

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

Джемілов Ешреб Шефікович

УДК 621.923.5

**ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОБРОБКИ КОНІЧНИХ ОТВОРІВ АЛМАЗНИМ
ХОНІНГУВАННЯМ НА ОСНОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНТАКТНОЇ
ВЗАЄМОДІЇ ІНСТРУМЕНТУ З ДЕТАЛЛЮ**

Спеціальність 05.03.01 - процеси механічної обробки,
верстати та інструменти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 2010

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі технології машинобудування Кримського інженерно-педагогічного університету.

Науковий керівник:	доктор технічних наук, професор Якубов Февзи Якубович , Кримський інженерно-педагогічний університет, професор кафедри технології машинобудування
Офіційні опоненти:	доктор технічних наук, професор Доброскок Володимир Ленінмирович , Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри інтегрованих технологій машинобудування ім. М.Ф. Семка
	кандидат технічних наук, доцент Краснощок Юрій Степанович , Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка, доцент кафедри технології матеріалів

Захист відбудеться «21» жовтня 2010 р. о «14» годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.12 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

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

Автореферат розісланий «18» вересня 2010 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Пермяков О.А.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Виготовлення точних конічних отворів є складним технологічним процесом. Відомі операції, що формують конічні отвори, не забезпечують стабільної якості оброблених поверхонь.

При внутрішньому шліфуванні конічного отвору оброблювану деталь необхідно встановлювати з вивірянням биття по індикатору, що призводить до зниження продуктивності процесу. Утворення похибок форми конічного отвору пов'язане з вібрацією і пружним віджиманням шліфувального круга, що встановлюється консольно. Високі швидкості при шліфуванні і високі температури в зоні різання призводять до появи припикання на оброблюваній поверхні і зміни структури поверхневого шару матеріалу, знижуючи якість обробки.

При зенкеруванні конічних отворів форма інструменту копіюється на оброблюваній поверхні. Основними причинами похибок обробки є низька стійкість інструменту із-за викрушування і відколів на ріжучій частині зенкера.

Однією з високопродуктивних операцій, що забезпечують якість обробки конічних отворів, є алмазне хонінгування. При вивченні даного процесу обробки виявлені його особливості: по-перше, змінна ширина контакту робочої поверхні інструменту з деталлю приводить до нерівномірного знімання матеріалу; по-друге, значення параметрів шорсткості обробленої поверхні змінюються по довжині отвору.

У зв'язку з цим виникає необхідність створення умов, що підвищують якість обробки конічних отворів, на основі управління процесом контактної взаємодії інструменту з деталлю. Вирішення даної науково-технічної задачі має актуальність для науки і практики і є напрямом дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Виконання дисертаційної роботи пов'язане з науковою тематикою кафедри «Технологія машинобудування» Республіканського вищого навчального закладу «Кримський інженерно-педагогічний університет» у рамках теми ДР № 0109U001098 «Розробка ресурсозберігаючих і екологічно безпечних технологій механічної обробки матеріалів» (2009-2014 р.р.), а також з напрямом «Абразивний інструмент» Інструментальної програми України. У рамках загальних завдань програми - це: «Вибір і розробка ефективних марок інструментального матеріалу» і «Розробка і вибір ефективних конструкцій інструменту», у рамках спеціальних завдань - це: «Підвищення якості вироблюваних на Україні абразивних матеріалів з урахуванням власної сировинної бази» і «Розробка нових абразивних інструментів».

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення якості обробки конічних отворів алмазним хонінгуванням на основі удосконалення конструкції інструменту, здатного вирівнювати контактний тиск при взаємодії його робочої поверхні з деталлю.

Для досягнення поставленою мети вирішені наступні задачі:

- проведено аналіз механіки контактної взаємодії алмазного інструменту з деталлю;
- створена модель контактної взаємодії алмазного інструменту з деталлю при

хонінгуванні конічних отворів, що визначає контактні тиски на робочій поверхні бруска і ширину контакту;

- розроблено спосіб виміру контактних тисків при взаємодії алмазного бруска з деталлю в процесі хонінгування конічних отворів;

- експериментально встановлено характер розподілу контактних тисків по довжині алмазного бруска на його робочій поверхні;

- на основі встановленого характеру розподілу контактного тиску при конічному хонінгуванні удосконалена хонінгувальна голівка, що підвищує якість обробки;

- експериментально встановлено вплив конструктивних особливостей удосконаленого інструменту на якість конічного отвору;

- проведені випробування розробленої хонінгувальної голівки і її впровадження в виробництво.

Об'єкт дослідження – процес алмазного хонінгування конічних отворів.

Предмет дослідження – обробка конічних отворів алмазним хонінгуванням на основі дослідження контактної взаємодії робочої поверхні інструменту з деталлю.

Методи дослідження. Теоретичні і модельні дослідження контактних тисків при взаємодії робочої поверхні алмазного бруска з деталлю виконані на основі наукових положень теорії різання матеріалів, механіки контактної взаємодії при алмазно-абразивній обробці і проектування різальних інструментів. За результатами досліджень подані рекомендації, які дозволяють удосконалити конструкцію інструменту, що забезпечує підвищення якості конічного отвору методом алмазного хонінгування.

Достовірність теоретичних положень роботи підтверджена результатами експериментальних досліджень і промисловим впровадженням.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

- запропоновано новий підхід, який забезпечує підвищення якості процесу алмазного хонінгування конічних отворів, заснований на вирівнюванні контактних навантажень на робочій поверхні інструменту;

- на основі дослідження механіки контактної взаємодії вперше розроблена фізично обґрунтована модель взаємодії різальних зерен алмазного бруска з поверхнею конічного отвору при хонінгуванні;

- на основі експериментального визначення характеру розподілу контактного тиску на робочій поверхні алмазного бруска при хонінгуванні конічних отворів встановлено раціональні геометричні параметри інструменту для алмазного хонінгування конічних отворів з кутом конуса до 30°.

Практичне значення отриманих результатів. На основі визначення характеру розподілу контактного тиску запропонована нова конструкція хонінгувальної голівки для обробки конічних отворів.

Конструкція запропонованої хонінгувальної голівки дозволила вирівняти контактні тиски на робочій поверхні інструменту, що вплинуло на підвищення якості обробки.

Результати дисертаційної роботи упроваджені на трьох машинобудівних підприємствах: ТОВ «Завод Продмаш» (м. Сімферополь), ВАТ «Бахчисарайський

завод «Доріндустрія» (м. Бахчисарай) і ТОВ ПК «Дальконтех» (м. Комсомольск-на-Амурі).

Особистий внесок здобувача. Спільно з науковим керівником дисертації визначені мета і наукова новизна. Автором самостійно виконані теоретичні дослідження і розрахунки, розроблений експериментальний стенд, проведена модернізація устаткування і виконані аналітичні і експериментальні дослідження в лабораторних умовах. Роботи з підготовки патенту і деяких статей складені за участю співавторів. Виробничі випробування проводилися спільно із співробітниками підприємств.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи докладалися на наукових семінарах кафедри «Технологія машинобудування» Кримського інженерно-педагогічного університету, науково-технічних конференціях і семінарах: "Семковські молодіжні наукові читання", Харків: НТУ "ХПИ". - 2006, 2007, 2008; Всеукраїнська молодіжна науково-технічна конференція "МАШИНОБУДУВАННЯ УКРАЇНИ ОЧИМА МОЛОДИХ: прогресивні ідеї - наука - виробництво", Хмельницький: ХНУ. - 2006; Одеса: НПУ. - 2007; Запоріжжя: ЗНТУ. - 2009; міжнародна науково-практична конференція "Інформаційні технології: наука, техніка, освіта, здоров'я" MicroCAD, Харків: НТУ "ХПИ". - 2008, 2009; міжнародна науково-технічна конференція студентів, аспірантів і молодих вчених "Прогресивні напрями розвитку машино-приладобудівних галузей і транспорту", Севастополь: СевНТУ. – 2008, 2009; міжнародна науково-технічна конференції "Сучасні технології в газотурбобудуванні", Алушта, 2009.

