

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Колеснік Василь Михайлович



УДК 621.923.5

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ І ТОЧНОСТІ ПРОЦЕСУ ХОНІНГУВАННЯ
ГЛУХИХ ОТВОРІВ

05.02.08 – Технологія машинобудування

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2015

Дисертація є рукопис

Робота виконана в Одеському національному політехнічному університеті
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник кандидат технічних наук, доцент
Буюклі Іван Михайлович
Одеський національний політехнічний університет,
доцент кафедри «Технологія машинобудування»

Офіційні опоненти доктор технічних наук, професор
Гурей Ігор Валодимирович,
Національний університет «Львівська політехніка»
професор кафедри «Технологія машинобудування»
доктор технічних наук, професор,
Анділахай Олександр Олександрович,
Приазовський державний технічний університет,
завідувач кафедри «Технологія машинобудування»

Захист відбудеться «04» вересня 2015р о 14.00 на засіданні спеціалізованої
вченої ради Д 41.052.02 в одеському національному політехнічному університеті
за адресою: 65044, м. Одеса, пр. Шевченко, 1, ауд. 400-А

Дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Одеського національного
політехнічного університету за адресою: м. Одеса, пр. Шевченко, 1.

Автореферат розісланий «03» серпня 2015р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Ю.М. Свінар'ов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Однією з найважливіших задач в галузі машинобудування є підвищення ефективності та точності абразивної обробки глухих і ступінчатих отворів.

З метою захисту від корозії та підвищення зносостійкості на робочі поверхні наносять зносостійкі і антикорозійні покриття, або ці поверхні піддають гарту на досить високу твердість до 60 – 65 од. по HRC. При цьому змінюється вихідна геометрична форма і шорсткість поверхні, що обумовлює необхідність подальшої механічної обробки, яка, у зв'язку з високою твердістю поверхні, може оброблюватися в основному – із застосуванням алмазного інструменту.

З відомих способів обробки алмазним інструментом найбільш ефективним для даного переліку деталей є хонінгування.

Однак, при хонінгуванні глухих отворів відсутня можливість організації циклу обробки з оптимальною величиною перебігів в зоні дна отвору, що оброблюють, що обумовлює неминучість генерування похибки конусоподібної форми.

Для зменшення величини цієї похибки розроблено ряд способів суть яких полягає в тому, що має місце:

- вимушене збільшення числа технологічних переходів і числа періодичних правок ріжучих елементів, з метою відновлення відповідної форми робочої частини інструменту;

- керування циклами обробки таким чином, що спочатку здійснюють довго-ходове хонінгування за всією довжиною отвору, а в кінці в зоні дна отвору, що оброблюють – коротко-ходове; або, варіювання швидкістю зворотно-поступального переміщення зі зменшенням останньої в зоні дна отвору і т. д.;

- введення компенсаційної розмірної підналадки, наприклад, здійснюваної у вигляді додаткового повороту ріжучих елементів, який реалізується синхронно з радіальною подачею останніх та ін.;

- використання спеціальних ріжучих елементів з перемінною зносостійкістю за їх довжиною і т. д.

Ці способи, поряд з їх перевагами, володіють істотними недоліками щодо ефективності обробки. У зв'язку з цим, подальше вдосконалення існуючих та створення нових, більш ефективних, способів хонінгування глухих отворів є актуальною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана в рамках тематичних планів НДР кафедри «Технологія машинобудування» Одеського національного політехнічного університету на основі теми «Розробка та дослідження ресурсозберігаючих технологій при лезовій та абразивній обробці» (ДР № 0113U001462).

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення точності та ефективності обробки глухих отворів шляхом вдосконалення існуючих і створення нових способів хонінгування і технологічного оснащення.

Об'єктом дослідження є технологічні операції та технологічне оснащення алмазного хонінгування високоточних глухих отворів деталей машин.

Предметом дослідження є теоретичне та експериментальне дослідження умов підвищення точності процесу алмазного хонінгування глухих отворів на основі виявлення закономірностей формування похибок в поздовжньому перетині і створення нових компенсаційних механізмів.

Методи дослідження. Теоретичні та експериментальні дослідження базуються на фундаментальних положеннях технології машинобудування, теорії зносу, теорії різання матеріалів, теоретичної механіки, опору матеріалів, математичного аналізу, математичного моделювання, теорії узагальнених функцій, теорії ймовірності та математичної статистики. Експериментальні дослідження виконані на кафедрі – Технологія машинобудування Одеського національно політехнічного університету на хонінгувальному верстаті моделі 3822 оснащеному тензометричним столом із застосуванням модуля обробки тензометричної інформації на базі блоку АЦП моделі ADS1256. При цьому для тарування використовувався динамометр RWDF 12, а для контролю розмірів отворів, що оброблюють нутромір з оптичним мікронним індикатором.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішені наступні задачі:

- виконано аналіз механізму формування похибок форми в подовжньому перетині на операціях хонінгування отворів;
- виконано математичне моделювання та аналіз механізму розмірного зносу за довжиною ріжучих елементів інструменту;
- створені нові, більш ефективні способи і технологічне оснащення для хонінгування глухих отворів;
- проведено експериментальне підтвердження основних теоретичних положень та ефективності розробленого способу хонінгування при якому дозована подача здійснюється в зоні дна отвору, що оброблюють.

Наукова новизна одержаних результатів. В дисертаційній роботі подальшого розвитку набула теорія керування точністю обробки глухих отворів за рахунок вдосконалення існуючих і створення нових механізмів нівелювання похибок обробки.

Вперше встановлені (на основі ефекту взаємної правки) закономірності формування профілів в поздовжніх перетинах робочої частини інструменту і глухих отворів, що хонінгують залежно від параметрів обробки, у тому числі, від виду і величини радіальної подачі, що дозволило визначити можливі технологічні механізми керування точністю обробки глухих отворів;

Отримала подальший розвиток теорія керування точністю обробки при хонінгуванні глухих отворів. Вперше запропоновано рішення, яке розширює технологічні можливості процесу хонінгування, сутність якого полягає в тому, що в процесі видалення припуску має місце керування нівелюванням геометричних похибок за рахунок:

- варіювання співвідношенням величин припуску, що видаляється при поступальному і зворотному переміщеннях, за час одного подвійного ходу;
- стабілізації розмірного зносу за довжиною ріжучих елементів за допомогою періодичної зміни їх орієнтації;
- введення незалежних компенсаційних переміщень, величина яких пропорційна різниці зносів ріжучих елементів за довжиною.

Вперше отримані, з використанням теорії узагальнених функцій, узагальнені рівняння зворотно-поступального переміщення виконавчих органів верстата з гідравлічним приводом, зміни радіальної складової сили різання i , на їх основі, рівняння зносу ріжучих елементів за їх довжиною за час одного подвійного ходу, яке може бути використане для вивчення впливу технологічних параметрів процесу обробки на величину геометричної похибки, що генерується;

Вперше отримана математична залежність для вибору та оптимізації конструктивних параметрів інструменту з метою забезпечення лінійної залежності величини осьового переміщення розтискного елемента і величини компенсаційного кута повороту ріжучих елементів;

Вперше встановлено, що величина, що дорівнює відношенню сумарної ширини ріжучих елементів до довжини окружності отвору, що оброблюють, для відомих операцій хонінгування є випадковою і підпорядковується закону нормального розподілу, що дозволяє теоретично обґрунтовано обирати число і ширину ріжучих елементів i , зокрема, за допомогою якого можливо теоретичне обґрунтування границь варіювання шириною трапецеїдальних брусків.

Практичне значення одержаних результатів. Практична цінність роботи полягає у створенні нових способів хонінгування глухих отворів в деталях, виготовлених з важкооброблюваних матеріалів, що дозволило розширити технологічні можливості процесу хонінгування i , особливо, істотно підвищити геометричну точність отворів у поздовжньому перерізі.

