

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ, ТРАНСПОРТУ ТА АРХІТЕКТУРИ
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Пояснювальна записка

ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ


магістра

Освітньо-кваліфікаційний рівень

Напрямок підготовки (спеціальність) 132 «Матеріалознавство»
Освітньо-професійна програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

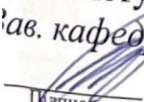
на тему: «Підвищення якості внутрішніх циліндричних поверхонь за рахунок фінішної обробки деталей технологічних машин»»

Шифр ***МРТАМ 24. 23591. 000 ПЗ***

Виконав: студент 2-го курсу, група МТВАм 23-1 
Підпис Р.О. Андросюк
Ініціали, прізвище

Керівник к.т.н., доц. каф. ТАМ. 
Підпис О.П. Бабак
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
ав. кафедри ТАМ д.т.н., проф.


Підпис О.В. Духа
Ініціали, прізвище

10 12 2024 р.

Хмельницький, 2024

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Світньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки (спеціальність) 132 «Матеріалознавство

Світньо-професійна програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТАМ

проф., д.т.н. Диха О.В.

7 жовтня 2024 року

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Андросюку Роману Олеговичу

Прізвище, ім'я, по батькові

Тема проекту (роботи) «Підвищення якості внутрішніх циліндричних поверхонь за рахунок фінішної обробки деталей технологічних машин».

Рівень проекту (роботи) Бабак Олег Петрович, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом університету від 28 серпня 2024 р. № 60 (Д28)

Строк подання студентом проекту на кафедру 2 грудня 2024 року

Вихідні дані до проекту (роботи) Матеріали практики; робочі креслення досліджуваних деталей; нормативно – технологічна документація по розбиранню, ефектації, складанню і регулюванню вузла тертя; вимоги з охорони праці і безпеки роботи при виконанні ремонтних робіт; техніко – економічні показники роботи підприємства.

Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1 МЕТОДИ ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ ПОВЕРХНІВ ВИРОБІВ НАФТОГАЗОВОЇ АЛУЗИ; 2 ФОРМУВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ РАСТРОВОМУ ОНІНГУВАННІ; 3 МЕТОДИКА І АПАРАТУРА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ОСЛІДЖЕНЬ; 4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ПАРАМЕТРІВ РАСТРОВОГО ОНІНГУВАННЯ

Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Графічна частина роботи представлена у вигляді презентації на папках

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _----

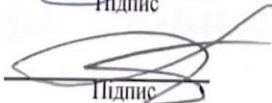
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	<i>Літературний огляд</i>	<i>30.09.2024</i>	
2	<i>Технологічний розділ</i>	<i>25.10. 2024</i>	
3	<i>Дослідницький розділ</i>	<i>15.11. 2024</i>	
4	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>	<i>22.11. 2024</i>	
5	<i>Оформлення презентації магістерської роботи</i>	<i>1.12. 2024</i>	
6	<i>Нормоконтроль магістерської роботи</i>	<i>5.12. 2024</i>	
7	<i>Підписання розділів. Затвердження дати захисту</i>	<i>5.12. 2024</i>	

Студент


Підпис

Керівник проекту (роботи)


Підпис

Р.О. Андросюк
Ініціали, прізвище

О.П. Бабак
Ініціали, прізвище

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра Андросюка Романа Олеговича на тему: «Підвищення якості внутрішніх циліндричних поверхонь за рахунок фінішної обробки деталей технологічних машин».

Кваліфікаційна робота магістра викладена на 100 сторінках машинописного тексту, і включає вступ, чотири розділи основного матеріалу та висновок - бібліографічний список з 32 найменувань та додатку.

Ціль роботи: розглянути методи підвищення якісних характеристик поверхонь, внутрішніх циліндричних поверхонь виробів нафтогазового комплексу. Оцінити ефективність растрового хонінгування щодо підвищення якості внутрішніх циліндричних поверхонь.

Вихідні дані для магістерської роботи: Основні матеріали, використані в роботі, склали експериментальні та лабораторні результати досліджень зміни внутрішньої поверхні при хонінгуванні.

Перелік питань (розділів магістерської роботи):





- методи фінішної обробки поверхні виробів, їх особливості та обладнання;
- розгляд формування та зміни геометричних характеристик при хонінгуванні;
- дослідження кінематичних та динамічних показників взаємодії на поверхню при хонінгуванні з різними технологічними параметрами;
- моделювання результатів та загальних математичних моделей при хонінгуванні внутрішніх циліндричних поверхонь

Методи досліджень: При вирішенні поставлених у роботі завдань використовувалися аналітичні та експериментальні методи зміни показників якості внутрішніх циліндричних поверхонь.