Публікації. Результати дисертації викладені в 11 публікаціях, у тому числі 6 статей у фахових виданнях ВАК України. На спосіб визначення контактних тисків при хонінгуванні конічних отворів отриманий патент України № 33226 (бюл. № 11, 10.06.2008 р.).

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається з введення, 5 розділів, загальних висновків, додатків і списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації 160 сторінок, у тому числі: 126 сторінки основного тексту, 56 ілюстрацій по тексту, 15 ілюстрацій на 11 сторінках, 17 таблиць по тексту, 1 таблиця на 1 сторінки, 17 додатка на 14 сторінках, список з 112 використаних літературних джерел на 11 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми, визначені задачі, сформульована наукова новизна і практична цінність отриманих результатів, визначені методи досліджень, приведена інформація про апробацію основних положень дисертації.

Перший розділ присвячений аналізу контактної взаємодії інструменту з деталлю при алмазному хонінгуванні.

Проведений аналітичний огляд по обробці конічних отворів алмазним хонінгуванням показав, що процес характеризується малими швидкостями і низькими температурами в зоні різання, а висока стійкість алмазних брусків забезпечує стабільність обробки і підвищує продуктивність процесу. Вирішенню завдань контактної взаємодії алмазного інструменту з деталлю присвячені роботи як

вітчизняних авторів (І.Х. Чеповецького, А.Н. Дінника, Н.М. Беляєва, І.В. Крагельського, Н.М. Міхіна, А.А. Сагарди, Н.Б. Дьомкіна) так і зарубіжних (Т. Цукідзо, Т. Хісакадо, Ф.П. Боудена, Д. Тейбора).

Особливістю традиційного процесу обробки конічних отворів алмазним хонінгуванням є змінна ширина контакту робочої поверхні інструменту з деталлю, що призводить до нерівномірного проникнення ріжучих зерен в оброблювану поверхню по довжині бруска. Тому вивчення проблеми контактної взаємодії алмазного бруска з поверхнею конічного отвору є актуальним завданням, вирішення якого дозволить створити інструмент і підвищити якість обробки.

У другому розділі викладена методика дослідження механіки взаємодії брусків з заготівкою в процесі хонінгування конічних отворів. Встановлено, що в процесі здійснення зворотно-поступального руху бруска вздовж утворюючої конічного отвору при переміщенні бруска від малого до більшого діаметру ширина його контакту з оброблюваною поверхнею зменшується. Із зменшенням же останньої глибина проникнення різальних зерен брусків збільшується (рис. 1).

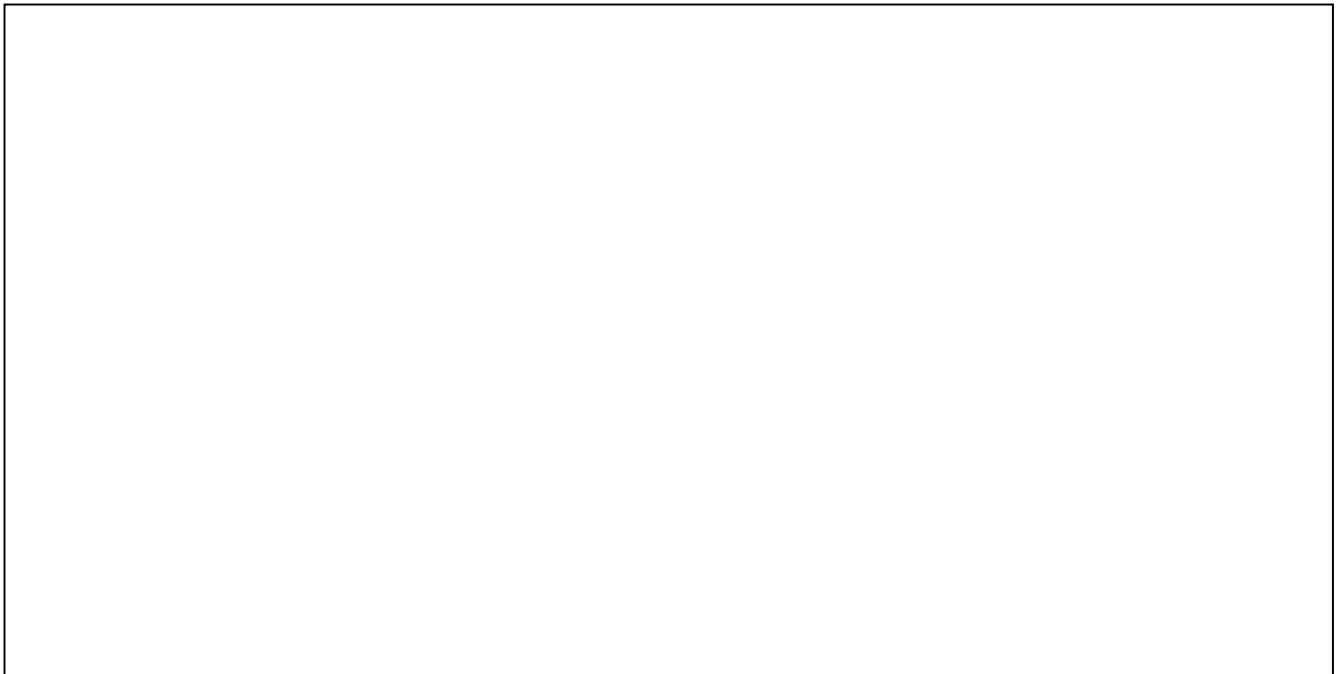


Рис. 1. Схема зміни ширини контакту брусків з деталлю

Підготовка брусків для хонінгування конічних отворів полягає в наступному:

- визначається довжина перебігання інструменту $l_{пер.d}$ з малого діаметру конічного отвору по формулі

$$l_{ia\delta.d} = \frac{2l_{a\delta}}{3\left(\frac{D}{d} + 1\right)}, \quad (1)$$

де l_{op} - довжина хонінгувального бруска, мм;

D и d - відповідно великий і малий діаметри конічного отвору, мм;

- хонінгувальна голівка встановлюється на певну величину перебігання з малого діаметру конічного отвору і фіксується хід конусного штока;

- комплект брусків шліфується в центрах під заданим кутом конуса.

Після шліфування бруски мають робочу поверхню із змінним радіусом по всій довжині від $r_{\dot{a}\ddot{a}}^{\min}$ до $r_{\dot{a}\ddot{a}}^{\max}$ (рис. 2).