Розроблені способи можуть бути впроваджені в діючі технологічні процеси обробки отворів з незначною модернізацією існуючого технологічного обладнання.

Результати роботи можуть бути впроваджені при конструюванні нового покоління хонінгувальних верстатів, оснащених системами керування точністю обробки отворів.

Особистий внесок здобувача. Основні результати, які представлені до захисту отримані здобувачем самостійно. Постановка наукових завдань і

обговорення результатів проводилися разом з науковим керівником. У роботах опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать: дослідження параметрів відомої конструкції що включає можливість компенсаційного повороту ріжучих елементів в процесі видалення припуску та визначення можливостей її удосконалення [1]; вибір найбільш характерних операцій хонінгування отворів і статистична обробка параметрів цих операцій [2]; обґрунтування вибору показника степені в рівнянні для зворотно-поступального переміщення виконавчих органів верстатів, які оснащені гідроприводом [3, 7]; математичний вираз і алгоритм для визначення необхідного компенсаційного кута повороту ріжучих елементів [4]; встановлення закономірностей зміни профіля ріжучих елементів за їх довжиною при різних видах радіальної подачі [5]; пропозиція про ведення у процес розточування, наряду з круговими, стандартних різців з поділом припуску між ними за глибиною та подачею [6].

Апробація результатів дисертації. Наукові результати та основні положення дисертаційної роботи доводилися та обговорювалися на міжнародній конференції: XIV Міжнародна науково-технічна конференція АС ПП «Промислова гідравліка і пневматика». – (Одеса 2013).

За результатами досліджень отримані наступні охоронні документи: Патент UA №104785; Патент UA №103959; Патент UA №107816.

Публікації. За результатами досліджень опубліковано сім наукових праць, у тому числі 5 статей у фахових виданнях України (4 з яких входять до міжнародних наукометричних баз *РИНЦ*, *eLIBRARY*, *EBSCOHost*, *Google Scholar*, *Index Copernicus*, *Polish Scholarly Bibliography*, *Ulrich's Periodicals Directory*, *DOI CrossRef*), 1 тези доповіді у збірнику наукових праць конференції.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, додатків, та списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертаційної роботи складає 144 сторінки, з них 48 ілюстрацій, 87 найменувань використаних джерел на 8 сторінках, 5 додатків на 16 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведено загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність, наукову новизну, та практичне значення отриманих результатів, сформульовано мету та завдання дослідження. Наведено особистий внесок здобувача, та результати апробації дисертації.

У **першому розділі** «Сучасний стан проблеми підвищення точності хонінгування глухих отворів» виконано аналіз взаємозв'язку точності виготовлення глухих отворів з експлуатаційними характеристиками машин на прикладі аксіально-поршневого насоса за параметром забезпечення компресії пари поршень – циліндр. Показано, що з підвищенням точності виготовлення отвору на один квалітет і переході від посадки Н6 / f4 до посадки Н5 / g4 величина

витоків у парі зменшилася більш, ніж у 5 разів. Встановлено, що з ряду фінішних методів обробки, з метою підвищення точності обробки глухих отворів в поздовжньому перетині в деталях гідроагрегатів і їм подібних, виготовлених з важкооброблюваних матеріалів, найбільш технологічним та доцільним є хонінгування.

Розглянуті сучасні способи та технологічне оснащення для хонінгування глухих отворів і на базі їх аналізу виявлені та сформульовані напрямки удосконалення. Це:

- варіювання інтенсивністю і часом знімання припуску за довжиною отвору, що оброблюють;
- формування змінної розмірної зносостійкості за довжиною ріжучих елементів;
- введення компенсаційних переміщень ріжучих елементів відповідно з нерівномірністю їх розмірного зносу за довжиною.

На підставі цього сформульовані мета та завдання дослідження.

У другому розділі «Аналіз генерування похибки форми поздовжнього перерізу при обробці глухих отворів», розглянуті існуючі уявлення о формуванні похибок форми у поздовжньому перетині в залежності від параметрів налагодження верстата, зокрема, від величин перебігів, а також від способу реалізації радіальної подачі ріжучих елементів.

Відзначається що, при хонінгуванні наскрізних отворів з оптимальними величинами перебігів має місце формування поверхні у вигляді циліндра. У разі асиметрії перебігів має місце формування похибки конусоподібної форми. Якщо, величини перебігів більше, або менше за оптимальні, то має місце формування, відповідно, сідлоподібної, або бочкоподібної похибки форми.

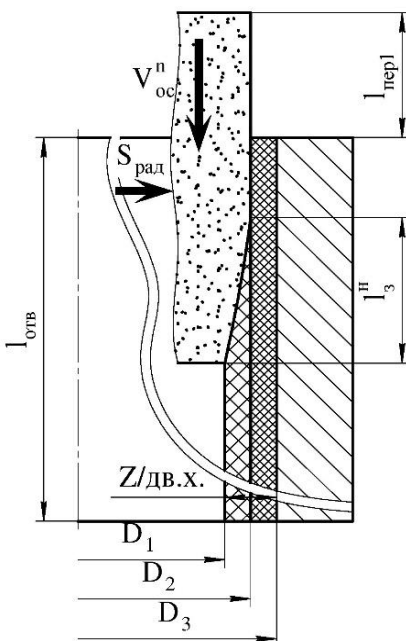
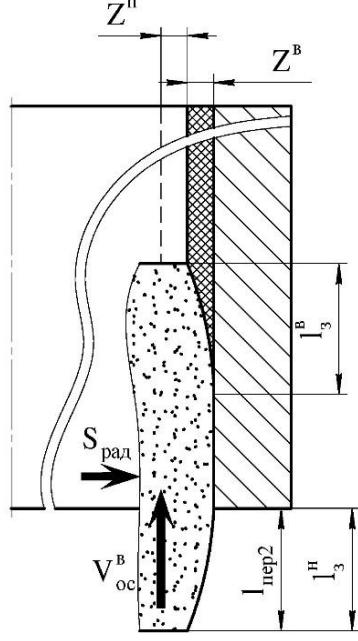
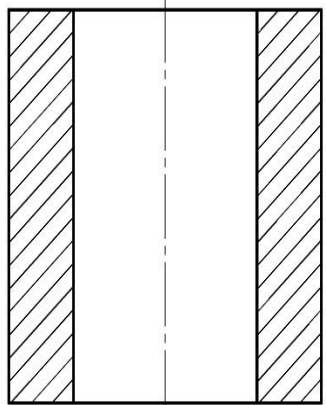
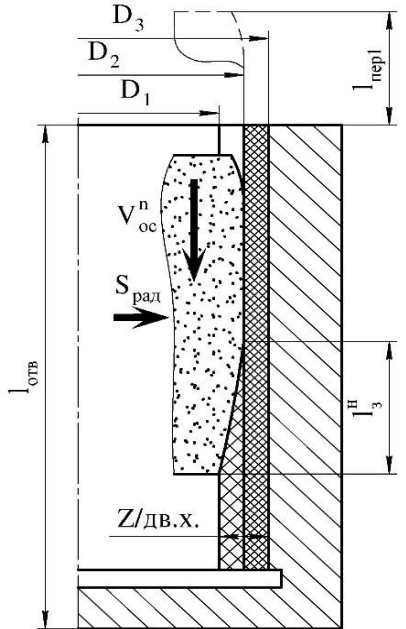
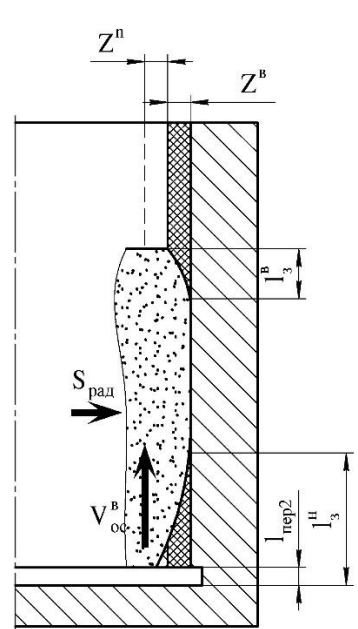
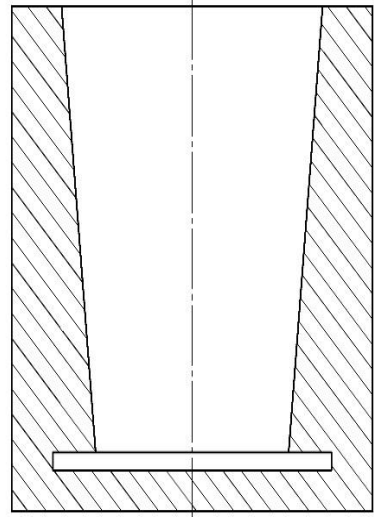
Також розглянуті існуючі уявлення о первинних причинах, що домінують при формуванні похибок форми. Показано, якщо домінуючою причиною вважати тільки перерозподіл контактних радіальних зусиль, то мають місце формування тільки сідлоподібні похибки форми. Це суперечить існуючим уявленням.

