

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Венжега Володимир Іванович



УДК 621.923

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ШЛІФУВАННЯ ТОРЦІВ ПРИ
СХРЕЩЕНИХ ОСЯХ ДЕТАЛІ ТА КРУГА З КАЛІБРУВАЛЬНОЮ
ДЛЯНКОЮ**

Спеціальність 05.03.01 – процеси механічної обробки,
верстати та інструменти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2009

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі інтегрованих технологій машинобудування і автомобілів Чернігівського державного технологічного університету Міністерства освіти і науки України, м. Чернігів.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Кальченко Володимир Віталійович,
Чернігівський державний технологічний
університет, професор кафедри інтегрованих
технологій машинобудування і автомобілів
(м. Чернігів).

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,
старший науковий співробітник
Лавріненко Валерій Іванович,
Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М.
Бакуля Національної академії наук України,
м. Київ, завідувач відділом прецизійної
алмазно-абразивної та фізико-технічної
обробки і створення абразивного інструменту
із надтвердих матеріалів;

кандидат технічних наук, доцент
Русанов Віктор Васильович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
доцент кафедри інтегрованих технологій
машинобудування ім. М. Ф. Семка.

Захист відбудеться “ ___ ” _____ 2009 р. о _____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.050.12 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Автореферат розісланий “ ___ ” _____ 2009р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Пермяков О.А.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У машинобудуванні серед процесів механічної обробки різанням значне місце займають процеси абразивного шліфування, які складають в середньому 25–30%, а в окремих галузях промисловості до 50% загальної трудомісткості обробки.

На машинобудівних підприємствах параметри точності і якості обробки деталей машин традиційно формуються при остаточному шліфуванні. В повній мірі це відноситься до шліфування відповідальних деталей з торцевими робочими поверхнями, для яких встановлюються високі вимоги по точності і якості обробки: корпусних деталей, напівмуфт, циліндричних роликів, поршневих пальців, хрестовин карданних валів, гвинтових пружин, кілець вальниць, багатограних непереточуваних твердосплавних пластин та інших. Наприклад, торцеве биття внутрішніх кілець вальниць із сталі ШХ4 твердістю 61...64 HRC класів точності 2 і Т не повинно перевищувати 1,5 мкм при відхиленні ширини 1,5 мкм і шорсткості 0,32 мкм. Це викликає значні складнощі їх обробки як з точки зору забезпечення стабільної точності й шорсткості, так і досягнення необхідної продуктивності обробки.

Ефективним засобом збільшення точності, якості і продуктивності обробки таких деталей є вдосконалення способів торцевого шліфування зі схрещеними осями деталі та круга. При цьому важливо мати у розпорядженні математичні моделі основних параметрів обробки, що дозволить науково обґрунтовано здійснювати управління процесом. У зв'язку з цим, дисертаційна робота присвячена розв'язанню важливої і актуальної науково-практичної задачі по використанню нових резервів процесу торцевого шліфування зі схрещеними осями деталі і круга шляхом виділення на торці інструмента фіксованої калібрувальної ділянки, що дозволяє підвищити продуктивність та точність обробки, знизити нерівномірність зношення профілю круга.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась відповідно до науково-дослідної тематики кафедри інтегрованих технологій машинобудування і автомобілів Чернігівського державного технологічного університету, а саме за госпдоговірною темою “Розробка технології одночасного шліфування двох торців пружин”, (завод “Агрореммаш”, м. Чернігів), та держбюджетними темами МОН України: “Розробка теоретичних основ шліфування поверхонь обертання орієнтованим інструментом” (ДР №0196U003329); “Розробка теоретичних основ та способів шліфування торців циліндричних деталей орієнтованим і профільованим інструментом” (ДР №0199U003860); “Розробка теоретичних основ, методів керування процесами та нових способів шліфування криволінійних поверхонь на верстатах з ЧПК” (ДР №0102U000703); “Розробка теоретичних основ ефективного шліфування, профілювання і зношення інструменту при перехрещених осях його та деталі” (ДР №0205U002013), де здобувач був виконавцем окремих розділів.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення точності та продуктивності торцевого шліфування при схрещених осях деталі та круга за рахунок виділення на торці інструмента фіксованої калібрувальної ділянки, яка не

бере участь у зрізуванні чорнового припуску; збільшення лінії контакту деталі з кругом; раціонального кута схрещення осей; керування обертанням заготовки в процесі обробки.

Для досягнення даної мети в роботі вирішуються наступні задачі:

1. Розробити узагальнену математичну модель формоутворення та виконати дослідження впливу довжини, форми калібрувальної ділянки, кутів орієнтації кругів, обертання заготовок в зоні обробки на точність торцевої поверхні при шліфуванні зі схрещеними осями деталі і круга з калібрувальною ділянкою.

2. Для знаходження локальної, миттєвої і середньої продуктивності обробки розробити узагальнене рівняння, що описує проекцію швидкості відносного руху на напрям вектора одиничної нормалі до поверхні круга.

3. Провести дослідження температур та залишкових напружень, які виникають під час шліфування, та встановити зв'язок із довжиною та формою калібрувальної ділянки для управління якістю оброблюваної поверхні.

4. Розробити методику і провести експериментальні дослідження параметрів торцевого шліфування для оцінки достовірності отриманих теоретичних рішень і виявлення потенційних можливостей процесу.

5. Розробити ефективний спосіб торцевого шліфування при схрещених осях деталі і круга з калібрувальною ділянкою, пристрій для його реалізації та впровадити їх у виробництво.

Об'єкт дослідження – процес шліфування сталевих деталей абразивними інструментами.

Предмет дослідження – закономірності процесу шліфування з управлінням схрещенням осей оброблюваної деталі та абразивного інструмента з калібрувальною ділянкою.

Методи дослідження. Всі теоретичні положення дисертації базуються на фундаментальних основах теорії різання та технології машинобудування. Для розробки узагальнених математичних моделей точності та продуктивності використаний апарат матричної алгебри та аналітичної геометрії. Динамічні дослідження проводились методом початкових параметрів. Теплонапруженість процесу досліджувалась методом джерел, а залишкові напруження – методом Давиденкова. Результати підтверджені обчислювальними комп'ютерними експериментами з використанням алгоритмів і моделей, розроблених здобувачем.