Ключові слова: ЯКІСТЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ, ХОНІНГУВАННЯ, ШЕРОХОВАТІСТЬ, КІНЕМАТИКА, ЦИЛІНДРИЧНА ПОВЕРХНЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 МЕТОДИ ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ ПОВЕРХНІВ ВИРОБІВ НАФТОГАЗОВОЇ ГАЛУЗІ.....	
1.1 Технологічні вироби, що застосовуються у нафтогазовій галузі.....	9
1.2 Методи механічної обробки та поверхневого пластичного деформування.....	17
1.3 Вибір методу отримання заготовки.....	19
1.4 Хонінгування отворів (схеми, обладнання, інструмент).....	21
2 ФОРМУВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ РАСТРОВОМУ ХОНІНГУВАННІ.....	
2.1 Кінематичні та динамічні параметри растрового робочого руху.....	39
2.2 Періодичність растрових траєкторій, розміри кадру.....	43
2.3 Геометрія контактних взаємодій поверхонь при хонінгуванні.....	47
3 МЕТОДИКА І АПАРАТУРА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	
3.1 Установа «РХ-7».....	53
3.2 "Растр-Ц20" - верстат для досліджень.....	55
3.3 Матеріали, що застосовуються в дослідженнях.....	62
3.4 Хонінгувальні бруски, що застосовуються, і технологічне оснащення.....	64
3.5 Методики вимірювання шорсткості поверхні та розмірів мікрозадирок.....	69

МРТАМ 24.23591.000 ПЗ									
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	Підвищення якості внутрішніх циліндричних поверхонь за рахунок фінішної обробки деталей технологічних машин	Літ.	Арк.	Акрюшів	
		Андросюк						4	102
		Бабак							
		Маковкін							
		Дижаст							
ХНУ група МТВАм 23-1									

3.6	Методика вимірювання відхилень геометричної форми отворів	71
3.7	Методики оцінки продуктивності обробки та зносу абразивних брусків.	78
4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ПАРАМЕТРІВ РАСТРОВОГО		
ХОНІНГУВАННЯ.....		81
4.1	Підвищення якості внутрішніх циліндричних поверхонь.....	88
4.2	Зміна параметрів для формування мікрорельєфу поверхні.....	94
ВИСНОВОК		99
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		101
ДОДАТКИ		102

					<i>МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		5

ВСТУП

В наш час у машин і механізмів, які працюють у високотемпературних та швидкісних режимах, важливо дотримуватися точності та якості виготовлення внутрішніх поверхонь. У зв'язку з цим значно зростає роль фінішної обробки поверхонь, які завершують обробку металевих деталей.

Експлуатаційні властивості деталей машин (втомна міцність, контактна жорсткість, герметичність та ін.) залежать від точності геометричної форми, фізико-механічних властивостей поверхневого шару та характеру мікрорельєфу обробленої поверхні. Операції остаточної обробки матеріалу визначають дані параметри. Внаслідок цього технологічне забезпечення оптимальної мікроструктури рельєфу та необхідної точності геометричної форми поверхні на фінішній операції мають важливу науково-технічну роль, яка дозволяє підвищити надійність та довговічність деталей та вузлів машин.

Хонінгування належить до основних методів фінішної обробки виробів як внутрішніх, так й зовнішніх поверхонь. Теоретичні та експериментальні роботи з дослідження процесів хонінгування отримали широке застосування у машинобудуванні, будівництві споруд та нафтогазової галузі. Ю.Є.Фрагіна, З.І.Кременя, Г.І.Паніна, П.І.Ящеріцина, І.Х.Чеповецького та багатьох інших видатних вчених. Відмінною особливістю хонінгування від інших видів різання абразивним і лезовим інструментом або де зона обробки сконцентрована на малій поверхні ріжучої кромки, є те, що із-за великої площі контакту брусків обробляється більша частина поверхні. Так як у процесу хонінгування відносно невеликі швидкості різання, температурні та силові напруги, незначні. Це створює малу кількість залишкових напруг поверхневого шару та відсутність фазових та структурних перетворень. За підсумками це збільшує експлуатаційні параметри поверхні, ніж під час шліфування або іншого виду фінішної

					<i>МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

обробки.

Процес хонінгування отримав широке застосування у зв'язку з розвитком надтвердих абразивних матеріалів (СТМ), які виготовляються із синтетичного алмазу та кубічного нітриду бору (КНБ). У зв'язку з цим почали розвиватися технологічні можливості процесу.

