процес пластичного деформування матеріалу).

деформування основним шляхом зменшення силової напруженості процесу є зменшення коефіцієнта тертя f .

У третьому розділі: “Теоретичне визначення умов підвищення точності й продуктивності обробки отворів при розточуванні й внутрішньому шліфуванні” – аналітично визначена величина пружного переміщення, що виникає в технологічній системі при розточуванні отвору

$$y_1 = \frac{t}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{\text{різ}} \cdot V}{\pi \cdot D_{\text{дет}} \cdot \sigma \cdot S_{\text{нозд}} \cdot \cos \varphi}\right)} = \frac{t}{\varepsilon_1} \quad (5)$$

і при внутрішньому шліфуванні

$$y_2 = \frac{t}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{\text{різ}} \cdot V_{\text{кр}}}{\pi \cdot D_{\text{дет}} \cdot \sigma \cdot S_{\text{нозд}}}\right)} = \frac{t}{\varepsilon_2}, \quad (6)$$

де c – жорсткість технологічної системи, Н/м; $K_{\text{різ}} = P_z / P_y$; $D_{\text{дет}}$ – діаметр оброблюваного отвору, м; V – швидкість різання, м/с; $V_{\text{кр}}$ – швидкість круга, м/с ($V_{\text{кр}} \gg V$); $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – уточнення на проході.

За умови $\varepsilon_1, \varepsilon_2 > 1$ залежності (5) і (6) спрощуються й приймають вид

$$y_1 = \frac{\sigma \cdot Q \cdot \cos \varphi}{c \cdot K_{\text{різ}} \cdot V}; \quad y_2 = \frac{\sigma \cdot Q}{c \cdot K_{\text{різ}} \cdot V_{\text{кр}}}, \quad \text{де } Q = \pi \cdot D_{\text{дет}} \cdot S_{\text{нозд}} \cdot t = S_{\text{нр}} \cdot t \cdot V - \text{номиналь-}$$

на продуктивність обробки, м³/с; $S_{\text{нр}}$ – поздовжня подача, м/об.

визначено граничні значення $a/R = 2 \cdot \sin^2 \psi$, при яких процес різання переходить у процес пластичного деформування оброблюваного матеріалу (де β – умовний кут зсуву оброблюваного матеріалу; R – радіус округлення ріжучої кромки інструмента, м). Наведені на рис. 5 результати розрахунків a/R погодяться з відомими експериментальними даними проф. Богомолова М.І. і Крагельського І.В. Сила різання P і її складові P_z, P_y при переході від процесу різання до процесу пластичного деформування матеріалу визначаються:

$$P = 2 \cdot HV \cdot R \cdot \sin \psi;$$

$$P_z = 2 \cdot HV \cdot R \cdot \sin^2 \psi; \quad P_y = HV \cdot R \cdot \sin 2\psi;$$

$P_z / P_y = \text{tg} \psi = f$. Як видно, зменшити силу різання можна зменшенням параметрів R і ψ шляхом застосування абразивних інструментів, які забезпечують найтонші зрізи, не піддаючи оброблюваний матеріал пластичному деформуванню. З іншого боку, при обробці матеріалів методами пластичного

З наведених залежностей випливає, що процес внутрішнього шліфування в порівнянні з розточуванням отворів характеризується більшими технологічними можливостями в плані підвищення точності оброблюваної поверхні при заданій продуктивності обробки. Установлено, що підвищити точність оброблюваної поверхні при заданій продуктивності обробки в умовах розточування можна за рахунок зменшення енергоємності обробки, поздовжньої подачі й збільшення швидкості й глибини різання шляхом застосування високошвидкісного різання інструментами із синтетичних надтвердих матеріалів і зі зносостійкими покриттями, що знижують інтенсивність тертя в зоні різання. Реалізація даних умов дозволить здійснити ефективний перехід від шліфування до процесу тонкого розточування, забезпечуючи більш високі показники якості й продуктивності обробки в порівнянні із процесом шліфування. Залежності (5) і (6) отримані для однопрохідної обробки. При багатопрохідній обробці (багатопрохідному шліфуванні за жорсткою схемою) величина y описується залежністю

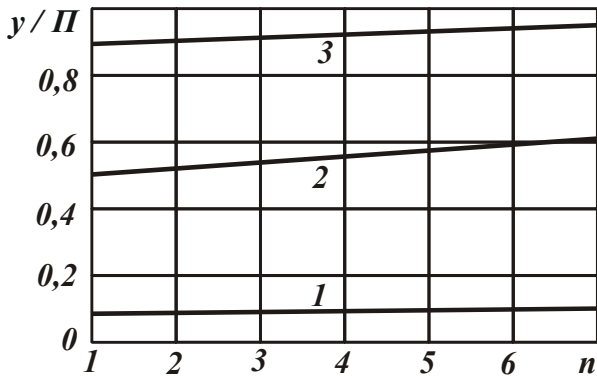


Рис. 6. Залежність величини y/Π від кількості проходів круга n : 1 – $B_{1баз}=0,1$; 2 – $B_{1баз}=1$; 3 – $B_{1баз}=10$.

Отримана залежність пов'язує величину пружного переміщення y з кількістю поздовжніх ходів інструмента n при заданій номінальній продуктивності обробки Q . Розрахунками встановлено, що зі збільшенням n величина y залишається майже постійною (рис. 6). Отже, фактично з однаковою ефективністю (точністю й продуктивністю обробки) знімання заданого припуску можна виконувати як за один, так і за кілька проходів інструмента, тобто схеми однопрохідної й багатопрохідної обробки в цьому випадку практично рівнозначні. Із цього випливає доцільність знімання всього припуску при розточуванні отвору за один прохід інструмента, а при шліфуванні – за кілька проходів круга (y зв'язку з більш високими значеннями $\sigma/K_{ш}$), що погодиться із практичними даними.

З урахуванням процесів різання (σ_p) і тертя ($\sigma_{тр}$) при шліфуванні ($\sigma = \sigma_p + \sigma_{тр}$), а також пружного переміщення, що виникає в технологічній системі, отримана аналітична залежність для визначення продуктивності обробки при шліфуванні за жорсткою схемою:

$$Q = \frac{K_{шр} \cdot V_{кр}}{\sigma_p} (P_y - P_{y_{тр}}), \quad (8)$$

$$y = B_{1баз} \cdot \Pi \cdot \left[1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{B_{1баз} \cdot n} \right)^n} \right], \quad (7)$$

де $B_{1баз} = \frac{\sigma \cdot Q}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр} \cdot \Pi}$ – безрозмірний параметр; Π – припуск, м; n – кількість проходів; $K_{ш} = K_{піз} = P_z / P_y$.