Експериментальні дослідження базуються на математичній статистиці і виконувались на модернізованому горизонтальному двосторонньому торцешліфувальному верстаті 3342 АДО з використанням сучасної контрольно-вимірювальної апаратури.

Наукова новизна отриманих результатів. 1. Вперше на основі проведених теоретичних і експериментальних досліджень розроблені методологічні основи створення ефективного способу плоского торцевого шліфування при схрещених осях деталі і круга з калібрувальною ділянкою, що забезпечує підвищення продуктивності і точності при односторонньому і двосторонньому шліфуванні матеріалів за рахунок збільшення довжини лінії контакту деталі з кругом, підвищення стійкості кругів, раціонального кута схрещення осей, управління обертанням оброблюваної деталі.

2. Запропоновано узагальнену математичну модель формоутворення та виконано дослідження впливу довжини, форми калібрувальної ділянки, кутів орієнтації кругів, обертання заготовок в зоні обробки на точність торцевої поверхні при шліфуванні зі схрещеними осями деталі і круга з калібрувальною ділянкою.

3. Для знаходження локальної, миттєвої та середньої продуктивності при забезпеченні потрібної точності та якості оброблюваних поверхонь запропоновано узагальнене рівняння для визначення проекції вектора швидкості відносного руху на напрям вектора одиничної нормалі до поверхні круга.

4. Вперше отримано вираз для визначення максимальної температури в зоні різання, який враховує зв'язок довжини і форми калібрувальної ділянки з кутами орієнтування кругів та досліджені залишкові напруження в поверхневому шарі деталі, що дозволило керувати теплонапруженістю процесу.

5. Отримали подальший розвиток розрахункові формули для сил різання та зношення, які враховують особливості процесу шліфування з фіксованою калібрувальною ділянкою.

Практична значимість отриманих результатів для машинобудування полягає у тому, що методологія і результати досліджень продуктивності, зношення шліфувального круга, теплонапруженості, залишкових напружень, сил різання, динамічних характеристик, шорсткості і точності оброблюваних поверхонь, як при односторонньому, так і при двосторонньому торцевому шліфуванні дозволили: знайти шляхи підвищення продуктивності процесу шліфування на 12%; підвищити точність і якість оброблюваних поверхонь гвинтових пружин та хрестовин карданних валів; встановити раціональні настроювальні параметри верстатів та режимів обробки.

За результатами дисертації розроблені і впроваджені: на Чернігівському заводі «Агрореммаш» ефективна технологія шліфування торців пружин демпфера муфт зчеплення автомобіля ГАЗ-53 (сумарний економічний ефект в склав 5716 грн.); на Чернігівському ВАТ «Укркард» - ефективна технологія шліфування торців хрестовин карданних валів з очікуваним річним економічним ефектом 30 000 грн.

Авторство наукових розробок здобувача підтверджується двома рішеннями про видачу деклараційних патентів на корисні моделі на прилад для фіксації циліндричних деталей при двосторонній обробці торців (заявка № u 2008 09761) та прилад активного контролю довжини циліндричних деталей в процесі шліфування торців (заявка № u 2008 09759).

Результати і методики дисертації та розроблений експериментальний стенд на базі двостороннього торцешліфувального верстата 3342 АДО використовуються в навчальному процесі на кафедрі інтегрованих технологій машинобудування і автомобілів Чернігівського державного технологічного університету.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові і практичні результати одержані здобувачем самостійно. Постановка задач і аналіз результатів дослідження виконані разом з науковим керівником. На основі проведених теоретичних і експериментальних досліджень розроблений ефективний спосіб торцевого шліфування при схрещених осях деталі та круга з фіксованою калібрувальною ділянкою, який дозволяє підвищити продуктивність і знизити собівартість обробки при забезпеченні необхідної точності й шорсткості.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідалися й обговорювалися на міжнародній науково-технічній конференції «Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века» (8–11 вересня 1998р. в місті Севастополі) і на міжнародних науково-технічних семінарах «Высокие технологии в машиностроении: современные тенденции развития» (Харків–Алушта, 12–17 вересня 2005р., 14–19 вересня 2006р., 22–27 вересня 2008р.).

Роботу в повному обсязі заслухано та схвалено на розширеному науковому семінарі кафедри інтегрованих технологій машинобудування і автомобілів Чернігівського державного технологічного університету (2008р.) і на кафедрі інтегрованих технологій машинобудування ім. М. Ф. Семка НТУ «ХПІ» (2008 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 18 наукових роботах, у тому числі 11 – у фахових виданнях ВАК України.

Структура й обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, 5-ти розділів, висновків і додатків. Повний обсяг дисертації включає 214 сторінок, з них 44 ілюстрації по тексту, 38 ілюстрацій на 28 сторінках, 4 таблиці по тексту, 1 таблицю на 2 сторінках, 9 додатків на 42 сторінках, 143 літературних джерела на 14 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі приведена загальна характеристика роботи, у якій обґрунтована актуальність теми, сформульовані мета і задачі досліджень, визначена наукова новизна і практичне значення отриманих результатів. Показано особистий внесок здобувача і результати апробації дисертації.

У першому розділі розглядається стан питання торцевого шліфування з паралельними і схрещеними осями інструмента і деталі. Відзначається, що завдяки зусиллям багатьох учених, серед яких В. М. Вerezуб, Ю. М. Внуков, А. П. Гавриш, А. І. Грабченко, В. Л. Доброскок, Л. П. Калафатова, В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, В. В. Коломієць, С. М. Корчак, В. К. Кулик, В. І. Лавриненко, Г. Б. Лурье, Є. М. Маслов, П. Г. Матюха, Ю. К. Новосолов, Б. О. Перепелиця, В. Т. Портман, А. Ф. Раб, П. Р. Родін, Є. В. Рижов, М. Ф. Семко, М. Е. Тернюк, М. Д. Узунян, С. С. Шахновський, В. О. Федорович, Л. М. Філімонов, І. Х. Чеповецький, Ф. С. Юнусов, А. В. Якимов, П. І. Ящерицин та інш. у науково-технічній літературі складено досить повне уявлення щодо процесів формоутворення оброблюваної поверхні, профілювання поверхні торця інструмента, утворення похибок геометричної форми та лінійних розмірів, продуктивності обробки, теплонапруженості процесу. Разом з тим, недостатньо досліджень спрямовано на вивчення потенційних можливостей процесу шліфування зі схрещеними осями, який дозволяє збільшити продуктивність обробки за рахунок повного використання різальної здатності шліфувального інструмента. Проведений аналіз дозволив сформулювати мету, основні задачі досліджень, а також шляхи їх практичної реалізації.