Якщо початковою домінуючою причиною вважати нерівномірність темпу зносу за довжиною ріжучих елементів, то, має місце формування поверхні у вигляді циліндра, а також бочкоподібна і сідлоподібна похибки форми. У цьому випадку відсутнє логічне протиріччя існуючим уявленням.

Таким чином, на цьому етапі розгляду, зроблено основоположний висновок про те, що форма похибки, що генерується визначається двома зустрічно спрямованими факторами, а саме: нерівномірністю зносу за довжиною ріжучих елементів і радіальною жорсткістю робочої частини інструменту, при чому, з цих двох факторів, істотно більш вагомим є фактор зносу. У зв'язку з цим

більш детально розглянута схема формування похибок в поздовжньому перерізі під час одного подвійного ходу (табл. 1).

Таблиця 1 – Схема формування похибок в поздовжньому перетині при хонінгуванні отворів

№	Схема зняття припуску при поступальному переміщенні	Схема зняття припуску при зворотньому переміщенні	Форма похибки, що генерується
1	2	3	4
При подачі за тиском			
1			
2			

1	2	3	4
При дискретній дозованій подачі			
3			
4			
5			

З таблиці 1 видно, що при хонінгуванні глухих отворів з дозованою дискретною радіальною подачею також присутній механізм генерування похибки конусоподібної форми. Але в цьому випадку, швидкість генерування цієї похибки буде істотно вище у зв'язку з тим, що має місце сумування похибок, обумовлених як асиметрією величин перебігів, так і асиметрією величин припусків, що видаляють. (табл. 1 рядок 5). Очевидно, що при кожному наступному подвійному ході зазначена похибка буде зростати.

Таким чином, на робочій частині інструмента буде формуватися зростаюча при обробці однієї деталі і, далі, від деталі до деталі (накопичувальна) геометрична похибка конусоподібної форми, яка зумовить генерування аналогічної накопичувальної похибки в отворах деталей, що хонінгують.

Проведений аналіз формування похибки вказує на те, що має місце необхідність пошуку можливостей забезпечення рівномірності зносу ріжучих елементів за їх довжиною.

У третьому розділі «Моделювання процесу зносу за довжиною ріжучої частини інструменту при обробці глухих отворів» розроблена математична модель для визначення зносу U за довжиною ріжучих елементів.

$$U = \eta \cdot A = \eta \cdot \int_0^{t_u} P \cdot V dt = \eta \cdot \int_0^{t_u} \left\{ P_{\text{рад.н}}^{cp} \left[1 + (\cos \omega_1 t_1)^m \right] \cdot \left[1 + k \cdot (\sin \omega_1 t_1)^m \right] \cdot \sqrt{f_o^2 + f_{o\delta}^2} \right\} \cdot \left\{ \sqrt{\left(V_{\text{з.н.}}^{\text{табл.}} \right)^2 \cdot \left(\sin \frac{4\pi \cdot V_{\text{з.н.}}^{\text{табл.}} \cdot t}{4 \cdot (l_x) + V_{\text{з.н.}}^{\text{табл.}} \cdot t_r} \right)^{2m}} + V_{o\delta}^2 \right\} dt \quad (1)$$

де: η – коефіцієнт пропорційності; A – робота, що здійснюються елементарною ділянкою за довжиною ріжучого елемента; P – значення сили різання в напрямку переміщення ріжучих зерен; V – швидкість різання; $t_1 = t - \frac{t_u}{2}$, де t – поточний час;

$t_{\text{ц}}$ – період часу одного подвійного ходу інструмента; k – коефіцієнт, $k = A_1 \mp A_2$, де A_1 – величина, що враховує перерозподіл сил між фронтальною та тильною частинами за довжиною ріжучих елементів в залежності від напрямку їх руху; A_2 – величина, що враховує зміну сил в залежності від зміни величин припуску, що видаляють при поступальному і зворотному переміщеннях при дозованій дискретній подачі; $m = \frac{1}{2n-1}$, де n – ціле число; $\omega_1 = \omega \cdot c(x(t)) = \left(\frac{\omega}{2} \right) \frac{l_x}{l_\delta - l_\delta + l_2 + x(t)}$

де l_x – амплітуда зворотно-поступального переміщення інструмента відносно деталі, $l_x = l_\delta - l_\delta + l_1 + l_2$, де l_δ і l_δ – відповідно довжини отвору, що хонінгують і ріжучих елементів (брусків); l_1 і l_2 – відповідно довжина верхнього та нижнього перебігів інструменту; x – координата за довжиною ріжучих елементів;

$\omega = \frac{4\pi \cdot V_{\text{з.н.}}^{\text{табл.}}}{4 \cdot l_x + V_{\text{з.н.}}^{\text{табл.}} \cdot t_r}$, де $V_{\text{з.н.}}^{\text{табл.}}$ – таблична швидкість зворотно-поступального переміщення; f_o і $f_{o\delta}$ – коефіцієнти тертя-дряпання в осьовому і окружному

(тангенціальному) напрямках $P_{рад.н.}^{cp} = \frac{P_p}{B \cdot z \cdot l_0^k} = \frac{P_p}{B \cdot z \cdot (l_0^k - l_{пер} + x)} = P(S_{рад})$, где P_p и

$P(S_{рад})$ – відповідно зусилля притиску ріжучого елемента до поверхні, що оброблюють ($P - const$) і питоме зусилля, яке визначається швидкістю радіальної подачі; B – ширина ріжучих елементів; z – число ріжучих елементів; l_0^k і $l_{пер}$ відповідно поточне значення довжини контакту ріжучих елементів з поверхнею, що оброблюють і величина перебігів, відповідних часу контактування елементарних ділянок за довжиною ріжучих елементів за один подвійний хід; $V_{ер}$ – окружна швидкість інструмента відносно деталі (тут $V_{ер} - const$).

