

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Єрошенко Андрій Михайлович

УДК 621.923

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ШЛІФУВАННЯ ЗІ СХРЕЩЕНИМИ
ОСЯМИ ІНСТРУМЕНТА І ДЕТАЛІ З ПРОФІЛЕМ
У ВИГЛЯДІ ДУГИ КОЛА**

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.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Кальченко Володимир Віталійович,
Чернігівський державний технологічний університет,
проректор з наукової роботи

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Калафатова Людмила Павлівна,
Донецький національний технічний університет, професор кафедри металорізальних верстатів та інструментів

кандидат технічних наук
Гаращенко Ярослав Миколайович,
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
старший викладач кафедри інтегрованих технологій машинобудування ім. М.Ф. Семка

Захист відбудеться «14» травня 2009 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64. 050. 12 в 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 «10» квітня 2009 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

О.А. Пермяков

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Деталі, які мають поверхні з профілем у вигляді дуги кола широко розповсюджені в сучасному машинобудуванні. Часто висуваються високі вимоги до точності поверхонь таких деталей, яка забезпечується абразивною обробкою. При цьому питома вага шліфування постійно зростає в загальному обсязі трудомісткості обробки.

Одним із засобів підвищення продуктивності і точності шліфування поверхонь з профілем у вигляді дуги кола є використання способів шліфування зі схрещеними осями інструмента і деталі.

Для шліфування поверхонь з профілем у вигляді дуги кола кут схрещення осей круга і деталі є параметром, від якого залежить продуктивність і якість шліфування. Він визначає розподіл припуску і величину врізання інструмента при його знятті, точність формоутворення оброблюваної поверхні, теплонапруженість процесу шліфування і стійкість круга.

Отже, розробка перспективних способів шліфування поверхонь з профілем у вигляді дуги кола зі схрещеними осями інструмента і деталі, визначення раціональних кутів схрещування осей і профілювання інструмента дозволять істотно підвищити продуктивність і точність обробки, стійкість абразивного круга і забезпечать необхідну якість оброблюваних поверхонь, що є науковою і технологічною проблемою та мають важливе значення для верстатобудівної, підшипникової і автомобільної промисловостей, трубовацьового виробництва і енергетики України та складають зміст дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження проводилися відповідно до держбюджетної тематики кафедри інтегрованих технологій машинобудування і автомобілів Чернігівського державного технологічного університету: „Розробка наукових основ та нових способів шліфування цілеспрямованим керуванням схрещуванням осей інструменту та деталі” (Наказ МОН України № 1044 від 27.11.2007 р.); грант Президента України молодим вченим "Наукові основи ефективного шліфування із схрещеними осями абразивного інструмента та оброблюваної деталі" (GP/F260186), де здобувач був виконавцем окремих розділів.

Мета і задачі дослідження. Мета дисертації - підвищення ефективності шліфування поверхонь деталей з профілем у вигляді дуги кола за рахунок створення способів абразивної обробки, які ґрунтуються на модульних 3D моделях процесу шліфування зі схрещеними осями інструмента і деталі та визначення умов й областей їх раціонального застосування.

Для досягнення поставленої мети визначені задачі:

1. Виконати аналіз існуючих методологічних підходів до вивчення й удосконалення процесів шліфування поверхонь з профілем у вигляді дуги кола.
2. Розробити способи шліфування, які ґрунтуються на аналізі загальної й окремих 3D моделей процесів зняття припуску, формоутворення й профілювання інструмента, і визначити умови та області їх раціонального застосування.
3. Запропонувати методику визначення профілю круга, яка забезпечує необхідну точність зняття припуску за еквідистантними кривими.
4. Обґрунтувати доцільність і визначити області застосування заміни точок про-

філю круга дугою кола, залежно від кута нахилу інструмента, припуску, що знімається, радіуса профілю деталі й центрального кута профілю.

5. Визначити параметри шару, що зрізується різальною кромкою, і сили різання з урахуванням зерен, які ріжуть й які деформують метал, а також визначити продуктивність процесу виходячи з модульних сферичних моделей.
6. Запропонувати методики розрахунку точності формоутворення поверхні деталі з профілем у вигляді дуги кола, визначення динамічних характеристик процесу і визначення залишкових поверхневих напружень.

Об'єкт дослідження – процес шліфування сталевих деталей абразивним інструментом.

Предмет дослідження – керування кутом схрещування осей абразивного інструмента і оброблюваної деталі з профілем у вигляді дуги кола і його модульне 3D геометричне моделювання.

Методи дослідження. У теоретичних дослідженнях використані фундаментальні положення теорії різання матеріалів, теорії формоутворення поверхонь, технології машинобудування. Апарат диференціального й інтегрального числення функцій однієї й декількох перемінних використовувався для визначення сил різання і продуктивності обробки. Можливості векторної алгебри — для модульного 3D геометричного моделювання. Математична статистика — для обробки статистичних даних.

Експериментальні дослідження виконувалися на модернізованому здобувачем верстаті з ЧПК мод. В3208Ф3 з використанням сучасної контрольно-вимірювальної апаратури лабораторії кафедри інтегрованих технологій машинобудування і автомобілів Чернігівського державного технологічного університету.

Результати, висновки й рекомендації підтверджені обчислювальними комп'ютерними експериментами з використанням алгоритмів і моделей, розроблених здобувачем.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Вперше науково обґрунтована можливість розв'язання прямої і зворотної задач теорії формоутворення поверхонь з профілем у вигляді дуги кола за допомогою загальних і окремих модульних 3D моделей зняття припуску, формоутворення й профілювання інструмента, які представлені у вигляді добутку трьох сферичних модулів (інструментального, орієнтації й формоутворення) у матричному вигляді.

2. Отримав подальший розвиток спосіб профілювання круга, який передбачає заміну точок інструментальної поверхні дугою кола, радіус якої менше радіуса профілю заготовки і визначені області його застосування залежно від точності профілю.

3. Вперше розроблено загальну залежність визначення продуктивності шліфування з урахуванням опису заготовки, деталі й інструмента сферичними модулями і методику визначення точності обробки, що враховує похибки форми круга, його спрацювання, похибки ланок системи формоутворення при правці круга й формоутворенні поверхні деталі, а також динамічні характеристики процесу шліфування.

4. Визначена товщина шару, що зрізується різальною кромкою, з урахуванням різальних і деформуючих зерен. На основі отриманих параметрів шару, що зрізується, визначені локальні та загальні сили різання і теплонапруженість процесу.