У другому розділі запропонована узагальнена математична модель формоутворення торцевих поверхонь при шліфуванні зі схрещеними осями деталі та круга з калібрувальною ділянкою та проведені теоретичні дослідження впливу ширини калібрувальної ділянки, обертання заготовок в зоні обробки, кутів

орієнтації кругів, динамічних похибок, сил різання та зношення на точність формоутворення торців.

Розроблена структурна схема вихідної точності процесу торцевого шліфування (рис.1), що враховує замкнутість технологічної системи та зв'язує вхідні, керуючі параметри з вихідними.

Рис. 1. Структурна схема вихідної точності процесу торцевого шліфування

Як вхідні, розглядаються керуючі параметри: характеристика шліфувальних кругів (розміри, форма, абразивний матеріал, зернистість, зв'язка, структура); кути орієнтації кругів щодо горизонтальної і вертикальної площин та параметри робочої зони, параметри процесу різання (кутова швидкість барабана подачі деталей в зону обробки; швидкість різання) .

Головними збуреннями є припуск на обробку, матеріал і габарити заготовки.

Вихідними параметрами процесу, які виступають як технологічні обмеження, є точність розмірів, форми та взаємного розміщення поверхонь, шорсткість, залишкові напруження, а функцією мети – продуктивність. Розрахунок її визначається передатною функцією процесів зняття припуску і формоутворення, що відображають фактичну взаємодію інструментальної поверхні із поверхнею заготовки.

Для отримання калібрувальної ділянки на торці круга необхідна комбінована правка. Шліфувальні бабки 1 разом із шліфувальними кругами 2 орієнтують на кут ν у вертикальній площині (рис.2, а) і на кут γ – у горизонтальній (рис.2, б). За допомогою спеціального пристрою 3 вся торцева поверхня правиться в площині, перпендикулярній осі обертання круга. Після цього алмазним олівцем 5, закріпленим на барабані кругової подачі 4 заготовок в зону обробки, правиться ділянка круга, суміжна із зовнішнім діаметром (рис.2, в), в результаті чого отримують калібрувальну ділянку, яка на вході (*ав*) не бере участь у зрізуванні припуску і захищена напрямними 6 (рис.2, г). Чорновий припуск зрізується на центральній ділянці *вс*. Під час шліфування деталі 7 весь час переміщуються в зону, що звужується. Остаточна точність формується калібрувальною ділянкою *сd* на виході із зони обробки .

Рис.2. Комбінована правка

Для розробки математичних моделей найбільш важливих характеристик процесу шліфування використовується функція формоутворення верстата. Вона являє собою аналітичну залежність, що зв'язує переміщення ланок формоутворювальної системи з траєкторією руху точок інструмента відносно оброблюваної деталі в системі координат деталі.

Калібрувальна ділянка торця інструмента (рис.3) при його профілюванні на верстаті описується залежністю

$$(1)$$

де θ_B, θ – параметри поверхні різального інструменту, що відповідають за кутове і радіальне положення точки робочої поверхні круга; A^1, \dots, A^6 – матриці перетворення систем координат, які моделюють поступальний рух вздовж осей координат і повороти навколо них; X_c, Y_c, Z_c – розміри, які визначають положення центру сферичного пальця щодо барабана подачі і робочої площини круга; γ, ν – кути орієнтації шліфувальної бабки в горизонтальній і вертикальній площинах; R_B – радіальний розмір розташування осей заготовок в барабані подачі; $e^4 = (0,0,0,1)^T$ – радіус-вектор вершини алмазного олівця для правки, що співпадає з початком координат.

Рис.3. Калібрувальна ділянка круга при збільшенні розмірів вздовж осі Z в 1000 разів

Формоутворювальна модель верстата описує сім'ю інструментальних поверхонь в системі координат деталі

(2)

де θ_0 – кутова координата положення центру заготовки відносно системи координат круга.

У формоутворенні торця заготовки приймає участь вся поверхня калібрувальної ділянки, але остаточна точність може формуватися колом найменшого радіусу R_{\min} , найбільшого радіусу R_{\max} або лінією контакту заготовки з кругом (характеристикою) (рис.4).

Радіус-вектор характеристики на формоутворювальній ділянці торцевої поверхні круга визначається із рівняння (2), враховуючи рівняння зв'язку для однопараметричного огинання.

(3)

Рівняння поверхні, яка утворюється при русі максимального кола, може бути отримане із рівняння (2), підставляючи в нього замість радіус-вектора поверхні координати точок кола

(4)