де σ_p , $K_{шр}$ – складові σ й $K_{ш}$ для процесу “чистого” різання зернами круга; $P_{y_{mp}}$ – складова сили P_y для процесу тертя зв'язки круга з матеріалом.

Як видно, збільшити продуктивність обробки можна підвищенням ріжучої здатності круга, швидкості круга й зменшенням радіальної складової сили різання, обумовленої тертям зв'язки круга з оброблюваним матеріалом. Теоретичне рішення погодиться із практикою шліфування матеріалів підвищеної твердості й указує на доцільність застосування в даних умовах пружної схеми шліфування, яка дозволяє зменшити силову напруженість процесу й відповідно підвищити якість і продуктивність обробки.

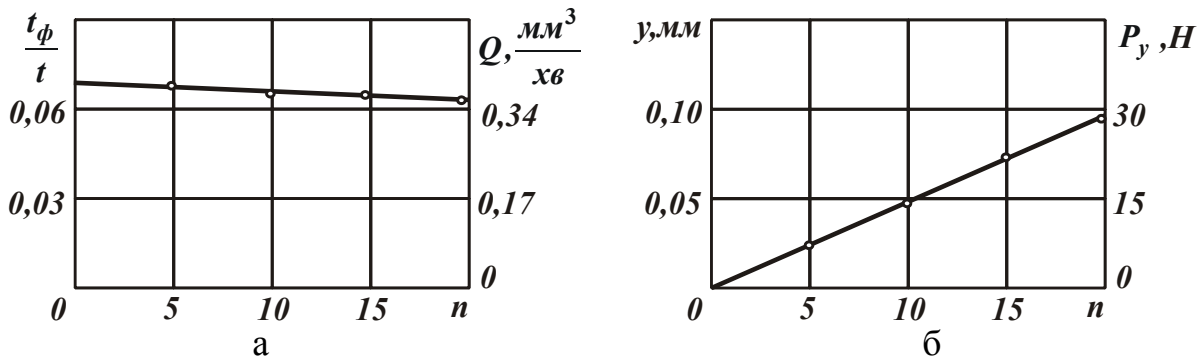


Рис. 7. Залежності t_ϕ/t , Q (а) і y , P_y (б) від n (умови обробки: абразивний круг ПП 8x20x3 25А 25Н СТ 7К5 35 м/с; $V_{кр}=16,7$ м/с; $S_{нозд}=2$ м/хв; частота обертання деталі $n = 600$ об/хв; $t = 0,05$ мм).

З метою оцінки вірогідності отриманих теоретичних рішень, проведений комплекс експериментальних досліджень технологічних параметрів процесу внутрішнього шліфування отворів у кільцях з високотвердого магнітного сплаву АНКО-3А (HRC 62–63). Установлено, що в цьому випадку у зв'язку з високою твердістю оброблюваного матеріалу шліфувальний круг швидко втрачає ріжучу здатність, у результаті чого відношення фактичної й номінальної глибин шліфування невелике й приблизно дорівнює $t_\phi/t=0,07$ (рис. 7,а), а продуктивність обробки становить усього $Q=0,4$ мм³/хв. Виходячи із залежності (б), це вказує на те, що фактично виконується умова $P_{y_{mp}} \rightarrow P_y$, у результаті чого продуктивність обробки $Q \rightarrow 0$.

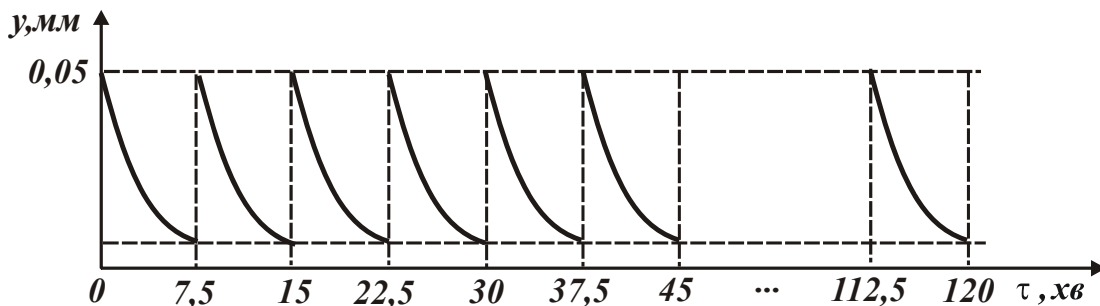


Рис. 8. Характер зміни величини y від часу обробки τ .

У зв'язку з низькою жорсткістю технологічної системи (300 Н/мм) величина пружного переміщення із часом обробки безупинно збільшується (фактично за лінійним законом), що обмежує можливості застосування шліфування за жорсткою схемою (рис. 7,б). Виходячи із цього, доцільно перейти до пружної схеми шліфування, створюючи в технологічній системі періодично натяги й здійснюючи обробку, по суті, за схемою виходжування. Так, при початковому натягу 0,05 мм знімання припуску величиною 0,8 мм може бути здійснено за 16 етапів створення в технологічній системі початкових натягів (рис. 8). Тривалість кожного етапу становить приблизно 7,5 хвилин, а припуск величиною 0,8 мм вилучається за 120 хвилин, тоді як за діючою технологією внутрішнього шліфування (за жорсткою схемою) тривалість обробки становить 3,2 години. Отже, перехід від жорсткої схеми шліфування до пружної схеми дозволяє скоротити час обробки більш ніж в 1,5 рази.