5. Вперше теоретично і експериментально обґрунтована можливість обробки

кільцевого жолоба змінного радіусного профілю методом копіювання по всій довжині твірної абразивним кругом, радіус профілю якого менший радіуса профілю заготовки, а радіус проекції лінії контакту на осьову площину дорівнює радіусу жолоба на ділянці, що калібрує.

Практичне значення одержаних результатів для машинобудування полягає в розробці методики визначення профілю шліфувального круга й обробленої деталі, в залежності від параметрів поверхні заготовки й припуску, що знімається, та представлення її у вигляді інтегральних алгоритмів в середовищі MathCAD. Розроблено математичне забезпечення способів шліфування жолоба змінного радіусного профілю й випуклих торових поверхонь методом копіювання зі схрещеними осями круга і деталі, яке пройшло апробацію на експериментальній установці для дослідження процесів обробки деталей з профілем у вигляді дуги кола.

Авторство наукових розробок здобувача підтверджується двома позитивними рішеннями про видачу деклараційних патентів на корисні моделі способу шліфування жолоба змінного радіуса з вертикальним зміщенням інструмента (заявка № у 2008 13737) і способу шліфування випуклих торових поверхонь зі схрещеними осями інструмента і деталі (заявка № у 2008 13736).

Розроблено й впроваджено у виробництво практичні рекомендації з використання наукових розробок на Чернігівському ВАТ «ЧЕКСІЛ» - "Спосіб шліфування поверхонь обертання зі схрещеними осями інструмента й деталі", а також "Методика розрахунку кута схрещування осей інструмента й деталі"; на ЗАТ "Чернігівський автозавод" — "Спосіб шліфування зі схрещеними осями інструмента й деталі із профілем у вигляді дуги кола", а також "Методика розрахунку кута схрещування осей інструмента й деталі". Загальний економічний ефект від впровадження результатів роботи склав більше 22 тис. грн.

Результати й методики дисертації використовуються в навчальному процесі кафедри інтегрованих технологій машинобудування і автомобілів Чернігівського державного технологічного університету.

Особистий внесок здобувача полягає в проведенні теоретичних і експериментальних досліджень, розробці алгоритмів і програмного забезпечення, модельних випробувань, що виконані здобувачем самостійно. Постановка задач і аналіз результатів дослідження виконано разом з науковим керівником.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертаційної роботи доповідалися на: VIII Всеукраїнській науково-технічній конференції «Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї — наука — виробництво» (м. Луцьк, 2008 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Техніка для хімволокна» (м. Чернігів, 2001 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми й шляхи реалізації науково-технічного потенціалу військово-промислового комплексу» (м. Київ, 2000 р.); науково-практичних конференціях Чернігівського державного технологічного університету (м. Чернігів, 1998-2008 р.)

У повному обсязі робота доповідалася на кафедрі інтегрованих технологій машинобудування і автомобілів Чернігівського державного технологічного університету і на кафедрі інтегрованих технологій машинобудування ім. М.Ф. Семка Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Публікації. За результатами роботи опубліковано 16 наукових праць, з них

12 статей у фахових виданнях ВАК України, 2 позитивні рішення про видачу патенту України.

Структура й обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, 4 розділів основної частини, висновків, додатків і списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації складає 208 сторінок, з них 9 ілюстрацій по тексту, 97 ілюстрацій на 79 сторінках, 2 таблиці по тексту, 3 таблиці на 1 сторінці, 7 додатків на 24 сторінках, 139 використаних літературних джерел на 15 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ. Обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета й завдання досліджень, визначені наукова новизна й практичне значення результатів досліджень. Структурно-логічна схема дисертації представлена на рис. 1.

У розділі 1 розглядаються існуючі методологічні підходи до вивчення й удосконалення процесів шліфування поверхонь з профілем у вигляді дуги кола, а також 3D моделювання процесів зняття припуску й формоутворення поверхонь.

Абразивна обробка та її тривимірне моделювання зробили значний крок свого розвитку завдяки роботам наукових центрів і колективів багатьох учених, серед яких: А.К. Байкалов, М.К. Беззубенко, В.М. Вerezуб, Ю.М. Внуков, А.П. Гавриш, А.І. Грабченко, В.І. Дікушин, В.Л. Доброскок, Л.П. Калафатова, В.І. Кальченко, В.В. Кальченко, В.В. Коломієць, С.М. Корчак, В.І. Лавриненко, Г.Б. Лур'є, В.І. Марчук, Є.М. Маслов, П.Г. Матюха, П.П. Мельничук, Ю.К. Новосолов, Б.О. Перепелиця, Ю.М. Петраков, В.Т. Портман, А.Ф. Раб, Н.С. Равська, П.Р. Родін, М.Ф. Семко, М.Е. Тернюк, М.Д. Узунян, В.О. Федорович, Л.М. Філімонов, Ф.С. Юнусов, А.В. Якимов, П.І. Ящерицин та інші. Основна кількість робіт присвячена дослідженню процесу шліфування з паралельними або перпендикулярними осями інструмента і деталі. Разом з тим, останніми роками доведені можливість і доцільність способів шліфування, в яких кут схрещування між осями інструмента і деталі позитивно впливає на процес.

На підставі проведеного аналізу визначено основні задачі наукового дослідження.

В розділі 2 запропоновано 3D моделювання процесів формоутворення, профілювання інструмента і зняття припуску, а також приведені методики визначення шару, що зрізується різальною кромкою, визначення продуктивності і точності обробки.

Моделювання процесу формоутворення деталей з профілем у вигляді дуги кола спрощується при переведенні циліндричного модуля в сферичний, оскільки поверхня обертання з профілем у вигляді дуги кола описується радіусом і двома незалежними кутовими параметрами. Всі інші параметри моделі або є функціями від цих параметрів, або, для поверхонь у вигляді дуги кола, перетворюються в константи.

Для розробки загальної моделі процесу обробки деталі з профілем у вигляді дуги кола необхідно розв'язати пряму задачу теорії формоутворення, для чого необхідно математично описати поверхню комплексної деталі, що являє собою загальний випадок всіх можливих поверхонь з профілем у вигляді дуги кола. Поверхня деталі описується через сферичний модуль. Сферичність модуля зумовлена наявністю двох незалежних кутових параметрів: θ_0 – кута повороту навколо осі деталі,

Рис. 1. Структурно-логічна схема досліджень

який описує її обертання, і φ_∂ – кутової координати профілю в осьовій площині, яка може приймати позитивне або негативне значення залежно від розташування початкової точки відносно площини симетрії профілю. Всі інші параметри моделі перебувають у функціональній залежності від цих двох параметрів. Таким чином, загальна 3D модель номінальної поверхні комплексної деталі має вигляд

де: $\vec{r}_\partial$ – радіус-вектор точок поверхні комплексної деталі; $S_{z_\partial \cdot \theta_\partial \cdot y_\partial \cdot \varphi_\partial \cdot y_n}^\partial$ – сферичний модуль, який являє собою матрицю переходу від початкової точки в систему координат деталі; $\vec{e}^4 = (0,0,0,1)^T$ – радіус-вектор початкової точки.