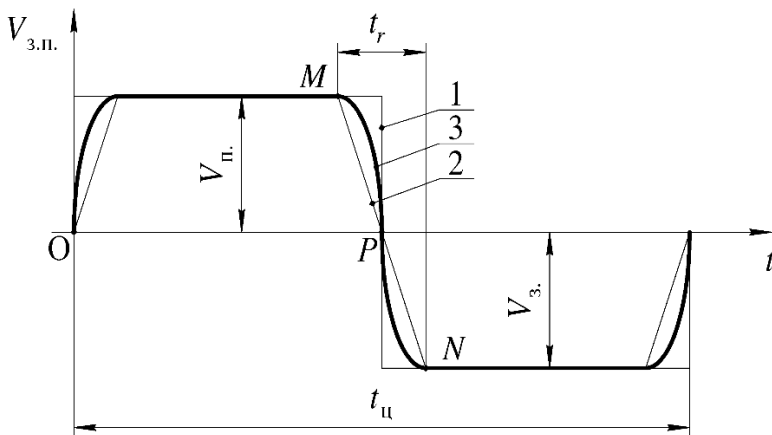


Рисунок 1 – Графік швидкості зворотно-поступального переміщення: 1 без урахування часу реверсу; 2 з урахуванням часу реверсу і за умови стрибкоподібної зміни швидкості; 3 з урахуванням часу реверсу і за умови плавної зміни швидкості

При написанні виразів для V і P , що входять в (1), використовувалася методологія теорії узагальнених функцій. На рис. 1 представлені графіки зміни швидкості зворотно-поступального переміщення, реалізованого гідравлічним приводом: 1 і 2 – відомі в технічній літературі і 3 – шуканий уточнений графік. Графік 3 отриманий з умови рівності площі під цим графіком і усередненої площі

під графіками 1 і 2.

Рівняння графіка 3 і результуючої швидкості різання запишуться т. ч.

$$V_{зн.} = V_{зн.}^{табл.} \cdot \left(\sin \frac{4\pi \cdot V_{зн.}^{табл.} \cdot t}{4 \cdot l_x + V_{зн.}^{табл.} \cdot t_r} \right)^m \quad (2)$$

$$V = \sqrt{\left(V_{зн.}^{табл.} \right)^2 \cdot \left(\sin \frac{4\pi \cdot V_{зн.}^{табл.} \cdot t}{4 \cdot l_x + V_{зн.}^{табл.} \cdot t_r} \right)^{2m} + V_{об.}^2} \quad (3)$$

Тут, з урахуванням $t_{ц}$ і t_r визначено значення величини n , що входить до m рівнянь (2) і (3) яке забезпечує обумовлену вище рівність площ ($n = 300$).

На рис. 2 наведені схема контактування оброблюваного виробу та ріжучих елементів, і графіки зміни радіальної сили різання P_p за довжиною останніх.

Шукані рівняння для сили P_p і результуючої сили P , визначальною роботу сил різання, запишуться так, $P_p = P_{рад.н.}^{cp} [1 + (\cos \omega_1 t_1)^m] \cdot [1 + k \cdot (\sin \omega_1 t_1)^m]$ (4)

$$P = P_{рад.н.}^{cp} [1 + (\cos \omega_1 t_1)^m] \cdot [1 + k \cdot (\sin \omega_1 t_1)^m] \cdot \sqrt{f_o^2 + f_{об}^2} \quad (5)$$

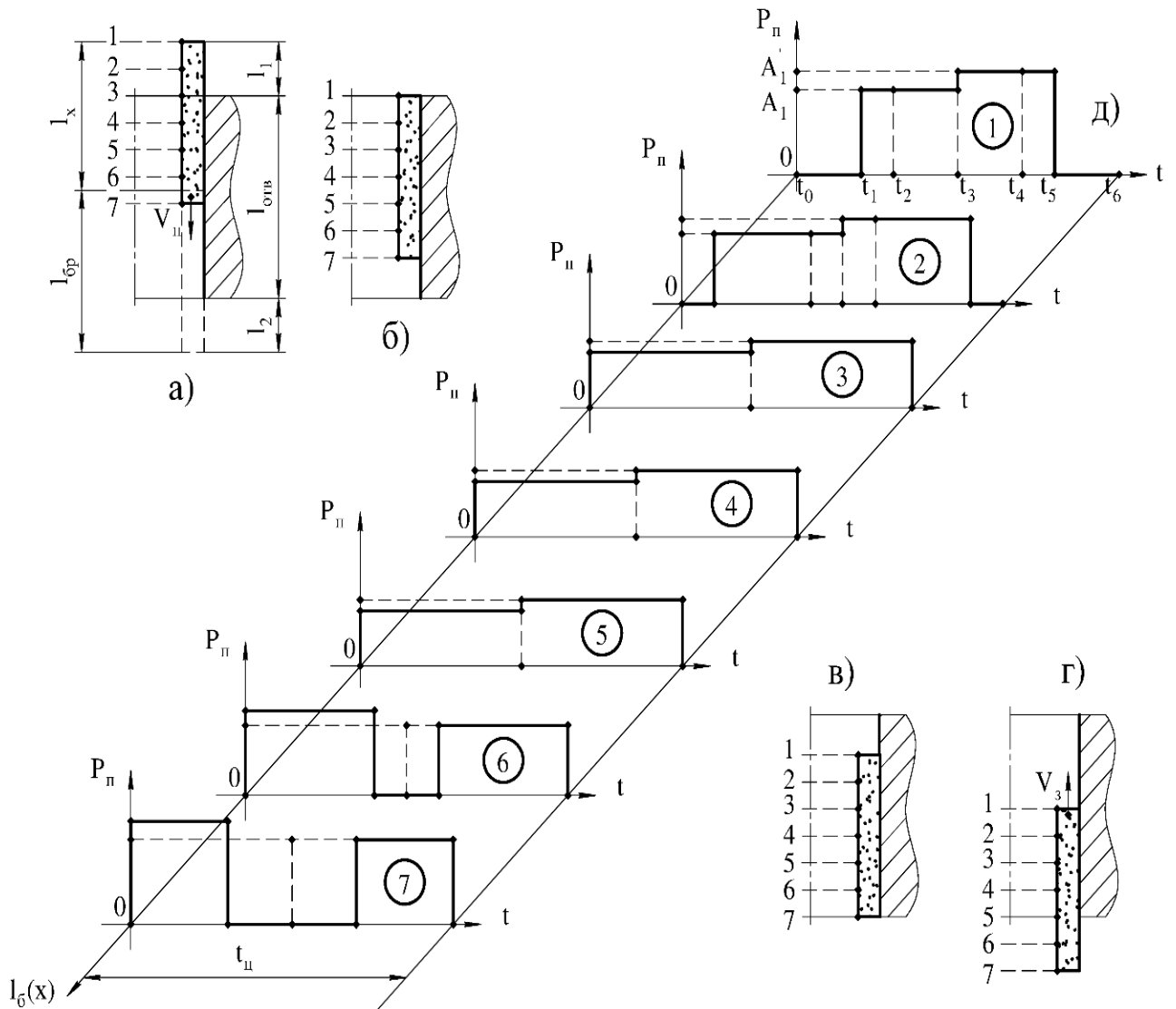


Рисунок 2 – Графіки зміни радіального зусилля різання у фіксованих і рівновіддалених один від одного за довжиною ріжучого елемента точках (д) і схеми взаємного розташування (контактування) ріжучого елемента і поверхні, що оброблюють за час одного подвійного ходу (а, б, в і г).

Рівняння (1) встановлює залежність характеру зносу за довжиною ріжучих елементів в залежності від налагоджувальних і кінематичних параметрів обробки, а також конструктивних параметрів отвору, що оброблюють та інструменту. У роботі за допомогою розробленої моделі (1) встановлено характер зносу ріжучих елементів при варіюванні величинами перебігів, довжиною ріжучих елементів при обробці наскрізних і глухих отворів при подачі за тиском і дозований дискретній радіальній подачі. Тут на рис. 3 представлено зміна характеру зносу за довжиною ріжучих елементів при зміні l_6 від $l_6 = 0,8 l_0$ до $l_6 = 1,1 l_0$. Розрахункові дані для графіків на рис. 3 визначалися при умовах, прийнятих для операції хонінгування деталі гідроапаратури, а саме «клапанної коробки» (СЧ 21 – 40): $D = 31\text{мм}$; $l_d = 50\text{мм}$; $p_n = 3,5 \text{ кг/см}^2$; бруски $6 \times 4 \times 1 \times 40$ АСМ40 М1 –100; $z = 6$; $V_{зп} = 13,2 \text{ м/хв}$; $V_o = 30,2 \text{ м/хв}$. Коефіцієнти $f_o = 0,36$ та $f_{об} = 0,58$, $A_1 = A_2 = 0,5 \cdot P_{padn}^{cp}$ $p_n = 6 \text{ кг/см}^2$.