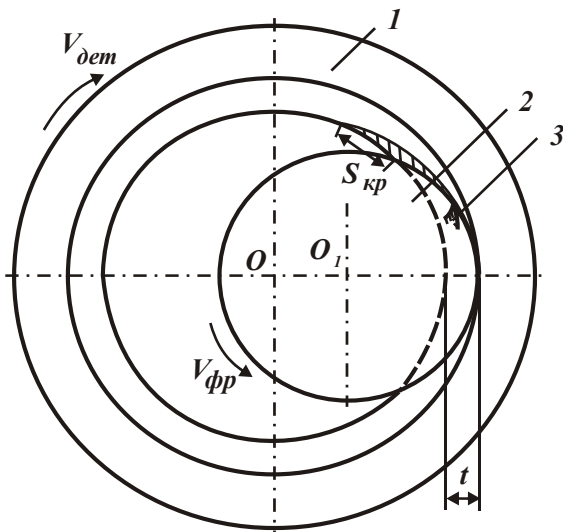


Рис. 9. Розрахункова схема параметрів розфрезерування отвору: 1 – оброблюване кільце; 2 – фреза; 3 – зуб фрези

З огляду на ефективність застосування високошвидкісної обробки отворів, у роботі виконано теоретичний аналіз параметрів високошвидкісного розфрезерування (аналогічного внутрішньому шліфуванню) й розточування отворів. Установлено, що при розфрезеруванні отвору в кільці (рис. 9) товщина зрізу a визначається залежністю

$$a = \frac{\pi \cdot D_{дет} \cdot n_{дет} \cdot 2 \cdot \sqrt{\frac{t}{D_{фр}}}}{z \cdot n_{фр}}, \quad (9)$$

де $D_{дет}, D_{фр}$ – діаметри оброблюваного отвору й фрези, м; $n_{дет}, n_{фр}$ – частоти обертання оброблюваної деталі (кільця) і фрези, об/с; z – кількість зубів фрези; $S_{кр}$ – кругова подача кільця (на один зуб фрези), м.

Із залежності (9) випливає, що з параметрів режиму різання на товщину зрізу a впливають параметри $n_{дет}, t$ і не впливає швидкість поздовжньої подачі $S_{нозд}$. Отже, за рахунок збільшення $S_{нозд}$ з'являється можливість істотного збільшення продуктивності обробки Q без збільшення товщини зрізу a й відповідно зношування інструмента. З іншого боку, при заданій продуктивності обробки за рахунок збільшення $n_{фр}$ можна істотно зменшити товщину зрізу a , що визначає зменшення сили різання й підвищення точності і якості оброблених поверхонь. Продуктивність обробки Q визначається залежністю

$$Q = \pi \cdot D_{дет} \cdot t \cdot S_{нозд} = \left(\frac{a \cdot z \cdot n_{фр}}{2 \cdot n_{дет}} \right)^2 \cdot \frac{D_{фр} \cdot S_{нозд}}{\pi \cdot D_{дет}}. \quad (10)$$

Збільшити Q можна збільшенням $n_{фр}, S_{нозд}$ і зменшенням $n_{дет}$. Параметри $n_{фр}$ й $n_{дет}$ у більшій мірі впливають на Q , чим $S_{нозд}$. Для порівняння визначена товщина зрізу a при розточуванні отвору різцем з кутом у плані $\varphi=90^\circ$:

$$a = \pi \cdot D_{\text{дет}} \cdot \frac{S_{\text{нозд}}}{V_{\text{дет}}} . \quad (11)$$

У дану залежність із параметрів режиму різання входять швидкість деталі $V_{\text{дет}}$ й швидкість поздовжньої подачі $S_{\text{нозд}}$, а глибина різання t – не входить. Отже, за рахунок збільшення t можна істотно збільшити Q без збільшення товщини зрізу a й відповідно зношування інструмента.

Порівнюючи залежності (9) і (10), видно, що розфрезерування отвору характеризується більшими можливостями з погляду зменшення товщину зрізу a . Продуктивність обробки при розточуванні визначається $Q = a \cdot V_{\text{дет}} \cdot t$. У цьому випадку швидкість деталі $V_{\text{дет}}$ необхідно збільшувати, тоді як при високошвидкісному розфрезеруванні отвору, навпаки, її необхідно зменшувати.

Установлено, що у випадку знімання нерівномірних припусків при обробці отворів домогтися найбільш істотного підвищення точності й продуктивності обробки можна також за рахунок застосування високошвидкісної обробки (розточування й розфрезерування отворів). Це пов'язане з можливістю істотного зменшення сили різання в результаті зменшення площі поперечного перерізу зрізу й відповідно товщини зрізу.

У четвертому розділі: “Теоретичне обґрунтування умов зменшення теплової напруженості механічної обробки” – одержала подальший розвиток математична модель визначення температури при шліфуванні на основі опису розподілу тепла в нескінченно тонких адіабатичних стержнях, якими умовно представлений припуск, що знімається, і які розташовані перпендикулярно напрямку руху шліфувального круга. Показано, що відповідно до класичного рішення диференціального рівняння теплопровідності в напівнескінченному стержні

$\frac{\partial \theta(x, \tau)}{\partial \tau} = a^2 \cdot \frac{\partial^2 \theta(x, \tau)}{\partial x^2}$ для граничної $\left. \frac{\partial \theta}{\partial x} \right|_{x=0} = -\frac{1}{\lambda} \cdot q_0$ й початкової $\theta|_{\tau=0} = 0$ умов:

$$\theta(z) = 2 \cdot a \cdot \sqrt{\tau} \cdot \frac{q_0}{\lambda} \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot e^{-z^2} - z \cdot (1 - \text{erf}z) \right]; \quad (12)$$

$$q(z, \tau) = q_0 \cdot (1 - \text{erf}z), \quad (13)$$

температура $\theta(x, \tau)$ й щільність теплового потоку $q(x, \tau)$ по глибині поверхневого шару оброблюваного матеріалу безупинно зменшуються, асимптотично наближаючись до нульового значення (рис. 10). Тут $z = \frac{x}{2 \cdot a \cdot \sqrt{\tau}}$; x – координата, м; τ – час, с; a – коефіцієнт температуропровідності матеріалу, м²/с; λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, Вт/м·К; q_0 – щільність теплового потоку при $x=0$, Вт/м².