Але фінішна обробка методом хонінгування отворів у деталях контрольно-вимірювального, гідравлічного та паливного обладнання з відхиленням геометричної форми не більше 2 мкм до сьогоднішнього дня представляло технологічну проблему. Крім цього, обмеження застосування хонінгування на операціях остаточної обробки отворів у деталях паливної апаратури, не допускається у зв'язку з утворенням мікрозадирок на кромках перетинів оброблюваної поверхні та радіальних отворів. Тому алмазне хонінгування виконувалося під час попередніх операцій. В результаті на багатьох підприємствах остаточна обробка подібних деталей здійснюється шляхом багаторазового машинно-ручного доведення вільним абразивом, що характеризується високою трудомісткістю та нестабільністю якості обробленої поверхні. Питання вдосконалення технології процесу хонінгування та пошук нових методів забезпечення стабільної точності геометричної форми та необхідного мікрорельєфу є практично має велике значення.

Способи зміни геометричної формою та мікрогеометрією оброблюваної поверхні вивчені не повною мірою, але встановлено, що на структуру рельєфу великий вплив надають кінематичні особливості процесу хонінгування, які у свою чергу при обробці визначають траєкторію робочого руху ріжучих зерен. Складний робочий рух при хонінгуванні отворів створює сприятливі умови для більш повного використання різальної здатності брусків та рівномірного зносу інструменту, що позитивно впливає на продуктивність обробки та точність геометричної форми поверхні. Відомі різні модифікації процесу хонінгування, що характеризуються

					МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

накладенням коливального руху на основні робочі рухи. Ці методи хонінгування (віброхонінгування) дозволяють інтенсифікувати процес різання, підвищити продуктивність обробки, але недостатньо досконалі для того, щоб керувати формуванням геометричною формою і параметрами мікрорельєфу оброблюваної поверхні, так як не мають необхідного комплексу ефективних керуючих впливів на процес обробки.

Певну частку у вирішення цієї проблеми та вдосконалення технології фінішної абразивної обробки точних отворів вносить досліджуваний у цій роботі метод хонінгування, який отримав назву растрового. В основі цього методу хонінгування лежить растровий спосіб абразивної обробки, розроблений В.П. Некрасовим і отримав широке застосування при доведенні прецизійних площин. Відмінною особливістю растрового методу хонінгування є дуже складна траєкторія робочого руху різальних зерен, що неповторюється і абсолютно неповторна, параметри якої можна тонко регулювати в широких межах. Однак до цього часу даний метод хонінгування циліндричних поверхонь не вивчений. Тому дослідження технологічних та кінематичних можливостей растрового методу хонінгування точних отворів є актуальним.

Ціль роботи: підвищення якості внутрішніх циліндричних поверхонь при фінішній обробці деталей технологічних машин нафтогазового комплексу.

					<i>МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		8

1. МЕТОДИ ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ ПОВЕРХНІВ ВИРОБІВ НАФТОГАЗОВОЇ ГАЛУЗІ

Основну роль розвитку нафтогазового сектора зіграло виникнення трубопровідних методів транспортування нафти і є, вироби яких можливе лише з допомогою металевих конструкцій та устаткування. Крім цього, у розробці та експлуатації нафтових та газових родовищ широко застосовуються технологічне обладнання. Експлуатаційні особливості технологій нафтогазової галузі мають особливе значення у реалізації продуктів нафти та газу та їх економічних показниках.

1.1 Технологічні вироби, що застосовуються у нафтогазовій галузі.

Дев'яносто відсотків устаткування застосовуваного в нафтогазовому секторі складається із заліза та її сплавів. Правильний підбір обладнання, дослідження показників їх технологічних та експлуатаційних параметрів впливає на працездатність конструкцій. У нафтогазовій галузі застосовуються різні патрубки, заглушки, засувки, штуцери, трійники, відводи тощо.

Запірна арматура включає багато елементів, від яких залежить функціональність всієї системи трубопроводу. Клапани запірні та клапани зворотні різних конструкцій, роздільники середовищ, крани кульові, вентилі прямооточні сталеві – якості всіх цих елементів необхідно приділяти увагу. Одним із найважливіших елементів трубопровідної системи є засувки.