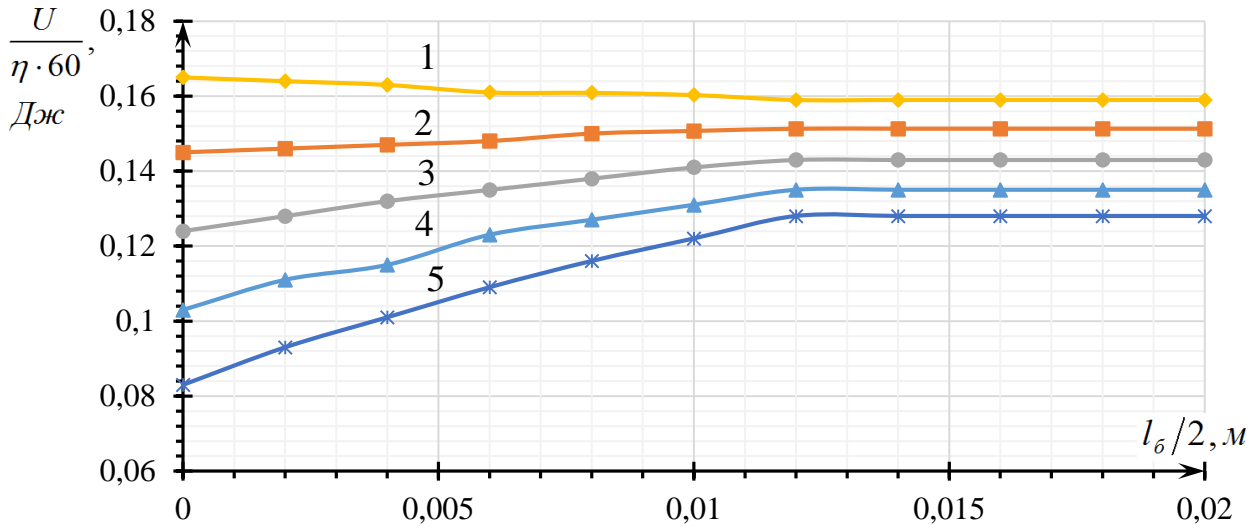


Рисунок 3 – Умовні графіки зносу ріжучих елементів за довжиною при наступних параметрах: $l_d = 50$ мм; $l_6 = 35, 40, 45, 50, 55$ відповідно для кривих 1, 2, 3, 4, 5; $l_1 = l_2 = 1/3 l_6$

З рис.3 видно, що мінімальна різниця зносу за довжиною ріжучих елементів знаходиться між кривими 1 і 2, тобто при довжині бруска 35 – 40 мм. При цьому, перебіги $l_1 = l_2 = 1/3 l_6$ близькі до оптимальних, для решти кривих це співвідношення не оптимальне. Звідси випливає теоретичний висновок про те, що оптимальні значення параметрів, які наведені в технічній літературі, наприклад, $l_{op} = (1,2 \div 0,8)l_{ome}$; $l_{nep} = \left(\frac{1}{3} \div \frac{3}{4}\right)l_{op} = opt$ та ін., є умовними і взаємозалежними і в кожному конкретному випадку вимагають уточнення.

У четвертому розділі «Розробка нових способів хонінгування» на основі аналізу ефективності існуючих способів, виявлення їх недоліків і усунення останніх, розроблено ряд більш ефективних способів та інструментів для їх реалізації.

Перший з цих способів ґрунтується на формуванні робочої частини інструмента циліндричної форми за допомогою варіювання співвідношенням величин припусків, що видаляють при прямому і зворотному переміщенні інструмента відносно деталі.

З таблиці 1 (рядок 5) випливає, що при поступальному переміщенні ріжучих елементів віддаляється істотно більша частина припуску ніж при зворотному і, відповідно, при хонінгуванні глухих отворів, формується похибка конусоподібної форми.

Виходячи з цього, розроблено новий спосіб хонінгування, в якому змінений цикл обробки, а саме: дозована радіальна подача здійснюється в момент реверсу зворотно-поступального переміщення в зоні дна отвору, що оброблюють [8].

Реалізація дозованої подачі в зоні дна отвору, що оброблюють в порівнянні з відомою схемою хонінгування, коли дозована подача реалізується в

зоні, протилежної дну отвору, що оброблюють, дзеркально змінює інтенсивність зносу фронтальних частин. А саме, при зворотному переміщенні інструменту має місце більш інтенсивне видалення припуску і, відповідно, більш інтенсивний знос відповідної (верхньої) фронтальної частини ріжучих елементів по відношенню до зносу нижньої фронтальної частини ріжучого елемента за час поступального переміщення. При цьому, за час перебігу (реалізованого тільки в зоні протилежного дну отвору, що оброблюють) знос верхньої частини ріжучих елементів відсутній, що компенсує підвищений попередній знос.

Таким чином нівелюються величини зносу верхньої та нижньої фронтальних частин що відповідно забезпечує більш високу точність обробки глухих отворів.

Спосіб можна реалізувати на відомих верстатах, за рахунок відповідної незначної модернізації системи керування верстата. Наприклад, досить зв'язати команду на дозований розтиск ріжучих елементів з моментом реверсу в зоні дна отвору, що оброблюють.

Експериментальне дослідження ефективності розробленого способу виконано на кафедрі – Технологія машинобудування Одеського національно політехнічного університету на хонінгувальному верстаті моделі 3822 оснащеному тензометричним столом із застосуванням модуля обробки тензометричної інформації на базі блоку АЦП моделі ADS1256. При цьому для тарування використовувався динамометр RWDF 12, а для контролю розмірів оброблюваних отворів нутромір з оптичним мікронним індикатором.

