

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

магістр

на тему: «Удосконалення технології хонінгування
отворів блоку циліндрів Д-240»

КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
*«Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва»*
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»
ступеня вищої освіти *магістр*
групи 133ГМмд_22
ГОДЬ Микола

Керівник: канд. техн. наук, доцент
ПОПОВ Станіслав

Полтава – 2023 року

ВСТУП

На даний час у машинобудуванні домінують способи лезової і абразивної обробки деталей машин. При цьому, з розвитком машинобудування, має місце тенденція безперервного і суттєвого збільшення частки трудомісткості операцій абразивної обробки у загальній трудомісткості операції механічної обробки. Наприклад, за даними заводів з виготовлення підшипників кочення на їх частку припадає до 90% від загальної трудомісткості усіх виконуваних операцій.

Однією з найважливіших задач у галузі машинобудування є підвищення загальної ефективності абразивної обробки і, зокрема, подальше підвищення точності з одночасним підвищенням також інших параметрів ефективності абразивної обробки отворів в деталях машин.

Високоточні отвори є в корпусних деталях, в деталях паливної і гідроапаратури, у циліндрах і блоках циліндрів двигунів, насосів, компресорів гідроагрегатів і т. д. Значна частина зазначених отворів конструктивно виконані глухими. Крім того, з метою захисту від корозії та підвищення зносостійкості на робочі поверхні зазначених отворів наносять зносостійкі і антикорозійні покриття, або ці поверхні піддають загартуванню на досить високу твердість, до HRC 60...65. У цих випадках змінюється вихідна геометрична форма і шорсткість поверхні, що обумовлює необхідність подальшої механічної обробки, яка, у зв'язку з високою твердістю поверхні, може здійснюватися тільки із застосуванням алмазного інструменту. З відомих способів обробки для даного переліку деталей найбільш затребуваним є хонінгування. Воно підвищує довговічність та експлуатаційну надійність деталей машин. Однак процеси хонінгування глухих отворів залишаються недостатньо вивченими із точки зору похибок форми, що утворюються після обробки.

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Фінішні способи обробки отворів високої точності

Основні методи фінішної обробки отворів [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11] та основні параметри, що забезпечуються цими методами, наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Параметри, що забезпечують фінішні методи обробки

Метод обробки		Квалітет точності	Похибка форми, Δ , мм	Шорсткість поверхні, R_a , мкм	Глибина дефектного шару, h , мм
Лезовим інструментом	Високошвидкісне тонке фрезерування	7...8	0,01...0,02	0,63...1,25	0,01...0,05
	Тонке алмазне розточування	6...7	0,003...0,01	0,063...0,32	0,01...0,05
	Тонке розгортання	7...9	0,05...0,1	0,63...1,25	0,01...0,02
Абразивним інструментом	Тонке шліфування	5...6	0,002...0,005	0,08...0,32	0,005...0,03
	Алмазне розгортання	6...7	0,02...0,05	0,16...0,32	0,005...0,02
	Хонінгування	4...5	0,002...0,003	0,04...0,16	0,005...0,02
	Доведення	3...4	0,0001...0,001	0,02...0,08	0,003...0,01

З таблиці 1.1 зрозуміло, що хонінгування та доведення отворів показують найкращі результати за точністю та якістю отворів.

Доведення на практиці застосовується рідко внаслідок низької продуктивності [5].

Наведені дані співвідносяться з обробкою класу наскрізних отворів в деталях з традиційних конструкційних матеріалів, таких як сірий чавун і конструкційні сталі твердістю HRC до 48 од. При цьому, обробка здійснюється традиційним інструментом, конструктивна схема якого наведена на рисунку 1.1 у тому числі і для випадку хонінгування глухих отворів [12, 13, 14].

Рисунок 1.1 – Конструктивна схема інструмента для хонінгування глухих отворів:

F_a – епюра активних зусиль; F_r – епюра реактивних зусиль;

1 – корпус; 2 – голка розтискала; 3 – різальні елементи; 4 – пласка пелюсткова пружина; 5 – оброблювана деталь

На рисунку 1.1 довжина ходу інструменту дорівнює:

$$l_x = l_{\text{отв}} - l_{\text{бр}} + l_{\text{пер1}} + l_{\text{пер2}}. \quad (1.1)$$

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зазначимо, що конструктивні параметри різальних елементів інструменту, параметри налагодження верстатів і режими обробки для виконання операцій хонінгування рекомендується вибирати з наступних співвідношень [14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22]:

$$l_{\text{бр}} = (1,2 \dots 0,8) l_{\text{отв}}; \quad (1.2)$$

$$l_{\text{пер}} = \left(\frac{1}{3} \dots \frac{3}{4} \right) l_{\text{бр}}. \quad (1.3)$$

Додатково, з метою забезпечення перекриття ходу брусків:

$$l_{\text{бр}} = \frac{3\pi \cdot D \cdot \operatorname{tg} \alpha}{2z}; \quad (1.4)$$

$$z = (0,25 \dots 0,35) \frac{\pi \cdot D}{B}; \quad (1.5)$$

де $l_{\text{отв}}$, D – довжина та діаметр отвору, що хонінгується;

$l_{\text{бр}}$, B , z – відповідно довжина, ширина та кількість різальних елементів (алмазоносних брусків) інструмента;

α – кут підйому траєкторії руху брусків;

$l_{\text{пер1}}$, $l_{\text{пер2}}$ – перебіги різальної частини інструмента відповідно з одного та іншого боку отвору.

Однак, при необхідності хонінгування «нестандартних» отворів виконання зазначених співвідношень не завжди можливо. Зокрема, при хонінгуванні коротких отворів ($l_{\text{отв}}/d \ll 1$) і довгих отворів ($l_{\text{отв}}/d \gg 1$) неможливо забезпечити співвідношення (1.2). Аналогічно, при хонінгуванні глухих отворів неможливо забезпечити оптимальну величину перебігу в зоні дна оброблюваного отвору,

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тобто співвідношення (1.3). При цьому неминуче виникають відповідні похибки форми у поздовжньому перерізі.

1.2 Особливості хонінгування глухих отворів

Розглянемо найбільш характерні конструкторські та технологічні рішення, спрямовані на підвищення ефективності хонінгування глухих отворів.

Відоме технічне рішення [16, 23, 24, 25, 26, 27], яке полягає в тому, що при обробці поверхні глухого отвору доцільно застосування такої форми хонінгувальних брусків, при якій забезпечується розташування найбільшої кількості ріжучих зерен як змога ближче до торця робочої частини інструменту в зоні дна оброблюваного отвору (бруски трапецієподібної форми та іншої комбінації брусків різної довжини, яка еквівалентна бруску зазначеної форми).

На рисунку 1.2 і в таблиці 1.2 представлені, відповідно, конструкція бруска трапецеїдальної форми і результати експериментальної перевірки його виправляючої здатності при хонінгуванні глухих отворів.

Рисунок 1.2 – Конструкція трапецієподібного бруска

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.2 – Геометрична точність отворів при хонінгуванні трапецієподібними брусками

Форма бруска	Дані бруска					Середні показники, мкм	
	L	B	B ₁	ε	F	конусо- подібності	овальності
	мм				мм ²		
Прямокутна	50	10	10	1,0	2000	+130	10
Трапецієподібна	50	10	5	0,5	1500	+74	5
Трапецієподібна	50	10	3	0,3	1300	-62	5

Експериментальні дані отримані при хонінгуванні глухих отворів в зразках із термічно необробленої сталі 45 ($d_{\text{отв}} = 40$ мм; $l_{\text{отв}} = 150$ мм) з вихідною конусоподібністю 0,03 ... 0,04 мм брусками АСР 125/100–М1–100 із сумарною площею ріжучої частини алмазоносного шару F (при числі брусків $z = 4$). Встановлено, що ступінь виправлення конусоподібності отвору залежить від відношення основ трапеції:

$$\varepsilon = B_1 / B. \quad (1.6)$$

Як бачимо з таблиці 1.2 для кожного конкретного випадку, ефективне виправлення конусності досягається при значеннях $\varepsilon = 0,35 \dots 0,4$.

Відомий також спосіб хонінгування, при якому [17, 28], варіюють інтенсивністю знімання припуску по довжині оброблюваного отвору. Цей спосіб може бути реалізований за кількома (простою і комбінованою) схемами.

Тут, при обробці наскрізних отворів хонінгування здійснюють порівняно короткими брусками при коротко-ходовому зворотно-поступальному переміщенні інструмента в окремих місцях по довжині отвору, що хонінгується, а саме в тих місцях де діаметральний розмір мінімальний рисунок 1.3

Рисунок 1.3 – Принципова схема автоматичної корекції ходу при вимірюванні широких або вузьких місць в отворі: а – циліндричному; б – конічному із розширенням вниз; в – конічному з розширенням вгору; г – бочкоподібному; д – сідлоподібному; е – зміна довжини ходу після вимірювання вхідного розширення; 1...3 – різні рівні вимірювань; 4 – пневматична вимірювальна оправка; 5 – брусок; L_H – довжина ходу; L_{H0} – верхня корекція; L_{Hu} – нижня корекція

При обробці глухих отворів застосовуються комбіновані схеми.

Одна зі схем відрізняється тим, що довгоходовий зворотно-поступальний рух інструмента з одностороннім перебігом періодично чергується коротко-ходовим зворотно-поступальним переміщенням в зоні дна оброблюваного отвору (рисунок 1.4).

За іншою схемою довго-ходовий зворотно-поступальний рух інструмента з одностороннім перебігом періодично чергується керованою короткою затримкою зворотно-поступального руху (амплітуда короткоходового зворотно-

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поступального переміщення дорівнює нулю) при збереженні обертового руху інструмента у зоні дна оброблюваного отвору.

Рисунок 1.4 – Рух хона при вторинному хонінгуванні глухих отворів:
а – коротким брусом ($L_S = 3l_1$), звичайний зворотно-поступальний рух, нормальний перебіг; б – брусом нормальної довжини; L_H – довжина ходу;
 L_S – довжина бруска; l_1 – довжина канавки

Дослідження ефективності наведених вище схем для хонінгування глухих отворів представлені в роботі [29] і, тут, частково представлені на рисунках 1.5 та 1.6. Зазначається, що має місце підвищення точності за рахунок збільшення часу затримки брусків біля дна отвору, однак при цьому констатується таке.

Залежність підвищення точності форми отвори від часу затримки брусків є екстремальною. Тому збільшення часу затримки понад оптимальний призводить тільки до збільшення овальності та відхилення профілю поздовжнього перерізу.

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

а)

б)

Рисунок 1.5 – Зміна овальності $\delta_{ов}$ (а) і відхилення профілю поздовжнього перерізу $\delta_{пр}$ (б) при обробці: 1 – стандартними брусками; 2 – трапецієподібної форми; 3 – змінної довжини

Іншими словами, досягти повного виправлення геометричної похибки у вигляді конусності зазначеним способом неможливо. Це пояснюється тим, що на етапі довгоходового хонінгування формується геометрична похибка у вигляді конусності, як на оброблюваному отворі, так і на різальній частині інструменту. Далі, при переході на короткоходове хонінгування, або на хонінгування з нульовою амплітудою зворотно-поступального руху, придбана конусоподібність робочої частини інструменту зберігається та переноситься на оброблюваний отвір. Тобто, зберігається конусність в зоні дна оброблюваного отвору, довжина якої порівнянна з довжиною робочої частини інструменту.

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 1.6 – Залежність овальності $\delta_{ов}$ (а) і відхилення профілю поздовжнього перерізу $\delta_{пр}$ (б) від часу t обробки і часу затримки брусків біля дна отвору: $\tau = 0,25$ с; $\tau = 0,5$ с; $\tau = 1,0$ с; $\tau = 1,25$ с

Іншим недоліком є та обставина, що при переході на короткоходове хонінгування, або на хонінгування з нульовою амплітудою зворотно-поступального руху, неминуче порушується оптимальне співвідношення швидкостей зворотно-поступального і обертального рухів.

Це призводить, по-перше, до втрати продуктивності через зменшення шляху різання ріжучих зерен в одиницю часу. По-друге, на раніше сформовану оптимальну сітку слідів ріжучих зерен, яка відповідає оптимальному маслоутримуючому рельєфу, відбувається накладення спотвореної, внаслідок порушення оптимального співвідношення швидкостей, сітки слідів ріжучих зерен. Тобто, на поверхні формуються по черзі два різновиди рельєфу: один – оптимальний, інший – відмінний від оптимального. При цьому не відомо, який з них буде сформовано в кінці обробки.

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наступний недолік відомої схеми полягає в тому, що для її реалізації необхідно застосування алмазозносних елементів, довжина яких істотно менше довжини оброблюваного отвору. Це призводить до:

- втрати продуктивності (менше число зерен бере участь в різанні);
- збільшення величини радіального зносу (зростає питоме навантаження на ріжучі зерна) і, відповідно, зниження точності;
- зменшення здатності схеми до виправлення криволінійності оброблюваного отвору.

Щодо ефективності застосування різальних елементів трапецієподібної форми тут зазначимо наступне.

З досліджень В.А. Огородова (рисунок 1.5, б) випливає, що має місце деяке підвищення точності, однак, при цьому робиться висновок, що жодне з відомих технологічних і конструкторських рішень (в тому числі і застосування різальних елементів трапецієподібної форми) не в змозі забезпечити виконання заданих вимог до точності форми глухого отвору при хонінгуванні.

З іншого боку, в результаті досліджень, проведених в [24, 25, 26, 27], встановлено, що має місце не часткове підвищення точності, а повне виправлення конусності, і більш того, навіть отримання зворотної конусності при обробці глухих отворів хонінгуванням (таблиця 1.2).