Сферичний модуль, що описує деталь, є добутком однокоординатних матриць де: z_∂ – осьова координата зміщення профілю, яка забезпечує гвинтову поверхню, (мм); $y_\partial = R_\partial$ – координата, що визначає відстань від центра профілю до осі обертання деталі, (мм); $y_n = \rho_\partial$ – координата, що визначає радіус профілю деталі, (мм).

Модель (1) є загальною і описує всі можливі поверхні деталей з профілем у вигляді дуги кола. Приймаючи за константи окремі параметри моделі, можна описати поверхні конкретних деталей:

1. Гвинтова поверхня з профілем у вигляді дуги кола характеризується залежністю кутової координати гвинта z_∂ від кута повороту деталі θ_∂ , сталістю відстані R_∂ від центра профілю до осі обертання деталі й радіуса профілю деталі ρ_∂ . Сферичний модуль деталі (2) буде мати вигляд:

Радіус профілю ρ_∂ може набувати позитивного і негативного значення. Позитивне значення вказує на зовнішню увігнуту гвинтову поверхню, а негативне — внутрішню увігнуту гвинтову поверхню. Модель (3) може описувати, наприклад, гвинтові поверхні гвинта й гайки кульково-гвинтових передач.

2. Поверхня обертання зі змінним радіусним профілем по куту повороту деталі характеризується відсутністю кутової координати гвинта z_∂ і сталістю відстані R_∂ від центра профілю до осі обертання деталі. Модуль деталі (2) буде мати вигляд

Модель (4) може описувати, наприклад, робочу поверхню трубовальцевих валків для виготовлення безшовних труб. Для таких валків, параметри матриць y_n і φ_∂ на обтискній ділянці є функціями від незалежного параметра θ_∂ . На ділянці, що калібрує, де профіль стає незмінним, ці параметри перетворюються в константи.

3. Увігнута торова поверхня характеризується відсутністю кутової координати гвинта z_∂ , сталістю відстані R_∂ від центра профілю до осі обертання деталі й радіуса профілю торової поверхні ρ_∂ . Сферичний модуль деталі (2) набуде вигляду

Радіус профілю ρ_∂ може приймати позитивне й негативне значення. Позитивне значення вказує на зовнішню увігнуту торову поверхню, а негативне — на внутрішню. Модель (5) може описувати, наприклад, канавки внутрішнього й зовнішнього кілець підшипників.

4. Випукла торова поверхня характеризується відсутністю кутової координати гвинта z_∂ , сталістю відстані R_∂ від центра профілю до осі обертання деталі й радіуса профілю торової поверхні ρ_∂ . Сферичний модуль деталі (2) буде мати вигляд

Параметри φ_d й ρ_d для зовнішньої випуклої торової поверхні приймають негативні значення. Модель (6) може описувати, наприклад, барабани стрікопильних верстатів, формувальні валки трубовацьцевих станів, шківні пасових передач.

Після математичного опису номінальної поверхні деталі розробляються модульні 3D моделі теоретичних інструментальних поверхонь. Незалежно від того, якою моделлю описується номінальна поверхня деталі, радіус-вектор інструмента в модульному виді описується матрицею переходу, виходячи з форми деталі де M_{ud} – матриця переходу з системи координат деталі в систему координат інструмента та описує формоутворювальну систему верстата.

Матриця переходу (7) є добутком двох сферичних модулів

де: $S_{\theta_u \cdot y_c}^{\phi_u}$ – модуль формоутворення інструмента; $S_{\psi_u}^o$ – модуль кутової орієнтації інструмента відносно деталі.

Модуль формоутворення (8) складається з добутку двох матриць

де: θ_u – кут повороту системи координат деталі відносно осі обертання інструмента, (°); y_c – відстань між осями обертання інструмента і деталі в положенні остаточного формування поверхні деталі (мм).

Модуль орієнтації (8) представлено матрицею відносних поворотів

де ψ_u – кут нахилу круга, (°).

Абразивний інструмент правиться за константною поверхнею (наприклад, за ділянкою, що калібрує, трубовацьцевого валка змінного профілю), тому в модулі (10) використовується тільки один змінний параметр – кут нахилу круга ψ_u .

Для профілювання інструмента необхідно скласти рівняння, що визначає лінію контакту

де: $\bar{n}_d$ – одиничний вектор нормалі до поверхні деталі; $\bar{V}_{ud}$ – вектор швидкості відносного руху цієї поверхні в системі координат інструмента.

Шліфувальній обробці передуює правка круга. При правці круга інструментом виступає алмазний олівець або ролик, а абразивний круг виступає в ролі деталі. У профілюванні абразивного круга бере участь алмазний інструмент і формоутворювальна система верстата.

Радіус-вектор круга описується сферичним модулем, що подібний до аналогічного модуля деталі (1), але зі своїми параметрами

де: $\bar{r}_u$ – радіус-вектор точок поверхні інструмента; $S_{\theta_u \cdot y_u \cdot \varphi_u \cdot y_n}^u$ – сферичний модуль, який являє собою матрицю переходу від початкової точки в систему координат інструмента; θ_u – кут повороту навколо осі $O_u Z_u$ обертання інструмента, (°); $y_u = R_u$ – відстань від центра профілю інструмента до його осі обертання, (мм); φ_u – кут повороту навколо осі $O_u Y_u$, (°); $y_n = \rho_u$ – радіус профілю круга, (мм).

Радіус-вектор $\bar{r}_u$, що отриманий за модульною моделлю (12) описує безліч інструментальних поверхонь. Вибір раціональної здійснюється на підставі загальної тривимірної моделі поверхні кругів при шліфуванні зі схрещеними осями. Аналіз моделі (12) показує, що при формоутворенні за методом копіювання геометрична похибка форми деталі дорівнює нулю, коли кути орієнтації круга при правці й формоутворенні деталі збігаються.

Загальна модель поверхні комплексної деталі, що оброблена профільованим інструментом, описується трьома сферичними модулями через радіус-вектор інструментальної поверхні

де: $S_{z_\partial, \theta_\partial, y}^\phi = M_3(z_\partial) \cdot M_6(\theta_\partial) \cdot M_2(y)$ – модуль формоутворення деталі; y – поточна координата міжосьової відстані інструмента і деталі, (мм); x_u – зміщення інструмента вздовж осі $O_u X_u$; $S_{\varphi_u, \psi_u, x_u}^o = M_4(\varphi_u) \cdot M_5(\pm \psi_u) \cdot M_1(x_u)$ – модуль кутової орієнтації інструмента відносно деталі.