У цьому випадку глибина проникнення тепла в поверхневий шар матеріалу нескінченна й тому не можна однозначно визначити значення порушеного (дефектного з погляду теплового впливу) шару оброблюваного матеріалу. Для рішення даної задачі в роботі запропонований спрощений підхід до визначення температури шліфування для заданого закону розподілу щільності теплового потоку по

глибині поверхневого шару оброблюваного матеріалу. Установлено, що для випадку $q(x) = q_0 \cdot \left(1 - \frac{x}{\Delta x}\right)$ й граничної умови $\theta(x = \Delta x) = 0$ рішення приймає вид

$$\theta(z) = 1,225 \cdot a \cdot \sqrt{\tau} \cdot \frac{q_0}{\lambda} \cdot (1 - 0,816 \cdot z)^2; \quad (14)$$

$$q(z) = q_0 \cdot (1 - 0,816 \cdot z), \quad (15)$$

де Δx – глибина проникнення тепла в поверхневий шар матеріалу, м.

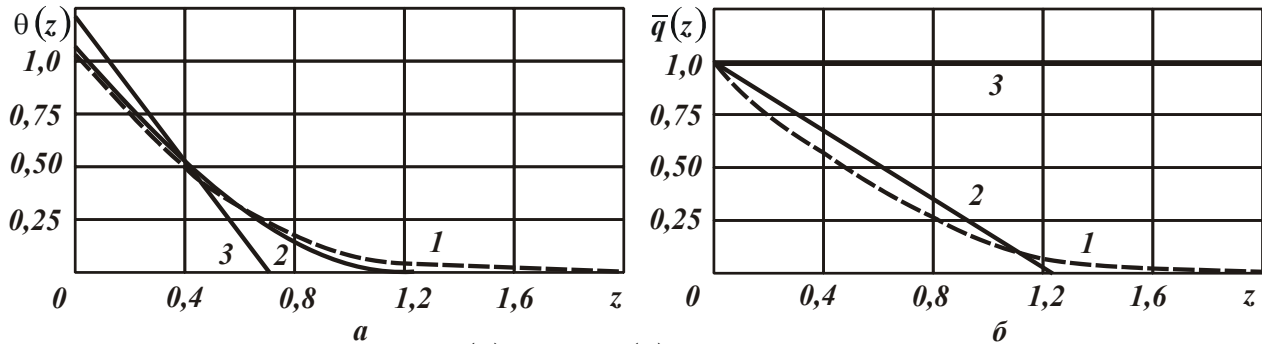


Рис. 10. Графіки функцій $\theta(z)$ (а) і $q(z)$ (б), описувані залежностями: 1 – (12) і (13); 2 – (14) і (15); 3 – (16) для умови $a \cdot \sqrt{\Delta \tau} \cdot \frac{q_0}{\lambda} = 1$.

Відповідно, для випадку $q(x) = q_0$ отримане

$$\theta(z) = 1,414 \cdot a \cdot \sqrt{\tau} \cdot \frac{q_0}{\lambda} \cdot (1 - 1,414 \cdot z). \quad (16)$$

Розрахунками встановлено, що значення максимальної температури шліфування, отримані з використанням залежностей (12), (14) і (16), відрізняються незначно (у межах 15%, рис. 10). Це дозволяє з достатньою для практики точністю виконувати розрахунок максимальної температури шліфування й глибини проникнення тепла в поверхневий шар матеріалу на основі запропонованого спрощеного рішення, що відкриває нові можливості визначення умов зменшення температури шліфування й підвищення якості й продуктивності обробки. Так, використовуючи залежність (14), аналітично описаний характер зміни температури шліфування від числа переривань процесу шліфування n :

$$\theta_0 = \sigma \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Pi^2}{C \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{n}{m^2} \cdot \left(\frac{1}{\tau_1} - \frac{2 \cdot \alpha^2}{C \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{\tau_2^2}{\tau_1^2} \right)}; \quad (17)$$

$$\theta_{max} = \sigma \cdot \sqrt{\frac{2}{C \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{\Pi^2}{m^2 \cdot \tau_1^2} \left(n \cdot \tau_1 - (n-1) \cdot \frac{2 \cdot \alpha^2}{C \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \tau_2^2 \right)}, \quad (18)$$

де θ_0 , θ_{max} – температури після дії n -ного теплового імпульсу й охолодження оброблюваної деталі, К; C – питома теплоємність матеріалу, Дж/(кг·К); ρ – щільність матеріалу, кг/м³; α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·К); m – кількість розбивань припуску на частини; τ_1 – час дії теплового імпульсу, с; τ_2 – час охолодження оброблюваної деталі, с.