Засувка призначена для з'єднання елементів трубопровідної арматури, що використовується в нафтогазовій промисловості, а також інших галузях. Засувка містить корпус та кришку, які з'єднані між собою овальними фланцями. У корпусі розміщений запірний орган, який пов'язаний зі зворотно-поступально шпинделем, що переміщається. На великих сторонах

					МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

овальних фланців у площині контакту корпусу та кришки виконані западини та виступи з можливістю взаємодії. Виступи та западини по зовнішньому контуру виконані по колу з центру фланців, а за внутрішнім контуром обмежені внутрішньою овальною лінією фланців. Винахід дозволяє спростити технологію виготовлення засувки з рис. 1.

Засувка відноситься до галузі арматуробудування, а саме до запірної трубопровідної арматури, і може бути використане для герметичного замикання трубопроводів.

Засувка сталева зварна клинова рис. 1, що містить корпус і кришку, пов'язані овальними фланцями, встановлений в корпусі запірний орган у вигляді клина, з'єднаний з зворотно-поступально шпинделем, що переміщується, вузол ущільнення шпинделя.

Недолік відомої конструкції засувки полягає в тому, що овальні фланці корпусу і кришки в площині контакту мають плоскі поверхні, через що виникає можливість зміщення їх між собою. Це зміщення обмежується зазором у з'єднанні між шпильками і неоднозначно за величиною і напрямляючим, крім того, отримання отворів у фланцях корпусу та кришці також тягне за собою похибки розміщення, наприклад при використанні кондуктора (або інших пристосувань), немає чіткої технологічної бази.

Завдання винаходу полягає у спрощенні технології збирання засувки, тобто, дозволяє використовувати виступи та западини у овальних фланцях як конструкторські бази, а значить сцентрувати дані деталі між собою у площині роз'єму, а також інші деталі. Крім цього засувка повинна бути спрощенням технології отримання отворів у фланцях, а також підвищити точність їхнього взаємного розташування шляхом використання кондуктора з базуванням його по виступах і западинах фланців.

Поставлена задача досягається тим, що в засувці, що містить корпус і кришку, з'єднаних за допомогою овальних фланців, зворотно- поступально переміщується в корпусі шпиндель, пов'язаний із запірним органом, вузол

					<i>МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

уцільнення шпинделя, на великих сторонах овальних фланців в площині контакту корпусу і кришки взаємодії виступи та западини, кожні з яких за зовнішнім контуром виконані по колу з центру овалу фланців, а за внутрішнім контуром обмежені внутрішньою овальною лінією фланців.

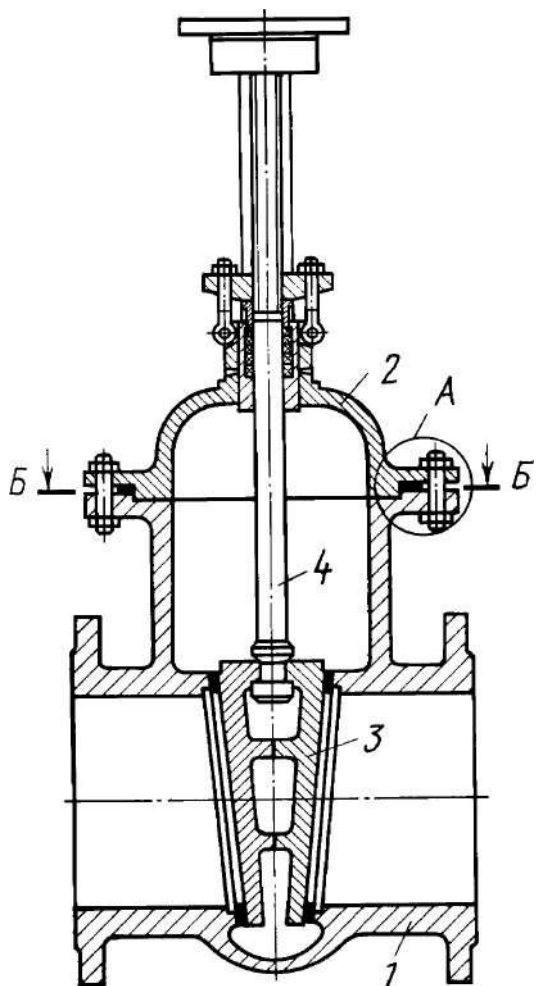


Рисунок 1 – Загальний вигляд засувки.