Неоднозначність результатів досліджень ефективності застосування трапецеїдальних брусків різних авторів зумовила необхідність більш детального дослідження процесу хонінгування такими брусками.

Далі зупинимося ще на декількох способах хонінгування, відмітною особливістю яких є те, що має місце введення компенсаційних переміщень ріжучих елементів у відповідності з нерівномірністю їх розмірного зносу по довжині.

Перший з цих способів представлений в роботі [30] і суть його полягає в тому, що радіальна подача ріжучих елементів реалізується за допомогою двох ідентичних розтискних конусів (рисунок 1.7, а, поз. 5 і 6). Кожен з розтискних

конусів пов'язаний з автономним незалежним приводом радіальної подачі. В процесі хонінгування, за умови рівності швидкостей осьового переміщення розтискних конусів, ріжучі елементи переміщуються тільки радіально. При розузгодженні швидкостей осьового переміщення розтискних конусів має місце відповідні розузгодження швидкостей радіальної подачі по довжині ріжучих елементів. Величина і знак необхідного розузгодження швидкостей визначаються згідно з даними активного контролю поточного діаметрального розміру у верхній і в нижній частині отвору, що хонінгується, (рисунок 1.7, б, поз. 7). Тобто, має місце, система управління кутом повороту ріжучих елементів зі зворотним зв'язком. Ця схема і інструмент, що реалізує цю схему, призначені для визначення і подальшого виправлення вихідної конусності отвору, що хонінгується.

а)

б)

Рисунок 1.7 – Схема конструкції інструмента із двома незалежними розтискними конусами

Слід зауважити, що описана вище схема і інструмент, що реалізує цю схему (рисунок 1.7), призначені для хонінгування наскрізних отворів, які характеризуються наявністю істотно значущої вихідної конусності. Порядок величин цієї вихідної конусності – це мікрони і десятки мікрон.

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якщо, в інструменті, виконати відповідну модернізацію (подовжити в нижній частині колодки з алмазонаосним шаром так, щоб корпус і голка розтискання не торкалися дна отвори в крайньому нижньому положенні інструменту), то з'явиться можливість використання його для обробки глухих отворів.

Якщо при цьому за рахунок неузгодженості швидкостей радіальних подач, спробувати реалізувати компенсацію не вихідної конусності, а формуємої в процесі обробки з причини нерівномірності розмірного зносу по довжині ріжучих елементів, то, на нашу думку, це проблематично.

Суть в тому, що:

- необхідно вимірювати і компенсувати порівняно малі величини, порядок яких обчислюється мікронами і частками мікрон, тоді, як конструкція інструменту розрахована на значно більший порядок величин (як вказувалося вище на мікрони і десятки мікрон);

- радіальна жорсткість розтискного конуса поз. 5 рисунок 1.7 істотно нижче ніж радіальна жорсткість розтискного конуса поз. 6 рисунок 1.7 (обумовлено конструктивним виконанням), що може призвести до радіальної деформації розтискного конуса поз. 5 і заклинювання розтискного конуса поз. 6, що, відповідно, виключить незалежне переміщення розтискних конусів;

- описаний інструмент характеризується складністю, оскільки необхідно додатково конструктивно реалізувати розміщення в робочій частині інструменту двох незалежно керованих розтискних конусів і систему активного пневмоконтролю.

Викладене зумовлює обмежені технологічні можливості інструмента і недостатні точність обробки і надійність в процесі експлуатації.

Інший спосіб, відмітною особливістю якого є те, що компенсація нерівномірності розмірного зносу по довжині ріжучих елементів здійснюється за рахунок компенсаційного повороту останніх навколо нерухомих осей, представлений в роботі [31].

Тут, на рисунку 1.8, представлений інструмент, що реалізує цей спосіб.

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 1.8 – Схема конструкції інструмента із фіксованими осями повороту
різальних елементів

Інструмент складається з корпусу 1, в повздовжніх радіальних пазах якого встановлені рухомо з можливістю повороту навколо осі 7 і контакту з робочою частиною 3 голки розтиску 2, підпружинені пружиною 8 колодки 4 з алмазозносним шаром 5. Голка розтиску 2 встановлена співвісно корпусу з можливістю позовжнього переміщення за допомогою механізму радіальної подачі верстата (на рисунку не зображено). В процесі хонінгування, компенсація нерівномірності темпу розмірного зносу по довжині ріжучих елементів здійснюється синхронно з радіальною подачею за рахунок повороту ріжучих елементів навколо власних фіксованих осей, який, у свою чергу, здійснюється за допомогою осьового переміщення голки розтискання. Тут, з великим ступенем ймовірності можна припустити, що кінематика реалізації радіальної подачі синхронно з компенсацією нерівномірності зносу по довжині ріжучих елементів призведе до того, що на початку процесу хонінгування ріжучі елементи будуть контактувати з оброблюваною поверхнею своєю верхньою частиною, а в кінці обробки – нижньою. Це, внаслідок нерівномірності зносу по довжині ріжучих елементів, може призвести до формування на робочій частині інструменту похибки

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поздовжнього перерізу у вигляді бочко подібності, і відповідно, до формування аналогічної похибки в оброблюваному отворі. У зв'язку з цим виникає необхідність більш детального дослідження ефективності застосування розглянутого способу та інструменту.

Наступний характерний спосіб хонінгування глухих отворів наведено в роботі [14]. Для реалізації цього способу застосовують спеціальні хони. На рисунку 1.9 наведена одна з найбільш характерних конструкцій такого хона. Хон оснащений двома групами брусків, що розширюються по черзі. Бруски першої групи закріплені на кінцях поворотних важелів і розширюються при осьовому переміщенні середнього конуса. Бруски другої групи розширюються, як і зазвичай, під дією крайніх конусів. Цикл хонінгування починається з обробки тієї частини отвори, яка прилягає до його дна. Обробку здійснюють брусками, що закріплені на поворотних важелях. Після досягнення заданого діаметра бруски першої групи стискаються і вводять в дію бруски другої групи і хонінгують всю поверхню отвору. При необхідності така послідовність може бути повторена декілька разів.

а)

б)

Рисунок 1.9 – Хон (а) з двома групами послідовно працюючих брусків для обробки деталей (б) з глухими отворами

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З опису конструкції та її роботи випливає, що цей спосіб і конструкція містять відмінні ознаки, які присутні в описаних вище до цього способу.

Наприклад:

- наявність другого комплекту коротких брусків на поворотних важелях у поєднанні з першим комплектом довгих брусків дає ефект збільшення числа ріжучих зерен в зоні дна оброблюваного отвору, що еквівалентно ефекту при використанні ріжучих елементів трапецеїдальної форми (рисунок 1.2);

- цикл обробки, коли має місце спочатку обробка короткими брусками в зоні дна оброблюваного отвору, а потім іншої частини отвору довгими брусками, еквівалентний циклу, що включає хонінгування короткими брусками на ділянках з мінімальним діаметром (рисунок 1.3);

- необхідність реалізації незалежної радіальної подачі двох комплектів брусків обумовлює наявність двох незалежних приводів розтиску, що в цьому сенсі, еквівалентно наявності відмінної ознаки в конструкції зображеної на рисунку 1.7.

З викладеного випливає висновок про те, що розглянутий спосіб і конструкція є гібридом описаних вище способів і конструкцій. Відповідно, їй властиві всі переваги і недоліки останніх.

1.3 Проблема підвищення точності глухих отворів

Обробка високоточних отворів відноситься, з одного боку, до числа досить поширених технологічних операцій в машино- і приладобудуванні, а з іншого боку, операції обробки високоточних отворів, в цілому, характеризуються значно більшою трудомісткістю, ніж обробка точних зовнішніх поверхонь деталей, так як отвори порівняно важкодоступні, а інструменти для їх обробки володіють меншою жорсткістю і розмірною стійкістю [32, 33]. У зв'язку з цим, при інших рівних умовах, допустимі відхилення розмірів отворів і, особливо, глухих отворів істотно більше, ніж допустимі відхилення розмірів валів.

Зокрема, до отворів блоку циліндрів аксіально-поршневого насоса при виготовленні пред'являються наступні вимоги: допуск на діаметральний розмір 25 мм становить 15 мкм (це приблизно 6 квалітет); шорсткість поверхні R_a 0,8 мкм; відхилення форми у поздовжньому і поперечному перетинах при глибині отвору 77 мм менше 5 мкм.

У свою чергу до поршня, після його складання з шатуном, пред'являються наступні вимоги до виготовлення: допуск на діаметр 25 мм становить 6 мкм (це приблизно 4 квалітет); шорсткість поверхні R_a 0,4 мкм; відхилення форми у поздовжньому і поперечному перетинах по довжині поршня 75 мм менше 4 мкм.

Далі виконаємо короткий аналіз взаємозв'язку величини компресії (величини витоків), як основної технічної характеристики виробу, і точності виготовлення зазначеної пари.

На рисунках 1.10 і 1.11 наведено розрахункові схеми для визначення величини витоків між двома циліндричними поверхнями (поршнем і циліндром), яка визначається за формулою [34]:

$$Q = Q_0 \left(1 + \frac{2}{3} \varepsilon^2 \right) = a_0^3 \cdot \frac{p_{тр} \pi r \varphi}{6 \mu l} \left(1 + \frac{2}{3} \varepsilon^2 \right), \quad (1.7)$$

де Q_0 – величина витоків при співвісному розташуванні поршня і циліндра;

$a_0 = (R - r)$ – різниця між радіальними розмірами циліндра і поршня, мм;

$\varepsilon = e / a_0$ – відношення величини ексцентриситету e до a_0 ;

φ – кутовий параметр;

$p_{тр}$ – різниця тиску в МПа (перепад) в розглянутих крайніх перетинах по довжині контакту поршня з циліндром $l = 5,7$ мм;

μ – динамічна в'язкість моторного масла SAE 10 (при 20 С°) 0,065 П·с [35].

Рисунок 1.10 – Розрахункова схема
для визначення величини витоків
між двома циліндричними
поверхнями аксіально-поршневого
насоса (пара поршень – циліндр)

Рисунок 1.11 – Розрахункова схема
для визначення величини витоків
між двома циліндричними
поверхнями аксіально-поршневого
насоса (пара поршень-циліндр) при
схемі ексцентричного зазору між
ними

Відповідно до формули 1.7 та схем (рисунок 1.10, 1.11) визначимо величину витоків в залежності від точності виготовлення при тиску в робочій порожнині $p_{тр} = 1,6; 3,2 \text{ і } 6,3 \text{ МПа}$. Дані розрахунків представлені в таблиці 1.3 та у вигляді графіків (рисунок 1.12).

Рекомендовані посадки у загальному машинобудуванні [36] для валу і отвору або рівні, або відрізняються, але не більше, ніж на один квалітет. Посадка H6/f4 не відповідає рекомендованим в машинобудуванні посадкам. Обумовлено це технологічними обмеженнями по точності виготовлення отворів у блоці циліндрів.

Зауважимо, що ця суперечність може бути усунена удосконаленням технологічного процесу виготовлення глухих отворів у блоці циліндрів. Тоді

можливий перехід у зазначеній парі на посадку H5/f4 і, більш того, на посадку H5/g4.

Таблиця 1.3 – Розрахункові дані витоків Q у кільцевому зазорі

Посадка	Відхилення розміру отвору, мм	Відхилення розміру поршня, мм	Зазор, a_0 , мм	Витоки у кільцевому зазорі, Q , $\text{м}^3/\text{с}$, при тискові у робочій порожнині, $p_{\text{тр}}$, МПа		
				1,6	3,2	6,3
H6/f4	0,015/0	-0,018/0,024	0,0195	0,000349	0,000699	0,001388
H5/f4	0,009/0	-0,018/0,024	0,0165	0,000212	0,000423	0,000841
H5/g4	0,009/0	-0,007/-0,013	0,011	0,000063	0,000126	0,000249
H5/h4	0,009/0	0/-0,006	0,006	0,00001	0,00002	0,00004

Рисунок 1.12 – Залежність витоків, Q , $\text{м}^3/\text{с}$ від точності виготовлення пари циліндр і поршень при тисках в робочій порожнині $p_{\text{тр}} = 1,6; 3,2$ і $6,3$ МПа

У цьому випадку витоку в парі зменшаться більш ніж в 5 разів. Крім зазначеного протиріччя, тут доречно відзначити й інше, не менш значуще протиріччя, яке існує при конструюванні деталей машин. Досить часто, за функціональною ознакою, доцільно в деталях машин виконати отвори конструктивно глухими. Однак, з урахуванням технологічних обмежень такі отвори конструюють наскрізними (більш технологічними) і штучно переводять у розряд глухих, закриваючи одну із сторін, наприклад, кришкою, що знижує технічні параметри машин (габарити, металоємність, герметичності і т. д.).

Викладене вище наочно, на конкретному прикладі, демонструє актуальність проблеми підвищення точності виготовлення глухих отворів.

Висновки до розділу 1

З вищевикладеного матеріалу випливає:

1 Огляд технічної літератури показав, що розроблений ряд спеціальних способів і технологічного оснащення для підвищення точності хонінгування глухих отворів.

2 На основі проведеного аналізу характерних особливостей відомих способів і конструкцій для хонінгування глухих отворів можна сформулювати напрямки, за якими здійснювалися дослідження і які підлягають розвитку з метою подальшого підвищення ефективності операцій хонінгування глухих отворів. Це: варіювання інтенсивністю і часом знімання припуску по довжині оброблюваного отвору; формування змінної розмірної зносостійкості по довжині ріжучих елементів.

3 При конструюванні деталей машин існує обмеження на застосування глухих отворів. Це пов'язано з проблемою технологічності, і, зокрема, з проблемою забезпечення геометричної точності, при обробці таких отворів.