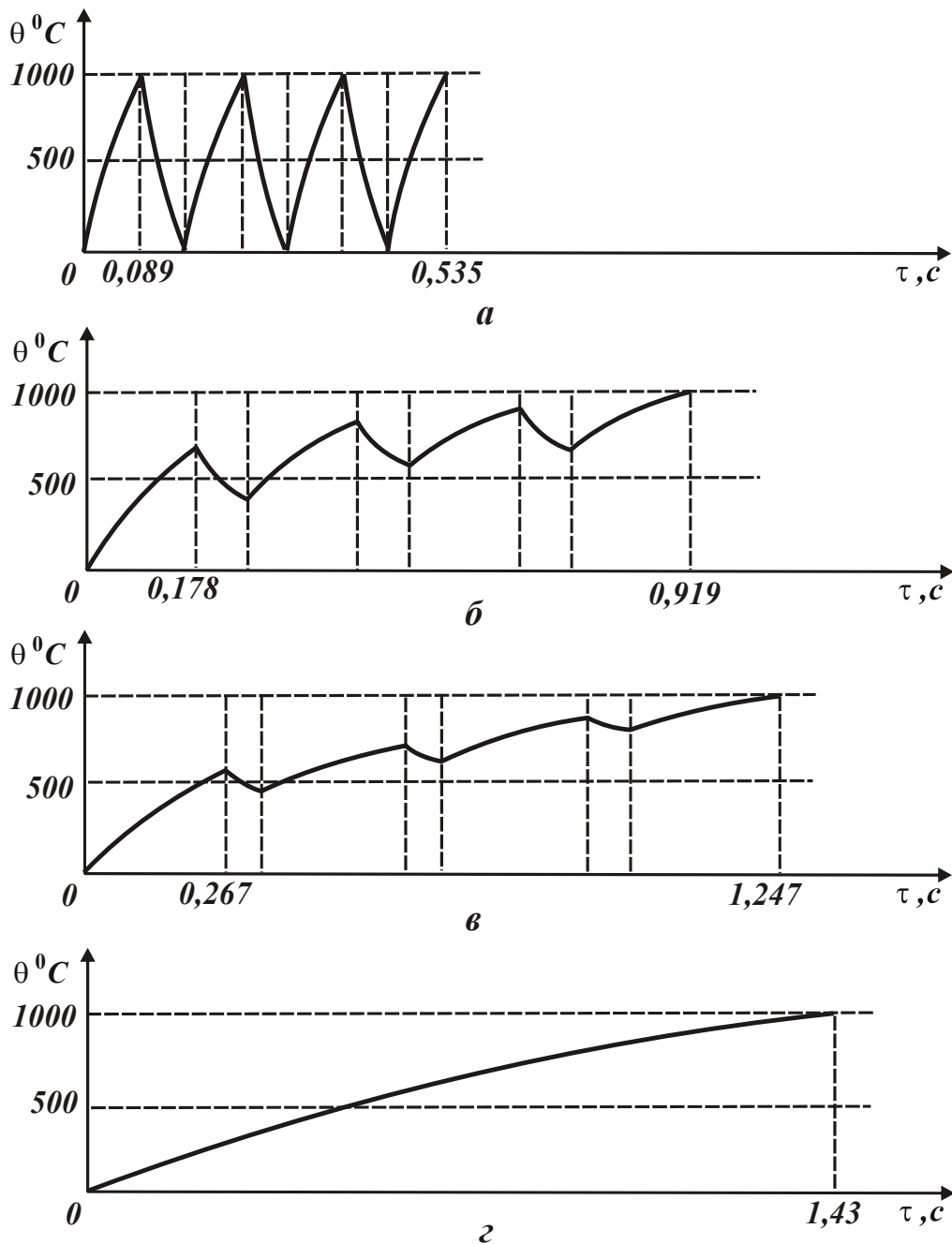


Рис. 11. Характер зміни температури шліфування θ від часу обробки τ : а – $\tau_1=0,089$ с; б – $\tau_1=0,178$ с; в – $\tau_1=0,267$ с; г – $\tau_1=0,356$ с.

Розрахунками встановлено, що зі зменшенням часу τ_1 від 0,356 с до 0,089 с сумарний час обробки $\tau = m \cdot \tau_1 + (m-1) \cdot \tau_2$ зменшився від 1,43с до 0,535с для заданої максимальної температури шліфування $\theta_{max}=1000^{\circ}\text{C}$ (рис. 11). Вихідні дані: $\sigma=10^5$ Н/мм²; $\rho=14,5 \cdot 10^3$ кг/м³; $C=40$ кал/(кг·град); $\lambda=14$ кал/(м·с·град); $\alpha=10^4$ кал/(м²·с·град); $\Pi=0,1$ мм; $m=4$; $\tau_2 = \sqrt{\frac{\tau_1 \cdot (4 - 11,236 \cdot \tau_1)}{75}}$. З рис. 11 випливає, що за умови $\tau_1=0,089$ с відбувається повне охолодження оброблюваної деталі в момент переривання процесу шліфування, а при $\tau_1>0,089$ с – неповне охолодження. Отже, домогтися найбільшого ефекту обробки можна у випадку $\tau_1=0,089$ с.

Із залежності (17) також впливають три основні умови зменшення температури θ_0 . Перша умова полягає в зменшенні енергоємності обробки σ , друга – у збільшенні m , а третя – у забезпеченні рівності двох доданків підкореневого виразу. Очевидно, реалізація третього випадку приводить до стабілізації в часі (зі збільшенням n) максимального значення температури θ_{\max} (рис. 11,а).

У п'ятому розділі: “Розробка й впровадження ефективних технологій обробки отворів у деталях гідроапаратури” – наведені результати експериментальних досліджень машинного часу обробки при внутрішньому шліфуванні й високошвидкісному розфрезеруванні отворів у кільцях з високотвердих магнітних сплавів АНКО-3А і ЮНДК-18 (твердістю HRC 62-63). Установлено, що здійснюючи попередню обробку отворів по методу високошвидкісного розфрезерування, а остаточну обробку по методу внутрішнього шліфування, можна в 2,8 рази зменшити трудомісткість обробки в порівнянні з обробкою отвору в одну операцію із застосуванням лише внутрішнього шліфування (рис. 12,а). При цьому мікровідколи, які утворюються по краях оброблюваних отворів при високошвидкісному розфрезеруванні, усуваються при наступному внутрішньому шліфуванні. Установлено також, що при обробці отворів у магнітних сплавах меншої твердості (HRC 56-58) знімання основної частини припуску можна виконувати методом розточування, а остаточну обробку - методом внутрішнього шліфування. Машинний час при цьому майже в 2 рази менше, ніж при зніманні всього припуску (0,8 мм на сторону) по методу внутрішнього шліфування (рис. 12,б). Мікровідколи, які утворюються при розточуванні отворів, усуваються в процесі внутрішнього шліфування.

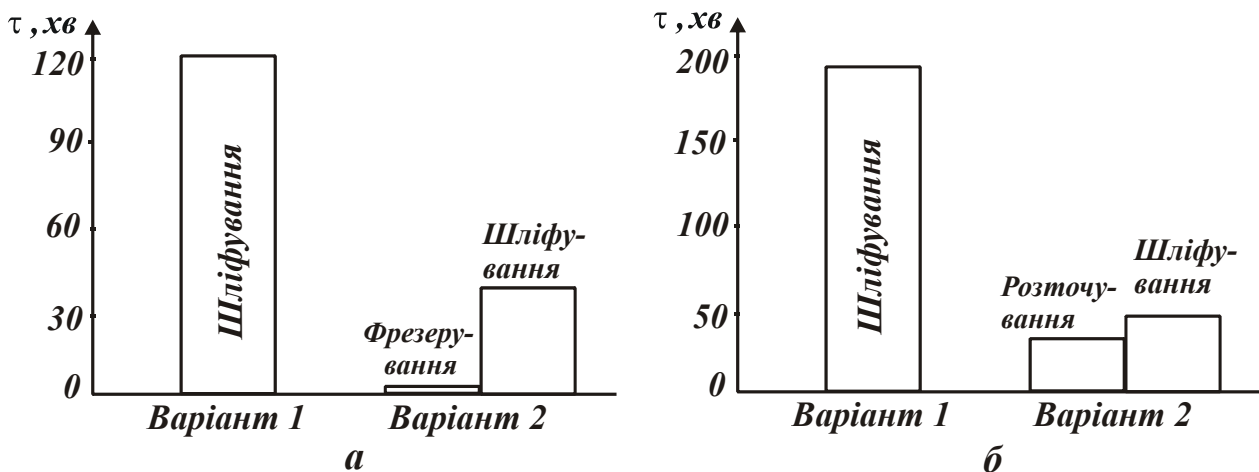


Рис. 12. Діаграма розподілу машинного часу обробки для двох варіантів технологічного процесу обробки отворів у кільцях з магнітного сплаву твердістю HRC 62-63 (а) і твердістю HRC 56-58 (б).