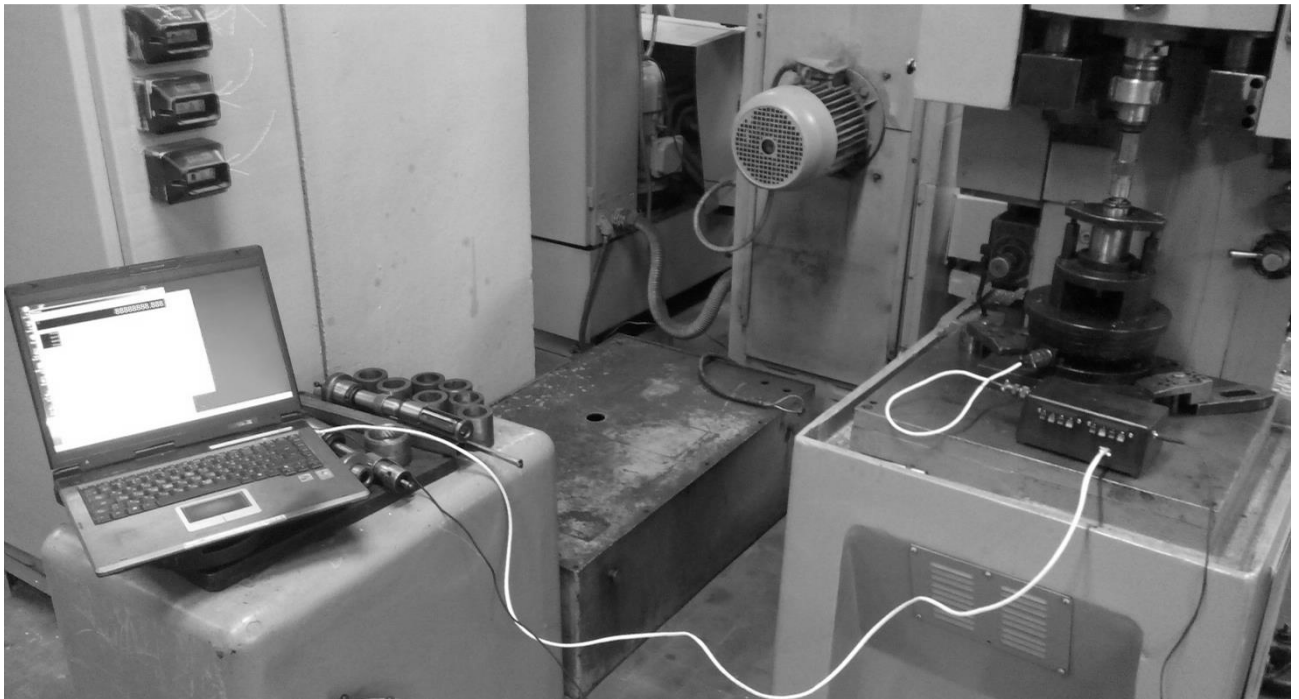


Рисунок 4 – Експериментальний стенд

Дослідження проводилися на експериментальних зразках зі сталі 40Х, твердістю 42 – 45 ед. по НRC за схемою з плаваючою хонінгувальною головкою,

оснащеною комплектом з чотирьох брусків 5 x 4 x 50 x 2 марки ріжучого матеріалу АСП6 зв'язкою М1 та концентрацією 100%. Довжина і діаметр отвору, що хонінгують, відповідно 70 мм и 40 мм. Режими різання: $V_{об} = 45$ м/хв; $V_{з.п.} = 12$ м/хв; $s_p = 0,5$ мкм/дв.хід.

Методика проведення експерименту містить обробку трьох партій деталей по 10 шт. в кожній партії. Перша партія оброблювалась з рівними величинами перебігів $l_1 = l_2 = 18$ мм. Друга партія оброблювалась з величинами перебігів $l_1 = 18$ мм, $l_2 = 2$ мм (імітація процесу хонінгування глухого отвору з дозованою дискретною радіальною подачею, реалізованою в зоні протилежній дну отвору, що оброблюють). Третя партія оброблювалась з величинами перебігів $l_1 = 0$ мм, $l_2 = 18$ мм (імітація процесу хонінгування глухого отвору з дозованою дискретною радіальною подачею, реалізованою в зоні дна оброблюваного отвору). Кожна деталь піддавалася п'ятдесяти кратному хонінгуванню по 30 с. в кожному циклі. Після кожного циклу бруски і поверхня отвору змащувалися індустриальним маслом 20. Після обробки кожної партії деталі відновлювалась форма хонінгувальної головки методом взаємної правки на контрольній партії деталей з варіюванням перебігів таким чином, щоб ліквідувати конусоподібну похибку форми інструменту до величини 2 – 3 мкм. Вимірювалась різниця діаметрів (конусність) наприкінці обробки. За даними замірів в кожній партії визначалося середнє значення величини конусоподібної похибки. Результати експериментів представлені в табл. 2.

Таблиця 2 – Величина конусоподібної похибки при різних параметрах процесу хонінгування

	Вид радіальної подачі		
	За тиском	Дискретна дозована	
Значення величини перебігів, мм	$l_1 = l_2 = 18$	$l_1 = 18; l_2 = 2$	$l_1 = 0, l_2 = 18$
Величина конусоподібної похибки, мкм	9	34	4

Дані таблиці 2 наочно підтверджують ефективність процесу хонінгування по точності обробки при застосуванні розробленого способу.

Далі у роботі виконано аналіз способу, при якому штучно уповільнюють темп зносу нижньої робочої частини інструменту (у зоні дна отвору, що оброблюють), за рахунок збільшення числа ріжучих зерен і, тим самим, підвищують геометричну точність обробки глухих отворів. Одним з варіантів реалізації цього способу є застосування брусків трапецеїдальної форми, яка характеризується величиною $\varepsilon = B_1/B$, де B_1 и B відповідно ширина основ трапеції. Рекомендується приймати $\varepsilon = 0,4 \div 0,5$. Недоліком цього способу є те, що

при збільшенні числа ріжучих зерен зменшується товщина стружки, що видаляють кожним з ріжучих зерен, тобто порушується умова $a_z/\rho > (0,2 \dots 0,3)$, де a_z – товщина стружки, що видаляють; ρ – радіус округлення вершини зерна. При цьому зерна з режиму мікрорізання переходять в режим дряпання і пластичного деформування, що істотно знижує ефективність видалення припуску.

Крім того, посилюється ефект екранізації фронтально рухливими ріжучими зернами, тильних зерен, які рухаються слідом. Тобто порушується умова $B_z = (0,25 \div 0,35)\pi d_{\text{отв}}$. У роботі виконано статистичний аналіз щодо вибору величини B_z для досить великої кількості найбільш характерних операцій хонінгування отворів у сталевих і чавунних деталях. Встановлено, що розподіл цих величин підкоряються закону Гауса, а поле розсіювання не перевищує зазначені вище межі. Якщо прийняти $\varepsilon = 0,4 \div 0,5$, то величина B_{1z} буде істотно виходити за вказані вище межі, що також підтверджує висновок про зниження ефективності видалення стружки.

Виходячи з викладеного, запропоновано спосіб хонінгування, при якому бруски виконані по довжині з постійною шириною, а змінна зносостійкість за довжиною забезпечується перемінними фізико-механічними властивостями.

Зокрема, на рис. 4 схематично представлені варіанти конструкції ріжучого елемента, алмазозносний шар якого складається з двох частин, які відрізняються фізико-механічними властивостями, а саме, міцністю алмазних зерен або, що теж саме марками алмазів: у верхній частині – високоміцні алмази

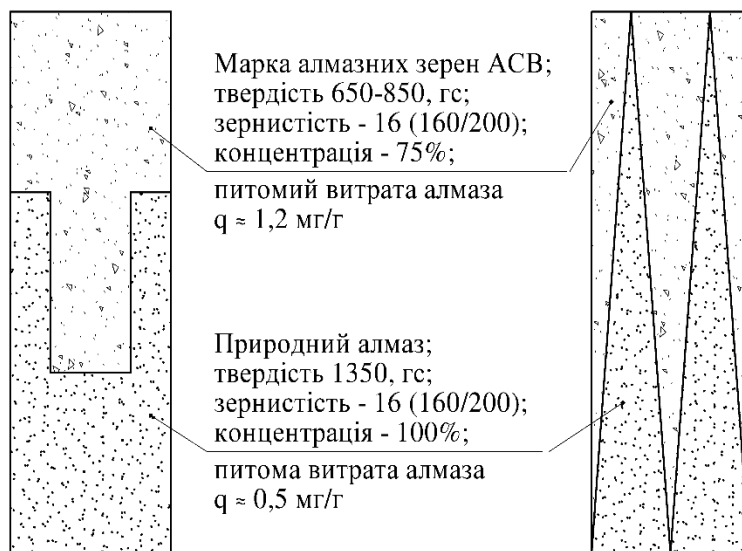


Рисунок 4 – Варіанти конструкції складеного ріжучого елемента із змінною зносостійкістю за довжиною

марки АСВ (питома витрата – $q_1 \approx 1,2$ мг/г), в нижній частині – природні алмази (питома витрата – $q_2 \approx 0,5$ мг/г).

Величина питомих витрат отримані при хонінгуванні гільз циліндрів двигунів Д50 із загартованого чавуну.

Така конструкція інструменту в якій ріжучі елементи виконані зі змінними по їх довжині властивостями по зносостійкості (за аналогією з ріжучими елементами зі змінною концентрацією алмазних зерен, або трапецеїдальної форми), забезпечить відповідне нівелювання темпу розмірного зносу за довжиною ріжучих елементів.