Отже, **мета дослідження** – підвищення точності та ефективності обробки глухих отворів за допомогою вдосконалення існуючих і створення нових способів хонінгування і технологічного оснащення. **Об'єктом** розробки є процес

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підвищення точності деталей двигунів внутрішнього згоряння, а **предметом** – вплив факторів технологічного процесу обробки хонінгуванням.

Для вирішення поставленої мети необхідно розв'язати наступні **задачі**:

- провести аналіз механізму формування похибок форми у поздовжньому перерізі на операціях хонінгування отворів;
- удосконалити способи хонінгування глухих отворів;
- провести експериментальну перевірку теоретичних положень дослідження;
- приділити увагу питанням охорони праці, економічної ефективності та захисту довкілля.

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Похибка форми під час хонінгування: сучасні уявлення

На підставі практичного досвіду і досить великого обсягу експериментальних досліджень багатьох авторів (Фрагін І.Є, Чеповечкій І.Х., Куліков С.І., Левін Б.Г., Кремень З.І., Бабаєв С.Г., Бабічев А.П., Андрєєв М.В.) встановлені похибки форми оброблюваного отвору в поздовжньому перерізі, що найбільш часто спостерігаються (таблиця 2.1). При цьому генерування цих похибок, в переважній більшості випадків, функціонально пов'язують з параметрами налагодження верстата, зокрема, з величинами перебігу.

Частина авторів цих робіт при цьому вважають, що початковою домінуючою причиною формування зазначених у таблиці 2.1 похибок є податливість системи, а саме – перерозподіл контактних радіальних зусиль, прикладених до опорних і різальних поверхонь елементів, за час одного подвійного ходу [15, 37, 38, 39].

Автори ряду інших робіт з хонінгування [14, 16, 17, 40, 41, 42] вважають, що початковою домінуючою причиною формування зазначених у таблиці 2.1 похибок є нерівномірний знос по довжині ріжучих елементів. При цьому, розглядаються інтегральні величини нерівномірності зносу.

Однак, детальний розгляд того, як формуються відповідні похибки, в цих роботах, не наводиться.

Доцільним є дослідження механізму формування похибок форми у поздовжньому перерізі при обробці глухих отворів, а також причино-наслідкових зв'язків між величинами перебігу і сформованої похибки.

Таблиця 2.1 – Похибки форми оброблюваного отвору у поздовжньому перерізі

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.1

2.2 Схеми формування похибки форми під час радіальної дискретної безперервної подачі та подачі за тиском

У таблиці 2.2 в першому наближенні на рівні формальної логіки, представлена схема формування похибок в поздовжньому перерізі оброблюваного отвору, якщо початковою домінуючою причиною вважати тільки перерозподіл контактних радіальних зусиль, що впливають на опорні і ріжучі поверхні ріжучих елементів за час одного подвійного ходу.

З таблиці 2.2 маємо очевидний висновок про те, що при будь-яких значеннях перебігів неминуче повинна формуватися похибка форми у поздовжньому перерізі у вигляді сідлоподібності, яка, по мірі збільшення величин перебігу – зростає. Похибка у вигляді діжкоподібності тут відсутня.

У таблиці 2.3 наведена схема формування похибок в поздовжньому перерізі оброблюваного отвору, якщо початковою домінуючою причиною вважати нерівномірність темпу зносу по довжині ріжучих елементів.

При цьому має місце наступне.

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2 – Схема формування похибок у поздовжньому перерізі при домінуванні перерозподілу контактних радіальних зусиль

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.2

Протягом періоду часу, що дорівнює одному подвійному ходу, параметри процесу знімання припуску змінюються в широких межах. Тобто величини силового впливу і, відповідно, радіального зносу алмазоносного шару на різних ділянках по довжині ріжучих елементів неоднакові і змінні. Більш того, при різних видах і величинах радіальної подачі, процес знімання припуску і відповідно темп та нерівномірність зносу по довжині різальних елементів суттєво відрізняються.

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Суть в тому, що площа контакту ріжучих елементів з оброблюваною поверхнею і, відповідно, питомі тиски по площі контакту за час одного подвійного ходу – циклічно змінюються. При цьому середня частина ріжучих елементів контактує з оброблюваною поверхнею постійно і, відповідно, безперервно зношується. Периферійні ж частини різальних елементів тільки частину часу контактують з оброблюваною поверхнею, а частину часу, яка відповідає часу перебігу, не контактують з оброблюваною поверхнею і відповідно зношуються, але не безперервно, а дискретно.

Таблиця 2.3 – Схема формування похибок у поздовжньому перерізі при домінуванні нерівномірності темпу зношування за довжиною різальних елементів

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.3

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.3

При хонінгуванні з радіальною подачею по тиску і з дозованою безперервною радіальною подачею величини знімаємих припусків при поступальному і зворотному переміщеннях інструменту приблизно однакові. При цьому правомочні наступні твердження.

Під час поступального переміщення інструменту нижня частина ріжучого елемента стає фронтальною і зношується інтенсивніше, ніж інші (середня і верхня) частини різального елемента. Під час зворотного переміщення інструменту фронтальною стає верхня частина ріжучого елемента, яка аналогічно більш інтенсивно зношується, ніж інші (середня і нижня) частини різального елемента. Тобто при поступальному і поворотному переміщеннях формуються похибка форми інструменту в поздовжньому перерізі у вигляді діжкоподібності (таблиця 2.3, рядки 4 та 5).

Однак, сформовані таким чином інтенсивно зношені фронтальні частини різальних елементів в той час, коли знаходяться поза зоною обробки (час перебігу) в процесі знімання припуску не беруть участь, і, відповідно, не зношуються.

Тобто, з одного боку формується, як зазначалося вище, похибка форми інструменту в поздовжньому перерізі у вигляді діжкоподібності, а, з іншого боку,

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

має місце нівелювання цієї діжкоподібності за рахунок відсутності зносу фронтальних частин під час перебігу. Ступінь нівелювання визначається величиною перебігу.

Звідси випливає висновок про те, що можна вибрати величину перебігів таким чином, щоб темп зносу верхньої фронтальної, нижньої фронтальної і середньої частин різальних елементів був однаковим, що відповідає випадку повного нівелювання темпу зносу по довжині ріжучих елементів. Тоді, зношуючись, інструмент постійно буде зберігати форму гранично близьку до циліндричної (таблиця 2.3, рядок 2). Відповідно і форма хонінгуємого отвору буде так само циліндричною.

При значеннях перебігу більше оптимального неминуче уповільнення темпу зносу по краях ріжучих елементів по відношенню до середньої частини, тобто має місце «нівелювання з надлишком» в межах різно-висотності величини впровадження ріжучих зерен. Це, відповідно, зумовлює формування і досить тривале збереження сідлоподібної форми робочої частини інструменту, яка, відповідно, переноситься на оброблюваний отвір (таблиця 2.3 рядок 1).

При значеннях перебігу менше оптимального неминучий більший темп зносу по краях ріжучих елементів по відношенню до середньої частини, тобто має місце «нівелювання з недоліком». Це, відповідно, зумовлює формування і досить тривале збереження діжкоподібної форми робочої частини інструменту. При цьому можливі два варіанти формування профілю отвору.

Перший варіант представлений в таблиці 2.3, рядок 3. Тут величини забірних частин менше величин перебігу і, відповідно, у формуванні профілю отвору практично не беруть участь. Формування профілю отвору здійснюється переважно середньою циліндричною частиною різальних елементів, що зумовить, відповідно, форму отвору близьку до циліндричної.

Другий варіант представлений в таблиці 2.3, рядки 4 і 5. Тут величини забірних частин більше величин перебігу. В цьому випадку у формуванні

профілю отвору беруть участь середні частини і частково забірні частини різальних елементів. Тобто має місце синхронне формування діжкоподібного профілю як на робочій частини інструменту, так і в оброблюваному отворі.

В таблиці 2.3, рядок 6, представлений варіант, при якому величини перебігів істотно відрізняються. Це відповідно формує на робочій частині інструменту і в оброблюваному отворі асиметричну діжкоподібну форму, яка в межі трансформується в конусоподібну форму.

Порівнюючи види похибок в таблиці 2.2 із похибками в таблиці 2.1 бачимо, що при ідентичних видах перебігів формуються похибки не ідентичні і, більше того, таблиці 2.2. похибка форми у поздовжньому перерізі у вигляді діжкоподібності – відсутня, тобто має місце логічне протиріччя.

Якщо ж порівняти види похибок в таблиці 2.3 з похибками в таблиці 2.1 бачимо, що при ідентичних видах перебігів похибки, що формуються, більшою мірою співпадають, ніж при порівнянні похибок в таблицях 2.2 і 2.1. Окрім того, тут має місце як діжко- так і сідлоподібність, тобто згадане вище логічне протиріччя відсутнє.

Неважко зрозуміти, що, підсумовуючи відповідні ідентичним перебігами похибки в таблицях 2.2 та 2.3, отримаємо результуючу похибку близьку до форми похибки в таблиці 2.1.

Таким чином, на цьому етапі розгляду, можна зробити висновок про те, що форма похибки, що генерується, на операціях хонінгування визначається двома зустрічно спрямованими факторами, а саме: нерівномірністю зносу по довжині різучих елементів і радіальної жорсткості робочої частини інструменту, при чому з цих чинників істотно більш вагомим є фактор зносу.

При цьому:

- при порівняно малих величинах перебігів домінуючим фактором стає нерівномірний знос по довжині різучих елементів інструменту (домінує форма похибки у вигляді діжкоподібності);

- при порівняно великих величинах перебігів домінуючим фактором стає нерівномірність жорсткості по довжині ріжучих елементів інструменту (домінує форма похибки у вигляді сідлоподібності);

- при оптимальних величинах перебігів дія цих двох чинників підсумовується і, відповідно, похибка, що формується, мінімізується;

- при асиметричних нижньому і верхньому перебігах генерується асиметрична похибка, близька до конусоподібності. При цьому, збільшення діаметрального розміру конуса спрямоване в бік більшого перебігу.

Далі перейдемо до схем формування похибок форми отворів у поздовжньому перерізі при дискретній дозованій радіальній подачі.

2.3 Схеми формування похибки форми під час дискретної дозованої радіальної подачі

На даний час, операції хонінгування з радіальною подачею по тиску і безперервною дозованою радіальною подачею застосовується вкрай рідко з різних причин. Істотно більше застосування отримала схема хонінгування з дискретною дозованою радіальною подачею.

Дискретна дозована радіальна подача в сучасних верстатах реалізується в момент реверсу зворотного переміщення інструменту на поступальний, тобто – в крайньому верхньому положенні інструменту.

Вище відзначалося, що в разі хонінгування з подачею по тиску і дозованою безперервною подачею, величини припусків, що знімаються, при поступальному і зворотному переміщеннях однакові. Відповідно, величини зносу загального і фронтальних частин при поступальному і зворотному переміщеннях, при хонінгуванні наскрізних отворів, будуть дзеркально однаковими (таблиця 2.4, рядок 1).

У випадках хонінгування наскрізних отворів із дозованою дискретною радіальною подачею, величини припусків, що знімаються, при поступовому

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.4 – Схеми знімання припусків за один подвійний хід при різних видах радіальної подачі

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.4

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та зворотному переміщеннях (на відміну від хонінгування з подачею по тиску і дозованою безперервною подачею), істотно відрізняються. Більша частина припуску видаляється при поступальному переміщенні (процес інтенсивного різання), а менша частина – у разі зворотного (процес виходжування) (таблиця 2.4, рядок 3). Це нерівність припусків, що видаляються, обумовлює асиметричність зносу забірних частин різальних елементів по довжині. Останнє, в свою чергу, зумовлює відповідне формування похибки у вигляді конусності в оброблюваному отворі.

Очевидно, в даному випадку, є те, що цю похибку можна усунути, наприклад, за рахунок збільшення величини нижнього перебігу по відношенню до верхнього (таблиця 2.4, рядок 4).

У разі хонінгування, з подачею по тиску і дозованою безперервною подачею глухих отворів, величини припусків, що знімаються, при поступальному і зворотному переміщеннях однакові, однак, величини зносу фронтальних частин при поступальному і зворотному переміщеннях будуть асиметричними (таблиця 2.4, рядок 2) внаслідок асиметричності верхнього і нижнього перебігів. Зазначена асиметричність зносу ріжучих елементів по довжині служить, як вказувалося раніше, причиною формування похибки у вигляді конусності (таблиця 2.3, рядок 6).

При хонінгуванні глухих отворів з дозованою дискретною радіальною подачею також присутній механізм генерування похибки форми у поздовжньому перерізі у вигляді конусності. Але в цьому випадку, швидкість генерування цієї похибки буде істотно вище у зв'язку з тим, що має місце підсумовування похибок, обумовлених як асиметрією величин перебігу, так і асиметрією величин припусків, що знімаються (таблиця 2.4, рядок 5).

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки до розділу 2

Таким чином, у даному розділі за результатами проведеного аналізу встановлено наступне:

1 Основними причинами формування похибки профілю у поздовжньому перерізі при хонінгуванні отворів є нерівномірність зносу по довжині ріжучих елементів і змінна контактна жорсткість по довжині робочої частини інструменту. При цьому встановлено, що з цих двох основних причин домінуючою причиною формування похибки профілю в поздовжньому перерізі при хонінгуванні отворів є нерівномірність зносу по довжині ріжучих елементів.

2 При обробці глухих отворів з дозованою безперервною подачею і подачею за тиском відсутня можливість забезпечення оптимальної величини перебігу в зоні дна оброблюваного отвору (асиметрія перебігів), а при обробці з дозованою дискретною подачею – асиметрія перебігів плюс асиметрія величин припусків, що видаляються, при поступальному і зворотному переміщеннях інструменту.