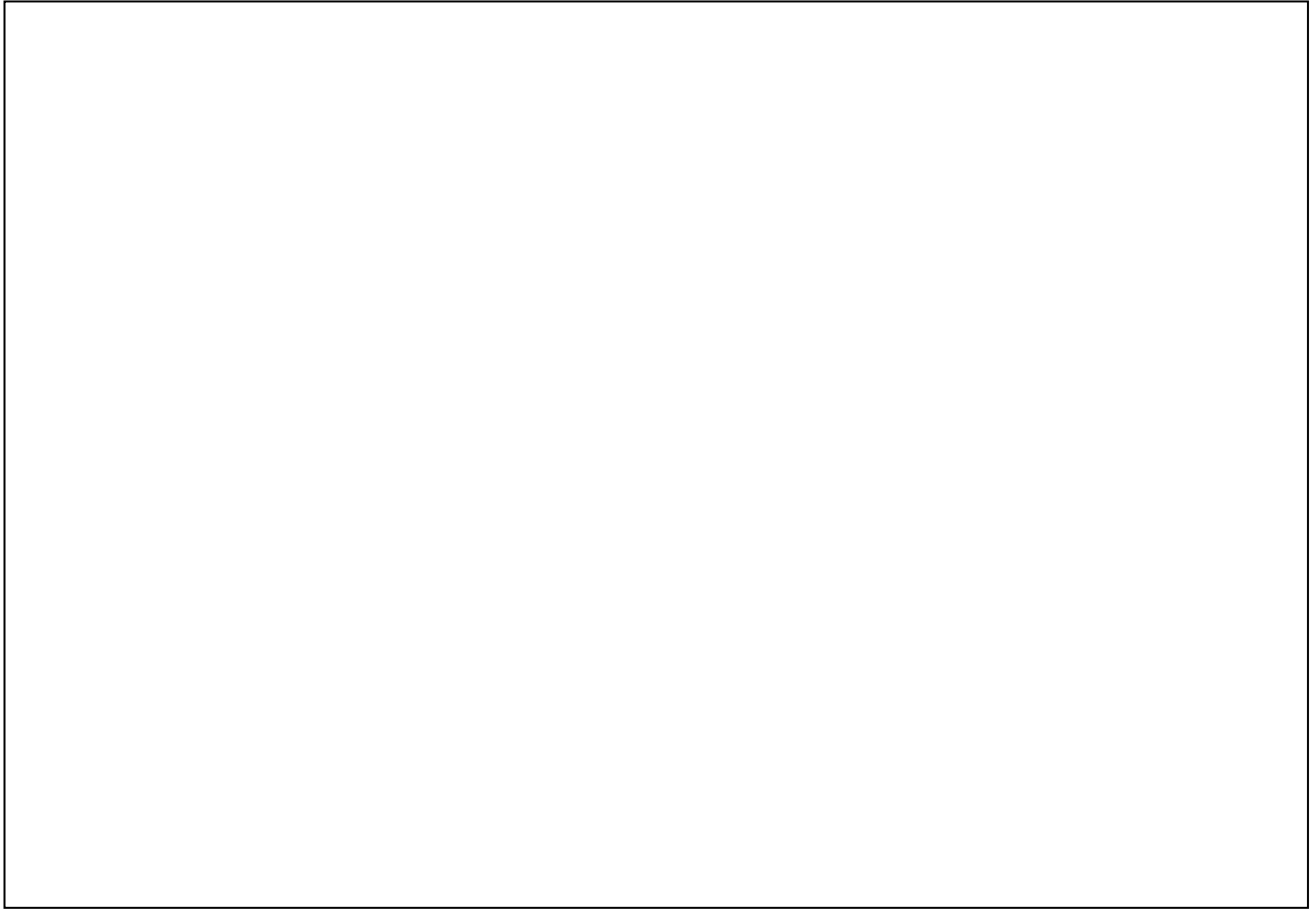


Рис. 2. Хонінгувальний брусок для обробки конічних отворів

Величина перебігання інструменту з більшого діаметру конічного отвору $l_{пер.D}$ визначається по формулі

$$l_{i\dot{a}\ddot{a}.D} = L_{\ddot{o}\ddot{i}\ddot{a}.\dot{a}\ddot{a}} - l_{i\dot{a}\ddot{a}.d}, \quad (2)$$

де $L_{\ddot{o}\ddot{i}\ddot{a}.\dot{a}\ddot{a}} = \frac{2}{3}l_{\dot{a}\ddot{a}}$ - довжина робочого ходу інструменту, мм.

Аналіз процесу алмазного хонінгування конічних отворів показав, що поєднання обертального руху навколо осі із зворотно-поступальним в радіальному і вдовж утворюючої оброблюваної поверхні напрямках сприяє істотній зміні траєкторії руху одиничного ріжучого зерна. Це призводить до зміни напрямку вектора переміщення зерна по оброблюваній поверхні на всій довжині його шляху поступальної ходи, а отже, зміні кута перетину слідів обробки по всій довжині поверхні. Схема перетину слідів обробки алмазних зерен представлена на рис. 3. Кут α_z змінює свою величину і залежить від співвідношення окружної швидкості $V_{окр}$ і швидкості зворотно-поступального руху інструменту $V_{з-п}$. На підставі геометричних побудов по характеру зміни глибини різання визначено розподіл контактних тисків на поверхні бруска.

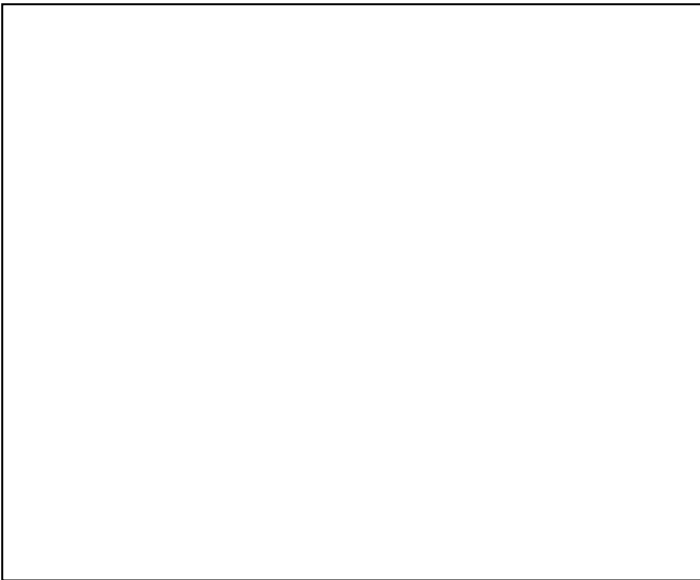


Рис.3. Схема слідів обробки алмазних зерен

З положення інструменту, коли радіус отвору деталі більше радіусу кола, що проходить через вершини алмазних зерен бруска (рис. 4), видно, що глибина проникнення алмазних зерен плавно змінюється від нуля (по ширині робочої поверхні) до максимуму (на його середині). Контактні тиски можна описати функцією:

$$q = q_{\max} f(\varphi) \quad (3)$$

Відповідно до епюри контактного тиску приведемо q до лінійного розподіленого навантаження p , Н/м:

$$p = \int_0^{\varphi_{\max}} q r_{\zeta} \cos \varphi d\varphi = 2q_{\max} \int_0^{\varphi_{\max}} f(\varphi) d\varphi = 2q_{\max} \psi(\varphi_{\max}), \quad (4)$$

де ψ - функція від $\varphi_{\max}$.

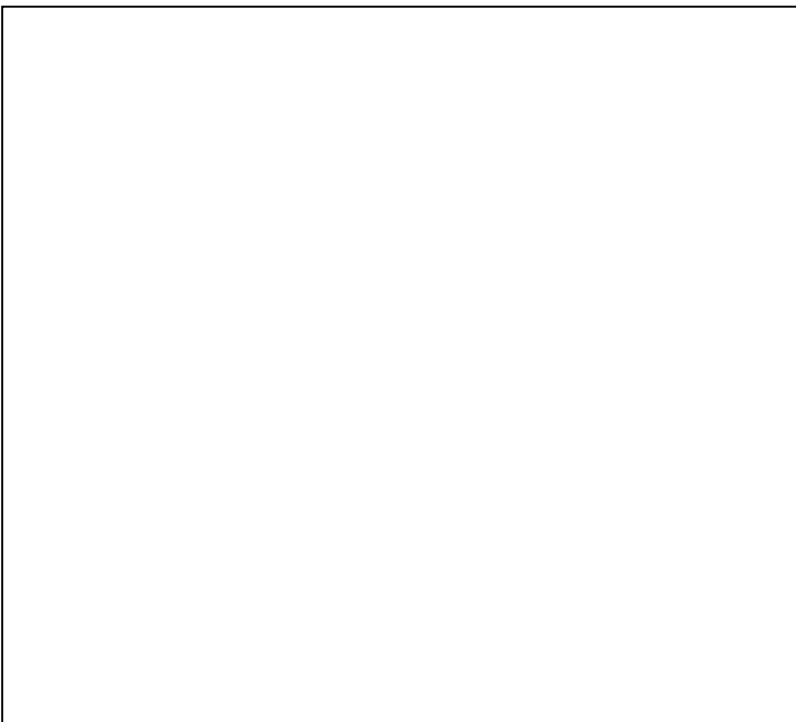


Рис. 4. Схема розподілу контактних тисків

На рис. 5 представлений характер зміни контактних навантажень уздовж бруска. Рівнодіюча дорівнює нормальній силі різання P_p . Розбивши епюру на N рівних по довжині ділянок завдовжки $\Delta l = L/N$ і замінивши в межах кожної ділянки змінну складову p на статично еквівалентну постійну $p_i = \text{const}$, приведемо p_i до зосередженої рівнодіючої

$$P_i = p_i \cdot \Delta l. \quad (5)$$

Спосіб визначення контактних тисків при хонінгуванні конічних отворів полягає в наступному.