Експериментально доведена можливість істотного підвищення точності й шорсткості поверхні при високошвидкісному розточуванні отворів у втулках $\varnothing 6 - 16$ мм із бронзи Бр 010С2Н3 твердістю $HB \geq 75$ на сучасному високообертовому обробному центрі зі ЧПУ мод. "Рісоматх-60М". При обробці на режимі $n=8000$ об/хв, $S=0,02$ мм/об досягнута точність розміру оброблюваного отвору в межах 5 мкм і шорсткість поверхні – $R_a=0,63$ мкм. Продуктивність обробки збільшена

більш ніж в 3 рази. Це дозволило наступну операцію рейберування виконувати за 2 проходи рейбера (попередня й остаточна обробка) замість 4-х проходів за діючою технологією, забезпечуючи вимоги по точності й шорсткості поверхні при одночасному зниженні в 2 рази трудомісткості обробки. Ефект також досягнуто за рахунок збільшення стійкості рейберів шляхом їхньої високоякісної обробки.

Експериментально доведена можливість стабільного забезпечення необхідної шорсткості поверхні ($Ra = 1,25 \dots 0,32$ мкм) при високошвидкісній обробці на сучасних високооберткових токарних верстатах зі ЧПУ східчастих і різьбових отворів у корпусних деталях з матеріалу АЛ9, чого раніше при обробці традиційними методами не досягалося. Ефект обумовлений застосуванням високих швидкостей різання ($n = 2000 - 8000$ об/хв, $S = 0,1 - 0,4$ мм/об) і зменшення припусків на чистових проходах. При цьому продуктивність обробки збільшена до 5 разів.

Використовуючи отримані результати, розроблена ефективна технологія високошвидкісного фрезерування відповідальної деталі гідроапаратури – кулачка об'ємної форми з матеріалу 95Х 18-Ш (твердістю $HRC \geq 56$), обробка якого традиційними методами була фактично неможливою у зв'язку з низькою стійкістю інструмента.

Розроблені ефективні технології обробки отворів у відповідальних деталях гідроапаратури впроваджені в основне виробництво ДП Харківський машинобудівний завод “ФЕД” із загальним економічним ефектом 118195 гривень на рік.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі отриманих нових науково обґрунтованих результатів вирішено актуальне науково-практичне завдання підвищення якості й продуктивності обробки отворів в деталях гідроапаратури шляхом зменшення силової й теплової напруженості процесів механічної обробки.

1. Розроблено математичну модель утворення мікровідколів при механічній обробці отворів невеликого діаметра (8,5 мм) у кільцях з високотвердих магнітних сплавів АНКО-3А і ЮНДК-18 ($HRC 62-63$). Установлено, що зменшити величини мікровідколів можна зменшенням товщини зрізу й суми позитивного переднього кута інструмента й умовного кута тертя на передній поверхні інструмента на основі застосування високошвидкісного різання й внутрішнього шліфування. Це дозволило науково обґрунтовано підійти до вибору оптимальних варіантів технологічного маршруту й параметрів операцій, які забезпечують підвищення якості й продуктивності обробки.

2. Розроблено нову математичну модель стружкоутворення при різанні, що дозволило обґрунтувати умови переходу від різання до пластичного деформування й визначити найбільш ефективні методи механічної обробки отворів деталей гідроапаратури, виготовлених з різних по фізико-механічних властивостях (крихких і пластичних) оброблюваних матеріалів.

3. Проведено теоретичний аналіз умов утворення пружних переміщень у технологічній системі й установлено, що при одно- і багатопрохідному зніманні заданого припуску з однаковою номінальною продуктивністю обробки досягаються приблизно одні й ті самі показники точності й фактичної продуктивності. Тому при

різанні лезовими інструментами, що характеризується відносно невеликою енергоємністю обробки, доцільно знімання припуску виконувати за один або кілька проходів, а при шліфуванні використовувати багатопрхідну обробку з метою підвищення точності оброблюваних поверхонь.

4. Розроблено математичну модель визначення параметрів високошвидкісного розфрезерування й розточування отворів. Установлено, що ефект обробки (підвищення продуктивності й зниження сили різання) досягається за рахунок зменшення товщини зрізу, причому при високошвидкісному розфрезеруванні отворів більшою мірою. Це відкриває можливості високопродуктивної й високоякісної обробки отворів у деталях, виготовлених з важкооброблюваних матеріалів.

5. Отримано нове теоретичне рішення щодо визначення температури різання з урахуванням періодичного переривання процесу обробки й охолодження оброблюваної деталі. Це дозволило встановити основні напрямки зменшення часу обробки для заданої температури різання. Вони полягають в зменшенні енергоємності обробки й реалізації умов повного й часткового охолодження оброблюваної деталі в момент переривання процесу обробки.

6. Експериментально встановлено, що при внутрішньому шліфуванні отворів невеликого діаметра в кільцях з високотвердих магнітних сплавів у зв'язку з низькою жорсткістю технологічної системи доцільно обробку виконувати за пружною схемою з періодичним створенням початкових натягів, кратних величині припуску, що знімається. У порівнянні із внутрішнім шліфуванням за жорсткою схемою, дана схема дозволяє в 1,5 рази збільшити продуктивність обробки без зниження якості оброблюваних поверхонь.

7. Експериментально встановлено, що попередню обробку отворів у кільцях з магнітних сплавів твердістю HRC 62-63 доцільно здійснювати за схемою високошвидкісного розфрезерування, а отворів у кільцях з магнітних сплавів меншої твердості (HRC 56-58) - за схемою розточування твердосплавним різцем. При цьому на наступній операції внутрішнього шліфування повністю усуваються мікровідколи, які утворюються при попередній обробці, і забезпечується необхідна якість обробленої поверхні. Запропонований технологічний маршрут дозволяє до 2-х разів зменшити трудомісткість обробки в порівнянні з діючою технологією, заснованою на зніманні всього припуску методом внутрішнього шліфування.