Це призводить до того, що має місце накопичувальна нерівномірність зносу ріжучих елементів за їх довжиною. Тобто на робочій частини інструменту формується накопичувальна геометрична похибка у вигляді конусності, яка зумовлює генерування аналогічної накопичувальної похибки на отворі деталі, що хонінгується.

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводили із використанням експериментального стенду (рисунок 3.1) на експериментальних зразках зі сталі 40Х, твердістю HRC 42...45 за схемою із плаваючою хонінгувальною головкою, що оснащена комплектом з чотирьох брусків $5 \times 4 \times 50 \times 2$ марки ріжучого матеріалу АСП6 М1 концентрацією 100%. Довжина і діаметр отвору, що хонінгувався, відповідно 70 мм і 40 мм. Режими різання: $V_{\text{кол}} = 45$ м/хв; $V_{\text{д.п}} = 12$ м/хв; $S_p = 0,5$ мкм/подв. хід.

Рисунок 3.1 – Експериментальний стенд

На рисунку 3.2 наведено модуль тензометричної інформації. Його основні характеристики наступні:

- напруга живлення – DC 9...30 В;
- інтерфейс Ethernet протокол – 10Base-T;
- кількість каналів вимірювання – 4;
- мінімальний опір тензодатчика – 100 Ом;
- мінімальна вхідна напруга – 1 мВ;
- максимальна вхідна напруга – 1,5 В;

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- максимальна частота вимірювання – 500Гц;
- кількість значущих розрядів – не менше 16.

Рисунок 3.2 – Розташування та найменування каналів 1, 2, 3 і 4 мостових датчиків модуля тензометричної інформації

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підключення модуля містить наступні кроки.

1. Розгорнути програмне забезпечення на комп'ютері.

2. Згідно з рисунком 3.2 здійснити підключення тензометричних датчиків.

При цьому: $-U_{\text{жив}}$ – негативна клема для живлення вимірювального моста; $+U_{\text{жив}}$ – позитивна клема для живлення вимірювального моста; $-U_{\text{вх}}$ – негативний вихід вимірювального моста; $+U_{\text{вх}}$ – позитивний вихід вимірювального моста.

3. Підключити модуль до комп'ютера за допомогою Ethernet кабелю.

4. Підключити живлення модуля.

Структурна схема модуля представлена на рисунку 3.3.

Рисунок 3.3 – Структурна схема модуля

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Прилад має можливість обробляти аналоговий сигнал з чотирьох тензодатчиків і отриманий цифровий код передавати за допомогою комп'ютерної мережі Ethernet. При цьому сумарна швидкість перетворення повинна становити не менше 500 перетворень в секунду для всіх чотирьох каналів. Точність становить не менше 21 розряду. Оцифровані дані передаються на ЕОМ через мережу Ethernet 10Base-T.

Пристрій складається з:

- мультиплексу;
- фільтру нижніх частот(ФНЧ);
- підсилювача;
- 24-розрядного аналого-цифрового перетворювача (АЦП);
- генератора тактових імпульсів АЦП;
- генератора опорної напруги АЦП;
- 32-розрядного мікроконтролера;
- Ethernet контролера.

Вимірювальна платформа – це платформа, що містить набір тензодатчиків. Далі мультиплексор послідовно перемикається, передаючи напругу від тензодатчиків в ФНЧ. Фільтр нижніх частот відфільтровує високочастотну складову сигналу від тензодатчика. Після цього підсилювач підсилює сигнал до необхідного АЦП рівня, для перетворення. Аналогово-цифровий перетворювач перетворює аналоговий сигнал в цифровий. АЦП для роботи потрібні додаткові сигнали – опорна напруга (відносно якої формується вихідний цифровий код) і тактові сигнали. Далі цифровий код передається в мікроконтролер для перетворення і передачі по протоколу Ethernet.

У пристрої використано дельта-сігма АЦП (Texas Instruments) моделі ADS 1256, у якого призначення виводів мікросхеми зображено на рисунку 3.4. Цей АЦП має низьке значення амплітудної величини шуму, що є дуже важливим параметром в електронному вимірюванні, так як визначає гарантовану точність (це кількість

розрядів, що мають значення при перетворенні – при великій амплітуді шумів, розрядність може впасти до половини).

Рисунок 3.4 – Призначення виводів мікросхеми АЦП

Також ADS1256 має невеликий вплив швидкості перетворення в розрядність (у всіх АЦП із зростанням швидкості кількість значущих розрядів падає). Ще на кількість ефективних розрядів впливає і коефіцієнт підсилення вбудованого підсилювача. Загалом, кількість розрядів, що мають достатній рівень довіри називаються – ефективна кількість розрядів. Також цей АЦП вимагає тільки зовнішнього кварцового генератора для завдання тактової частоти і має зручний інтерфейс SPI.

Технічні характеристики:

- 24-розрядний АЦП;
- нелінійність 0,0001%;
- максимальна частота перетворень 30000 перетворень / секунду;
- амплітуда внесених шумів 27 нВ;
- самокалібрування підсилювача та фільтра;
- інтерфейс SPI;
- 5 В живлення аналогових ланцюгів і 3,6 В цифрових ланцюгів;

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 38 мВт споживана потужність;
- робоча температура від - 40°C до 105°C;

На рисунку 3.5 зображена структурна схема блоку АЦП.

Рисунок 3.5 – Структурна схема блоку аналого-цифрового перетворювача

Модуль Ethernet працює за стандартом 10Base-T. Використаний зручний контролер ENC28J60 (Microship). На рисунку 3.6 зображено призначення його виводів.

Рисунок 3.6 – Призначення виводів Ethernet контролера

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Контролер має зручний інтерфейс SPI і вимагає мінімум зовнішніх елементів. Важливу частину грає мережевий трансформатор, він призначений для захисту контролера від перенапруги.

Використаний конектор J00-0061NL із вбудованим трансформатором. Технічні характеристики:

- сумісний зі стандартом IEEE 802.3;
- сумісний з мережами 10/100/1000Base-T;
- вбудований контролер MAC та фізичного рівня Ethernet;
- автоматичне визначення і коригування полярності Ethernet;
- підтримка повно- і напівдуплексних режимів;
- автоматична генерація CRC контрольної суми в кадрі;
- автоматичні відхилення пошкоджених кадрів;
- програмні фільтри для фільтрації небажаних пакетів;
- робоча напруга від 3,3 до 3,6 В;
- робоча температура від -40°C до 105°C.

На рисунку 3.7 представлена структурна схема контролера.

Рисунок 3.7 – Структурна схема Ethernet контролера

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На рисунку 3.8 представлено тензометричний стіл. На рисунку 3.9 наведена хонінгувальна головка.

Рисунок 3.8 – Тензометричний стіл

Рисунок 3.9 – Хонінгувальна головка

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На рисунку 3.10 представлено динамометричний ключ RWDF 12. На рисунку 3.11 вигляд загальний індикатора зі стійкою 18-50 мм ГОСТ 9244.

Рисунок 3.10 – Динамометричний
ключ RWDF 12

Рисунок 3.11 – Індикатор зі стійкою
18-50 мм ГОСТ 9244 – 75

Методика проведення експерименту включала обробку трьох партій деталей по 10 шт. у кожній партії. Перша партія хонінгувалась з рівними величинами перебігів $l_1 = l_2 = 18$ мм. Друга партія хонінгувалась з величинами перебігів $l_1 = 18$

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мм, $l_2 = 2$ мм (імітація процесу хонінгування глухого отвору із дозованою дискретною радіальною подачею, що реалізується в зоні протилежній дну оброблюваного отвору). Третя партія хонінгувалась з величинами перебігів $l_1 = 0$ мм, $l_2 = 18$ мм (імітація процесу хонінгування глухого отвору із дозованою дискретною радіальною подачею, що реалізується в зоні дна оброблюваного отвору). Кожна деталь піддавалася п'ятдесяти кратному хонінгуванню по 30 сек. в кожному циклі. Після кожного циклу бруски і поверхня отвору змащувалися індустріальним маслом 20. Після обробки кожної партії деталей хонінгувальна головка припрацьовувалася на контрольній партії деталей із варіюванням перебігів таким чином, щоб ліквідувати конусність інструменту до величини 2-3 мкм. Вимірювалася різниця діаметрів (конусність) у кінці обробки. За даними замірів в кожній партії визначалося середнє значення конусності.

Висновки до розділу 3

Запропоновано методу експериментальних досліджень, пов'язаних із вивченням процесу обробки хонінгуванням.

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

Удосконалення способів хонінгування глухих отворів в цьому розділі здійснюється з урахуванням аналізу генерування похибок та напрямків удосконалення процесу хонінгування, які були виявлені і сформульовані в попередніх розділах. Це: створення умов, при яких темп зносу по довжині ріжучих елементів зумовлював би самоформування циліндричності робочої частини інструменту; зміна напрямку вектора генерування похибки (напрямки взаємної поздовжньої орієнтації інструменту і деталі) з урахуванням ефекту взаємної правки в контакті інструмент – деталь.

4.1 Хонінгування на базі самодеформування під час зношування циліндричної робочої частини інструменту

Розглянемо процес хонінгування з керованим темпом знімання металу при прямому та зворотному переміщеннях інструмента.

У розділі 2 розглянуто механізм зносу по довжині ріжучих елементів при традиційній схемі хонінгування наскрізних отворів. При цьому зазначалося, що при хонінгуванні з подачею по тиску і дозованою безперервною радіальною подачею величини нижнього та верхнього перебігів при наладці вибираються рівними, а при хонінгуванні з дозованою дискретно радіальною подачею – величина нижнього перебігу при наладці вибирається вимушено більшою, ніж величина верхнього перебігу.

При хонінгуванні ж глухих отворів реалізація двостороннього перебігу, і тим більшої величини перебігу в зоні дна оброблюваного отвору (нижнього), неможлива із-за конструктивних особливостей таких отворів.

На рисунку 4.1 наведена схема формування фронтальних забірних частин різальних елементів при поступальному (а) і зворотному (б) переміщеннях для

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

випадку хонінгування глухих отворів. Раніше ця схема представлена в таблиці 2.4, рядок 5.

а)

б)

Рисунок 4.1 – Схема формування фронтальних забірних частин різальних елементів при хонінгуванні глухих отворів: поступальному (а) і зворотному (б) переміщеннях інструменту: D_1 – діаметр отвору, що хонінгується, після і-го поступального переміщення різального елемента; D_2 – діаметр отвору, що хонінгується, при і-му поступальному переміщенні різального елемента; D_3 – діаметр отвору, що хонінгується, при і-му зворотному переміщенні різального елемента; l_3^H – величина забірної частини, що формується, при і-му поступальному переміщенні; l_3^B – величина забірної частини, що формується, при і-му зворотному переміщенні; $Z_{дв.х}$ – припуск, що знімається ріжучим елементом за один подвійний хід; Z^H – припуск, що знімається при і-му поступальному переміщенні; Z^B – припуск, що знімається при і-тому зворотному переміщенні; V_{oc}^H – поступальна швидкість переміщення різального елемента; V_{oc}^B – зворотна швидкість переміщення різального елемента

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З рисунку 4.1 видно, що при поступальному переміщенні ріжучих елементів віддається суттєво більша частина припуску ніж при зворотному. Відповідно, величина нижньої забірної частини істотно більше, ніж величина верхньої забірної частини. Ця обставина обумовлює неминучість наявності в зоні дна оброблюваного отвору не видаленого припуску, що в свою чергу зумовлює формування похибки форми у вигляді конусності.

Виходячи з аналізу схеми знімання припуску при поступальному і зворотному переміщеннях в даній роботі запропоновано змінити цикл обробки, а саме: дозована радіальна подача здійснюється в момент реверсу зворотно-поступального переміщення в зоні дна оброблюваного отвору.

Реалізація дозованої подачі у зоні дна оброблюваного отвору в порівнянні з відомою схемою хонінгування, коли дозована подача реалізується в зоні протилежній дну оброблюваного отвору, дзеркально змінює інтенсивність зносу фронтальних частин. А саме, при зворотному переміщенні інструмента має місце більш інтенсивне знімання припуску і, відповідно, більш інтенсивний знос відповідної (верхньої) фронтальної частини різальних елементів по відношенню до зносу нижньої фронтальної частини різального елемента за час поступального переміщення. При цьому, за час перебігу (реалізується тільки в зоні протилежній дну оброблюваного отвору) знос верхньої частини різальних елементів відсутній, що компенсує підвищений попередній знос. Таким чином нівелюються величини зносу верхньої і нижньої фронтальних частин, що відповідно забезпечує більш високу точність обробки глухих отворів.

Результати експериментів представлені в таблиці 4.1.

При кожному циклі хонінгування здійснювався запис силових параметрів процесу. На рисунку 4.2 наведені осцилограми осьової і тангенціальної складової сили різання (відповідно верхня і нижня осцилограми). Аналогічні осцилограми наводяться в технічній літературі та отримані вітчизняними і зарубіжними авторами для різних операцій при хонінгуванні із дозованою подачею.