де r_z - радіус кривизни заготівлі; $r_{\text{бр}}$ - радіус кривизни бруска; δ_{max} - максимальна глибина введення різального зерна;
і лінійно розподіленого навантаження p

$$p = 0,53 \cdot \beta \cdot \omega \cdot k_a^2 \cdot HV \cdot \bar{N} \cdot b_e \cdot \delta_{\text{max}}^2, \quad (9)$$

де β - коефіцієнт, залежний від форми зерна; ω - коефіцієнт, що враховує відмінність форми зерна від форми піраміди Віккерса; k_a - коефіцієнт динаміки, що враховує зменшення глибини проникнення зерна при різанні; $\bar{N}$ - число зерен, що беруть участь в різанні.

У третьому розділі представлена розроблена в роботі експериментальна установка, що імітує зміни контактних навантажень, які виникають при взаємодії брусків із деталлю в процесі хонінгування конічних отворів (рис. 6).

Розроблена установка, максимально наближена до процесу різання, принцип роботи якої полягає в наступному: на кулісу 2 прикладається навантаження P , яке розподіляється на поверхні бруска. Тензорезистори 14 фіксують сигнал і через кабель 7 передають на тензометричну станцію 8 і ПК 10. Отримана інформація обробляється за спеціальною програмою і будується епюра розподілу контактних навантажень. Перед проведенням вимірів установка була тарувана і визначені коефіцієнти у формулі (7).

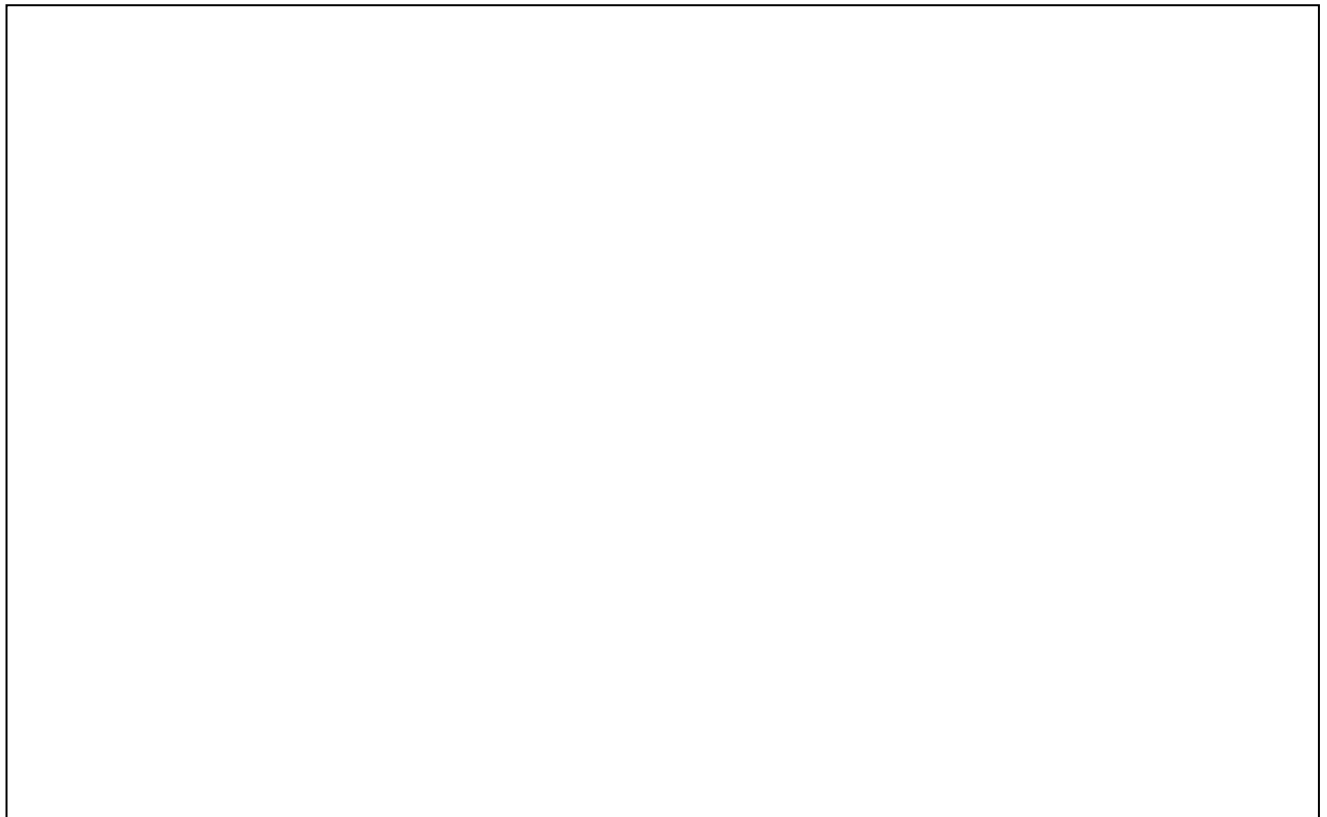


Рис. 6. Схема виміру контактних навантажень: 1 – стійка; 2 – куліса; 3 – планка; 4 – ролик; 5 – досліджувана деталь; 6 – динамометр; 7 – кабель; 8 – тензометрична станція; 9 – блок живлення; 10 – ПК; 11 – корпус колодки; 12 – несуча планка; 13 – ролик опорний; 14 - тензорезистор

В результаті проведених досліджень визначена конструкція хонінгувальної колодки, що дозволила вирівнювати контактні навантаження на поверхні бруска, забезпечуючи тим самим більш рівномірне знімання припуску в процесі хонінгування (рис. 7). Залежно від кута конуса і довжини утворюючої конічного

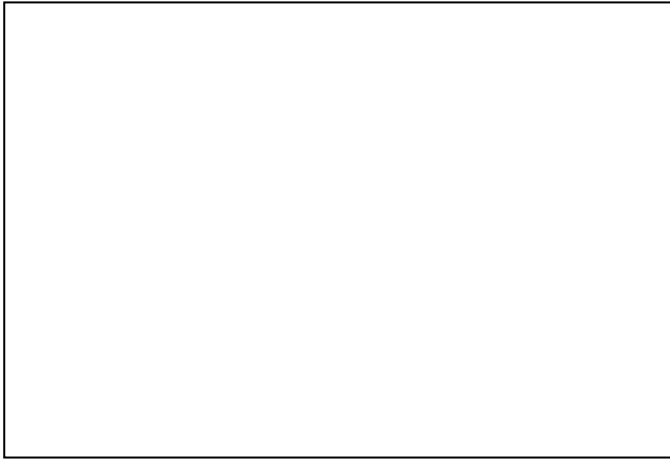


Рис. 7. Хонінгувальна колодка для обробки конічних отворів: 1 – корпус; 2 – підкладка; 3 – алмазний брусок; 4 – опорна планка

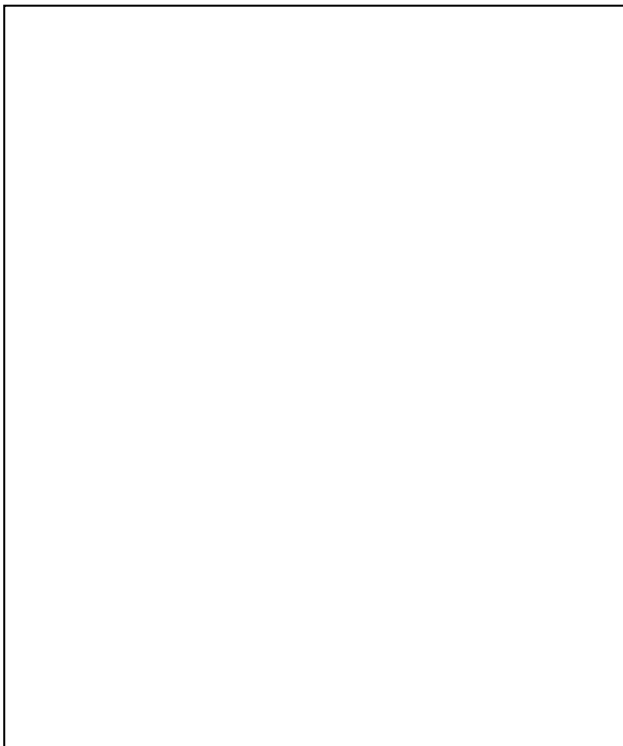


Рис. 8. Хонінгувальна голівка для обробки конічних отворів: 1 – корпус; 2 – шток розтискний; 3 – запропонована конструкція колодки; 4 – алмазний брусок; 5 – ролик; 6 – оброблювана деталь

отвору розташування опорних планок різне і воно визначається експериментально.