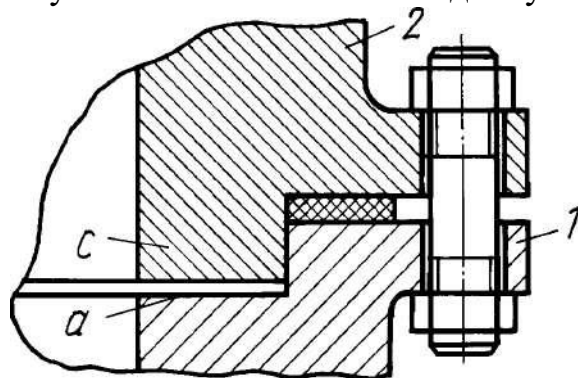


Рисунок 2 – Збільшений вигляд А рис. 1.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ

Арк.

11

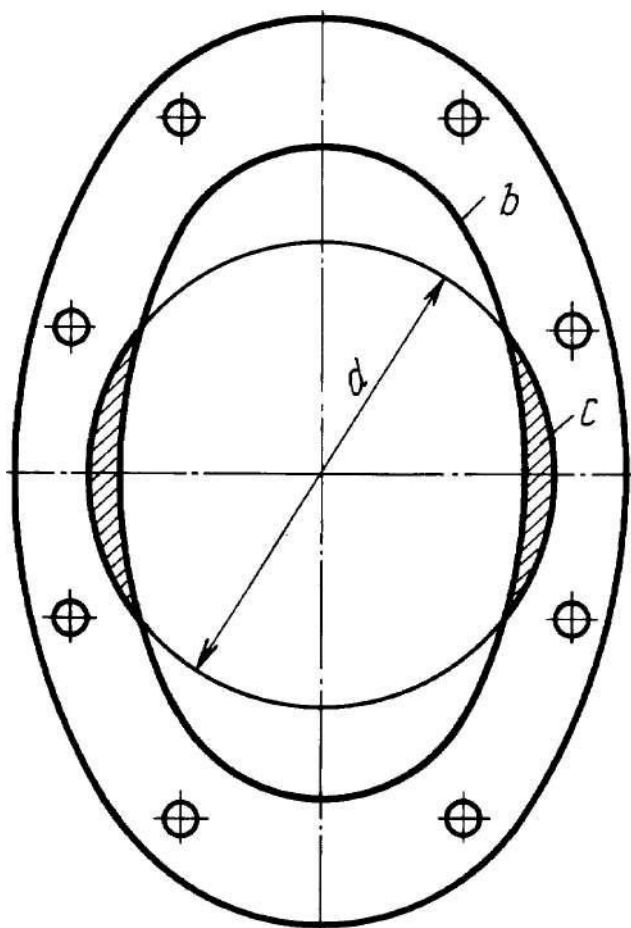


Рисунок 3 – Перетин Б-Б рис. 1.

Засувка (рис. 1) складається з корпусу 1, має верхній фланець у вигляді овалу, кришки 2, що має також овальний фланець, як і в корпусі. Усередині корпусу 1 розміщений запірний орган 3 у вигляді клина, верхньою частиною який взаємодіє зі шпинделем 4, за допомогою якого запірному органу 3 задається зворотно-поступальний рух. На овальному фланці (рис 3) корпусу 1 на великих сторонах виконані западини "а" діаметром "d", які обмежені внутрішньою лінією "b" овалу фланця, а на овальному фланці кришки 2 таким же діаметром "d" виконані виступи "с" , також обмежені внутрішньою лінією овалу.

Засувка працює в такий спосіб. При складанні корпусу 1 і кришки 2 виступи кришки входять у западини (розточування) корпусу 1, забезпечуючи точне розміщення в площині їх з'єднання, а також інших

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ

Арк.

12

деталей і вузлів засувки. Розміщення западин і виступів може бути і навпаки, тобто в корпусі - виступ, а в кришці - западини.

Засувка, що містить корпус і кришку, з'єднані за допомогою овальних фланців, зворотно-поступально переміщується в корпусі шпindel, пов'язаний із запірним органом, що відрізняється тим, що на великих сторонах овальних фланців у площині контакту корпусу і кришки розташовані з можливістю взаємодії виступи та западини, кожні яких із зовнішнього контуру виконані по колу з центру овалу фланців, а з внутрішнього контуру обмежені внутрішньою овальною лінією фланців.

Засувки сталеві ділять на групи залежно від їхньої конструкції, способу управління та інших параметрів. До основних характеристик відносять тип затвора, спосіб виготовлення корпусу, спосіб приєднання до трубопроводу, тип ущільнення рухомих деталей, розташування ходового вузла, вид приводу, вид управління засувками.

Крім засувок до складу технологічного обладнання можуть входити патрубки різного розміру та призначення.

Розглянемо газовий ежектор.