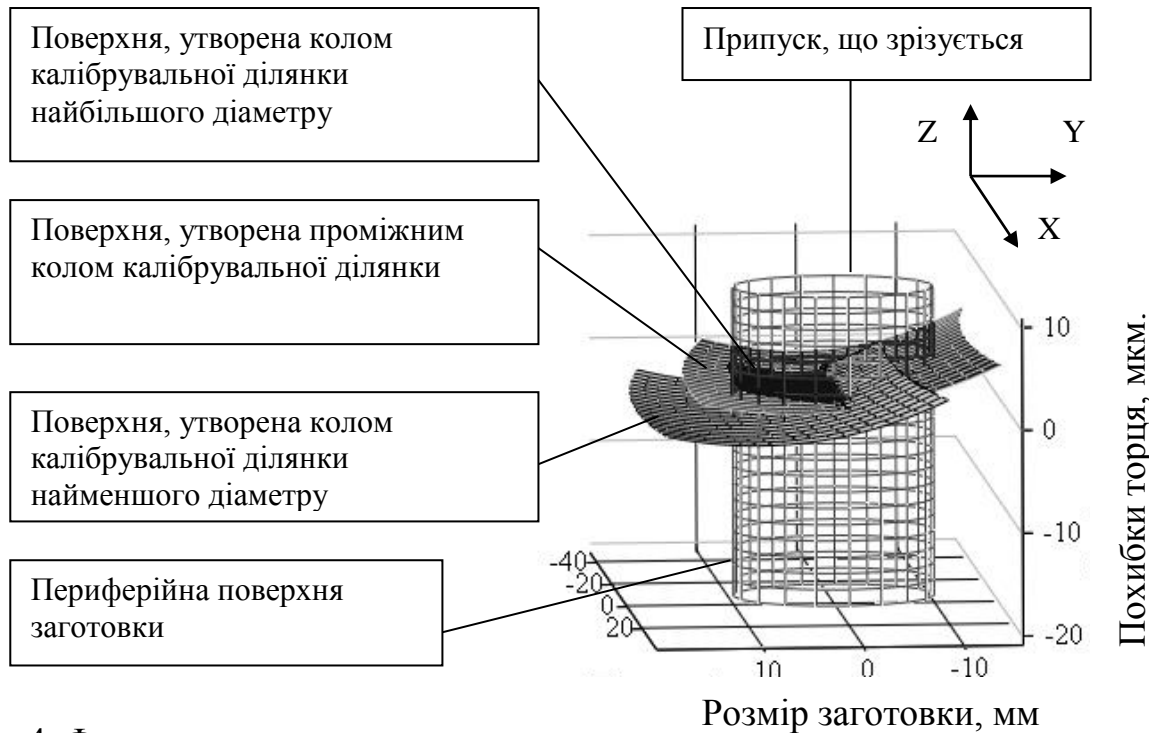


Рис.4. Формоутворення торця заготовки

Проведені теоретичні дослідження впливу довжини калібрувальної ділянки, обертання заготовок, кутів орієнтації кругів на точність обробки показали наступне:

1. Довжина калібрувальної ділянки значно впливає на точність формоутворення торців. Найкращі результати (похибка $\Delta=2-4$ мкм) отримані, коли довжина калібрувальної ділянки не менша діаметра деталі. При цьому в остаточному формоутворенні торця в основному бере участь коло калібрувальної ділянки найбільшого діаметра. Робити довжину калібрувальної ділянки більшою діаметра самої деталі недоцільно, оскільки точність при цьому фактично не збільшується, а довжина лінії контакту деталі із кругом зменшується.

При довжині калібрувальної ділянки, рівній радіусу деталі, похибки збільшуються до 5–7 мкм, а при довжині, рівній 1/2 радіуса деталі – до 8 – 10 мкм.

2. Найнижча точність торцевої поверхні деталі (похибка $\Delta = 8 - 9$ мкм) отримана за відсутності обертання заготовки. У формоутворенні поверхні беруть участь в рівній мірі кола найбільшого і найменшого діаметрів калібрувальної ділянки. При обертанні заготовок в зоні обробки ($\omega = 2 \text{ хв}^{-1}$) точність формоутворення торців значно зростає і складає 2 – 4 мкм. Подальше збільшення частоти обертання заготовок на калібрувальній ділянці не приводить до покращення показників точності. Таким чином, для підвищення точності обробки необхідно, щоб оброблювана заготовка обернулася на калібрувальній ділянці не менше одного разу.

Для управління обертанням заготовок в процесі обробки запропонований пристрій, що забезпечує фіксування деталей на ділянці для зрізування чорнового припуску, за рахунок чого збільшується зона контакту торців деталі з інструментом і досягається максимальна продуктивність і примусове обертання деталі на

калібрувальній ділянці, що сприяє підвищенню точності (рішення про видачу деклараційного патенту України по заявці u 2008 09761).

3. Найкращі по точності результати отримані при співвідношенні кутів орієнтації у вертикальній v і горизонтальній γ площинах $\gamma=1,57 \cdot v$ ($\Delta=4$ мкм). Чим більше відрізняється це співвідношення, тим нижча точність.

В роботі запропонована математична модель підвищення точності обробки за рахунок варіювання функцією формоутворення верстата. Налагодження верстата здійснюється осьовою подачею пінолей шліфувальних бабок і коригуванням кута їх орієнтації у горизонтальній площині γ_k при заданому значенні кута v , яке обумовлене продуктивним зняттям припуску. Тоді матриця δ похибок вузлів матиме лише два елементи

(5)

Варіюванням рівняння функції формоутворення за параметрами γ і z знаходять векторні похибки:

(6)

В рівнянні (6) D^3, D^4 – матриці вхідних похибок положення шліфувальної бабки і пінолей.

Елементи передатних коефіцієнтів матриці D розміром $p \times 2$ отримують скалярним добутком векторів нормалі \bar{n} до торцевої поверхні та векторних похибок, розрахованих вздовж циліндричної поверхні заготовки у p точках. У цих же точках маємо розрахункові похибки, що поєднані у вектор Δ .

Для визначення оптимальних значень кутів орієнтації круга в горизонтальній площині необхідно вирішити матричне рівняння

(7)

Елементи вектора, підставлені із зворотнім знаком у вираз (7), дозволили отримати графіки відкоригованих поверхонь (рис.5).

Z

Y

X

Рис.5. Виправлення похибки торцевої поверхні деталі за рахунок варіювання функцією формоутворення

Динамічні параметри шпиндельного вузла безпосередньо впливають на точність форми оброблюваної поверхні, її шорсткість, інтенсивність зношення різального інструменту. Методом початкових параметрів в роботі проведено динамічний розрахунок шпиндельного вузла і встановлено області його

безрезонансної роботи, побудовано амплітудно-фазову частотну характеристику і форми коливань системи.

Точність деталей, оброблюваних на торцешліфувальних верстатах, в значній мірі залежить від встановленого при налагодженні верстата взаємного розташування торців кругів в горизонтальній і вертикальній площинах. Проте деформації пружної системи верстата, що виникають під дією сил різання, змінюють взаємне положення торців кругів. Крім того, для забезпечення необхідної якості поверхні деталі, необхідно оцінювати очікувану глибину і структуру дефектного шару, що витікає із теплонапруженості процесу, вищої, ніж при інших операціях абразивної обробки.

Запропонована методика визначення сил різання при шліфуванні орієнтованим інструментом із врахуванням не тільки різальних, але й деформуючих метал зерен. Глибина проникнення зерен пов'язується із проекцією вектора швидкості відносного руху на вектор нормалі до поверхні інструменту V_n .