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 – Результати експериментальних даних

Параметр	Вид радіальної подачі		
	За тиском	Дискретна дозована	
Значення величин перебігів, мм	$l_1 = l_2 = 18 \text{ мм}$	$l_1 = 18 \text{ мм};$ $l_2 = 2 \text{ мм}$	$l_1 = 0 \text{ мм};$ $l_2 = 18 \text{ мм}$
Величина похибки у виді конусності, мкм	9	34	4

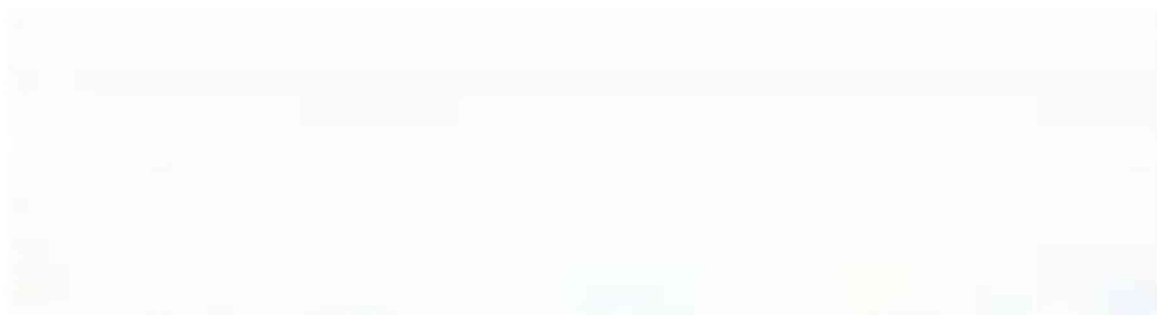


Рисунок 4.2 – Осцилограми осьової і тангенціальної складової сили:

а – осьова; б – тангенціальна

Осцилограма осьової складової сили різання (рисунок 4.2, а) наочно демонструє, що при поступальному переміщенні інтенсивність знімання припуску на порядок вище, ніж при зворотному переміщенні, і це також слугує

підтвердженням логічності реалізації дозованої подачі в зону дна оброблюваного отвору.

Розглянемо хонінгування зі змінною зносостійкістю за довжиною різальних елементів.

Раніше, у розділі 1, зазначено, що при обробці поверхні глухого отвору доцільно застосування такої форми хонінгувальних брусків, при якій забезпечується розташування найбільшої кількості ріжучих зерен як можна ближче до торця робочої частини інструменту в зоні дна оброблюваного отвору. Це, по суті, дає ще один варіант управління механізмом формування похибки на основі створення змінної зносостійкості по довжині ріжучих елементів. Однак це технічне рішення не отримало належного використання на практиці.

У зв'язку з цим, виникає необхідність більш ретельного розгляду цього варіанту управління формуванням похибок в поздовжньому перерізі.

Встановлено, що ступінь виправлення конусності отвору залежить від відношення основ трапеції:

$$\varepsilon = \frac{B_1}{B}. \quad (4.1)$$

У кожному конкретному випадку оптимальне значення ε слід підбирати дослідним шляхом. Як видно з таблиці 1.2, для даного конкретного випадку, ефективне виправлення конусності досягається при значеннях $\varepsilon = 0,4 \dots 0,5$.

Підбір ε дослідним шляхом припускає наступне.

Необхідно спочатку виготовити ріжучі елементи з постійним значенням ширини по їх довжині і прошліфувати ріжучі елементи на круглошліфувальному верстаті для формування необхідної циліндричної форми.

Далі, здійснюється обробка достатньо великої партії деталей і фіксується одержувана стабільна конусність, яка повторюється від деталі до деталі. Для того, щоб визначити приблизну кількість деталей в партії, виконаємо наступні орієнтовні розрахунки.

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При обробці однієї деталі питомий розмірний знос порівняно мала величина. Наприклад, при хонінгуванні наскрізних отворів в шатунах СМД14 зі сталі 45Х НВ250 ($d_{\text{отв}} = 84$ мм; $l_{\text{отв}} = 90$ мм) брусками $8 \times 5 \times 1 \times 50$ АСП 5 — М1 — 100 (число брусків $z = 8$) [15], величина радіального розмірного зносу за час обробки однієї деталі складе 0,29 мкм (товщина алмазоносного шару / кількість оброблених деталей = $1 / 3500 = 0,29$ мкм). Якщо умовно прийняти, що при хонінгування глухих отворів темпи зношування різальних елементів у верхній і нижній частинах співвідносяться як 1:2, то після обробки першої деталі при величині розмірного зносу 0,29 мкм в середині величина розмірного зношування по краях ріжучих елементів складе: у верхній частині 0,386 мкм, а в нижній 0,193 мкм. Тобто, придбана конусність на інструменті в розглянутому випадку складе 0,193 мкм. При обробці наступних деталей буде мати місце зменшувальний приріст величини конусності і при якомусь достатньо більшому числі оброблених деталей процес прирощення конусності припиниться і буде мати місце еквідистантний знос інструменту.

Приймемо грубі припущення про те, що приріст величини конусності на інструменті постійно від деталі до деталі, і величина конусності на інструменті дорівнює величині формованої конусності на деталі. При цих умовах, якщо значення конусності з таблиці 1.2 (130 мкм) розділити на отриману величину питомого темпу зносу (0,193 мкм), то отримаємо число 674 шт. Це приблизна кількість деталей, яку необхідно обробити, щоб на інструменті сформувалася конусність до 130 мкм.

Отримане число деталей в силу прийнятих грубих допущень, є суттєво заниженим. Реально необхідна кількість деталей буде значно більшою.

Таким чином, отримано порядок числа деталей, що підлягають обробці, щоб експериментально зафіксувати одержувану конусність при $\varepsilon = 1$.

Далі, ці ж дії необхідно повторити при $\varepsilon = 0,5$ (конусність — 74 мкм) і $\varepsilon = 0,3$ (конусність — 62 мкм). При цьому вибір значення ε носить випадковий характер і по кожному з них необхідно хонінгування відповідної кількості деталей.

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Методом інтерполяції, визначимо, що шукане значення $\varepsilon \approx 0,35 \div 0,4$.

Використання інструменту з ріжучими елементами трапецеїдальної форми передбачає необхідність контрольного (експериментального) хонінгування порівняно великої кількості отворів, у кількості тисяч, десятків тисяч, тобто характеризується великою трудомісткістю.

Далі необхідно зазначити, що існує оптимальне значення ширини брусків, при якому процес хонінгування найбільш ефективний. Варіювання ж шириною брусків по їх довжині згідно з таблицею 1.2 (більш ніж у два рази) призведе до того, що хонінгування істотно більшою частиною робочої поверхні брусків буде здійснюватися в неоптимальному режимі. Це неминуче позначиться на ефективності процесу знімання припуску, питомого зносу алмазоносного шару, якості обробленої поверхні і т. д.

Необхідно також відзначити, що в конструкціях хонінгувальних головок сумарна ширина брусків вибирається у відповідності з формулою [15]:

$$B_z = (0,25 \dots 0,35) \pi d_{\text{отв}}. \quad (4.2)$$

Сумарна ширина брусків B_z може бути визначена двояко.

Спочатку, за емпіричним графіком [15] визначається ширина алмазного бруска B в залежності від діаметру оброблюваного отвору $d_{\text{отв}}$ і потім, за формулою (4.2) – кількість брусків z .

Або, спочатку, конструктивно, в залежності від діаметру оброблюваного отвору, визначається кількість брусків, потім за формулою (4.2) – ширина брусків.

Далі, якщо допустити, що для визначення габаритних розмірів трапецеїдального бруска може бути використана формула (4.2), то незрозуміло, чому буде відповідати шукана ширина: верхній основі трапеції B , нижній основі трапеції B_1 або якомусь проміжному значенню.

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Крім того, відсутня інформація щодо факторів, що визначають закон зміни величини $x = (zB) / (\pi D_{\text{отв}})$ в діапазоні 0,25...0,35, яким регламентується вибір сумарної ширини брусків.

Тому тут необхідно додаткове дослідження з уточнення алгоритму вибору габаритних розмірів трапецеїдальних брусків, призначених для хонінгування глухих отворів. Крім того, необхідно в першому наближенні провести оцінку ефективності застосування таких брусків.

Для цього, з наявних у літературі експериментальних даних, інваріантно до діаметрального розміру, параметрами конструкції інструменту і властивостями алмазоносного шару матеріалу заготовки, виконаємо, по відношенню до величини x статистичний аналіз вибірок найбільш характерних операцій хонінгування наскрізних отворів [39, 40, 15, 43, 44, 45] і на основі результатів цього аналізу сформулюємо рекомендації по вибору габаритних розмірів трапецеїдальних брусків для хонінгування глухих отворів.

Початкові дані для проведення зазначеного аналізу наведені в таблиці 4.2.

За даними таблиці 4.2 побудуємо графік (рисунок 4.3) розсіювання величини x_j залежно від діаметра обробки.

З графіка наочно видно, що величина x_j є випадковою величиною по відношенню до діаметра обробки. У зв'язку з цим, застосовуючи методику групування в інтервали [46, 47], виконаємо статистичний аналіз значень x_j (таблиця 4.3, 4.4, 4.5) і для наочності побудуємо і наведемо тут криві розсіювання цих значень (рисунок 4.4).

Зі значень таблиць 4.3-4.4 випливає, що за критерієм Колмогорова ($P(\lambda) > 0,05$) у всіх трьох випадках має місце закон нормального розподілу.

Розмах середньоарифметичних значень по трьох випадках становить 0,0274. Оскільки це на порядок менше порівняно з розмахом всієї вибірки емпіричного розподілу величин x , то можна стверджувати, що відсутня функціональна залежність між значеннями x і властивостями оброблюваного матеріалу.

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При виборі габаритних розмірів трапецеїдальних брусків для хонінгування глухих отворів необхідно величину середньої лінії трапеції прирівняти до розрахункового значення ширини брусків, визначеної для випадку хонінгування наскрізних отворів.

Таблиця 4.2 – Початкові дані для статистичного аналізу величини $x = (z \cdot B) / (\pi \cdot D_{\text{отв}})$

№ з.п.	$x_j = \frac{(z_j \cdot B_j)}{(\pi \cdot D_{\text{отв } j})}$	№ з.п.	$x = \frac{(z \cdot B)}{(\pi \cdot D_{\text{отв}})}$	№ з.п.	$x = \frac{(z \cdot B)}{(\pi \cdot D_{\text{отв}})}$	№ з.п.	$x = \frac{(z \cdot B)}{(\pi \cdot D_{\text{отв}})}$
1.	$3 \cdot 2 / \pi \cdot 8 = 0,238$	21.	$4 \cdot 8 / \pi \cdot 35 = 0,291$	41.	$6 \cdot 6 / \pi \cdot 61 = 0,187$	61.	$9 \cdot 12 / \pi \cdot 100 = 0,343$
2.	$3 \cdot 3 / \pi \cdot 8 = 0,358$	22.	$4 \cdot 5 / \pi \cdot 35 = 0,181$	42.	$6 \cdot 13 / \pi \cdot 65 = 0,382$	62.	$6 \cdot 12 / \pi \cdot 100 = 0,229$
3.	$3 \cdot 3 / \pi \cdot 10 = 0,286$	23.	$4 \cdot 11 / \pi \cdot 37 = 0,378$	43.	$7 \cdot 11 / \pi \cdot 72 = 0,340$	63.	$6 \cdot 12 / \pi \cdot 10 = 0,227$
4.	$3 \cdot 4 / \pi \cdot 11 = 0,347$	24.	$3 \cdot 6 / \pi \cdot 38 = 0,150$	44.	$7 \cdot 11 / \pi \cdot 72 = 0,340$	64.	$6 \cdot 12 / \pi \cdot 101 = 0,227$
5.	$3 \cdot 4 / \pi \cdot 12 = 0,318$	25.	$3 \cdot 6 / \pi \cdot 38 = 0,150$	45.	$4 \cdot 8 / \pi \cdot 72 = 0,141$	65.	$6 \cdot 12 / \pi \cdot 103 = 0,222$
6.	$4 \cdot 3 / \pi \cdot 13 = 0,293$	26.	$3 \cdot 12 / \pi \cdot 38 = 0,301$	46.	$613 / \pi \cdot 75 = 0,331$	66.	$4 \cdot 20 / \pi \cdot 103 = 0,247$
7.	$4 \cdot 3 / \pi \cdot 13 = 0,293$	27.	$6 \cdot 3 / \pi \cdot 38 = 0,150$	47.	$613 / \pi \cdot 75 = 0,331$	67.	$4 \cdot 20 / \pi \cdot 103 = 0,247$
8.	$4 \cdot 4 / \pi \cdot 15 = 0,339$	28.	$4 \cdot 10 / \pi \cdot 42 = 0,303$	48.	$5 \cdot 12 / \pi \cdot 79 = 0,241$	68.	$6 \cdot 12 / \pi \cdot 105 = 0,218$
9.	$3 \cdot 4 / \pi \cdot 16 = 0,238$	29.	$4 \cdot 10 / \pi \cdot 42 = 0,303$	49.	$5 \cdot 12 / \pi \cdot 79,5 = 0,240$	69.	$6 \cdot 12 / \pi \cdot 105 = 0,218$
10.	$3 \cdot 4 / \pi \cdot 16 = 0,238$	30.	$6 \cdot 6 / \pi \cdot 42 = 0,272$	50.	$6 \cdot 10 / \pi \cdot 81 = 0,235$	70.	$6 \cdot 12 / \pi \cdot 111 = 0,206$
11.	$4 \cdot 5 / \pi \cdot 21 = 0,303$	31.	$4 \cdot 12 / \pi \cdot 42 = 0,363$	51.	$6 \cdot 8 / \pi \cdot 82 = 0,186$	71.	$6 \cdot 12 / \pi \cdot 111 = 0,206$
12.	$3 \cdot 8 / \pi \cdot 22 = 0,347$	32.	$8 \cdot 4 / \pi \cdot 45 = 0,226$	52.	$6 \cdot 8 / \pi \cdot 82 = 0,186$	72.	$8 \cdot 12 / \pi \cdot 120 = 0,254$
13.	$4 \cdot 5 / \pi \cdot 22 = 0,299$	33.	$8 \cdot 4 / \pi \cdot 45 = 0,226$	53.	$8 \cdot 8 / \pi \cdot 84 = 0,242$	73.	$8 \cdot 12 / \pi \cdot 120 = 0,254$
14.	$3 \cdot 3,5 / \pi \cdot 27 = 0,123$	34.	$6 \cdot 8 / \pi \cdot 51 = 0,299$	54.	$6 \cdot 6 / \pi \cdot 85 = 0,134$	74.	$8 \cdot 12 / \pi \cdot 120 = 0,254$
15.	$3 \cdot 4 / \pi \cdot 27 = 0,141$	35.	$6 \cdot 8 / \pi \cdot 51 = 0,299$	55.	$6 \cdot 6 / \pi \cdot 85 = 0,134$	75.	$12 \cdot 15 / \pi \cdot 120 = 0,47$
16.	$3 \cdot 4 / \pi \cdot 27 = 0,141$	36.	$5 \cdot 8 / \pi \cdot 52 = 0,244$	56.	$8 \cdot 10 / \pi \cdot 92 = 0,276$	76.	$12 \cdot 15 / \pi \cdot 120 = 0,47$
17.	$3 \cdot 8 / \pi \cdot 28,5 = 0,267$	37.	$5 \cdot 8 / \pi \cdot 58 = 0,219$	57.	$8 \cdot 10 / \pi \cdot 92 = 0,276$	77.	$15 \cdot 8 / \pi \cdot 145 = 0,263$
18.	$3 \cdot 8 / \pi \cdot 28,5 = 0,267$	38.	$4 \cdot 12 / \pi \cdot 61 = 0,250$	58.	$10 \cdot 6 / \pi \cdot 92 = 0,207$	78.	$15 \cdot 8 / \pi \cdot 145 = 0,263$
19.	$4 \cdot 6 / \pi \cdot 31 = 0,246$	39.	$4 \cdot 12 / \pi \cdot 61 = 0,250$	59.	$10 \cdot 6 / \pi \cdot 92 = 0,207$		
20.	$4 \cdot 6 / \pi \cdot 32 = 0,238$	40.	$4 \cdot 12 / \pi \cdot 61 = 0,250$	60.	$9 \cdot 12 / \pi \cdot 100 = 0,343$		