Для проведення досліджень в динаміці розроблена конічна хонінгувальна голівка (рис. 8), конструкція якої забезпечує якість обробки, стабільність і надійність в роботі. Зміна форми розтискного штока і корпусу колодки дозволяє збільшити діапазон оброблюваних кутів до 30° .

При хонінгуванні конічних отворів розрізняють чотири основних рухів по відношенню до деталі: комбінований рух різання – обертальне $V_{окр}$ і зворотно-

поступальне $V_{в-п}$; для забезпечення постійного контакту робочої поверхні інструменту з деталлю комбінований рух брусків – радіальний зворотно-поступальний рух брусків $V_{в-п. рад.}$ і зворотно-поступальний рух брусків уздовж утворюючої $V_{в-п. бр.}$

Для виміру відхилень від круглості і прямолінійності твірної конічного отвору спроектовано спеціальне мірильне пристосування, позиціювання конусної еталонної пробки якого в отворі забезпечує високу точність виміру.

У четвертому розділі представлені результати досліджень процесу контактної взаємодії робочої поверхні алмазного бруска із утворюючою конічного отвору заготовки із сталі 40Х поліпшеної (ГОСТ 4543–71).

Експериментально і розрахунковим шляхом визначені характер розподілу контактних тисків (рис. 9) на поверхні бруска, при використанні як промислової, так і

пропонованої конструкції інструменту.



Рис. 9. Розподіл контактної тиску по довжині бруса

При застосуванні пропонованого інструменту експериментальні значення контактних тисків уздовж бруса склали $0,05 \div 0,52$ МПа, тоді як промислового значно вище - $0,07 \div 1,04$ МПа.

Для візуалізації контактних процесів була створена твердотільна модель взаємодії бруса із деталлю і здійснена імітація навантаження. Моделювання було реалізовано в системі SolidWorks, для аналізу напруг застосовано додаток COSMOSXpress (рис. 10).

Моделі (рис. 10) підтверджують експериментальні результати розподілу контактних навантажень по довжині бруса (рис. 9).

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити висновок, що використання інструменту запропонованої конструкції сприяє вирівнюванню контактних навантажень, забезпечуючи більш рівномірне знімання матеріалу.



Рис. 10. Моделі контактної взаємодії бруса (в середньому її положенні) з поверхнею конічного отвору при застосуванні: а – промислового інструменту;
б – запропонованого інструменту

Експериментально досліджена ширина контакту для алмазного бруска АС6 500/400-М5-01-100% з поверхнею конічного отвору деталі з кутом конуса 25° при використанні промислового і запропонованого інструментів. Для цих же умов визначені розрахункові значення ширини контакту по формулі (8). За отриманими даними побудовані залежності, що відбивають зміну ширини контакту алмазного бруска по довжині твірної конічного отвору (рис. 11).

Отримані залежності підтверджують теоретичні дослідження, тобто при переміщенні бруска від малого до більшого діаметру конічного отвору ширина контакту з оброблюваною поверхнею зменшується. Відмінність експериментальних і розрахункових результатів пов'язана з тим, що у формулі (8) не враховується пружно-пластична деформація при контактній взаємодії робочих елементів. Введення коефіцієнта деформації k_{def} , який визначається експериментально і залежить від механічних властивостей матеріалу, розмірів і форми оброблюваної деталі, характеристики бруска і конструкції інструменту, дозволяє точніше визначати ширину контакту. Тоді формула (8) набирає наступного вигляду:

$$b_e = 2\sqrt{2} \cdot k_{def} \cdot \sqrt{\frac{r_{\zeta} \cdot r_{ad}}{r_{\zeta} - r_{ad}}} \cdot \delta_{max} . \quad (10)$$



Рис. 11. Зміна ширини контакту для алмазного бруска АС6 500/400-М5-01-100%

При обробці деталі із сталі 40Х поліпшеної при застосуванні промислової конструкції інструменту коефіцієнт деформації знаходиться в межах $k_{def} = 1,94 \div 2,32$, а при застосуванні запропонованої конструкції інструменту – $k_{def} = 2,31 \div 3,01$.

Виконані дослідження впливу конструкції інструменту (хонінгувальної голівки) на точність і якість оброблюваної поверхні. Обробка проводилася на радіально-свердлувальному верстаті мод. 2К 522 при наступних режимах різання: $V_{окр.} = 45$ м/мин; $V_{в-п.осев.} = 10$ м/мин; алмазними брусками АС6 500/400-М5-01-100% і АС20 125/100-М5-01-100%. Як СОЖ використовувався гас.

Проведені виміри відхилень від круглості після чистового розточування, хонінгування промисловим і запропонованим інструментами. Результати представлені на рис.11. Порівняльний аналіз отриманих даних показав, що

вирівнювання контактних тисків при застосуванні запропонованого інструменту забезпечує істотне зниження відхилення від круглості.

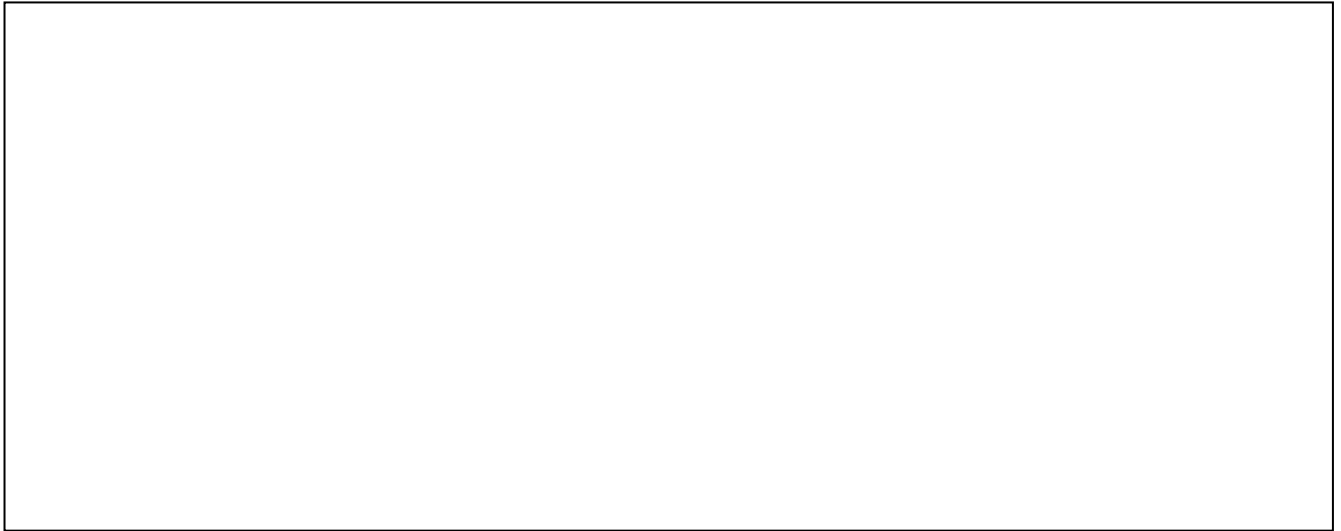


Рис.11. Відхилення від круглості конічного отвору: а – після чистового розточування; б – після хонінгування промисловим інструментом з алмазними брусками АС6 500/400-М5-01-100% ($t_{\text{маши}} = 4\text{хв}$); в – після хонінгування запропонованим інструментом з алмазними брусками АС6 500/400-М5-01-100% ($t_{\text{маши}} = 4\text{хв}$)

Подібні результати отримані при хонінгуванні алмазними брусками АС20 125/100-М5-01-100.