Пропонується питому швидкість зрізування металу за одиницю часу знаходити за залежністю

$$v = V_n \cdot V_n \quad (8)$$

де V_n – проекція швидкості відносного руху на напрям вектора одиничної нормалі до поверхні круга. Враховуючи, що при шліфуванні зі схрещеними осями деталі і круга з калібрувальною ділянкою зрізування припуску розподіляється між чорною і калібрувальною ділянками, в формулу підставляють значення V_n для відповідних ділянок.

В роботі запропонована методика визначення відхилення від перпендикулярності та площинності торців відносно базової осі за допомогою побудови середньоквадратичної площини по вимірним точкам M_1, M_2, \dots, M_n з координатами $x_u = r \cdot \cos \varphi$; $y_u = r \cdot \sin \varphi$; $z_u = 1$, де r – радіус, на якому відбувається вимірювання; φ – кут, вимірюваний від умовного напрямку, u – індекс точки торця з комбінацією координат x_u, y_u . Отримано систему рівнянь (9).

$$(9)$$

Цю систему вирішують відносно невідомих коефіцієнтів матричним методом

$$A \cdot K = \Delta, \quad (10)$$

де невироджена матриця, рядки якої складені з суми координат і сум добутоків координат точок оброблюваної поверхні $M_u(x_u, y_u, z_u)$;

– вектор коефіцієнтів, що описує положення середньоквадратичної площини;

– вектор, що вміщує сумму відхилень положень точок від номінального (приймають із профілограми).

Розв'язуючи матричне рівняння, визначають вектор K коефіцієнтів площини і знаходять її рівняння.

$$(11)$$

Відхилення від перпендикулярного положення середньоквадратичної площини дорівнює куту між нормаллю до площини і віссю Z .

$$(12)$$

Відхилення від площинності торця визначають по різниці найбільшого і найменшого значень координати Z при повороті системи координат деталі до співпадання її осі з положенням нормалі до середньоквадратичної площини.

Таким чином, геометрична точність оброблюваних торцевих поверхонь забезпечується калібрувальною ділянкою, суміжною з зовнішнім діаметром круга. Підвищення точності досягається за рахунок вибору раціональної довжини і форми калібрувальної ділянки, кутів орієнтації кругів, управління обертанням заготовок в зоні обробки, настроювальних параметрів, які зменшують основні динамічні похибки.

У третьому розділі з використанням методу джерел розроблена модель та програмне забезпечення для визначення максимальних температур при торцевому шліфуванні зі схрещеними осями деталі і круга з калібрувальною ділянкою та проведено дослідження залишкових напружень в матеріалі обробленої заготовки за методом академіка М.М. Давиденкова.

Заготовка розглядається як множина напівнескінчених стрижнів одиничної площі, обмежених з боку торця (рис.6). Обмеженість заготовки торцевою поверхнею порушує симетричний розподіл тепла. Крім того, на торці заготовки у момент обробки діє джерело із щільністю теплового потоку $q(t)$, що відповідає граничним умовам другого роду.

Рис. 6. Розрахункова схема розбивання заготовки на множину одиничних стрижнів

Тоді за скінчений час обробки t_0 відбувається приріст температури, який визначається

$$\Delta T = \frac{1}{\gamma} \int_0^{t_0} q(t) dt, \quad (13)$$

де c – питома теплоємність матеріалу деталі; γ – щільність матеріалу; $a = \frac{\lambda}{c \cdot \gamma}$ – коефіцієнт температуропровідності; λ – коефіцієнт теплопровідності; t, t' – моменти часу обробки і дії джерела тепла; x, x' – координати досліджуваної точки і координати положення джерела тепла.

Для розрахунку температури була розроблена програма в пакеті програм Math CAD, яка дозволила побудувати графік зміни температури по часу і довжині заготовки. Отриманий графік приведений на рис.7.

Під дією високих температур в зоні обробки матеріали деталей зазнають структурні і фазові перетворення, які викликають залишкові напруження. Для визначення залишкових напружень реалізована методика, що будується на положеннях механічного способу академіка М.М. Давиденкова. Повне залишкове напруження визначається як сума напружень, що знімаються при розрізі досліджуваного зразка і при послідовному видаленні шарів металу. По його значенням побудовано графік, що відображає розподіл напружень в поверхневому шарі зразка в залежності від глибини (рис. 8).

Глибина h , мкм

Рис. 7. Графік зміни температури по часу і довжині заготовки

Рис. 8. Розподіл залишкових напружень в поверхневому шарі зразка

Отримано адекватне рівняння математичної моделі теплонапруженості торцевого шліфування, що дозволяє встановити закономірність зміни температури за часом і по довжині заготовки. За допомогою розробленої моделі здійснюється управління теплонапруженістю процесу шляхом вибору раціональної орієнтації і профілювання кругів.

Аналіз залишкових напружень свідчить, що при запропонованому способі в прошліфрованому зразку переважають залишкові напруження стискування, найбільша величина яких знаходиться на глибині близько 40 мкм.

Четвертий розділ присвячений визначенню продуктивності торцевого шліфування круга з калібрувальною ділянкою, яка в свою чергу визначається проекцією вектора швидкості відносного руху V_n на напрям вектора одиничної нормалі до поверхні круга.

Шліфувальна бабка 1 верстата разом з кругом 2 орієнтована на кути γ і ν відповідно у горизонтальній і вертикальній площинах (рис. 9)

Рис. 9. Схема для визначення продуктивності шліфування

Отримано вираз V_n для центральної і калібрувальної ділянок круга

$$(14)$$

Склавши скалярний добуток векторів швидкості у напрямі нормалі і вектора нормалі, отримано епюри V_n по куту повороту барабана подачі для калібрувальної і центральної ділянок круга (рис.10).

Рис.10. Епюра нормальної швидкості для калібрувальної та центральної ділянок шліфувального круга по куту повороту θ барабана подачі

Для визначення об'єму матеріалу, який зрізується із заготовки в процесі шліфування, розроблений індуктивний датчик активного контролю. (Рішення про видачу деклараційного патенту по заявці на патент України № u 2008 09759. Прилад активного контролю довжини циліндричних деталей в процесі шліфування торців).

Запропоновано рівняння для визначення V_n у явному вигляді з метою його використання для знаходження локальної, миттєвої і середньої продуктивності та зношення профілю при забезпеченні потрібної точності і якості оброблених поверхонь. Отриманий вираз враховує вплив на продуктивність обробки кутів орієнтації круга в горизонтальній і вертикальній площині.