Модель (14) описує безліч поверхонь деталей. Для визначення обробленої поверхні деталі, необхідно скласти рівняння, що описує лінію контакту

де: $\bar{n}_u$ – одиничний вектор нормалі до поверхні інструмента; $\bar{V}_{ou}$ – вектор швидкості відносного руху цієї поверхні в системі координат деталі.

При обробці деталей з профілем у вигляді дуги кола, швидкість шліфування вздовж твірної профілю є змінною. Коливання швидкості вздовж профілю стають істотні із зменшенням відношення R_u / ρ_u . Проекція відносної швидкості шліфування на поверхню інструмента (дотична складова швидкості шліфування) в j -й точці твірної профілю V_{uj} (м/с) може бути визначена за формулою

де: φ_{uj} – кутова координата j -ї точки твірної профілю інструмента, (°); n – частота обертання круга, (об/хв).

При розрахунку товщини шару, що зрізується, необхідно забезпечити зняття всього матеріалу, який подається в зону обробки. При визначенні об'єму, який зрізується різальною кромкою необхідно враховувати жорсткість оброблюваної системи, оскільки пружні деформації системи ВПД призводять до додаткових похибок. Жорсткість оброблюваної системи можна врахувати за допомогою податливості $y_{eyc} = f(\varphi_{uj}, K_{eyc})$, яка знаходиться у функціональній залежності від кутового положення точки на профілі φ_{uj} і коефіцієнта статичної податливості K_{eyc} .

При переході від однієї різальної кромки до елементарної ділянки круга ΔS необхідно враховувати неоднорідність поверхні абразивного інструмента. Врахувати переривчастість поверхні круга можна за допомогою коефіцієнта

$$\left[1 - \exp \left(- \frac{\sum_{i=1}^m b_i(t, \theta)}{b_0} \right) \right], \text{ який запропонований професором Новосьоловим Ю.К. Та-}$$

ким чином, при шліфуванні на елементарну ділянку ΔS (мм²) за одиницю часу пода-

$$\text{ється } (V_n - y_{eyc}) \cdot \left[1 - \exp \left(- \frac{\sum_{i=1}^m b_i(t, \theta)}{b_0} \right) \right] \cdot \Delta S \text{ матеріалу. За цей же час ділянка } \Delta S, \text{ на по-}$$

верхні якої розміщено $N_z(a_z)$ різальних кромek, знімає $N_z(a_z) \cdot V_u(\varphi_{uj}) \cdot S(a_z, \rho)$ матеріалу. Виходячи з умови рівності підведеного і зрізаного об'ємів

де: $(V_n - y_{eyc})$ – нормальна складова швидкості шліфування з урахуванням податливості оброблюваної системи, (м/с); $N_z(a_z)$ – кількість різальних кромek на заданому рівні

a_z і розташованих на ділянці ΔS , які беруть участь в різанні металу; $S(a_z, \rho)$ – площа поперечного перетину абразивного зерна, (мм²); ρ – радіус закруглення різальної кромки. З виразу (17) визначається узагальнене рівняння шару, що зрізується:

При визначенні сил різання необхідно враховувати, що не всі різальні кромки безпосередньо видаляють метал. Частина з них пружно або пластично деформує метал. Виходячи з цього сумарні тангенціальні P_z^Σ і нормальні P_n^Σ сили різання можна визначити із залежностей

де P_z^p , P_z^d – сили, які діють в тангенціальному напрямі, відповідно, на різальну і деформуючу кромки, (Н); n_p , n_d – кількість, відповідно, різальних і деформуючих кромок на елементарній ділянці dS , (ед/мм²); P_n^p , P_n^d – сили, які діють в нормальному напрямі, відповідно, на різальну і деформуючу кромки, (Н); S – площа плями контакту круга і деталі, (мм²).

Загальна модель зняття припуску й формоутворення Q для обробки поверхні деталі з профілем у вигляді дуги кола, що описана сферичним модулем, має вигляд де: T – час контакту деталі 1 з кругом 2 (рис. 2), (с); θ_{1kj} , θ_{2kj} – кутові координати плями контакту на радіусі $(R_u + \rho_u \cdot \cos \varphi_{uj}) - I_j \cdot \cos \varphi_{uj} = R_u + (\rho_u - I_j) \cos \varphi_{uj}$, (°); $\pm \varphi_{u \max}$ – граничні значення кутового положення φ_{uj} точки j на профілі круга в зоні контакту, (°); $\bar{V}_j, \bar{n}_j$ – вектори швидкості різання і нормалі в j -й точці круга; R_u – відстань від осі обертання круга до центру його профілю радіусом ρ_u , (мм); $R_{\varphi_{uj}} = R_u + \rho_u \cdot \cos \varphi_{uj}$ – радіус обертання j -ї точки, (мм); I_j – величина спрацювання круга в j -тій точці, (мм).

З рівняння (21) визначають об'єм металу, що підводиться в процесі шліфування. Можливість зрізати цей об'єм кругом перевіряють шляхом розв'язання виразу $V_{n \text{ зр}} = a_{z \text{ зр}} / \tau$, де: $V_{n \text{ зр}}$ – граничне значення проекції вектора $\bar{V}_j$ на напрямок $\bar{n}_j$; $a_{z \text{ зр}}$ – гранично допустима товщина шару, що зрізується однією різальною кромкою, (мм); τ – час між дотиками поверхні деталі з двома сусідніми кромками, (с).

Рис. 2. Спрацювання інструмента в процесі обробки

Лінійне спрацювання I_j в j -тій точці профілю круга в процесі обробки деталі, визначалось за формулою, що запропонована професором В.В. Кальченко.

При шліфуванні поверхонь з профілем у вигляді дуги кола зі схрещеними осями круга і деталі сумарний вектор похибки Δ положення точки обробленої поверхні можна визначити

де: $\bar{\Delta}_\phi$ – вектор геометричної похибки схеми формоутворення; $\bar{\Delta}_c$ – похибка положення точки оброблюваної поверхні залежно від похибок положення ланок формоутворювальної системи верстата в статичному положенні; $\bar{\Delta}_d$ – похибка динамічного налагодження системи ВПД; $\bar{\Delta}_{np}$ – похибка профілювання круга; $\bar{\Delta}_H$ – спрацювання профілю круга.