Прямолінійність утворюючої конічного отвору визначалася в двох взаємоперпендикулярних подовжніх перерізах після обробки промисловим і запропонованим інструментами з використанням алмазних брусків АС6 500/400-М5-01-100% і АС20 125/100-М5-01-100%. Отримані дані показали, що після хонінгування бруском АС6 500/400-М5-01-100% відхилення прямолінійності склали $0,028 \div 0,103$ мм – з промисловим інструментом і $0,011 \div 0,058$ мм – з запропонованим інструментом (рис. 12), а бруском АС20 125/100-М5-01-100% – відповідно до $0,032 \div 0,095$ мм і $0,006 \div 0,052$ мм, тобто в середньому отримано двократне виправлення прямолінійності.



Рис. 12. Відхилення прямолінійності утворюючої конічного отвору після хонінгування бруском АС6 500/400-М5-01-100%

На підставі обробки результатів відхилень прямолінійності утворюючої конічного отвору виконані розрахунки за визначенням відхилень кута конуса. За критерій, що характеризує точність кута конуса, прийнятий кут нахилу утворюючої конічного отвору. Обробка даних, представлених на рис. 12, показала, що відхилення кута конуса складає: після чистового розточування – $\Delta\alpha_1 = 1^\circ 43' 48''$; після хонінгування промисловим інструментом – $\Delta\alpha_2 = 1^\circ 7' 22''$; після хонінгування пропонованим інструментом – $\Delta\alpha_3 = 0^\circ 41' 56''$.

Інтенсивність виправлення відхилення кута конуса конічного отвору оцінювалася коефіцієнтом виправлення k_u :

$$k_{\hat{e}} = \frac{\Delta\alpha_{\hat{e},\hat{e}} - \Delta\alpha_{\hat{o},\hat{e}}}{\Delta D}, \quad (11)$$

де $\Delta\alpha_{u.k.}$ - початкове відхилення кута конуса, хв; $\Delta\alpha_{x.k.}$ - відхилення кута конуса після хонінгування, хв; ΔD - діаметральна величина знімання матеріалу в процесі хонінгування, мкм.

За виконаними розрахунками отримана залежність коефіцієнта виправлення k_u по довжині утворюючої конічного отвору.

Результати після $t_{\text{маш}} = 4$ хв представлені на рис. 13. Коефіцієнт виправлення k_u залежить від початкової форми конічного отвору, отриманого на попередній операції. По характеру кривих (рис. 13) видно, що при застосуванні пропонованого інструменту коефіцієнт виправлення k_u після $t_{\text{маш}} = 4$ хв має практично рівні значення по довжині утворюючої конічного отвору, що, істотно залежить від розподілу контактних тисків.

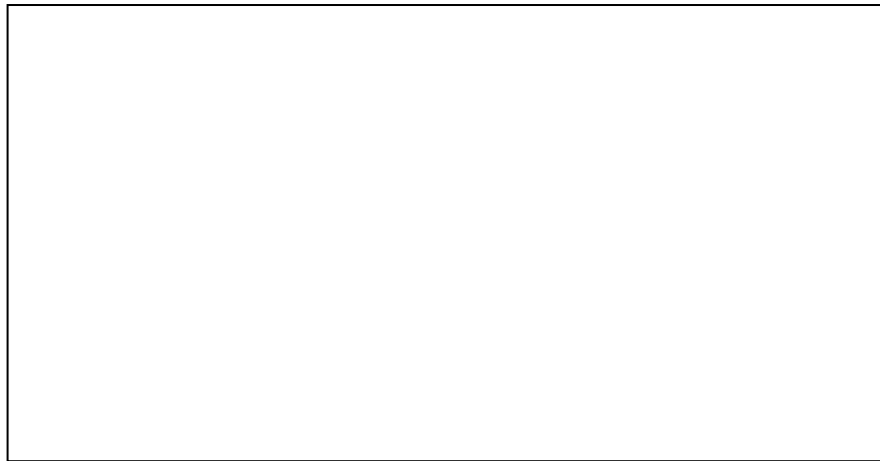


Рис. 13. Залежність коефіцієнта виправлення по довжині утворюючої конічного отвору ($t_{\text{маш}} = 4$ хв)

Визначена діаметральна величина знімання матеріалу ΔD і побудована його залежність по довжині утворюючої конічного отвору після $t_{\text{маш}} = 1$ хв і $t_{\text{маш}} = 4$ хв (рис. 14).

По характеру кривих видно, що діаметральна величина знімання на початковому етапі хонінгування залежить від похибки, отриманої на попередній операції.

Після хонінгування з $t_{max} = 4$ хв діаметральна величина знімання при застосуванні пропонованого інструменту в порівнянні з промисловим більш рівномірна, що пов'язано з її конструкцією. Це обумовлює рівність контактних тисків на робочій поверхні бруска.

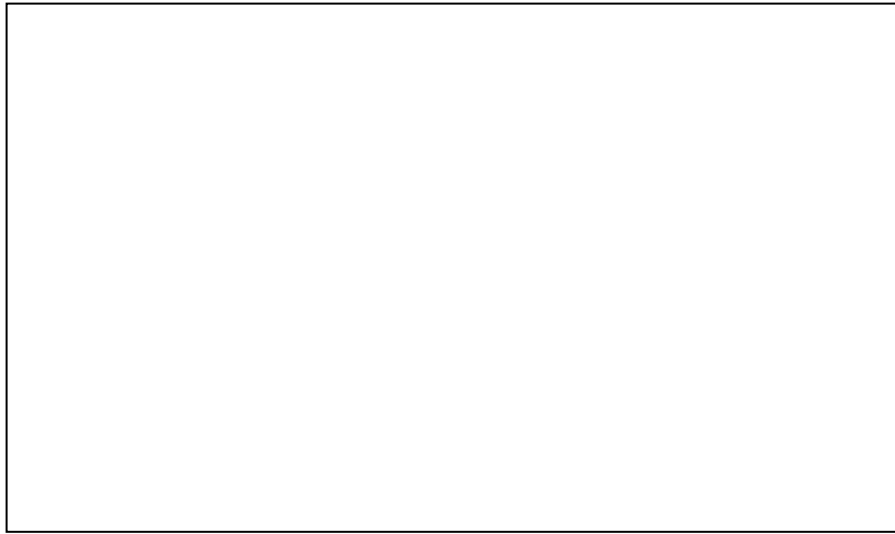


Рис. 14. Залежність діаметрального знімання матеріалу ΔD по довжині утворюючої кінцевого отвору

З урахуванням кінематики процесу хонінгування кінцевих отворів проведені дослідження глибини проникнення різальних зерен алмазного бруска з характеристикою АС6 500/400-М5-01-100%. Експерименти проводилися за наступною методикою. Між бруском і оброблюваною поверхнею встановлювалося оргскло товщиною 1мм на всю довжину контакту. До бруска прикладалося відповідне навантаження. При цьому оргскло прогиналося, набуваючи форми кінцевого отвору деталі. Переміщенням оргскла вздовж бруска на $3 \div 5$ мм були отримані подряпини, що характеризують глибину проникнення різальних зерен. Вимір глибини отриманих подряпин проводили в п'яти поперечних перерізах по довжині утворюючої кінцевого отвору (рис. 15).



Рис. 15. Залежність глибини проникнення різальних зерен по довжині утворюючої кінцевого отвору

Експериментальні дані виявляють, що при застосуванні пропонованого інструменту величина глибини проникнення різальних зерен вздовж бруска знаходиться в межах $1,0 \div 5,7$ мкм, а промислового інструменту значно менше – в межах $1,2 \div 9,7$ мкм, що пов'язано із вирівнюванням контактних тисків, що забезпечуються конструкцією пропонованого інструменту.