Газовий ежектор (рис. 4) відноситься до нафтогазової промисловості і може використовуватися для промислової підготовки та переробки газу та газового конденсату на газоконденсатних або нафтогазоконденсатних родовищах. Газовий ежектор містить порожнистий циліндричний корпус з форкамерами та патрубками високонапірного газу, низьконапірного газу та суміші газів, розміщену в корпусі змінну проточну частину, що включає сопло з вхідною кінцевою ділянкою та камеру змішування з дифузором. Сопло містить турбулізатор плівки рідини, виконаний у вигляді по черзі розташованих по довжині вхідної ділянки, щонайменше двох кільцевих западин і виступів. Сопло закріплено на знімній втулці, на якій по периметру виконані поздовжні щілини, а в торцевій частині міститься поперечна перегородка з обтічником. Камера змішування з дифузором закріплена в

					МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

- ширина западин турбулізатора плівки рідини становить від 0,1 до 0,2 діаметра сопла в критичному перерізі;
- висота виступів турбулізатора плівки рідини становить від 0,03 до 0,05 діаметра сопла в критичному перерізі;
- знімна втулка містить кільцеву канавку, повідомлену каналами, розташованими в соплі, з западинами турбулізатора плівки рідини.

Досяганий даним винаходом технічний результат полягає у зменшенні витрати інгібітора гідратуутворення та зниження порога осадження кристалогідратів, а також забезпечення стабільної роботи обладнання у складі технологічної лінії та скорочення міжремонтного періоду.

Також у нафтогазовій галузі використовуються різноманітні фланці, які входять до складу муфт. Розглянемо муфту для трубопровідної арматури.

Фланець для з'єднань труб з трубами для текучих середовищ під високим тиском, де фланець має контактну поверхню, причому в положенні, коли затискні болти для з'єднань труб не затягнуті, контактні поверхні утворюють один з одним спрямований назовні кут, а коли затискні болти затягнуті, вони притиснуті один до одного із зусиллям. Фланці також можуть мати зовнішні та внутрішні спадаючі ділянки для створення додаткового ущільнюючого ефекту і можуть, крім того, мати канавки під кільцеву прокладку/ущільнення та кільцеві прокладки/ущільнення.

Як показано на рис. 5, щоб фланці винаходу могли функціонувати відповідним чином, фланцевий вузол повинен бути вбудований в трубопровід або конструкцію з труб 1 і 1а з двома фланцевими половинами 2 і 2а, сполучними болтами 3 з базовими кільцевими прокладками 4, 4а і гайками 5 5а. Фланці 2 та 2а не обов'язково повинні бути однаковими, але можуть мати будь-яку конструкцію на рис. 4 8. Однак конструкція кожного фланця не обмежується цими варіантами виконання, а вони проектуються, як зазначено в пунктах формули винаходу.

						МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			15

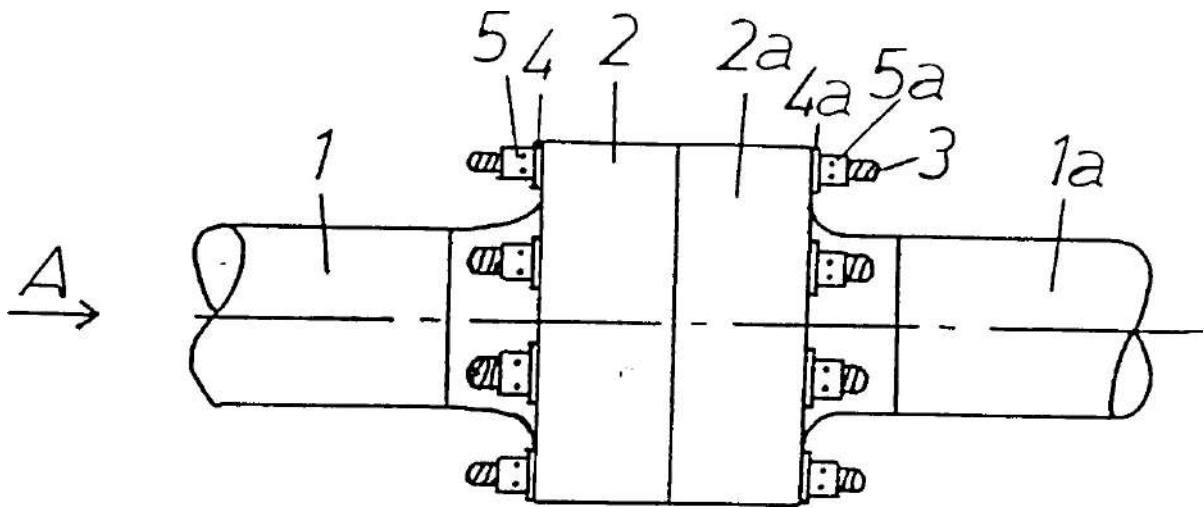


Рисунок 5 – Загальний вигляд муфти.