Рисунок 4.3 – Розсіювання величини x_j залежно від діаметра обробки:

1 – діаметри отворів; 2 – x_j ; 3 – лінія тренду

Таблиця 4.3 – Зведені дані (сталь, чавун)

Емпіричний розподіл x_j при хонінгуванні сталевих та чавунних деталей									
Максимальне значення $x = (z \cdot B) / (\pi \cdot D_{\text{отв}})$		Розмах вибірки	Число інтервалів	Ширина інтервалу	Об'єм вибірки	Середнє арифметичне	Середньо квадратичне	Критерій Колмогорова	Імовірність
$x_{\max}$	$x_{\min}$	W	f	d	n	$\bar{X}$	S	λ	$P(\lambda)$
0,477	0,123	0,353	8	0,0442	78	0,2599	0,0684	0,8215	0,5441
№ інтервалу	Інтервали поточного емпіричного розподілу		Середина інтервалу	Частота інтервалу	Повторюваність	Теоретична частота	Накопичена емпірична частота	Накопичена теоретична частота	$ Nm_i - Nm_i' $
			x_i	m_i	m_i / n	m_i'	$N \cdot m_i$	$N \cdot m_i'$	
1	0,12385	0,168	0,145	8	0,10	5,03205	8	5,03205	2,9679
2	0,168082	0,212	0,190	8	0,10	11,9647	16	16,9967	0,9967
3	0,212314	0,256	0,234	27	0,34	18,7476	43	35,7443	7,2556
4	0,256546	0,30	0,278	14	0,18	19,3587	57	55,1031	1,8968
5	0,300778	0,345	0,322	12	0,1538	13,1733	69	68,2764	0,7235
6	0,345011	0,389	0,367	6	0,0769	5,90750	75	74,1839	0,8160
7	0,389243	0,433	0,411	2	0,0256	1,74581	77	75,9298	1,0701
8	0,433475	0,477	0,455	1	0,0128	0,34000	78	76,2698	1,7301

Таблиця 4.4 – Зведені дані (сталь)

Емпіричний розподіл x_j при хонінгуванні сталевих деталей									
Максимальне значення $x = (z \cdot B) / (\pi \cdot D_{\text{отв}})$		Розмах вибірки	Число інтервалів	Ширина інтервалу	Об'єм вибірки	Середнє арифметичне	Середньо квадратичне	Критерій Колмогорова	Імовірність
$x_{\max}$	$x_{\min}$	W_c	f_c	d_c	n_c	$\bar{X}_c$	S_c	λ_c	$P(\lambda)_c$
0,477	0,134	0,342	7	0,0489	40	0,272	0,0736	0,2770	0,990

Продовження таблиці 4.4

№ інтервалу	Інтервали поточного емпіричного розподілу		Середина інтервалу	Частота інтервалу	Повторюваність	Теоретична частота	Накопичена емпірична частота	Накопичена теоретична частота	$ Nm_{ic} - Nm_{ic}' $
			x_{ic}	m_{ic}	m_{ic} / n	m_{ic}'	$N \cdot m_{ic}$	$N \cdot m_{ic}'$	
1	0,134882	0,183	0,159	5	0,125	3,293	5	3,29334	1,7066
2	0,18385	0,232	0,208	7	0,175	7,303	12	10,5969	1,4030
3	0,23283	0,281	0,257	11	0,275	10,40	23	21,0025	1,9974
4	0,28180	0,330	0,306	10	0,25	9,524	33	30,5269	2,4730
5	0,33078	0,379	0,355	4	0,1	5,600	37	36,1275	0,8724
6	0,37975	0,428	0,404	1	0,025	2,115	38	38,2433	0,2433
7	0,42873	0,477	0,453	2	0,05	0,513	40	38,7568	1,2431

Таблиця 4.5 – Зведені дані (чавун)

Емпіричний розподіл x_j при хонінгуванні чавунних деталей									
Максимальне значення $x = (z \cdot B) / (\pi \cdot D_{отв})$		Розмах вибірки	Число інтервалів	Ширина інтервалу	Об'єм вибірки	Середнє арифметичне	Середньо квадратичне	Критерій Колмогорова	Імовірність
x_{max}	x_{min}	$W_{\text{ч}}$	$f_{\text{ч}}$	$d_{\text{ч}}$	$n_{\text{ч}}$	$\bar{X}_{\text{ч}}$	$S_{\text{ч}}$	$\lambda_{\text{ч}}$	$P(\lambda)_{\text{ч}}$
0,347	0,123	0,223	6	0,0372	35	0,2446	0,0551	0,384	0,99
№ інтервалу	Інтервали поточного емпіричного розподілу		Середина інтервалу	Частота інтервалу	Повторюваність	Теоретична частота	Накопичена емпірична частота	Накопичена теоретична частота	$ Nm_{ic} - Nm_{ic}' $
			x_{ic}	m_{ic}	m_{ic} / n	m_{ic}'	$N \cdot m_{ic}$	$N \cdot m_{ic}'$	
1	0,12385	0,161	0,142	3	0,0857	1,6944	3	1,69449	1,3055
2	0,161112	0,198	0,179	3	0,0857	4,7163	6	6,41088	0,4108
3	0,198374	0,235	0,217	11	0,3142	8,3169	17	14,7278	2,2721
4	0,235637	0,272	0,254	7	0,2	9,2918	24	24,0196	0,0196
5	0,272899	0,310	0,291	5	0,1428	6,5769	29	30,5966	1,5966
6	0,310161	0,347	0,328	6	0,1714	2,9493	35	33,5459	1,4540

Рисунок 4.4 – Розподіл величини x для:

$$1 - \text{сталей та чавунів} \left(\frac{m'}{n} \right); 2 - \text{сталей} \left(\frac{m'_c}{n_c} \right); 3 - \text{чавунів} \left(\frac{m'_q}{n_q} \right)$$

Зупинимося на схемі обробки, при якій фізико-механічні властивості зв'язки по довжині ріжучих елементів виконані змінними, що обумовлює відповідне нівелювання темпу розмірного зносу по довжині ріжучих елементів [23].

У цьому винаході використана зв'язка на основі епоксидної смоли із затверджувачем, а змінність механічних властивостей зв'язки досягається за рахунок відповідного відсоткового співвідношення смоли і затверджувача. Недоліком є те, що для створення змінної зносостійкості цілеспрямовано зменшуються зусилля утримання алмазних зерен у зв'язці, що призводить до підвищеної витрати останніх. Наступним недоліком є те, що створення перемінної зносостійкості можливе за рахунок зв'язки на основі епоксидної смоли із затверджувачем і проблематично – за рахунок інших типів зв'язок.

Таким чином технологічні можливості при застосуванні даного інструменту обмежені, як за переліком оброблюваних матеріалів, так і за діапазоном режимів обробки.

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Альтернативою вказаним вище способам хонінгування, є схема, при якій змінні властивості по зносостійкості по довжині ріжучих елементів досягаються за рахунок змінності фізико-механічних властивостей алмазних зерен.

На рисунку 4.5 схематично представлена конструкція ріжучого елемента, алмазозносний шар якого складається з двох (можливо і більше двох як по ширині, так і по довжині) частин, які відрізняються фізико-механічними властивостями, а саме, міцністю алмазних зерен або, що теж саме марками алмазів: у верхній частині – високоміцні алмази марки АСВ (питома витрата – $q_1 \approx 1,2$ мг/г), у нижній частині – природні алмази (питома витрата – $q_2 \approx 0,5$ мг/г).

Рисунок 4.5 – Конструкції різального елемента зі змінними фізико-механічними властивостями алмазних зерен по довжині

Величини питомих витрат отримані при хонінгування гільз циліндрів двигунів Д50 із загартованого чавуну [14].

Така конструкція інструменту в якій ріжучі елементи виконані із змінними по їх довжині властивостями по зносостійкості (за аналогією з різальними елементами

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зі змінною концентрацією алмазних зерен, або трапецієподібної форми), забезпечить відповідне нівелювання темпу розмірного зношування за довжиною різальних елементів.

Діапазон зміни твердості природних і синтетичних алмазів змінюється, в залежності 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 по довжині ріжучих елементів незмінно (зернистість і концентрація у верхній і нижній частині однакові), то і умови знімання припуску по довжині ріжучих елементів, також будуть однаковими ($a_z / \rho = \text{const}$).

4.2 Хонінгування за рахунок зміни поздовжньої орієнтації різальних елементів, аналіз ефективності

Широко відомий спосіб хонінгування [48], у якому в циклі обробки відбувається зміна поздовжньої орієнтації деталі. Схема реалізації цього способу зображена на рисунку 4.6. Цикл хонінгування в даному способі поділяють як мінімум на два і більше підциклів, в кожному з яких обробка отвору здійснюється з різних боків. Такий прийом забезпечує більш рівномірний контакт робочої поверхні брусків з усіма ділянками оброблюваного отвору.

У результаті суттєво зменшується копіювання початкової похибки геометричної форми оброблюваного отвору інструментом і навпаки. За рахунок ефекту взаємної правки інтенсифікується виправлення початкової похибки форми отвору робочої частини хонінгувальної головки. Крім того, при хонінгуванні отвору з двох сторін зменшується вплив похибки налагодження, наприклад, неоднакового перебігу брусків на точність геометричної форми оброблюваного отвору.

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 4.6 – Схема хонінгування за методом взаємної правки

На основі наведеного вище відомого способу пропонується хонінгування, в якому відмінною особливістю є те, що схема взаємної правки в контактні інструмент-деталь реалізується за рахунок періодичної зміни поздовжньої орієнтації не деталі, а ріжучих елементів інструменту.

На рисунку 4.7 а, б, в, схематично представлені поздовжні і поперечні розрізи конструкцій інструментів для реалізації способу відповідно:

- із проміжним клиновидним елементом у вигляді деформованої у радіальному напрямку втулки;
- із проміжними клиновидними елементами, які встановлені між кожним алмазозосним елементом і голкою розтиску;
- із двома однаковими, зустрічно орієнтованими опорними клиновими поверхнями на алмазозосних елементах.

На рисунках 4.8-4.10 зображені схеми контактування голки розтиску і алмазозосних елементів (а – до перевстановлення; б – після перевстановлення) відповідно в конструкціях інструментів на рисунку 4.7 а, б, в.

На рисунку 4.11 зображена розгортка проміжного клиновидного елемента 5 у вигляді деформованої в радіальному напрямку втулки в конструкції інструмента на рисунку 4.7, а.

Рисунок 4.7 – Поздовжні та поперечні розрізи конструкцій інструментів

Рисунок 4.8 – Схема контактування
голки розтиску

Рисунок 4.9 – Схема контактування
голки розтиску

Позначення на всіх фігурах однакові.

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 4.10 – Схема контактування
голки розтиску

Рисунок 4.11 – Розвертка
проміжного клинового елемента

Інструменти для хонінгування (рисунок 4.7 а, б, в) складаються з корпусу 1, в якому з можливістю поздовжнього переміщення за допомогою механізму радіальної подачі верстата встановлена голка розтиску 2. В поздовжніх пазах корпусу з можливістю радіального переміщення встановлені підпружинені пружинами 4 алмазозносні елементи 3. При цьому алмазозносні елементи встановлені з можливістю контактування своєї робочої опорної поверхні безпосередньо (рисунок 4.7, в) або через проміжний клиновий елемент 5 (рисунок 4.7, а, б), з робочою опорною клинковою (конічною) поверхнею голки розтиску 2. Проміжний клиновий елемент на рисунку 4.7, а, є загальним для всіх алмазозносних елементів, а на рисунку 4.7, б, проміжний клиновий елемент виконаний у вигляді окремих колодок, кожна з яких контактує з власним алмазозносним елементом.