Діапазон зміни твердості природних і синтетичних алмазів змінюється, залежно від марки і зернистості від 130 до 2452 гс. Отже, в досить широкому діапазоні експериментально можна підібрати таке співвідношення твердості верхньої і нижньої частин бруска, яке забезпечило б необхідну точність форми оброблюваних глухих отворів.

При цьому, оскільки число ріжучих зерен за довжиною ріжучих елементів незмінно (зернистість і концентрація у верхній і нижній частині однакові), то і умови зняття припуску за довжиною ріжучих елементів, також будуть однаковими ($a_z/\rho - const$).

Таким чином, запропонований спосіб обробки, що включає використання ріжучих елементів зі змінними фізико-механічними властивостями по їх довжині, з одного боку, забезпечить при обробці глухих отворів компенсацію похибки конусоподібної форми, яка генерується кінематикою і, з іншого боку, можливість обробки за забезпеченням $a_z/\rho - const$.

Змінюючи ж сумарну ширину брусків можна забезпечити оптимальне значення величини a_z/ρ .

Наступний спосіб хонінгування глухих отворів [10] включає періодичні зміни орієнтації ріжучих елементів в поздовжньому перетині, що виключає накопичувальний характер нерівномірності розмірного зносу ріжучих елементів за їх довжиною.

Період переустановлення ріжучих елементів можна здійснювати після кожної деталі, або після обробки партії деталей, величина якої регламентується різницею темпу радіального розмірного зносу алмазоносних елементів за довжиною і допуском на геометричну похибку за довжиною отвору, що хонінгують.

У роботі представлено декілька варіантів конструкцій інструменту для реалізації способу в широкому діапазоні конструктивних параметрів оброблюваних отворів.

У даному розділі представлений ще один спосіб [9], суть якого полягає в тому, що під час хонінгування здійснюють компенсаційний поворот ріжучих елементів. Величину кутового повороту обирають із співвідношення

$$\varphi = \arctg(\Delta_2 - \Delta_1)/l, \quad (6)$$

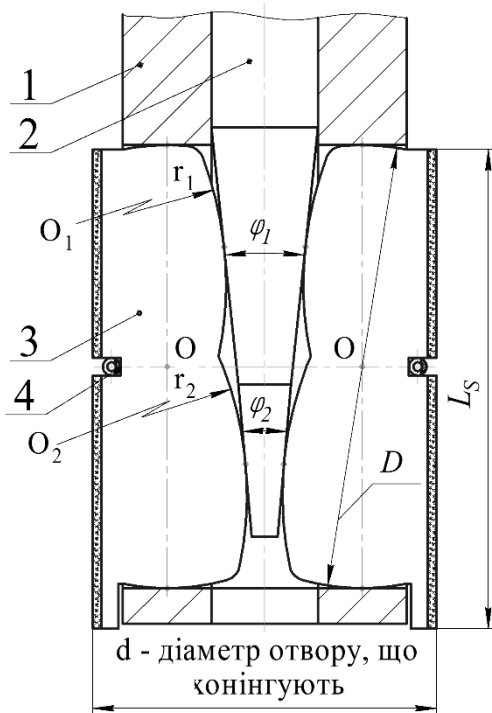


Рисунок 5 – Схема конструкції інструмента з подвійним конусом розтиску і з рухомими осями повороту ріжучих елементів

де l – довжина ріжучих елементів; Δ_2 і Δ_1 відповідно величини середніх радіальних зносів по краях ріжучих елементів в поздовжньому напрямку.

Інструмент для реалізації цього способу представлений на рис. 5.

У роботі для конструкції (рис. 5) отримано математичне співвідношення для вибору та оптимізації конструктивних параметрів інструменту з метою забезпечення лінійної залежності величини осьового переміщення розтискного елемента і величини компенсаційного кута повороту ріжучих елементів.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-технічна задача забезпечення ефективності обробки високоточних глухих отворів на основі аналізу механізму генерування похибок форми в подовжньому перетині і створення нових та удосконалення існуючих способів хонінгування отворів, та технологічного оснащення.

1. Запропоновано і обґрунтовано новий спосіб хонінгування глухих отворів, в якому змінений цикл обробки, а саме дозована радіальна подача здійснюється в момент реверсу зворотно-поступального переміщення в зоні дна отвору, що оброблюють, що істотно підвищує точність обробки за рахунок дзеркальної зміни знаку інтенсивності зносу фронтальних частин ріжучих елементів (патент №103959).

2. Запропоновано і обґрунтовано новий спосіб хонінгування глухих отворів при якому бруски виконані по довжині з постійною шириною, а змінна зносостійкість за довжиною забезпечується перемінними фізико-механічними властивостями, що забезпечує рівномірність темпу зносу за довжиною ріжучих елементів, що в свою чергу, підвищує точність обробки.

3. Запропоновано і обґрунтовано новий спосіб хонінгування глухих отворів при якому мають місце періодичні зміни орієнтації ріжучих елементів в поздовжньому перетині, що виключає накопичувальний характер нерівномірності розмірного зносу ріжучих елементів за їх довжиною, що відповідно виключає накопичувальний характер генерування конусоподібної похибки форми отвору, що оброблюють (патент №107816).

4. Запропоновано і обґрунтовано новий спосіб хонінгування глухих отворів суть якого полягає в тому, що під час хонінгування здійснюють додатковий, незалежний компенсаційний поворот ріжучих елементів величина якого обирається таким чином, що має місце циліндрична форма робочої частини інструменту під час всього циклу обробки, що в свою чергу забезпечує точність обробки (патент №104785).

5. Отримано рівняння яке встановлює залежність характеру зносу за довжиною ріжучих елементів в залежності від налагоджувальних і кінематичних

параметрів обробки, а також конструктивних параметрів інструменту та отвору, що оброблюють.

6. Отримано математичну залежність для вибору та оптимізації конструктивних параметрів інструменту в якій містить поворотні ріжучі елементи та можливість їх повороту відповідно з нерівномірністю розмірного зносу по довжині з метою забезпечення лінійної залежності величини осьового переміщення розтискного елемента і величини компенсаційного кута повороту ріжучих елементів.

7. Встановлено, що у межах границі варіювання шириною ріжучих елементів, величина, що дорівнює відношенню сумарної ширини ріжучих елементів до довжини окружності отвору, що оброблюють, для відомих операцій хонінгування є випадковою і підпорядковується закону нормального розподілу, що дозволяє теоретично обґрунтовано обирати число і ширину ріжучих елементів і, зокрема, за допомогою якого можливо теоретичне обґрунтування границь варіювання шириною трапецеїдальних брусків.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Фахові видання

1. Буюкли И.М. Точность при хонинговании глухих отверстий / И.М. Буюкли, В.М. Колесник // Праці Одеського політехнічного університету, Одеса, 2013. – Вип.2(41). – С. 83 – 88.

2. Буюкли И.М. Точность формы в продольном сечении при хонинговании глухих отверстий / И.М. Буюкли, В.М. Колесник // Праці Одеського політехнічного університету, Одеса, 2013. – Вип.3(42). – С. 49 – 54.

3. Буюкли И.М. Кинематические зависимости процесса хонингования отверстий / И.М. Буюкли, В.М. Колесник // Промислова гідравліка і пневматика, всеукраїнський науково-технічний журнал, Вінниця: Глобус-прес, 2013. – Вип.4(42). – С. 79 – 82.

4. Буюкли И.М. Разработка нового способа и инструмента для хонингования глухих отверстий / И.М. Буюкли, В.М. Колесник // Наукові нотатки Луцького національного технічного університету – Луцьк, 2014. – Вып. 44 – С. 28 – 32.

5. Буюкли И.М. Повышение точности хонингования отверстий / И.М. Буюкли, В.М. Колесник // Праці Одеського політехнічного університету, Одеса, 2015. – Вип.1(45). – С. 34 – 43.