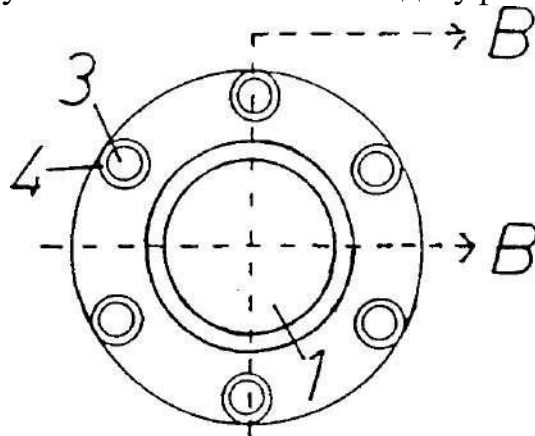


Рисунок 6 – Розріз муфти.

Муфта для труб високого тиску, в якому перехідна зона між частиною щонайменше мірі однієї половини муфти (фланця), яка проходить (в основному) паралельно поздовжньої осі (А) труби, і тією частиною щонайменше однієї половини муфти, яка проходить (в основному) перпендикулярно до поздовжньої осі (А) труби, включає зону еліптичної форми, і в якій кожна половина муфти (фланець) має поверхню, що утворює поверхню контакту з протилежною половиною муфти (фланцем) [2 і 2а] і в якій кожна окрема половина (2 і 2а) муфти, незалежно один від одного, спроектована так, щоб містити сполучні пристрої, такі як болти (3), кільцеві прокладки (4 і 4а) і гайки (5 і 5а), і в якій кожна половина (2 і 2а) муфти, можливо, може містити щонайменше одну канавку для герметизуючого

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ

Арк.

16

ущільнення і, можливо, щонайменше додатковий канал, що з'єднує витки різьблення зовнішньої сторони з дном канавки під ущільнення, що відрізняється тим, що контактна поверхня щонайменше однієї половини муфти (фланця) спроектована таким чином, що поверхні утворюють між собою конічну щілину з кутом розкриття між поверхнями контакту протилежних фланців в інтервалі $0,2 - 3^\circ$ з розкритвом, спрямованим назовні до зовнішньої поверхні муфти.

Муфта, яка відрізняється тим, що довжина стягуючих болтів (3) після попереднього натягу становить щонайменше 3 діаметри болтів і переважно 6-7 діаметрів болтів (3).

1.2 Методи механічної обробки та поверхневого пластичного деформування.

Виготовлення практично всіх деталей потребує остаточної підготовки їхньої поверхні. Фінішна обробка металевих виробів, як заключна стадія процесу, дозволяє покращити гладкість поверхні та зовнішній вигляд деталей, досягти заданої точності. Способів фінішної обробки виробів багато і вибір їх обумовлений фізико-хімічними властивостями металу, конфігурацією деталей, їх призначенням та умовами експлуатації. У деяких випадках може знадобитися проведення цілого комплексу фінішних металообробних операцій.

Фінішна обробка може проводитись механічним чи хімічним способом. Механічний спосіб має на увазі зняття певного шару металу або пластичну деформацію, як при дорнуванні. Але не завжди можна застосувати механічну фінішну обробку, тоді підготовка поверхні проводиться електрохімічним або електрофізичним способом. У деяких випадках для чистової підготовки може використовуватися хіміко-механічна операція.

					МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Серед найпоширеніших механічних та хімічних способів фінішної обробки можна назвати:

- абразивну операцію;
- віброабразивну операцію;
- дорнування;
- хіміко-механічну операцію;
- хонінгування;
- електролітно-плазмове полірування.

Хонінгування використовується для обробки внутрішніх поверхонь циліндричних деталей (тіл обертання) різних отворів. Іноді хонінгуванням можна обробляти зовнішні поверхні. Операція виконується абразивними брусками на хонінгувальних верстатах.

Хонінгуванням виправляються неточності та дефекти поверхонь, знімається шорсткість.

Тонке шліфування поверхні та хонінгування деталей складних конфігурацій виконується абразивно-екструзійною операцією. Обробка може застосовуватись для металів, які важко піддаються обробці.