У п'ятому розділі розроблена методика і проведені експериментальні дослідження параметрів торцевого шліфування зі схрещеними осями деталі та круга з калібрувальною ділянкою для оцінки достовірності отриманих теоретичних рішень.

Загальний вид експериментального стенду на базі верстата 3342АДО приведений на рис 11.

Рис.11. Загальний вид експериментального стенду на базі верстата 3342 АДО

Проведені експериментальні дослідження точності формоутворення торців за допомогою кругломіра “TALYROOND” підтвердили теоретичні розрахунки. Осцилограми вимірів відхилення від площинності, перпендикулярності та паралельності торців на нижньому рівні значень факторів приведені на рис. 12.

Z

Рис.12. Осцилограми відхилень від площинності, перпендикулярності та паралельності

Рис.13. Відхилення від перпендикулярності, отримане розрахунковим шляхом

Для визначення температури на двох торцях використовувалась штучна термопара хромель-капель із двоканальним підсилювачем Термопар. Показання знімалися самописцем Н3031 (рис.14).

X

Рис. 14. Схема стенду для вимірювання температури та осцилограма температури

Побудована апроксимуюча залежність температури на торцях заготовки має вигляд

$$T = 535,8 + 34,7 \cdot \frac{V - 0,78}{\Delta_v} + 77 \cdot \frac{\delta - 0,3}{\Delta_\delta} - 12,1 \cdot \frac{v - 0,15}{\Delta_v}, \quad (15)$$

де V, δ, v – відповідно швидкість подачі заготовок (м/хв), припуск на обробку (мм) і кут орієнтації кругів в вертикальній площині (мм на діаметрі);

$\Delta_v, \Delta_\delta, \Delta_v$ – інтервали варіювання факторами.

$$T = 372 + 108 \cdot V + 385 \cdot \delta - 242 \cdot v \quad (16)$$

Проведені експериментальні дослідження торцевого биття, відхилення від перпендикулярності та паралельності, шорсткості торців заготовок, температури та остаточних напружень підтверджують адекватність розроблених теоретичних моделей. Розходження між експериментальними та розрахунковими значеннями складають не більше 7%.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена вирішенню важливої науково-практичної задачі – підвищенню ефективності плоского торцевого шліфування за рахунок цілеспрямованого управління схрещенням осей абразивних кругів і оброблюваних деталей та виділення на торці інструменту калібрувальної ділянки, яка не приймає участь у зрізуванні чорнового припуску і має фіксоване положення. В процесі дослідження отримані наступні результати:

1. Запропоновано узагальнену математичну модель точності формоутворення торців деталей. Найвища точність забезпечується при довжині калібрувальної ділянки не меншій розмірів заготовки. Визначено співвідношення між кутами орієнтування кругів в вертикальній ν і горизонтальній γ площинах $\gamma = 1,57 \cdot \nu$. На калібрувальній ділянці заготовка повинна зробити не менше одного оберту навколо своєї осі. Розроблений пристрій, за допомогою якого деталі фіксуються на ділянці для зрізування чорнового припуску і примусово обертаються на калібрувальній ділянці.

2. Локальна, миттєва та середня продуктивність обробки визначається проекцією вектора швидкості відносного руху на напрям вектора одиничної нормалі до поверхні круга і враховує орієнтування шліфувальних кругів в горизонтальній і вертикальній площинах та обертання заготовок в зоні обробки. Інтенсивність зрізування припуску на калібрувальній ділянці майже в чотири рази нижча, ніж на ділянці для чорнового припуску. Запропонована нова концепція та пристрій вимірювання припуску, що зрізується під час обробки, в закритій зоні між двома шліфувальними кругами.

3. Розроблена методика визначення та отримані розрахункові формули для сил різання із врахуванням не тільки зерен які зрізують, але і деформують метал, що дає можливість спрогнозувати точність оброблених деталей. Запропоновані рівняння для визначення зношення на ділянці для зрізування чорнового припуску і на калібрувальній ділянці із врахуванням об'єму металу, який підводиться.

4. Отримано вираз для визначення максимальної температури в зоні різання, який враховує зв'язок довжини і форми калібрувальної ділянки з кутами орієнтування кругів, що дозволяє управляти теплонапруженістю процесу. Найбільші величини залишкових напружень в поверхневому шарі деталі знаходяться на глибині 40 мкм.

5. Визначено основні динамічні похибки, запропоновано шляхи їх зменшення, аналітично і експериментально встановлено закономірності впливу динамічних характеристик пружної технологічної системи на процес шліфування і визначено раціональні настроювальні параметри верстата і режими обробки.

6. На основі проведених теоретичних і експериментальних досліджень розроблений ефективний спосіб плоского торцевого шліфування при схрещених осях деталі і круга з калібрувальною ділянкою, що забезпечує підвищення продуктивності за рахунок збільшення довжини лінії контакту деталі з кругом і управління обертанням заготовки та збільшення точності за рахунок виділення формоутворювальної ділянки.

7. Результати роботи впроваджені на Чернігівському заводі «Агрореммаш» при шліфування торців пружин демпфера муфт зчеплення автомобіля ГАЗ-53 (сумарний економічний ефект склав 5716 грн.) і на Чернігівському ВАТ «Укркард» при шліфування торців хрестовин карданних валів (очікуваний річний економічний ефект 30 000 грн.).

Результати і методики дисертації та розроблений експериментальний стенд на базі двостороннього торцешліфувального верстата 3342 АДО використовуються в навчальному процесі на кафедрі інтегрованих технологій машинобудування і автомобілів Чернігівського державного технологічного університету.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Польшаков В. И. Механизм загрузки многогранных неперетачиваемых пластин при шлифовании опорных поверхностей на двухшпиндельных торцешлифовальных станках / В. И. Польшаков, А. А. Григорьев, В. И. Венжега // *Технологія та автоматизація машинобудування*. – К.: Техніка. – 1992. – Вип. 49. – С. 68–70. Здобувачем особисто проведено розрахунки продуктивності обробки та виконано проектування касети-нагромаджувача для багатограних непереточуваних пластин і диска подачі виробів в зону обробки.