Інструмент працює наступним чином. У початковому положенні інструмент знаходиться поза хонінгуємим отвором; голка розтиску 2 знаходиться в крайньому верхньому (за рисунком) положенні і, відповідно, алмазозносні елементи 3 стиснуті пружинами 4. Інструмент уводиться в оброблюваний отвір, і включенням відповідних приводів здійснюється зворотно-поступальний, обертальний і прискорені радіальні переміщення алмазозносних елементів 3. У момент

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

досягнення контакту алмазоносних елементів з оброблюваною поверхнею прискорене радіальне переміщення алмазоносних елементів системи керування верстата переключається на робоче переміщення. При цьому внаслідок конструктивних особливостей глухих отворів зворотно-поступальне переміщення здійснюється з одностороннім перебігом. Таким чином, здійснюється знімання припуску. По закінченні знімання припуску інструмент виводиться з отвору в початкове крайнє положення. У цьому положенні здійснюють переустановлення алмазоносних елементів, змінюючи їх орієнтацію на протилежну. Далі здійснюється хонінгування наступної деталі.

Період переустановлення ріжучих елементів можна здійснювати після кожної деталі, або після обробки партії деталей, величина якої регламентується різницею темпу радіального розмірного зносу алмазоносних елементів по довжині і допуском на геометричну похибку по довжині отвору, що хонінгується. Розроблений спосіб не виключає можливості перевстановлення ріжучих елементів всередині циклу обробки окремої деталі. Однак, слід зауважити, що такі випадки можуть виникнути при порівняно малих допусках і порівняно великій різниці темпів зносу алмазоносних елементів по довжині, що на практиці зустрічається вкрай рідко.

Розглянемо переваги даного способу нижче.

Безпосередньо із схеми реалізації відомого способу (рисунок 4.6) виходить, що галуззю застосування є хонінгування лише наскрізних отворів.

Запропонований спосіб придатний як для наскрізних, так і для глухих отворів. При цьому, в процесі хонінгування глухих отворів з одностороннім перебігом (в зоні протилежній дну оброблюваного отвору) за час обробки однієї деталі (або партії деталей) робоча частина алмазоносних елементів зношується нерівномірно по довжині. У меншій мірі зношується та частина, де має місце перебіг і більшою – де перебіг відсутній. Тобто, на робочій частині інструменту формується похибка форми у поздовжньому перерізі у вигляді конусоподібної, яка трансформується у відповідну похибку оброблюваного отвору розділ. Після переустановлення менш

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зношена і більш зношена частини міняються місцями. При обробці наступної деталі (або наступної партії деталей) раніше більш зношена частина зношується менш інтенсивно, а раніше менш зношена частина – більш інтенсивно. Таким чином, переустановлення призводить до автоматичного вирівнювання темпу зносу по довжині робочої частини алмазоносних елементів (ефект взаємної правки) і, відповідно, підвищується геометрична точність отвору, що хонінгується в поздовжньому перерізі.

При реалізації відомого способу передбачається, що при зміні поздовжньої орієнтації отвору деталі просторове положення осі оброблюваного отвору залишається незмінним, а торці міняються місцями. Якщо ці умови відсутні, то необхідно застосування спеціально спроектованих пристосувань, які забезпечували б сталість положення отвору незалежно від його орієнтації, що в ряді випадків або проблематично, або неможливо. У цьому контексті, за конструктивними ознаками, номенклатура оброблюваних деталей з наскрізними отворами істотно обмежена.

В інструменті, що реалізує удосконалений спосіб, опорні поверхні розтискного і ріжучих елементів, або розтискного, ріжучих і проміжних елементів виконані таким чином, що при зміні орієнтації різальних елементів орієнтація різальної поверхні останніх в радіальному і поздовжньому напрямках займає одне й те ж місце.

На відміну від відомого способу таке конструктивне виконання інструменту в удосконаленому способі обумовлює інваріантність в застосуванні останнього по відношенню до конструктивних ознак оброблюваних деталей.

Реалізація відомого способу з зміною поздовжньої орієнтації отвору деталі (один або кілька разів протягом циклу) обумовлює неминучість появи геометричних похибок, обумовлених перебазуванням і перезакріпленням деталі.

В удосконаленому способі відсутнє перебазування та перезакріплення деталі і, відповідно, відсутнє виникнення обумовлених вище геометричних похибок. Похибки ж, що виникають при зміні орієнтації ріжучих елементів в розробленому способі, на порядок менше, ніж у відомому при зміні орієнтації деталі. Це

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обумовлено тим, що опорні поверхні розтискного і ріжучих елементів, або розтискного, ріжучих і проміжних елементів інструменту виконані з істотно більшою точністю, ніж технологічні базові поверхні деталей, що хонінгуються. Крім того, при тривалій роботі інструменту має місце взаємне притирання зазначених опорних поверхонь, яке спрямоване на нівелювання величини похибок, пов'язаних зі зміною орієнтації ріжучих елементів.

Зміна поздовжньої орієнтації деталі всередині циклу обумовлює поділ загального циклу як мінімум на два і більше підциклів, в кожному з яких обробка отвору здійснюється з різних боків. При цьому, при переході від одного підциклу до іншого має місце переривання загального циклу обробки, що призводить до виникнення небажаних перехідних процесів. Зокрема, необхідно зменшити діаметральний розмір інструменту, та відповідно зняти натяг у системі, вимкнути приводи верстата і, далі, здійснити виведення інструменту із зони обробки. Після, необхідно виконати зміну орієнтації деталі, ввести інструмент в зону обробки з одночасним включенням приводів верстата, відновити натяг у системі і продовжити цикл. Все це істотно збільшує допоміжний час на операцію хонінгування.

Крім того, під час перехідних процесів між підциклами, має місце некероване знімання припуску, що обумовлює необхідність збільшення загального припуску на хонінгування і в більшості випадків вносить додаткові геометричні похибки, для нівелювання яких також необхідно збільшення загального припуску.

В удосконаленому способі зміна поздовжньої орієнтації ріжучих елементів всередині циклу, як зазначалося вище, має місце у виняткових випадках. У переважній більшості випадків, зміна орієнтації ріжучих елементів здійснюється між циклами після обробки кожної деталі, або після суттєвої обробки партії деталей.

З викладеного випливає висновок про те, що збільшення трудомісткості обробки пов'язане з переорієнтацією у відомому способі істотно більше, ніж збільшення трудомісткості в удосконаленому способі.

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В удосконаленому способі істотно змінюються умови обробки. Сутність в наступному. При переустановленні фронтальні (по відношенню до вектора колової швидкості) частини різальних елементів стають тильними і, відповідно, тильні частини – фронтальними, що призводить до підвищення ріжучої здатності останніх. Це обумовлено наступним. По-перше, в роботу вступають екрановані раніше ріжучі зерна. По-друге, у затуплених раніше зерен, при зміні орієнтації, починають різати протилежні гострі грані. І по-третє, поліпшуються умови евакуації шламу з простору між зернами.

Висновки до розділу 4

1 Операції хонінгування глухих отворів слід здійснювати за схемою з імпульсною дозованою радіальною подачею, що реалізується в зоні дна оброблюваного отвору, а не в момент реверсу зворотно-поступального руху. Це підвищує точність обробки приблизно на порядок, дзеркально змінює знак інтенсивності зносу фронтальних частин різальних елементів. Логіка удосконалення способу хонінгування зумовлює алгоритм керування точністю форми у поздовжньому перерізі, сутність якого полягає в тому, що дозовану імпульсну подачу слід розділити на дві частини: одну з них реалізувати у верхньому положенні інструменту, а другу – в нижньому. Варіюючи величинами подач у верхньому і нижньому положеннях інструменту можна керувати інтенсивністю знімання металу при поступальному і зворотному переміщенні інструмента і, відповідно, характером зносу за довжиною ріжучих елементів і, тим самим, виглядом і величиною похибки, що генерується. Спосіб хонінгування із керованим темпом знімання металу при прямому і зворотному переміщеннях інструмента можна реалізувати на відомих верстатах, за рахунок відповідної незначної модернізації системи управління верстатом. Наприклад, досить зв'язати команду на дозоване розтискання ріжучих елементів з моментом реверсу в зоні дна оброблюваного отвору. Експериментами встановлено, що при поступовому

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

переміщенні інтенсивність знімання припуску на порядок вище, ніж при зворотному переміщенні. Це слугує підтвердженням логічності реалізації дозованої подачі у зоні дна оброблюваного отвору.

2 Спосіб обробки, що включає використання ріжучих елементів зі змінними фізико-механічними властивостями по їх довжині, з одного боку, забезпечує при обробці глухих отворів компенсацію конусності, яка генерується асиметрією перебігів і, з іншого боку, можливість обробки за забезпеченням $a_z/p = \text{const}$. Варіюючи ж сумарною шириною брусків можна забезпечити оптимальне значення величини a_z/p . Забезпечується рівномірність темпу зношування по довжині різальних елементів, що у свою чергу, підвищує точність обробки.

3 Технологічні можливості удосконаленого способу за рахунок орієнтації різальних елементів в поздовжньому перерізі значно ширше, ніж технологічні можливості відомого. У порівнянні з традиційними способами обидва способи (базовий та удосконалений) характеризуються збільшенням трудомісткості обробки. При цьому, збільшення трудомісткості у відомому способі істотно більше, ніж у розробленому. В обох способах має місце два зустрічних явища: підвищення точності обробки за рахунок нівелювання нерівномірності зносу по довжині ріжучих елементів (ефект взаємної правки); зменшення точності обробки обумовлене виникненням геометричних похибок при переорієнтації. При цьому, зменшення точності у відомому способі істотно більше, ніж удосконаленого. Усувається накопичувальний характер нерівномірності розмірного зношування різальних елементів по їх довжині, що відповідно виключає накопичувальний характер генерування конусоподібної похибки форми отвору, що оброблюється.

РОЗДІЛ 5. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБОК

5.1 Безпечність праці під час виконання хонінгувальних робіт

Робоче місце оператора хонінгувального верстата організовується у сидячому положенні, так як воно не вимагає вільного переміщення робочого. Конструкцією робочого місця забезпечено виконання трудових операцій у межах зони досяжності. Передбачається можливість регулювання окремих елементів, що забезпечують оптимальне положення робітника. Робоча поверхня не регулюється. Обираємо робочий простір для ніг, рівний 700 мм, висота робочого сидіння 500 мм. Виходячи із вищенаведеного, оптимальною висотою робочої поверхні буде 900 мм. Для даного робочого місця застосовуємо місцеву витяжну вентиляцію. Вона найбільш повно забезпечить санітарно-гігієнічний ефект.

Місцева витяжна вентиляція призначена для видалення забрудненого повітря від верстатів, що здійснюють хонінгування, і містить у собі примач запиленого повітря, розташований над верстатом, повітропровід, одну засувку, два повороти на 90°, очисну споруду (циклон), вентилятор.

Для підтримки у виробничих приміщеннях у холодну пору року заданої температури повітря застосовується опалення. Застосовуємо систему центрального водяного опалення, так як вона найбільш ефективна у санітарно-гігієнічному відношенні та вода подається до системи із власної котельні підприємства.

У виробничому приміщенні застосовується штучне освітлення. Для його реалізації обираємо лампи накаливання, у яких світіння виникає за рахунок нагріву нитки накалу до високих температур. Вони прості та надійні під час експлуатації. Обираємо світильники прямого світла. Вони спрямовують понад 80% світлового потоку у нижню напівсферу за рахунок внутрішньої відбиваючої емалевої чи полірованої поверхні. Також для робочого місця застосовуватимемо світильник місцевого освітлення.

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні правила кольорового оформлення виробничих приміщень полягають у наступному: в будь-якому виробничому приміщенні повинно бути світло, стіни і стеля пофарбовані у світлі тони при відносно незначній насиченості та високому коефіцієнті відбиття. Необхідно використовувати також контрасти між теплими та холодними тонами (якщо стіни пофарбовані у теплі тони, то обладнання – у холодні, і навпаки). Стеля фарбується білим кольором. Для стін застосовуємо фарбу голубого кольору. Для різного виду обладнання і верстатів можливо застосовувати сірий та світло-зелений кольори.

При використанні засобів автоматизації технологічного процесу дистанційний пульт керування необхідно улаштовувати таким чином, щоб оператор мав змогу контролювати відсутність людей у небезпечних зонах. Кожному пуску має передувати попереджувальний сигнал, тривалість дії якого дозволяє особі, що знаходиться у небезпечній зоні, полишити її або попередити функціонування машини.

Командні пристрої системи управління (органи керування) мають бути:

а) легкодоступні та вільно розрізнятися, у необхідних випадках позначені написами, символами тощо;

б) сконструйовані та розміщені таким чином, щоб унеможлиблювалося самовільне їх переміщення, забезпечувалося надійне, упевнене та однозначне маніпулювання, у тому числі при використанні робітником засобів індивідуального захисту;

в) розміщені з урахуванням потрібних зусиль для переміщення, послідовності та частоти використання, а також значущості функцій;

г) виконані таким чином, що їх форма, розміри та поверхні контакту із робітником відповідають способу захоплення (пальцями, кистю) або натискання (пальцем, долонею, стопою ноги);

д) розташовані поза небезпечною зоною.

Основні вражаючі та небезпечні фактори при роботі на хонінгувальному верстаті:

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- небезпека ураження електричним струмом;
- небезпека потрапляння під обертові частини верстата;
- механічні травми від рухомих частин верстата (хон, шпіндель).

Для попередження травмування оператора за периметром небезпечної зони встановлюють огорожу – захисні щити. Також можливе застосування блокувальних механічних засобів захисту, що являють собою систему зв'язку між огорожею та гальмівним (пусковим) пристроєм. При знятті огорожі верстат неможливо розгальмувати, а, відповідно, й пустити його до роботи. До знаків безпеки відноситься плакат «Не входити».