В процесі хонінгування при переміщенні бруска від малого отвору конуса до більшого ширина контакту зменшується, а глибина проникнення різальних зерен збільшується, що призводить до різної величини параметрів шорсткості оброблюваної поверхні.

У зв'язку з цим проведені дослідження мікрогеометрії поверхні утворюючої конічного отвору після хонінгування (рис. 16).

З графіків видно, що рівна величина параметрів шорсткості вздовж утворюючої конічного отвору забезпечується при застосуванні пропонованого інструменту, що також є наслідком вирівнювання глибини проникнення різальних зерен і контактних навантажень вздовж утворюючої конічного отвору.



Рис. 16. Шорсткість поверхні по довжині утворюючої конічного отвору після хонінгування

У п'ятому розділі представлені результати промислових випробувань, проведених на ТОВ "Завод Продмаш" (м. Сімферополь) при обробці конічного отвору корпусу дозатора дозівочно-укупорочного агрегату із сталі 40Х поліпшеної (HRC $42 \div 52$) по ГОСТ 4543-71; ВАТ "Бахчисарайський завод "Дориндустрія" (м. Бахчисарай) при обробці конічного отвору осі колеса щибнерозподільника мод.4241 із сталі 45 поліпшеної (HB $240 \div 285$) по ГОСТ 1050-74; на ТОВ ИИК "Дальконтех" (м. Комсомольск-на-Амурі) при фінішній обробці корпусів затворних клапанів СППК Ду 50, СППК Ду 100 і СППК Ду 150.

Впровадження у виробництво результатів досліджень дозволило скоротити час обробки і підвищити якість оброблюваних конічних отворів. Після хонінгування корпусу дозатора дозівочно-укупорочного агрегату алмазними брусками з характеристикою AC15 63/50-M5-01-100% отримані наступні показники:

розсіювання кутів конуса не більш 20"; відхилення від круглості не більш 6,0 мкм; продуктивність процесу при хонінгуванні – до 20 шт/г; відхилення прямолінійності утворюючої конічного отвору – 12 мкм; шорсткість поверхні конічного отвору – $Ra = 0,16 \div 0,32$ мкм.

Після хонінгування корпусів клапанів затворів точність діаметральних розмірів конічних отворів підвищилася на 50 – 70%, а чистота поверхні – більш ніж в два рази.

У додатках представлені: рекомендації по вибору алмазних брусків і режимів хонінгування; результати проведених досліджень (експериментальні і розрахункові), що характеризують якість обробленої поверхні; технічна характеристика тензометричної станції ТС-8; акти впровадження результатів роботи.

ВИСНОВКИ

Результати проведених досліджень процесу обробки конічних отворів алмазним хонінгуванням визначили його науково-практичну значимість.

1. В результаті проведених досліджень досягнуто істотного підвищення якості обробки конічних отворів алмазним хонінгуванням на основі удосконалення конструкції інструменту, що забезпечує вирівнювання контактних тисків при взаємодії його робочої поверхні з деталлю.

2. Аналіз процесу обробки конічних отворів алмазним хонінгуванням показав, що існуючі конструкції хонінгувальних голівок не забезпечують якість обробленої поверхні. Причиною появи похибок є змінна ширини контакту робочої поверхні інструменту з деталлю, що призводить до проникнення ріжучих зерен на різну глибину вздовж алмазного бруска і зміни шорсткості по довжині утворюючої поверхні конічного отвору.

3. Встановлено, що змінна ширини контакту робочої поверхні інструменту з деталлю є причиною появи похибок при обробці конічних отворів алмазним хонінгуванням, що характеризуються відхиленням кута конуса, прямолінійністю утворюючої і величини параметрів шорсткості обробленої поверхні, що змінюється.

4. Проведено аналіз механіки контактної взаємодії і створена модель алмазного хонінгування конічних отворів для визначення контактного тиску на робочої поверхні інструменту і ширини контакту. У системі автоматизованого проектування SolidWorks створена модель контактної взаємодії інструменту з деталлю, яка показує вплив конструкції інструменту на напружений стан поверхневого шару.

5. Розроблено спосіб виміру контактних тисків при взаємодії інструменту з деталлю в процесі обробки конічних отворів, визначаючий характер їх розподілу на робочої поверхні алмазного бруска.

6. Для експериментальних досліджень контактних процесів створена установка із спеціальним програмним забезпеченням, яка дозволила встановити характер розподілу контактних тисків на робочій поверхні інструменту при його взаємодії з деталлю.

7. Експериментальні дослідження дозволили встановити вплив контактних тисків на робочої поверхні інструменту на якість обробки конічних отворів

алмазним хонінгуванням. Теоретичні дослідження і експериментальне моделювання процесу алмазного хонінгування конічних отворів дозволили створити раціональну конструкцію інструменту, здатну забезпечити вирівнювання контактних навантажень.

8. Теоретичні і експериментальні дослідження дозволили забезпечити підвищення якості поверхні конічного отвору. При використанні алмазного бруска з характеристикою АС6 500/400-М5-01-100% отримані наступні результати:

- відхилення від круглості: при застосуванні промислового інструменту склало 15 мкм, а пропонованого – не більш 9 мкм;
- відхилення прямолінійності утворюючої: при застосуванні промислового інструменту склало 0,103 мм, а пропонованого – не більш 0,058 мм;
- кута конуса: при застосуванні промислового інструменту склало $1^{\circ}7'22''$, а пропонованого – не більш $0^{\circ}41'56''$;
- параметри шорсткості по довжині утворюючою конічного отвору: при застосуванні промислового інструменту склали $Ra = 4,1 \div 5,9$ мкм, а пропонованого – $Ra = 5,7 \div 5,9$ мкм.

9. Виконано впровадження розробленої конструкції хонінгувальної голівки на трьох машинобудівних підприємствах, яке показало підвищення продуктивності процесу і якості обробки, а при обробці корпусів затворних клапанів на ТОВ ИИК "Дальконтех" (м. Комсомольск-на-Амурі) економічний ефект склав 58,6 тис. грн. (234,5 тис.руб.).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Джемілов Е.Ш. Чинники, що впливають на характер зносу алмазних брусків при хонінгуванні конічних отворів / Джемілов Е.Ш., Иззетов Н.А., Ванієв Э.Р., Сулейманов Р.І. // Збірка матеріалів І-ої Міжнародної конференції "Стратегія якості в промисловості і освіті" (3-10 червня 2005 р., м. Варна, Болгарія). - Варна: ТУ. - С. 188-190.

Здобувачем проведені експерименти для визначення впливу перебігання інструменту на характер зносу ріжучої робочої поверхні брусків.

2. Джемілов Е.Ш. Визначення контактних тисків при хонінгуванні конічних отворів / Джемілов Е.Ш., Иззетов Н.А., Цеханов Ю.А., Якубов Ф.Я. // Науковий журнал ВАК "Вісник Хмельницького національного університету", - Хмельницьк, 2006. - Вып.6. - С. 14-17.

Здобувачем запропонований спосіб визначення контактного тиску при хонінгуванні конічних отворів за методом тензометрії.

3. Джемілов Е.Ш. Особливості кінематики руху різального зерна при хонінгуванні конічних поверхонь / Джемілов Е.Ш., Якубов Ф.Я., Иззетов Н.А. // Різання і інструмент в технологічних системах. - Харків: НТУ "ХПИ". 2006. - Вып.71. - С. 46-50.

Здобувачем розглядена траєкторія переміщення ріжучого зерна при хонінгуванні конічних отворів. Виявлено, що змінна величина кута перетину траєкторій зерен робить вплив на рівномірність стружкоутворення.

4. Джемілов Е.Ш. Вплив змінної площі контакту різальної поверхні при конічному хонінгуванні на складові сили різання і точність / Джемілов Е.Ш., Иззетов Н.А. // Сучасні технології в машинобудуванні: До ювілею Ф. Я. Якубова. Збірка науч. статей - Харків: НТУ "ХПИ". 2007. - С. 56-63.