2. Кальченко В. І. Контроль зняття припуску з деталей, які обертаються під час обробки на двосторонніх торцешліфувальних верстатах / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, А. В. Рудик, В. І. Венжега // *Резание и инструмент в технологических системах: межд. науч.-техн. сб.* – Харьков: НТУ „ХПИ”. – 2005. – Вып. 68. – С. 241–246. Здобувачем особисто проведені теоретичні розрахунки і розроблені конструкція індуктивного перетворювача та методика проведення досліджень.

3. Кальченко В. И. Определение составляющих силы резания при шлифовании ориентированным абразивным инструментом / В. И. Кальченко, В. В. Кальченко, А. В. Рудик, В. И. Венжега // *Резание и инструмент в технологических системах: межд. науч.-техн. сб.* – Харьков: НТУ „ХПИ”. – 2005. – Вып. 69. – С. 105–110. Особистий внесок здобувача полягає в отриманні рівняння для визначення складових сил різання.

4. Кальченко В. В. Експериментальне дослідження форми робочої зони при двосторонньому торцевому шліфуванні з круговою подачею деталей / В. В. Кальченко, А. В. Рудик., В. І. Венжега // *Вісник Чернігівського державного технологічного університету: збірник наукових праць*. – Чернігів: ЧДТУ. – 2005. – Вип. 25. – С. 62 – 67. Здобувачем особисто розроблена методика та проведені експериментальні дослідження при одночасному вимірюванні потужності та зйому припуску.

5. Кальченко В. И. Повышение производительности шлифования поверхностей со скрещивающимися осями инструментов и деталей / В. И. Кальченко, В. В. Кальченко, А. В. Рудик, В. И. Венжега // *Високі технології в машинобудуванні: збірник наукових праць*. – Харків: НТУ „ХПИ”. – 2006. – Вип. 1(12). – С. 193 – 200. Здобувачем розроблена математична модель, що описує продуктивність шліфування торцевих поверхонь зі схрещеними осями деталі і круга.

6. Кальченко В. И. Модульное 3D моделирование формообразующих систем станков при шлифовании со скрещивающимися осями кругов и деталей / В. И. Кальченко, В. В. Кальченко, А. В. Рудик, В. И. Венжега // *Резание и инструмент в технологических системах: межд. науч.-техн. сборник*. – Харьков: НТУ „ХПИ”. – 2006. – Вып. 70. – С. 216 – 223. Здобувачем розроблена математична модель формоутворювальної системи для групової обробки зі схрещеними осями для двосторонніх торцешліфувальних верстатів.

7. Кальченко В. І. Модульне трьохвимірне геометричне моделювання інструментальних і оброблюваних поверхонь при шліфуванні зі схрещеними осями круга та деталі / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, А. В. Рудик, В. І. Венжега // *Вісник Чернігівського державного технологічного університету: збірник наукових*

праць.– Чернігів: ЧДТУ.– 2006. – Вип. 26.– С.57 – 64. Здобувачем особисто розроблені моделі формоутворення поверхонь, інструментів і зняття припуску при груповій обробці деталей на двосторонніх торцешліфувальних верстатах

8. Кальченко В.І. Дослідження процесу однопрохідного двостороннього шліфування / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, А. В. Рудик, В. І. Венжега // Вісник Чернігівського державного технологічного університету: збірник наукових праць. – Чернігів: ЧДТУ. – 2006. – Вип. 28.– С.35 – 44. Здобувачем особисто розроблена схема вихідної точності однопрохідного шліфування торців деталей на верстаті 3342 АДО, яка безпосередньо зв'язує вхідні керуючі параметри з показниками ефективності.

9. Рудик А. В. Формоутворення торців деталей автомобілів при двосторонньому шліфуванні / А. В. Рудик, В. І. Венжега // Вісник Чернігівського державного технологічного університету: збірник наукових праць. – Чернігів: ЧДТУ. – 2008.– Вип. 34.– С.80–88. Здобувачем особисто розроблена модель точності формоутворення поверхні торців при шліфуванні зі схрещеними осями деталі та круга з калібрувальною ділянкою.

10. Венжега В. І. Визначення продуктивності при обробці на двосторонніх торцешліфувальних верстатах /В. І. Венжега // Резание и инструмент в технологических системах: межд. научно-техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ».–2008. – №75. – С. 49 – 56.

11. Кальченко В. И. Анализ теплонапряженности процесса однопроходного торцевого шлифования деталей / В. И. Кальченко, В. В. Кальченко, А. В. Рудик, В. И. Венжега, А. В. Кологойда // Резание и инструмент в технологических системах: межд. научно-техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ».– 2008.– № 75. –С. 135 – 140. Здобувачем отримано рівняння для визначення максимальної температури на торці деталі в зоні обробки.

12. Рішення на видачу деклараційного патенту України по заявці № u 2008 09759 – прилад активного контролю довжини циліндричних деталей в процесі шліфування торців (МПК (2006) G01B7/02) / Кальченко В. І., Кальченко В. В., Рудик А. В., Венжега В. І., Кологойда А. В. Заявл. 25.07.2008. Здобувачем особисто проведені дослідження продуктивності обробки та розроблена конструкція голівки датчика.

13. Рішення на видачу деклараційного патенту України по заявці № u 2008 09761 – прилад для фіксації циліндричних деталей при двосторонній обробці торців (МПК (2006) G01B7/00) / Кальченко В. І., Кальченко В. В., Рудик А. В., Венжега В. І., Кологойда А. В. Заявл 25.07.2008. Здобувачем особисто проведені теоретичні дослідження точності та розроблена конструкція завантажувального диска.

14. Ключниченко В. Н. Теоретические и экспериментальные исследования износа профиля абразивного ориентированного круга / В. Н. Ключниченко, В. И. Венжега, Г. В. Пасов // "Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века". Материалы V Международной научно-технической конференции 8-11 сентября 1998г. в г. Севастополе. Т.2. – Донецк: Дон. ГТУ.– 1998.– Вып 6.– С. 69–71. Особистий внесок здобувача полягає в отриманні рівняння для визначення лінійного зносу для і-тої точки круга.

15. Кальченко В. І. Контроль зняття припуску під час обробки на двохсторонніх торцешліфувальних верстатах / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, А. В. Рудик, В. І. Венжега // *Высокие технологии: тенденции развития: материалы XIV международного научно-технического семинара (Харьков-Алушта, 12–17 сентября 2005 г.)*. – Харьков: НТУ „ХПИ”. – 2005.– С. 5–7. Здобувачем особисто проведені дослідження впливу величини знятого припуску на точність обробки.