8. Експериментально встановлено, що перехід в область високошвидкісного розточування отворів діаметром 6–16 мм у втулках із бронзи Бр 010С2Н3 твердістю $HB \geq 75$ підвищує продуктивність обробки більш ніж в 3 рази, забезпечує точність розміру в межах 5 мкм і шорсткість поверхні $R_a = 0,63$ мкм. Це дозволяє знизити трудомісткість наступної операції рейберування в 2 рази при забезпеченні необхідних показників точності й шорсткості поверхні.

9. Експериментально встановлено, що застосування високошвидкісної обробки східчастих і різьбових отворів у корпусних деталях, виготовлених з важкооброблюваного матеріалу АЛ9, дозволяє забезпечити шорсткість поверхні $Ra = 1,25 \dots 0,32$ мкм, чого раніше не досягалося при традиційних методах обробки.

10. На основі отриманих результатів розроблено ефективні технології механічної обробки отворів в деталях гідроапаратури з важкооброблюваних матеріалів.

лів, 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. Полянський В.И. Теоретическое обоснование технологических возможностей процессов течения и шлифования / В.И. Полянський // Вісн. Харків. нац. техн. ун-ту сільськ. госп-ва ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ. – 2010. – Вип. 106. – С. 93-98.
2. Новиков Г.В. Расчет напряжений, возникающих в зоне резания / Г.В. Новиков, М.В. Луцан, В.И. Полянський // Вісн. НТУ"ХПІ". Зб. наук. пр. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 49. – С. 127-131.
3. Гуцаленко Ю.Г. Расчеты термоупругих напряжений, возникающих при механической обработке / Ю.Г. Гуцаленко, Ф.В. Новиков, В.И. Полянський // Вісн. НТУ"ХПІ". Зб. наук. пр. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 53. – С. 31-38.
4. Полянський В.И. Теоретическое определение температуры при механической обработке с учетом периодического прерывания процесса / В.И. Полянський // Вісн. Харків. нац. техн. ун-ту сільськ. госп-ва ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ. – 2011. – Вип. 115. – С. 160-174.
5. Гуцаленко Ю.Г. Закономерные тенденции формирования параметров силовой напряженности при абразивной обработке / Ю.Г. Гуцаленко, В.И. Полянський, В.В. Шаргуленко // Резание и инструмент в технологических системах. Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2011. – Вып. 79. – С. 31-38.
6. Гуцаленко Ю.Г. Уменьшение силовой напряженности для повышения ресурса производительности алмазного шлифования / Ю.Г. Гуцаленко, В.И. Полянський // Резание и инструмент в технологических системах. Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2011. – Вып. 80. – С. 62-67.
7. Полянський В.И. Расчет температуры шлифования для неустановившегося во времени теплового процесса / В.И. Полянський // Вісник НТУ "ХПІ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2011. – № 40. – С. 92-97.
8. Полянський В.И. Условия повышения качества механической обработки деталей из высокопрочных хрупких материалов / В.И. Полянський // Вісн. Харків. нац. техн. ун-ту сільськ. госп-ва ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ. – 2011. – Вип. 118. – С. 178-184.
9. Полянський В.И. Условия повышения точности и качества обрабатываемых поверхностей при механической обработке / В.И. Полянський // Захист металургійних машин від поломок. Зб. наук. пр. – Маріуполь: ГВУЗ "ПДТУ". – 2011. – Вип. 13. – С. 188-192.
10. Полянський В.И. ООО "Империя Металлов" / В.И. Полянський // Труды 16-й Междунар. науч.-техн. конф. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК "ФЭД". – 2010. – С. 156-160.

11. Новиков Ф.В. Повышение эффективности механической обработки отверстий в деталях гидравлической аппаратуры / Ф.В. Новиков, В.И. Полянский, И.А. Рябенков, В.С. Дерябин // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: материалы науч.-техн. конф. – Одесса – Киев: АТМ України. – 2011. – 156-159.

12. Рябенков И.А. Метрологическое обеспечение обработки высокоточных деталей гидроаппаратуры / И.А. Рябенков, В.И. Полянский // Качество, стандартизация, контроль: теория и практика: материалы 11-ой междунар. науч.-практ. конф. – Ялта – Киев: АТМ України. – 2011. – С. 136-139.

13. Полянский В.И. Определение путей повышения точности и производительности механической обработки на финишных операциях / В.И. Полянский // Труды 17-й Междунар. науч.-техн. конф. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”. – 2011. – С. 55-63.

14. Полянский В.И. Условия эффективного применения тонкого точения взамен шлифования / В.И. Полянский // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: материалы VIII Междунар. науч.-техн. конф.: в 2 ч. Ч. 1. – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т. – 2011. – С. 322-327.

Полянський В.І. Технологічне забезпечення якості та продуктивності механічної обробки отворів в деталях гідроапаратури. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування. – ДВНЗ “Приазовський державний технічний університет”, Маріуполь, 2012.

У роботі теоретично й експериментально доведена можливість підвищення якості й продуктивності обробки отворів невеликого діаметра в деталях гідроапаратури на основі застосування високошвидкісного різання. Визначено технологічні закономірності утворення мікровідколів при лезовій і абразивній обробці отворів у деталях з високотвердих магнітних сплавів, що дозволило науково обґрунтовано підійти до вибору оптимальних варіантів технологічного маршруту й параметрів операцій обробки. Теоретично з єдиних позицій визначені умови здійснення процесів різання й пластичного деформування різних по фізико-механічних властивостях оброблюваних матеріалів. Теоретично доведена можливість досягнення приблизно однакових значень точності й продуктивності обробки при одно- і багатопрохідному зніманні заданого припуску. Одержала подальший розвиток математична модель визначення температури різання з урахуванням періодичного переривання процесу обробки й охолодження оброблюваної деталі, що дозволило уточнити відомі теоретичні рішення й визначити потенційні можливості зниження температури різання. На основі результатів досліджень розроблено і впроваджено у виробництво ефективні технології обробки отворів діаметром 8,5 мм у кільцях з високотвердих магнітних сплавів АНКО-3А і ЮНДК-18 ($HRC\ 62-63$), отворів діаметром 6–16 мм у втулках із бронзи Бр 010С2НЗ твердістю $HB \geq 75$, східчастих і різьбових отворів у корпусних деталях, виготовлених з важкооброблюваного матеріалу АЛ9. Дані технології забезпечують підвищення якості та продуктивності обробки.