Хонінгувальний верстат встановлюється на віброізоляційному фундаменті, що тим самим є захистом від вібрації.

Для тієї частини електрообладнання, що може опинитися під напругою внаслідок порушення ізоляції, повинен бути забезпечений надійний контакт із заземлюючим пристроєм або із заземленими конструкціями, на яких воно встановлено. Застосовується занулення електроустановок. Воно полягає у електричному поєднанні із глухозаземленою нейтраллю джерела струму металевих частин, що можуть опинитися під напругою (корпус верстата). Для зниження небезпеки ураження струмом застосовується розподіл мережі та подача на робочі місця малих напруг.

Для автоматизації засобів гасіння пожеж пропонуємо спринклерні установки. Внутрішні пожежні крани є елементами протипожежного водопостачання і розташовуються у доступних та видних місцях (біля входів, на сходових клітках, в коридорах). Пожежні крани встановлюють у спеціальних ящиках. До них приєднують пожежні шланги довжиною до 20 м із пожежними стволами. У цеху встановлюємо автоматичну пожежну сигналізацію, в якій використовуємо датчики, що реагують на підвищення температури до певного рівня, на випромінювання відкритого полум'я, а також дим.

Поруч із робочим місцем оператора встановлюємо вогнегасник ОП-10.

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обираємо спецвзуття, що виготовляється зі шкіри чи її замінників, щільних бавовняних тканин із поліхлорвініловим покриттям, гуми. Для захисту стопи від пошкоджень, пов'язаних із падінням на ноги виливків, деталей, поковок тощо взуття облаштовують сталевим носком, що витримує удар до 20 кг. Засоби захисту обличчя та очей – окуляри відкритого та закритого типів, козиркові окуляри, ручні та наголовні щитки, шоломи для захисту очей та органів дихання. Під час механічної обробки матеріалів застосовують окуляри закритого типу із без уламковими стеклами.

5.2 Економічна ефективність впровадження результатів досліджень

Економічна ефективність досягається за рахунок застосування удосконаленого процесу механічної обробки хонінгуванням. За даними ПП „Ливарно-механічний завод” (м. Полтава) вартість одного блоку циліндрів Д240 становить 42500 гривень.

Економічний прибуток впровадження нового технологічного процесу визначається на основі розрахунку капіталовкладень у комплекс заходів, необхідних для його реалізації K – тис. грн.

Оцінка вартості обладнання, необхідного для хонінгування блоку циліндрів, наведена в таблиці 4.1 і відповідає цінам прайс-листів виробників даного обладнання.

Таблиця 4.1 – Оцінка вартості капіталовкладень при впровадженні операції удосконаленого хонінгування

Позначення	Найменування	Вартість, грн.
K_1	Вертикально-хонінгувальний верстат М4215-1	800000
K_2	Хонінгувальна головка	23000

Сумарні капіталовкладення K , грн., становитимуть

$$K = K_1 + K_2. \quad (5.1)$$

Отже, маємо

$$K = 800000 + 23000 = 823000 \text{ (грн.)}.$$

Експлуатаційні витрати складаються із витрат, представлених у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Експлуатаційні витрати нового технологічного процесу на підприємстві ПП „Ливарно-механічний завод”

Позначення	Вид витрат	Обсяг, грн.
C_1	Витрати на заробітну плату	269116,05
C_2	Амортизаційні відрахування	164600
C_3	Витрати на видаткові матеріали	150000
Усього (експлуатаційні витрати підприємства)		583716

Визначимо фонд заробітної плати розрахований на 2-х чоловік: майстра і робітника-хонінгувальника. Пряма виробнича заробітна платня основних робітників виробництва, необхідних для виконання обсягу робіт для механічної обробки, визначається за трудомісткістю цих робіт $\tau_{\text{мех}}$. При цьому умовно приймається, що для 80% цих робітників застосовують відрядно-преміальну систему оплати праці, а для 20% – почасово-преміальну. Середній розряд робіт для відрядників складає $P_{\text{ср.вд}}^{\text{м}} = 4$, для погодинників – $P_{\text{ср.пг.}}^{\text{м}} = 3$:

$$Z_{\text{пр}}^{\text{м}} = 0,8 \cdot \tau_{\text{м}} \cdot N_{\text{зан}} \cdot S_{\text{вдр.пр.}}^{\text{м}} + 0,2 \cdot \tau_{\text{м}} \cdot N_{\text{зан}} \cdot S_{\text{пч.пр.}}^{\text{м}}. \quad (5.2)$$

де $N_{\text{зан}}$ – річна програма запуску виробів, шт.:

$$N_{\text{зан}} = (N_{\text{вип}} + N_{\text{зч}}) \cdot (1 + k_{\text{бр}}) \quad (5.3)$$

де $N_{\text{вип}}$ – річна програма випуску виробів, шт.;

$N_{\text{зч}}$ – кількість виробів, які йдуть на запчастини, приймаємо рівною 3-5% від програми випуску, шт.;

$k_{\text{бр}}$ – коефіцієнт, який враховує технологічні витрати, що неможливо уникнути; приймаємо рівним 2-3 % від сумарної кількості виробів, які формують програму випуску та йдуть на запчастини.

Отже,

$$N_{\text{зан}} = (1100 + 0,04 \cdot 1100) \cdot (1 + 0,025) = 1173 \text{ (шт.)}.$$

Аналогічно з вище написаним:

$$Z_{\text{пр}}^{\text{м}} = 0,8 \cdot 2,5 \cdot 1173 \cdot 80 + 0,2 \cdot 2,5 \cdot 1173 \cdot 60 = 222870 \text{ (грн.)}.$$

Для створення фонду основної заробітної платні, що теж саме – фонду годинної заробітної платні до фонду прямої заробітної платні необхідно додати ряд доплат, що створюють фонд годинної заробітної платні, які в роботі розраховуються збільшено.

Премії із фонду заробітної платні складають 14% від прямої заробітної платні:

$$Z_{\text{прм}} = 0,14 \cdot 222870 = 31202 \text{ (грн.)}.$$

Інші доплати можна прийняти у розмірі 1% від прямої заробітної платні:

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						79
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$З_{опл} = 0,01 \cdot 222870 = 2229 \text{ (грн.)}.$$

Фонд годинної заробітної платні основних робітників складає:

$$\Phi_{зн.дн.ор.} = З_{пр}^M + З_{прм} + З_{опл}; \quad (5.4)$$

$$\Phi_{зн.дн.ор.} = 222870 + 31202 + 2229 = 256301 \text{ грн.}$$

Визначаємо додаткову заробітну платню основних робітників виробництва $З_{дод}$, яка вміщує доплати до фондів денної та річної заробітної платні. Приймаємо розмір додаткової заробітної платні 4-5% від фонду годинної заробітної платні основних робітників.

$$З_{дод} = 0,05 \cdot \Phi_{зн.дн.ор.}; \quad (5.5)$$

$$З_{дод} = 0,05 \cdot 256301 = 12815,05 \text{ грн.}$$

Фонд заробітної платні основних робітників виробництва об'єднує у собі фонди основної та додаткової заробітної платні

$$\Phi_{зн.ор.} = \Phi_{зн.дн.ор.} + З_{дод}; \quad (5.6)$$

$$\Phi_{зн.ор.} = 256301 + 12815,05 = 269116,05 \text{ грн.}$$

Розрахунок амортизаційних відрахувань здійснюється за формулою:

$$C_2 = \frac{K \cdot A}{100}, \quad (5.7)$$

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де K – первинна вартість обладнання, грн.;

A – відсоток річної норми амортизаційних відрахувань.

$$C_2 = \frac{823000 \cdot 20\%}{100} = 164600 \text{ (грн.)}.$$

Експлуатаційні витрати підприємства складуть 583716 грн.

Загальні витрати підприємства на виготовлення:

$$TC = P_e + C_n, \quad (5.8)$$

де P_e – експлуатаційні витрати підприємства;

C_n – собівартість продукції.

Собівартість продукції при використанні нового технологічного процесу зменшиться з 42000000 до 41000000 грн., за рахунок скорочення норм часу.

$$TC = 583716 + 41000000 = 41583716 \text{ (грн.)}.$$

Підприємство реалізує вузол у зборі за ціною 42500 грн.

Вартість партії кількістю 1100 штук складає 46750000 грн. Економічний прибуток підприємства від впровадження нового технологічного процесу без вартості нового обладнання складе:

$$EP = Ц - TC, \quad (5.9)$$

де $Ц$ – загальна вартість партії.

$$EP = 46750000 - 41583716 = 5166284 \text{ (грн.)}.$$

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						81
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На підставі представленого економічного розрахунку можна зробити висновок про те, що новий технологічний процес зменшує собівартість партії готової продукції на 1000000 грн., тим самим збільшує конкурентоспроможність підприємства та дозволяє зменшити роздрібну вартість вузла на 2,4%.

5.3 Людина і довкілля

Під час оцінки стану навколишнього середовища необхідно враховувати наступне:

- рівень забруднення природних ресурсів;
- обсяг та кількість забруднюючих речовин, що утворилися під час господарської діяльності в регіоні;
- кількісний та якісний склад шкідливих викидів від конкретних об'єктів економіки регіону;
- елементи природного середовища, що найбільш страждають від негативного впливу в регіоні;
- самостійне відтворення природних ресурсів;
- антропогенний вплив на природні елементи;
- критичне виснаження ресурсів шкода, завдана забрудненням навколишнього середовища;
- додаткові витрати на медичне обслуговування, оплату непрацездатності, лікування, компенсацій, страхування різних видів, витрати на обслуговування небезпечних зон;
- додаткові витрати на утримання об'єктів житлово-комунального та промислового господарства, їх ремонт та реконструкція; прибирання та знезараження територій, транспорту, обладнання та майна; знезараження зелених насаджень;
- втрати врожаю, витрати на проведення захисних та профілактичних заходів у сільському господарстві; завдання шкоди водним ресурсам та водному

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						82
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

господарству (потенційна шкода від скорочення або зупинення вилову риби, забезпечення населення водою);

- втрати продуктивності лісу (деревина, трави, гриби, ягоди), місць відпочинку населення у зеленій зоні, шкода від пожеж.

Сучасне довкілля, створене не без участі людини, часто різко відрізняється від багатовікового навколишнього середовища даного регіону. Якість середовища до активного втручання людини забезпечувалося самою природою за рахунок саморегуляції та самоочищення від забруднень техногенного характеру. В основі такого процесу самоочищення та саморегуляції полягає принцип безвідходності процесів, що відбуваються у природних циклах, тобто кінцевий продукт одного слугує сировиною для наступного природного циклу. Наприклад, гниття органічних залишків (рослин, тварин) у ґрунті, мінералізація твердих речовин або розчинення мінералів забезпечують її родючість. У наступному циклі за наявності вологи та певному газовому вмісті атмосфери створюються умови для росту та розвитку рослин, що забезпечує перебіг чергового циклу (харчування тварин) і т.д. Іде відтворення усього живого на землі (від бактерій та грибків до вищих форм життя). У якості регуляторів рівня відтворення виступають кліматичні та інші умови навколишнього середовища.

Втручання людини до природних циклів призводить до того, її ж організм не встигає прилаштуватися до таких швидкозмінних явищ (новим умовам життя). Наявність «м'яких» зв'язків людини із довкіллям забезпечує організм значною кількістю ступенів вільності. Але вплив шкідливих та небезпечних факторів довкілля призводить до різкого зниження кількості ступенів вільності, робить організм не у повній мірі здатним до адаптації, що призводить до його патології.

На даний час усе очевидніше постає необхідність розробки екологічно безпечних технологій та обладнання для знезараження і переробки промислових відходів, а також технологічних ліній з їх сортування із метою використання компонентів у якості вторинної сировини.

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						83
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки до розділу 5

Визначено особливості безпечного виконання хонінгувальних робіт. Розглянуто економічну ефективність від упровадження результатів досліджень, приділено увагу питанням захисту довкілля.

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						84
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Отже, відповідно до отриманого завдання на кваліфікаційну роботу здобувача вищої освіти та за результатами її виконання зроблено наступні висновки.

1 Проведено аналіз механізму формування параметрів форми у поперечному перерізі на операціях хонінгування. Домінуючою причиною формування похибки профілю в поздовжньому перерізі при хонінгуванні отворів є нерівномірність зносу по довжині ріжучих елементів. На робочій частини інструменту формується накопичувальна геометрична похибка у вигляді конусності, яка зумовлює генерування аналогічної накопичувальної похибки на отворі деталі, що хонінгується.

2 Запропоновано удосконалений спосіб хонінгування глухих отворів, в якому змінено цикл обробки, а саме дозована радіальна подача здійснюється в момент реверсу зворотно-поступального переміщення у зоні дна оброблюваного отвору. Це суттєво підвищує точність обробки за рахунок дзеркальної зміни знаку інтенсивності зносу фронтальних частин різальних елементів. Запропоновано також хонінгувальні бруски виконувати за довжиною постійної ширини, а зносостійкість по довжині забезпечується змінними фізико-механічними властивостями. Це забезпечує рівномірність темпу зношування по довжині різальних елементів, що підвищує точність обробки.

3 Проведено експериментальні дослідження на спеціально розробленому стенді. Вони засвідчили, що при поступальному переміщенні інтенсивність знімання припуску на порядок вище, ніж при зворотному переміщенні. Це слугує підтвердженням логічності реалізації дозованої подачі в зону дна оброблюваного отвору.

4 Надані інженерні рішення та пропозиції стосовно забезпечення безпеки при роботі на технологічному обладнанні, приділено увагу питанням економічної ефективності та захисту довкілля.

					КРМ.133ГМмд_22.04.000 ПЗ	Аркуш
						85
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		