16. Кальченко В. И. Модульное трехмерное геометрическое моделирование формообразования поверхностей при шлифовании со скрещивающимися осями круга и детали / В. И. Кальченко, В. В. Кальченко, А. В. Рудик, В. И. Венжега // *Высокие технологии: тенденции развития: материалы XV международного научно-технического семинара (Харьков–Алушта, 14–19 сентября 2006 г.)*. – Харьков: НТУ „ХПИ”. – 2006.– С. 8 – 10. Здобувачем розроблена математична модель формоутворення торцевої поверхні при груповій обробці.

17. Кальченко В. И. Анализ теплонапряженности процесса однопроходного торцевого шлифования деталей / В. И. Кальченко, В. В. Кальченко, А. В. Рудик, В. И. Венжега, А.В. Кологойда // *Высокие технологии: тенденции развития: материалы XVII международного научно-технического семинара (Харьков–Алушта, 22-27 сентября 2008 г.)*. – Харьков: НТУ „ХПИ”. – 2008. Здобувачем отримані формули, які враховують вплив кутів орієнтації кругів на теплонапруженість процесу шліфування.

18. Кальченко В.І. Вступ до фаху «Металорізальні верстати та системи». Лабораторний практикум: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів./ В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, А. В. Рудик, В. І. Венжега. – Чернігів: ЧДТУ, 2008.– 136с. Здобувачем розроблений розділ, присвячений основному напрямку наукової діяльності кафедри – шліфуванню зі схрещеними осями деталей та інструменту.

АНОТАЦІЇ

Венжега В. І. Підвищення ефективності шліфування торців при схрещених осях деталі та круга з калібрувальною ділянкою. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01– процеси механічної обробки, верстати та інструменти. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2009.

Дисертація присвячена підвищенню ефективності шліфування торців при схрещених осях деталі та круга за рахунок виділення фіксованої формоутворювальної калібрувальної ділянки на торці інструменту, яка не бере участь у зрізуванні чорнового припуску, збільшення лінії контакту деталі з кругом, раціонального кута схрещення осей, управління обертанням заготовки в процесі обробки. Запропоновані математичні моделі точності формоутворення, продуктивності і теплової напруженості процесу. Розроблений ефективний спосіб торцевого шліфування при схрещених осях деталі і круга з калібрувальною ділянкою.

Ключові слова: абразивне шліфування, схрещення осей, правка, кути орієнтування, профілювання, формоутворення, продуктивність, теплонапруженість.

Венжега В. И. Повышение эффективности шлифования торцов со скрещивающимися осями детали и круга с калибрующим участком.– Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.01– процессы механической обработки, станки и инструменты.– Национальный технический университет «Харківський політехнічний інститут», Харьков, 2009.

В машиностроении среди процессов механической обработки резанием значительное место занимают процессы абразивного шлифования, которые составляют в среднем 25–30%, а в отдельных отраслях промышленности до 50% общей трудоемкости обработки. При этом плоское торцевое шлифование является одним из наиболее распространенных процессов, которые используются на чистовом этапе обработки деталей машин, поэтому его исследование является довольно актуальным.

Целью работы является повышение точности и производительности торцевого шлифования со скрещивающимися осями детали и круга за счет выделения на торце инструмента фиксированного калибрующего участка, который не принимает участие в съеме черного припуска, увеличения длины линии контакта детали с кругом, рационального угла скрещивания осей, управления вращением заготовок в процессе обработки.

Геометрическая точность обрабатываемых торцевых поверхностей обеспечивается калибрующим участком круга, граничащим с наружным диаметром.

Впервые на основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработаны методологические основы создания эффективного способа плоского торцевого шлифования со скрещивающимися осями детали и круга с калибрующим участком, который обеспечивает повышение производительности и точности при одностороннем и двухстороннем шлифовании материалов.

Предложена обобщенная математическая модель точности формообразования при шлифовании со скрещивающимися осями детали и круга с калибрующим участком, который учитывает закономерности влияния динамических характеристик упругой технологической системы на процесс шлифования.

Для нахождения локальной, мгновенной и средней производительности при обеспечении нужной точности и качества обрабатываемых поверхностей

предложено обобщенное уравнение для определения проекции вектора скорости относительного движения на направление вектора единичной нормали к поверхности круга.

Впервые получено выражение для определения максимальной температуры в зоне резания, которое учитывает связь длины и формы калибрующего участка с углами ориентации кругов и исследованы остаточные напряжения в поверхностном слое детали, что позволило управлять теплонапряженностью процесса.

Получили последующее развитие расчетные формулы для сил резания и износа, которые учитывают особенности процесса шлифования с фиксированным калибрующим участком.

Ключевые слова: абразивное шлифование, скрещивание осей, правка, углы ориентации, профилирование, формообразование, производительность, теплонапряженность.

Venzhega V. I. Increasing of efficiency of polishing of butt ends with the skew axes of detail and circle with a calibrating area.– Manuscript.

Dissertation on competition of graduate degree of candidate of engineering sciences on speciality 05.03.01– processes of mechanical operation, machine-tools and instrument.– National technical university of «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, 2009.

Dissertation is devoted to the increasing of efficiency of polishing of butt with the skew axes of detail and abrasive tools due to the selection of the fixed sharpening calibrating area on the butt end of instrument, which does not take part in cutting of rough stock, increasing the contact line of detail, with a circle, rational corner of skew axes, running of the rotation of blanc in the process of manufacturing. The mathematical models of sharpening exactness, productivity and thermal tension of process are offered. The effective methods of the butt end polishing with the skew axes of detail and circle with a calibrating area are developed.

Keywords: abrasive polishing, skew of axes, correction, corners of orientation, profiling, productivity.



Підп. до друку 26.02.2009 р. Формат 60×84 1/16

Папір офсетний. Гарнітура Таймс.

Ум. друк. 0,9 арк.

Тираж 120 прим. Замов. №1628

Редакційно-видавничій відділ

Чернігівського державного технологічного університету

14027, Україна, Чернігів, 27, вул. Шевченка, 95

Свідоцтво про внесення до державного реєстру України
суб'єктів видавничої справи дК № 840 від 04.03.2002 р.