Наукові праці не в фахових виданнях

6. Буюкли И.М. Способ комбинированной обработки точных отверстий больших диаметров и длин в деталях из труднообрабатываемых материалов / И.М. Буюкли, В.Д. Иоргачев, В.М. Колесник // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві. Вип. 1(2). – О.: АО Бахлава, 2013. – С. 81 – 88.

Матеріали і тези конференцій

7. Буюкли И.М. Кинематические зависимости процесса хонингования отверстий / И.М. Буюкли, В.М. Колесник // XIV Міжнародна науково-технічна конференція АС ПГП «Промислова гідравліка і пневматика». – Одеса 18-19 вересня 2013 р., матеріали конференції. – Вінниця «ГЛОБУС-ПРЕС», 2013 – 144с. – С. 79 – 82.

Охоронні документи

8. Патент 103959 Україна, МПК (2014.01) В24В 33/00. Спосіб хонінгування глухих отворів / І.М Буюклі, В.М. Колеснік, П.А. Лінчевський; – № а2012 07674; заявл. 10.12.2013; опубл. відомостей про заявку 25.01.2013, Бюл. №2; публ. відомостей про видачу патенту 10.12.2013, Бюл. №2.

9. Патент 104785 Україна, МПК (2013.01) В24В 33/00. Спосіб хонінгування глухих отворів і інструмент для його здійснення/ І.М Буюклі, В.М. Колеснік, П.А. Лінчевський; – № а2012 07667; заявл. 11.03.2014; опубл. відомостей про заявку 25.01.2013, Бюл. №2; публ. відомостей про видачу патенту 11.03.2014, Бюл. №5.

10. Патент 107816 Україна, МПК (2015.01) В24В 33/00. Спосіб хонінгування глухих отворів і інструмент для його реалізації/ І.М Буюклі, В.М. Колеснік, П.А. Лінчевський; – № а2012 07669; заявл. 25.02.2015; опубл. відомостей про заявку 25.01.2013, Бюл. №2; публ. відомостей про видачу патенту 25.02.2015, Бюл. №4.

ABSTRACT

Kolesnik V.M. Increasing the effectiveness and accuracy of the blind holes honing process. – Manuscript.

Thesis seeking the degree of the Ph.D. in Engineering, specialty 05.02.08 – Mechanical Engineering Technologies. – Odessa National Polytechnic University, Odessa, 2015.

The dissertation research is devoted to solving an urgent problem of mechanical engineering technology: the blind holes machining precision increase by improving the existing and creating some new techniques of blind holes' honing at pieces produced of hard materials, that will expand the honing technological applicability area and significantly increase the holes' geometric accuracy in the longitudinal section.

Considered are the mechanisms and dominant causes of error's formation in the longitudinal section when holes honing processing. The analytical study of the mechanism and causes of error formation provided data to create and simulate a mathematical model that determines the tool wear character over the cutting elements' length, depending on the tool's and the processed hole's adjustment and kinematic processing parameters as well as their design parameters. Elaborated are several new techniques of blind holes' honing that provide an increased processing due to the: creation of conditions under which the wear rate over the cutting elements' length is causing the auto-formation of the working tool cylindricality; change of the error-generating vector direction (mutually longitudinal orientation of the tool and the workpiece) with consideration to the effect of mutual contact changes in pair "tool – workpiece" and the cutting elements' compensating rotation during processing introduction. Experimentally proved is the method of blind holes' honing that includes the tolerated chips removal process redistribution when forward and return tool movement.

Research object represents the technological operations and equipment used at the diamond machine parts' blind holes precision honing.

Research subject embraces both theoretical and experimental study of the blind holes' honing precision increase conditions on the basis of the revealed principles of errors' formation in the longitudinal section and consecutive creation of new compensatory mechanisms.

Keywords: blind hole honing, shape precision, efficiency, mutual adjustment.

АНОТАЦІЯ

Колеснік В.М. Підвищення ефективності і точності процесу хонінгування глухих отворів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05. 02. 08 – технологія машинобудування. – Одеський національний політехнічний університет, Одеса, 2015.

Дисертація присвячена розв'язанню актуальної задачі технології машинобудування – підвищення точності обробки глухих отворів за рахунок вдосконалення існуючих і створення нових способів хонінгування глухих отворів в деталях, виготовлених з важкооброблюваних матеріалів, що дозволило розширити технологічні можливості процесу хонінгування і, особливо, істотно підвищити геометричну точність отворів у поздовжньому перерізі. Розглянуто механізми і домінуючі причини формування похибок в поздовжньому перетині при обробці отворів хонінгуванням. На підставі аналізу механізму та причин формування похибок створена імітаційна математична модель, яка визначає характер зносу за довжиною ріжучих елементів залежно від налагоджувальних і кінематичних параметрів обробки, а також конструктивних параметрів

інструменту та отвору, що оброблюють. Розроблено ряд нових способів хонінгування глухих отворів в яких підвищення точності обробки здійснюється за рахунок: створення умов, за яких темп зносу за довжиною ріжучих елементів обумовлював би само формування циліндричної форми робочої частини інструменту; зміни напрямку вектору генерування похибки (напрямки взаємної поздовжньої орієнтації інструмента і деталі) з урахуванням ефекту взаємної правки в контакті інструмент – деталь і введення компенсаційного повороту ріжучих елементів в процесі обробки. Експериментально апробовано спосіб хонінгування глухих отворів, що включає перерозподіл припусків, що видаляють при поступальному і зворотному переміщеннях.

Об'єктом дослідження є технологічні операції та технологічне оснащення алмазного хонінгування високоточних глухих отворів деталей машин.

Предметом дослідження є теоретичне та експериментальне дослідження умов підвищення точності процесу алмазного хонінгування глухих отворів на основі виявлення закономірностей формування похибок в поздовжньому перетині і створення нових компенсаційних механізмів.

Ключові слова: глухий отвір, хонінгування, точність форми, ефективність, взаємна правка.

АННОТАЦІЯ

Колесник В.М. Повышение эффективности и точности процесса хонингования глухих отверстий. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05. 02. 08 – технология машиностроения. – Одесский национальный политехнический университет, Одесса, 2015.

Диссертация посвящена решению актуальной задачи технологии машиностроения – повышению точности обработки глухих отверстий за счет совершенствования существующих и создания новых способов хонингования глухих отверстий в деталях, изготовленных из труднообрабатываемых материалов, что позволило расширить технологические возможности процесса хонингования и существенно повысить геометрическую точность отверстий в продольном сечении. Рассмотрены механизмы и доминирующие причины формирования погрешностей в продольном сечении при обработке отверстий хонингованием. На основании анализа механизма и причин формирования погрешностей создана имитационная математическая модель, которая определяет характер износа по длине режущих элементов в зависимости от наладочных и кинематических параметров обработки, а также конструктивных параметров инструмента и обрабатываемого отверстия. Разработан ряд новых способов хонингования глухих отверстий в которых повышение точности

обработки осуществляется за счет: создания условий, при которых темп износа по длине режущих элементов обуславливал бы самоформирование цилиндричности рабочей части инструмента; изменения направления вектора генерирования погрешности (направления взаимной продольной ориентации инструмента и детали) с учетом эффекта взаимной правки в контакте инструмент – деталь и введения компенсационного поворота режущих элементов в процессе обработки. Экспериментально апробирован способ хонингования глухих отверстий, включающий перераспределение снимаемых припусков при поступательном и возвратном перемещениях.

Объектом исследования является технологические операции и технологическое оснащение алмазного хонингования высокоточных глухих отверстий деталей машин.

Предметом исследования является теоретическое и экспериментальное исследование условий повышения точности при хонинговании глухих отверстий на основе на основании выявления закономерностей формирования погрешностей в продольном сечении и создание новых компенсационных механизмов.

Ключевые слова: глухое отверстие, хонингование, точность формы, эффективность, взаимная правка.