Розроблено схему визначення ефективності шліфування зі схрещеними осями інструмента й деталі з профілем у вигляді дуги кола (рис. 3), де в якості вхідних керуючих чинників розглядаються частота обертання круга n_u і деталі n_d , поперечна подача круга $S_n(\theta_d)$, і узгоджений з нею кут нахилу інструмента ψ_u .

Рис. 3. Схема визначення ефективності шліфування зі схрещеними осями інструмента й деталі з профілем у вигляді дуги кола

Головним збурюванням є припуск заготовки Z_3 , радіус її профілю ρ_3 та її матеріал M_3 . Вихідними параметрами процесу є радіус профілю ρ_∂ , його шорсткість R_a і глибина дефектного шару $h_{\text{деф}}$, а функцією мети – продуктивність. Розрахунок її відбиває фактичну взаємодію вихідної інструментальної поверхні $\vec{r}_u$ з поверхнею заготовки $\vec{r}_{\partial u}$. Тому на вхід цього блоку (рис. 3) надходять фактичні значення параметрів, що відповідає принципу системного підходу в аналізі технологічної системи.

Одним складовим ефективності шліфування є машинний час. Виходячи із цього, досліджено особливості часових зв'язків процесу шліфування.

Таким чином, в розділі були розроблені перспективні способи і математичний апарат моделювання обробки зі схрещеними осями інструмента і деталі з профілем у вигляді дуги кола.

В розділі 3, використовуючи загальні й окремі модульні 3D моделі зняття припуску, формоутворення й профілювання інструмента, проведено обчислювальний експеримент з моделювання номінального профілю деталі, правки інструмента й профілювання поверхні деталі. Математичне моделювання проведене для обробки валка трубвальцевого стану, що має поверхню зі змінним радіусним профілем. Подібні валки можуть оброблятися методом копіювання по всій довжині твірної й методом послідовного копіювання.

Вихідні дані моделювання: діаметр жолоба $D_\partial = 2R_\partial = 80$ мм, радіус профілю жолоба на ділянці, що калібрує $\rho_\partial = 12$ мм з допуском $\delta = 0,02$ мм, секторальний кут $\xi = 2\varphi_{\partial \max} = 140^\circ$, перепад радіусів на обтискній ділянці $\Delta R = 2,5$ мм, шорсткість поверхні $Ra = 1,25$ мкм, матеріал деталі – сталь 9XC, твердість $HRC = 58...62$, припуск на обробку $0,4$ мм. Параметри круга обрано наступні: діаметр 150 мм, радіус профілю 11,6 мм, матеріал 24A, твердість CM1, зернистість 40, зв'язка керамічна K6, структура 7.

Заготовку встановлюють у центрах і надають їй обертання з частотою n_∂ (рис. 4). Обробку здійснюють кругом із профілем у вигляді дуги кола, що обертається із частотою n_u . θ_∂ – кут повороту жолоба. Круг здійснює поперечну подачу $S_n(\theta_\partial)$ і одночасно, у процесі зняття припуску й формоутворення, повертається відносно осі симетрії жолоба, що проходить через осьовий переріз деталі в горизонтальній площині й перпендикулярна осі обертання деталі. При цьому радіус профілю в осьовому перерізі круга ρ_u менший за радіус профілю жолоба на калібрувальній ділянці і обирається меншим радіуса профілю заготовки. Вертикальне зміщення круга та міжосьова відстань в кожен момент обробки обираються таким чином, щоб лінія контакту деталі і круга проходила через дно жолоба в осьовому перерізі деталі в горизонтальній площині. Кут повороту круга ψ_u збільшується в процесі зняття припуску на одній і той же ділянці разом зі збільшенням радіуса профілю жолоба за кутом повороту деталі θ_∂ . Кут ψ_u в кожен момент обирається таким чином, щоб відхилення профілю жолоба від номіналу було мінімальним, а зняття припуску відбувалося за еквідистантними кривими. Для виключення похибки формоутворення на калібрувальній ділянці правка круга здійснюється в нахиленому стані на радіус профілю ділянки, що калібрує. При цьому кут повороту круга співпадає з кутом ψ_u при формоут-

воренні калібрувальної ділянки. Моделювання проводилось з використанням можливостей пакету MathCAD.

Відповідно моделі (4) була визначена номінальна поверхня деталі (рис. 5). Виходячи з умови (11) була змодельована лінія контакту круга й деталі (рис. 6, а), що складалася для різних кутів нахилу круга. Обертаючи отриману лінію контакту навколо осі інструмента, була отримана поверхня шліфувального круга, координати профілю якого замінювалися дугою кола (рис. 6, б). Замінюючи отримані точки круга дугою кола, моделювалася правка круга відповідно до методики викладеної в розділі 2. Після профілювання круга, визначався оброблений профіль деталі (рис. 6, в,г). Моделювання процесу обробки жолоба шляхом послідовного копіювання проводилося аналогічно.

Рис. 4. Схема обробки поверхні змінного профілю

Рис. 5. Модель жолоба

Рис. 6. Результати моделювання обробки поверхні зі змінним радіусним профілем

Для визначення похибки динамічного налагодження системи ВПД проведено розрахунок динамічних параметрів процесу обробки. За результатами розрахунків визначено жорсткість опор шліфувального шпинделя і шпинделя виробу заточувального верстата мод. В3208Ф3, складені АФЧХ, визначені статичні податливості, резонансні частоти та інші параметри.

Обчислювальний експеримент показав, що запропоновані 3D моделі адекватно описують процес обробки. Геометрична похибка формоутворення, яка виникає з причини заміни точок профілю круга дугою кола, не перевищує 7% допуску на форму профілю, а динамічна складова в загальній похибці обробки не перевищує 5%.

В розділі 4 представлені результати експериментального дослідження точності профілювання інструмента, зняття припуску й формоутворення. Метою експерименту було перевірити теоретичні розрахунки зняття припуску за еквідистантними кривими.

При проведенні досліджень використовувалися заточувальний верстат з ЧПК В3208Ф3 і кругломір зразкового обертання заводу «Калібр» мод. 290. Конструкція верстата, завдяки керованій круговій подачі, дозволяє обробляти деталі зі змінним радіусним профілем, наприклад, валки трубовацьових станів. У процесі експериментальних досліджень оброблялися поверхні зі змінним радіусним профілем і гвинтова поверхня з профілем у вигляді дуги кола (рис. 7).

Перед виконанням експериментальних досліджень було проведено математичне планування експерименту. В якості параметра оптимізації Y була обрана точність допуску радіуса профілю деталі на ділянці, що калібрує, в якості чинників – кут (ψ_u) орієнтації в вертикальній площині – X_1 , центральний кут профілю деталі ξ – X_2 і висота круга – X_3 .