Здобувачем розглядено закономірності силових залежностей при конічному хонінгуванні, що дозволяють вибрати раціональний спосіб радіальної подачі брусків і визначити величину їх перебігань.

5. Джемілов Е.Ш. Спосіб визначення контактних тисків при хонінгуванні конічних отворів // Різання і інструмент в технологічних системах. - Харків: НТУ "ХПИ". 2008. - Вып.74. - С. 110-116.

6. Джемілов Е.Ш. Дослідження контактного тиску при хонінгуванні конічних поверхонь // Різання і інструмент в технологічних системах. - Харків: НТУ "ХПИ". 2008. - Вып.75. - С. 100-102.

7. Джемілов Е.Ш. Деякі теоретичні представлення процесу алмазного хонінгування конічних поверхонь / Джемілов Е.Ш., Кім В.А. // Збірка матеріалів IV - ої Міжнародної конференції "Стратегія якості в промисловості і освіті" (30 травня - 6 червня 2008 р., м. Варна, Болгарія). - Варна: ТУ. - Т.1. - С. 178-183.

Здобувачем виконаний аналіз кінематики процесу конічного хонінгування і висунуто припущення, що знос і руйнування алмазних зерен відбувається із-за їх розхитування в різноорієнтованих напрямках.

8. Спосіб визначення контактних тисків при хонінгуванні конічних отворів : Пат. 33226 України, G01B 5/26 / Джемілов Е.Ш., Цеханов Ю.А. - № у 2008 02223; Заявлене 21.02.2008; Опубл. 10.06.2008, Бюл. № 11. - 8 С.

Здобувачем розроблений спосіб, що дозволяє в процесі реального хонінгування знімати показання всіх тензодатчиків, обробляти ці показання і визначати величину і характер розподілу контактних тисків на різучій поверхні бруска у будь-який момент технологічної операції.

9. Джемілов Е.Ш. Дослідження контакту різальної поверхні бруска з деталлю при хонінгуванні конічних отворів // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих учених "Прогресивні напрями розвитку машино-приборостроительных галузей і транспорту" (12-16 травня 2008 р., м. Севастополь). - Севастополь: СевНТУ. - Т.1. - С. 47-48.

10. Джемілов Е.Ш. Вплив конструктивних особливостей інструменту на підвищення точності і якості при алмазному хонінгуванні конічних отворів // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих учених "Прогресивні напрями розвитку машино-приборостроительных галузей і транспорту" (19 - 22 травня 2009р., м. Севастополь). - Севастополь: СевНТУ. - С. 147-148.

11. Джемілов Е.Ш. Формування якості конічних отворів при алмазному хонінгуванні на основі дослідження контактної взаємодії інструменту із заготовлею // Збірка тез доповідей IX Всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції "Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї-наука-виробництво" (26 - 27 листопада 2009 р., м. Запоріжжя). - Запоріжжя: ЗНТУ. - С. 175-177.

АНОТАЦІЇ

Джемілов Е.Ш. Підвищення якості обробки конічних отворів алмазним хонінгуванням на основі дослідження контактної взаємодії інструмента з деталлю. – 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, 2010.

Дисертація присвячена підвищенню якості обробки на базі вивчення контактної взаємодії інструменту з деталлю при алмазному хонінгуванні конічних отворів. Встановлено, що при фінішній обробці конічних отворів алмазним хонінгуванням змінна ширина контакту інструменту з оброблюваною деталлю призводить до підвищеної похибки і нестабільності мікрогеометрії по довжині утворюючої конічного отвору.

Розроблена модель контактної взаємодії інструменту з деталлю при обробці конічних отворів алмазним хонінгуванням. Отриманий патент України на спосіб визначення контактного тиску при хонінгуванні конічних отворів. На основі результатів експериментальних досліджень контактного тиску запропонована нова хонінгувальна голівка, в якій конструкція колодки забезпечує підвищення якості обробки. Проведені дослідження впливу конструкції колодки інструменту на параметри, що характеризують якість конічного отвору. Експериментально визначені глибина проникнення ріжучих зерен бруска і шорсткість обробленої поверхні.

Результати проведених досліджень дозволили дати практичні рекомендації по підвищенню якості обробки конічних отворів алмазним хонінгуванням, які впроваджені на трьох підприємствах.

Ключові слова: процес алмазного хонінгування, конічні отвори, підвищення якості обробки, контактна взаємодія інструменту з деталлю.

Dzhemilov Esh. Sh. Increasing of quality of the conical aperture processing by diamond honing on a basis of research of cutting tool with the detail contact interaction of. – Manuscript.

The dissertation of a scientific degree of the candidate of technical science in specialty 05.03.01 – processes of machining, machine tools and tools. The National Technical University “Kharkov Polytechnic Institute”. Kharkov, 2010.

Dissertation is devoted upgrading treatment on the base of study of contact co-operation of instrument with a detail at the diamond honing of the conical openings. It is set that at finish treatment of the conical openings by diamond honing the variable width of contact of instrument with a processed detail results to in an enhanceable error and instability of microgeometry on length of formative conical opening.

The model of contact co-operation of instrument is developed with a detail at treatment of the conical openings by the diamond honing. The patent of Ukraine on the method of determination of contact pressure at honing of the conical opening has been gotten. On the basis of results of experimental researches of contact pressures a new honing head in which the construction of shoe tree provides upgrading treatment.

Researches of influence of construction of shoe tree of instrument are conducted on parameters, characterizing quality of the conical opening. The depth of introduction of cuttings grains of bar and roughness of the treated surface is experimentally certain.

The results of the conducted researches allowed to give practical recommendations on upgrading treatment of the conical openings by the diamond honing, which inculcated on three enterprises.

Keywords: process of the diamond honing, conical openings, upgrading treatment, contact co-operation of instrument with a detail.

Джемилов Э.Ш. Повышение качества обработки конических отверстий алмазным хонингованием на основе исследования контактного взаимодействия инструмента с деталью. – 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, 2010.

Диссертация посвящена повышению качества обработки на базе изучения контактного взаимодействия инструмента с деталью при алмазном хонинговании конических отверстий. Установлено, что при финишной обработке конических отверстий алмазным хонингованием переменная ширина контакта инструмента с обрабатываемой деталью приводит к повышенной погрешности и нестабильности микрогеометрии по длине образующей конического отверстия. Такой контакт приводит к погрешности обработки и изменению параметров шероховатости вдоль образующей поверхности конического отверстия.

Разработана модель контактного взаимодействия инструмента с деталью при обработке конических отверстий алмазным хонингованием. Определены зависимости ширины контакта, контактных давлений, глубины внедрения режущих зерен. Получен патент Украины на способ определения контактных давлений при хонинговании конических отверстий. Создана экспериментальная установка со специальным программным обеспечением для исследования контактных процессов. Изготовлено специальное приспособление для измерения отклонений от круглости, угла конуса и прямолинейности образующей. На основе результатов экспериментальных исследований контактных давлений предложена новая хонинговальная головка, в которой конструкция колодки обеспечивает повышение качества обработки. Моделирование контактного взаимодействия инструмента с деталью в программе SolidWorks показала правильность теоретического подхода. Проведены исследования влияния конструкции колодки инструмента на параметры, характеризующие качество конического отверстия: округлость, прямолинейность образующей, угол конуса. Экспериментально определены глубина внедрения режущих зерен бруска и шероховатость обработанной поверхности. Определена связь глубины внедрения и микрогеометрии поверхности.

Результаты проведенных исследований позволили дать практические рекомендации по повышению качества обработки конических отверстий алмазным хонингованием, которые внедрены на трех предприятиях.

Ключевые слова: процесс алмазного хонингования, конические отверстия, повышение качества обработки, контактное взаимодействие инструмента с деталью.

Підписано по друку 17.09.2010 р. Формат паперу 60×90/16.
Гарнітура Times New Roman Суг. Умовн. друк. арк. 1,0.
Папір офсетний. Тираж 100 прим. Замовлення № 136.
Віддруковано з готового оригінал-макету в ФОП Музафаров Г.Н.