Ключові слова: механічна обробка, технологічна система, оброблюваний отвір, різець, сила різання, температура шліфування

Полянский В.И. Технологическое обеспечение качества и производительности механической обработки отверстий в деталях гидроаппаратуры. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения. – ГВУЗ “Приазовский государственный технический университет”, Мариуполь, 2012.

Диссертация посвящена разработке эффективных технологий механической обработки отверстий в деталях гидроаппаратуры на основе уменьшения силовой и тепловой напряженности процессов обработки. Для этого разработана математическая модель образования микросколов при механической обработке отверстий небольшого диаметра (8,5 мм) в кольцах из высокотвердых магнитных сплавов АНКО-3А и ЮНДК-18 (*HRC* 62–63). Установлено, что уменьшить величины микросколов можно уменьшением толщины среза и суммы положительного переднего угла инструмента и условного угла трения на передней поверхности инструмента на основе применения высокоскоростного резания и внутреннего шлифования. Это позволило научно обоснованно подойти к выбору оптимальных вариантов технологического маршрута и параметров операций, обеспечивающих повышение качества и производительности обработки.

Разработана новая математическая модель стружкообразования при резании, позволившая обосновать условия перехода от резания к пластическому деформированию и определить эффективные методы механической обработки отверстий в деталях, изготовленных из различных по физико-механическим свойствам (хрупких и пластичных) материалов. Проведен теоретический анализ условий образования упругих перемещений в технологической системе и установлено, что при одно- и многопроходном съеме заданного припуска с одинаковой номинальной производительностью обработки достигаются примерно одни и те же показатели точности и фактической производительности. Разработана математическая модель определения параметров высокоскоростного расфрезеровывания и растачивания отверстий. Установлено, что эффект обработки (повышение производительности и снижение силы резания) достигается за счет уменьшения толщины среза, причем, при высокоскоростном расфрезеровывании отверстий в большей степени.

Получено новое теоретическое решение об определении температуры резания с учетом периодического прерывания процесса обработки и охлаждения обрабатываемой детали. На его основе установлены основные направления уменьшения времени обработки для заданной температуры резания, состоящие в уменьшении энергоемкости обработки и реализации условий полного и частичного охлаждения обрабатываемой детали в момент прерывания процесса обработки.

Экспериментально установлено, что при внутреннем шлифовании отверстий небольшого диаметра в кольцах из высокотвердых магнитных сплавов в связи с низкой жесткостью технологической системы целесообразно обработку производить по упругой схеме с периодическим созданием начальных натягов, кратных величине снимаемого припуска. По сравнению с внутренним шлифованием по жесткой схеме, данная схема позволяет в 1,5 раза увеличить производительность обработки.

Экспериментально установлено, что предварительную обработку отверстий в кольцах из магнитных сплавов твердостью *HRC* 62-63 целесообразно осуществлять по схеме высокоскоростного расфрезеровывания, а отверстий в кольцах из магнит-

ных сплавов меньшей твердости (HRC 56-58) – по схеме растачивания твердосплавным резцом. При этом на последующей операции внутреннего шлифования полностью устраняются микросколы, образующиеся при предварительной обработке, и обеспечивается требуемое качество обработанной поверхности. Предложенный технологический маршрут позволяет до 2-х раз уменьшить трудоемкость обработки. Экспериментально установлено, что переход в область высокоскоростного растачивания отверстий диаметром 6–16 мм во втулках из бронзы Бр 010С2Н3 твердостью $HB \geq 75$ обеспечивает повышение производительности обработки более чем в 3 раза, точность размера в пределах 5 мкм и шероховатость поверхности $R_a = 0,63$ мкм. Это позволяет снизить трудоемкость последующей операции рейберования в 2 раза при обеспечении требуемой точности и шероховатости поверхности.

Экспериментально установлено, что применение высокоскоростной обработки ступенчатых и резьбовых отверстий в корпусных деталях из труднообрабатываемого материала АЛ9 обеспечивает шероховатость $Ra = 1,25 \dots 0,32$ мкм, чего ранее не достигалось традиционными методами обработки. Внедрение в производство разработанных технологий механической обработки отверстий в деталях гидроаппаратуры позволило повысить качество и производительность обработки.

Ключевые слова: механическая обработка, технологическая система, обрабатываемое отверстие, резец, сила резания, температура шлифования

Polyansky V.I. Technological quality and performance of Meputting finishing holes in the hydraulic details. – Manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.02.08 - technology of mechanical engineering. - SHEE "Azov State Technical University", Mariupol, 2012.

The paper theoretically and experimentally demonstrate the possibility of improving the quality and efficiency of processing small diameter holes in detail hidroapara tours through the application of high-speed cutting. The technological regularities of formation mikrovidkoliv at lezoviy and abrasive finishing holes in the details of vysokotverdyh magnetic alloys, allowing scientifically grounded pi-reach to the choice of optimal technological choices and options operations routing HH treatment. Theoretically, in unison about the conditions of the processes of cutting and plastic deformation of different physical and mechanical properties of the object-roblyuvanyh materials. Theoretically proved able to achieve approximately the same values of accuracy and efficiency of processing in single and multipass removing the set allowance. Further developed mathematical model of cutting temperature, taking into account the periodic interrupt processing and cooling of the workpiece, thereby clarify-known theoretical solutions and determine the potential for lowering the temperature of cutting. Based on research developed and put into production effects processing technology, a topic by itself holes 8.5 mm in the ring with them vysokotverdyh magnetic alloys Anko-3A and YUNDK-18 (HRC 62-63), holes 6-16 mm in vtulkah, bronze Br 010S2N3 hardness of HB 75, Graded and threaded holes in the buildingsnyh parts made of material vazhkoobroblyuvanoho AL9. These technologies offer to improve the quality and efficiency of processing.

Keywords: machining, technological system, processed hole cutter, cutting force, grinding temperature