Використовувалася методика повного факторного експерименту типу 2^3 зі взаємодіями. Діапазони зміни чинників: кут повороту ψ_u — 0° - 22° ; центральний кут профілю деталі ξ — 60° - 140° ; висота круга H — 15-20 мм. Рівняння регресії має вид

Аналіз рівняння регресії показав, що найбільший вплив на точність профілю здійснює взаємодія кута нахилу круга й центрального кута профілю, а взаємодія кута нахилу круга й висоти круга не впливають на результати експерименту.

Рис. 7. Налагодження верстатів у процесі експериментальних досліджень

Вихідні дані експериментальних досліджень обробки поверхні зі змінним радіусним профілем: діаметр жолоба $D_\theta = 2R_\theta = 200$ мм, радіус профілю жолоба на ділянці, що калібрує $\rho_\theta = 12$ мм з допуском $\delta = 0,02$ мм, секторальний кут $\xi = 2\varphi_{\max} = 140^\circ$, перепад радіусів на обтискній ділянці $\Delta R = 5$ мм, шорсткість поверхні $Ra = 1,25$ мкм, матеріал деталі – сталь 9ХС, твердість $HRC = 58...62$, припуск на обробку 0,1 мм. Припуск призначався еквідистантним. Перед загартуванням обробка формують утворювальної поверхні валка проводилася на токарному верстаті з ЧПК.

Параметри круга обрані наступні: діаметр 200 мм, радіус профілю 10 мм, матеріал 24А, твердість СМ1, зернистість 40, зв'язка керамічна К6, структура 7.

У процесі проведення експерименту, досліджувалося зняття припуску за еквідистантними кривими і відхилення профілю при формоутворенні остаточної поверхні деталі. Правка круга проводилася алмазним олівцем. Похибка радіуса профілю перевірялася на кругломірі зразкового обертання заводу «Калібр» мод. 290.

При обробці поверхні зі змінним радіусним профілем, еквідистантність припуску перевірялася вимірюванням круглості остаточної поверхні деталі й поверхні, що утвориться на передостанньому врізанні.

Методика проведення експерименту: установка й закріплення деталі; установка й закріплення круга; правка круга; нахил круга на початковий кут ψ_u ; підведення до торкання; зняття основного масиву припуску, залишаючи припуск на останній робочий хід у розмірі 0,02 мм; зняття деталі й вимірювання круглості профілю деталі; установка й закріплення деталі на верстаті; остаточне формоутворення поверхні деталі; зняття деталі й вимірювання круглості профілю деталі. Для обробки гвинтової поверхні була запропонована аналогічна методика проведення експерименту.

Після обробки було проведено вимірювання залишкових поверхневих напружень на дні гвинтової поверхні з профілем у вигляді дуги кола (рис. 8).

Рис. 8. Схема вимірювання і епюри поверхневих напружень

Для визначення тангенціальних напружень на дні гвинтової поверхні стравлювалися напівкільцеві ($\theta = \pi$) канавки шириною $b = \rho_\theta = 6$ мм. Травлення проводилося на 7 центральних витках 30% розчином азотної кислоти. Поверхня деталі в межах цих витків, що не повинна була піддаватися впливу кислоти, вкривалася захисним шаром парафіну. Прогин деталі вимірювався у відповідності зі схемою представленою на рисунку 8. Для визначення окружних напружень у цій же деталі стравлювалися канавки з боку, протилежного раніше стравленим канавкам. Ширина нових канавок приймалася рівною $b = 1$ мм. Радіальні напруження визначалися за відомими епюрами тангенціальних та окружних напружень (рис. 8).

Експериментальні дослідження довели теоретичні розрахунки щодо зняття еквідистантного припуску. Проведені дослідження залишкових поверхневих напружень обробленого зразка показали, що на дні гвинтової поверхні діють радіальні напруження, що розтягують, які зі збільшенням глибини збільшуються й на глибині близько 0,2 мм стабілізуються. Тангенціальні й окружні напруження зменшуються зі збільшенням глибини. Тангенціальні напруги переходять у стискаючі на глибині 0,2 мм, а окружні — 0,17 мм. Дослідження показали, що на глибині близько 0,5 мм. тангенціальні й окружні напруги стають рівними нулю.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена підвищенню ефективності шліфування деталей з профілем у вигляді дуги кола шляхом розробки перспективних способів, які ґрунтуються на модульному 3D моделюванні процесу обробки, за результатами якої зроблені наступні висновки:

1. Розроблено і математично обґрунтовано способи обробки кільцевого жолоба змінного радіусного профілю й випуклих торових поверхонь методом копіювання зі схрещеними осями інструмента й деталі. Представлені способи дозволяють підвищити продуктивність обробки завдяки зняттю еквідистантного припуску і здійсненню обробки по всій довжині твірної лінії. Спосіб шліфування кільцевого жолоба відрізняється від існуючих тим, що в процесі зняття припуску та формоутворення, круг зміщується в площині перпендикулярній осьовому перерізу таким чином, щоб пряма, яка з'єднує центр кривизни дна стрічки жолоба і центр круга, проходила через точку контакту на дні стрічки, які повинні лежати в одній горизонтальній площині, що проходить через вісь обертання деталі. Спосіб шліфування випуклих торових поверхонь відрізняється тим, що в процесі обробки круг з радіусом профілю, більшим за радіус профілю заготовки, переміщується вздовж прямої, яка перпендикулярна осям заготовки та деталі, і яка проходить через вершину торової поверхні і центр профілю осьового перерізу деталі, і повертається навколо цієї ж прямої, при цьому максимальний кут повороту відповідає куту повороту круга при його правці з умови контакту інструмента і деталі. Для розроблених способів шліфування визначено умови і області їх раціонального використання. На способи отримано два позитивних рішення про видачу патентів України.

2. Розроблені загальні модульні 3D моделі процесів зняття припуску, формоутворення й профілювання круга у вигляді добутку сферичних модулів дозволили адекватно описати поверхні з профілем у вигляді дуги кола.

3. Запропоновано загальну тривимірну модель номінальної поверхні комплексної деталі з профілем у вигляді дуги кола, що описується сферичним модулем з лінійним параметром ρ_d і двома незалежними кутовими параметрами θ_d й φ_d . На основі аналізу загальної моделі розроблено окремі моделі поверхонь з профілем у вигляді дуги кола. Моделі профілю деталі дозволили розробити загальну 3D модель профілювання інструмента. Матриця переходу з системи координат деталі в систему координат інструмента складається з двох сферичних модулів: формоутворення й орієнтації. Розроблено загальну тривимірну модульну модель обробленої поверхні комплексної деталі з профілем у вигляді дуги кола, що складається із двох сферичних модулів: формоутворення поверхні деталі й орієнтації інструмента.

4. Проведено теоретичні дослідження товщини шару, що зрізується різальною кромкою, які дозволяють знаходити її під час обробки орієнтованим абразивним інструментом, з огляду на кінематику процесу різання, матеріал інструмента, стан його робочої поверхні, відносну кутову орієнтацію й зміну даних параметрів у процесі обробки. Розроблено методику визначення складових сили різання, як локальних, так і загальних, яка враховує зерна, що ріжуть і деформують метал.

5. Запропоновано загальну залежність продуктивності шліфування поверхонь з профілем у вигляді дуги кола, які описані сферичними модулями. Проаналізовано

загальну модель точності шліфування поверхонь з профілем у вигляді дуги кола. Запропоновано загальну схему ефективності шліфування зі схрещеними осями інструмента і деталі з профілем у вигляді дуги кола, що дозволяє використовувати системний підхід до аналізу процесу шліфування. Приведено методику часового аналізу абразивної обробки, що дозволяє призначати допуски на тривалість обробки.

6. Проведено обчислювальний експеримент процесу шліфування поверхні зі змінним радіусним профілем методом копіювання по всій довжині твірної й методом послідовного копіювання. У результаті моделювання визначено радіус дуги кола, яким замінюється профіль круга при правці. Розраховано величини відхилення розрахункових координат точок профілю від точок дуги кола, якою замінюється профіль круга. При раціональних параметрах процесу шліфування, визначених здобувачем, відхилення не перевищують 7% допуску на форму профілю.

7. На основі динамічного розрахунку системи верстата встановлено, що при обробці деталі зі змінним радіусним профілем динамічна складова в загальній похибці обробки не перевищує 5%.

8. Проведено планування повного факторного експерименту з трьома факторами й підтверджена значимість коефіцієнтів регресії. Аналіз рівняння регресії показав, що найбільший вплив на точність профілю здійснює взаємодія кута нахилу круга й центрального кута профілю, а взаємодія кута нахилу круга й висоти круга не впливають на результати експерименту. Експериментом підтверджена гіпотеза про зняття еквідистантного припуску. Проводилася обробка й вимірювання круглості профілю деталі зі змінним радіусним профілем і деталі з гвинтовою поверхнею з профілем у вигляді дуги кола. Після обробки деталі були визначені залишкові поверхневі напруження.

9. Розроблений "Спосіб шліфування зі схрещеними осями інструмента й деталі з профілем у вигляді дуги кола" і "Методика розрахунку кута схрещування осей інструмента й деталі" впроваджені у виробництво на Чернігівському ВАТ «ЧЕКСІЛ» і на ЗАТ "Чернігівський автозавод". Загальний економічний ефект від впровадження результатів роботи склав більше 22 тис. грн.

Результати й методики дисертації використовуються в навчальному процесі на кафедрі інтегрованих технологій машинобудування і автомобілів Чернігівського державного технологічного університету.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Єрошенко А.М. Часові зв'язки виробничого процесу / Єрошенко А.М., Бондаренко С.Г. // Вісник Чернігівського технологічного інституту. – Чернігів, 1996. – №3. – С. 37-39. Здобувачем було проаналізовано часові зв'язки процесу.

2. Єрошенко А.М. Особливості часових ланцюгів виробничого процесу / Єрошенко А.М., Чередніков О.М. // Вісник Чернігівського технологічного інституту. – Чернігів, 1997. – №4. – С. 23-26. Здобувачу належить методика розрахунку часових ланцюгів.

3. Єрошенко А.М. Дослідження особливостей часових зв'язків виробничого процесу / Єрошенко А.М., Бондаренко С.Г., Чередніков О.М. // Наукові нотатки. – Луцьк: Луцький державний технічний університет, 1998. – №4. – С. 84-89. Здобувачу належить розробка положень методики часового аналізу механічної обробки.

4. Єрошенко А.М., Чередніков О.М., Кухаренко О.В. Порядок розв'язання часових ланцюгів при розрахунку тривалості технологічного циклу під час паралельно-последовного руху предметів праці / Єрошенко А.М., Чередніков О.М., Кухаренко О.В. // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – Чернігів, 1999. – №9. – С. 93-101. Здобувачем запропоновано порядок розрахунку часових ланцюгів в залежності від виду рухів предметів праці.

5. Єрошенко А.М. Уніфікація розрахунків розмірних і часових зв'язків технологічного процесу / Єрошенко А.М. // Вісник Інженерної академії наук. – Київ, 2006. – №2-3. – С. 94-95.

6. Кальченко В.В. Модульное 3D моделирование шлифования наружных торовых поверхностей со скрещивающимися осями круга и детали / Кальченко В.В., Єрошенко А.М. // Учёные записки Крымского инженерно-педагогического университета. – Симферополь, 2008. — Вып. 16. – С. 30-33. Здобувачем було розроблено моделі шліфування зовнішніх поверхонь, які представлені сферичними модулями.

7. Кальченко В.В. Шлифование винтовых поверхностей со скрещивающимися осями инструмента и детали с круговым профилем / Кальченко В.В., Єрошенко А.М. // Машинобудування. Збірник наукових праць. – Харків: Українська інженерно-педагогічна академія (УІПА), 2008. – Випуск 3. – С. 132-139. Здобувачем було розроблено новий спосіб шліфування гвинтових поверхонь і проведено його модульне 3D моделювання.

8. Кальченко В.В. Шліфування методом копіювання кільцевого жолоба змінного профілю зі схрещеними осями інструмента і деталі / Кальченко В.В., Єрошенко А.М. // Вісник Тернопільського держ. технічн. ун-ту. Науковий журнал. – Тернопіль, 2008. – Том. 13, №4. – С. 94-99. Здобувачем було розроблено новий спосіб шліфування і проведено його модульне 3D моделювання.

9. Кальченко В.В. Модульне 3D моделювання зняття припуску і формоутворення випуклих торових поверхонь зі схрещеними осями інструмента і деталі / Кальченко В.В., Єрошенко А.М. // Наукові нотатки. – Луцьк: Луцький державний технічний університет, 2008. – №3. – С. 73-77. Здобувачем було розроблено моделі шліфування випуклих торових поверхонь, які представлені сферичними модулями.

10. Кальченко В.В. Модульне 3D моделювання зняття припуску і формоутворення внутрішніх канавок шарошок бурових доліт зі схрещеними осями інструмента і деталі / Кальченко В.В., Єрошенко А.М. // Нафтогазова енергетика. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2008. – №9. – С. 63-67. Здобувачем було розроблено моделі шліфування внутрішніх торових поверхонь, які представлені сферичними модулями.

11. Єрошенко А.М. Теоретичні та експериментальні дослідження процесу шліфування зі схрещеними осями інструмента і деталі з профілем у вигляді дуги кола / Єрошенко А.М. // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – Чернігів, 2008. – №36. – С. 5-24.

12. Єрошенко А.М. Оптимизация временных связей технологического процесса / Єрошенко А.М. // Проблемы и пути реализации научно-технического потенциала военно-промышленного комплекса: тезисы докладов Международной научно-практической конференции, г. Киев, АТМ Украины, 15-17 марта 2000 г. - Киев: АТМ Украины, 2000. - С. 57-59.

13. Кальченко В.В. Шлифование методом последовательного копирования кольцевого желоба переменного профиля трубопрокатных валков ориентированным инструментом / Кальченко В.В., Ерошенко А.М. // Динаміка, надійність і довговічність механічних і біомеханічних систем та елементів їхніх конструкцій: матер. міжнародн. науково-техн. конф., (2-5 вересня 2008 р. Севастополь) - Севастополь: СевНТУ, 2008. – С. 435-444. Здобувачем було розроблено 3D моделі шліфування поверхні змінного радіусного профілю.

14. Кальченко В.В. Модульне 3D моделювання зняття припуску і формоутворення випуклих торових поверхонь зі схрещеними осями інструмента і деталі / Кальченко В.В., Єрошенко А.М. // Машинобудування очима молодих: матер. VIII всеукр. науково-техн. конф., (29-31 жовтня 2008 р. Луцьк) – Луцьк: ЛНТУ, 2008. – С. 32-34.

АНОТАЦІЇ

Єрошенко А.М. Підвищення ефективності шліфування зі схрещеними осями інструмента і деталі з профілем у вигляді дуги кола. — 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 зі схрещеними осями інструмента і деталі з профілем у вигляді дуги кола за рахунок створення нових способів абразивної обробки, які засновані на аналізі модульних 3D моделей процесу шліфування, а також визначення умов й областей їх раціонального застосування. Запропоновані загальні і окремі модульні 3D моделі формоутворення, профілювання інструмента і зняття припуску. Розроблені ефективні способи шліфування деталей зі змінним радіусним профілем і з випуклими торовими поверхнями. Визначені величина шару, що зрізується різальним лезом, локальні і загальні сили різання, а також продуктивність процесу. Розроблені інтегральні алгоритми й програми комп'ютерного розрахунку профілю шліфувального круга й деталей з профілем у вигляді дуги кола, в залежності від параметрів поверхні заготовки й припуску, що знімається.

Ключові слова: шліфування, абразивний круг, деталь з профілем у вигляді дуги кола, схрещення осей, сферичний модуль, 3D геометричні моделі, профілювання, формоутворення, продуктивність шліфування.

Ерошенко А.М. Повышение эффективности шлифования со скрещивающимися осями инструмента и детали с профилем в виде дуги окружности. — Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.03.01 – процессы механической обработки, станки и инструменты. — Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2009.

Диссертация посвящена повышению эффективности шлифования со скрещивающимися осями инструмента и детали с профилем в виде дуги окружности за счет создания новых способов абразивной обработки, которые основаны на анализе модульных 3D моделей процесса шлифования, а также определение условий и областей их рационального применения.

Разработаны общие модели формообразования, профилирования инструмента и снятия припуска. Предложенные трехмерные модели состоят из произведения трех сферических модулей (ориентации, инструментального и формообразования). Каждый модуль представляет собой произведение однокоординатных матриц четвертого порядка. На основе общих моделей разработаны частные модели, описывающие формообразование, профилирование инструмента и снятие припуска при обработке различных поверхностей с профилем в виде дуги окружности: внешних и внутренних торовых поверхностей, поверхностей с переменным радиусным профилем и винтовых поверхностей с профилем в виде дуги окружности.

Исходя из условия равенства объемов металла, который подводится в зону резания и который снимается, определена величина срезаемого слоя одной режущей кромкой. При расчете величины срезаемого слоя учитывались переменность скорости шлифования вдоль образующей профиля, жесткость обрабатываемой системы и прерывистость поверхности круга. Предложена методика определения локальных и общих сил резания, которая позволяет учитывать режущие и деформирующие зерна в зоне резания.

Разработана общая модель производительности процесса шлифования со скрещающимися осями инструмента и детали с профилем в виде дуги окружности, которая позволяет определить удельную, мгновенную и среднюю производительность. При определении точности обработки учитывались погрешности схемы формообразования, статической и динамической наладки системы СПИД, правки круга и его износ.

Предложена методика, которая позволяет заменять профиль инструмента дугой окружности, радиус которой меньше радиуса профиля детали. На основе предложенной методики, разработаны интегральные алгоритмы и программы компьютерного расчета профиля круга и детали с профилем в виде дуги окружности, в зависимости от параметров поверхности заготовки и снимаемого припуска.

Разработаны новые эффективные способы шлифования поверхностей деталей с переменным радиусным профилем и с выпуклыми торовыми поверхностями.

Ключевые слова: шлифование, абразивный круг, деталь с профилем в виде дуги окружности, скрещивание осей, сферический модуль, 3D геометрические модели, профилирование, формообразование, производительность шлифования.

Yeroshenko A.M. Increase of efficiency of polishing with the crossing axes of instrument and detail with a type as the arc of circumference. — Manuscript.

The thesis for a scientific degree in specialty 05.03.01 — machining processes, machines and tool. — National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, 2009.

Dissertation is devoted to the increase of efficiency of the polishing with the crossing axes of instrument and detail with a profile as the arc of circumference due to creation of new methods of abrasive treatment, which are based on the analysis of modules 3D models of polishing process, and also determination of terms and their rational application domains. General and special modules 3D models of formbuilding, profiling of instrument and removal of allowance are offered. The effective methods of polishing of details with a variable radius profile and with protuberant torus surfaces are developed. The size of layer

which is cut away by a cutting edge, local and general forces of cutting, and also productivity of process, is certain. Integral algorithms and programs of computer calculation of profile of polishing circle and detail with a profile as the arc of circumference are developed, depending on the parameters of surface of the blank and removal of allowance.

Key words: polishing, abrasive disk, detail with a profile as the arc of circumference, crossing of axes, spherical module, 3D geometrical models, profiling, form-building, productivity of polishing.