Поверхня, оброблена електролітно-плазмовим поліруванням, характеризується ідеальною гладкістю та блиском. Механічною обробкою неможливо досягти такого ефекту. Причому технологія дозволяє полірувати деталі будь-яких розмірів та конфігурацій. Електролітно-плазмове полірування ще й зміцнює метал, захищає його від корозії. Мінус – вартість та енергоємність процесу.

Прогресивним та продуктивним способом можна назвати віброабразивну фінішну операцію. Деталі обробляються в абразивному середовищі спеціальних вібромашин. При вібраціях абразивні частинки поступово обробляють поверхню виробів.

Заготівля - це об'єкт виробництва, призначений для подальшого виготовлення з неї деталі шляхом зняття частини металу з її поверхні,

					<i>МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

утворення отворів, порожнин та ін.

1.3 Вибір методу отримання заготовки

Вибір методу отримання заготовки залежить від форми, розмірів, маси деталі, економічної доцільності, що визначається типом виробництва, і навіть можливостей конкретного підприємства - виготовлювача. Тип виробництва визначається залежність від маси деталі, і річний програми випуску, тобто кількості деталей, що підлягають виготовленню протягом календарного року. Розрізняю три основні типи виробництва: одиничне, серійне, масове.

Одиничне виробництво характеризується малою кількістю (штучним) деталей, що виготовляються. У разі одиничного типу виробництва використовується універсальне устаткування, що забезпечує нормальний рівень продуктивності роботи.

Масовий тип виробництва передбачає малу номенклатуру деталей, що випускаються, і високий рівень організації, використання спеціального та спеціалізованого обладнання підвищеної продуктивності з високим рівнем механізації та автоматизації. При масовому типі виробництва обсяг річної програми випуску може сягати мільйонів штук деталей на рік.

Серійне виробництво характеризується обмеженою номенклатурою виробів, що виготовляються або ремонтуються партіями, що періодично повторюються, і порівняно великим обсягом випуску, причому розмір партії.

Серійне виробництво поділяють на дрібносерійне, середньосерійне та великосерійне. Дрібносерійне виробництво передбачає невелику програму випуску виробів, трохи більшу, ніж за умов одиничного виробництва. Великосерійний тип виробництва забезпечує річну програму випуску середню між середньосерійним та масовим типом.

					<i>МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Якщо тип виробництва виявляється серійним, то далі слідує визначення серійності виробництва за таблицею 2.

Таблиця 1 - Вибір типу виробництва за програмою випуску

Тип виробництва	Кількість оброблених на рік деталей (виробів) одного найменування та типорозміру		
	великі (важкі)	середні	дрібні (легкі)
Одиничне	До 5	До 10	До 100
Серійне	Св.5 до 1000	Св.10 до 5000	св.100 до 50000
Масове	Св.1000	Св. 5000	Св. 50000

Таблиця 2 – Вибір серійності виробництва

Серійність виробництва	Кількість виробів у серії (партії)		
	великих	середніх	дрібних
Дрібносерійне	3 — 10	5 — 25	10 — 50
Середньосерійне	11 — 50	26 — 200	51 — 500
Великосерійне	Св.50	Св.200	Св.500

Вибір заготівлі полягає у встановленні її раціональної форми, способу одержання, розмірів та допусків на виготовлення, припусків під подальшу обробку та інших додаткових технічних вимог та умов, що дозволяють розробити технологічний процес її виготовлення.

Форми та розміри заготовки повинні забезпечувати мінімальну витрату металу (металоемність), достатню жорсткість при подальшій механічній обробці, а також можливість застосування найбільш прогресивних, продуктивних та економічних способів обробки на верстатах.

У масовому та серійному виробництві прагнуть наблизити конфігурацію заготовки до готової деталі, збільшити точність та підвищити якість поверхонь. У цьому різко скорочується обсяг механічної обробки, а коефіцієнт використання металу (КІМ) сягає величини 0,7...0,8 і більше. В

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ					20

умовах дрібносерійного та одиничного виробництва вимоги до конфігурації заготівлі менш жорсткі, а бажана величина $KIM > 0,6$.

1.4 Хонінгування отворів (схеми, обладнання, інструмент).

Хонінгування - це одна з форм тонкої обробки різанням для досягнення круглих отворів при витримуванні певної якості поверхні. Йдеться про різноманітно застосовуваний у промисловості метод остаточної обробки отворів і циліндрів.

Залежно від випадку обробки, хонінгування служить для досягнення точно визначених шорсткостей, структур поверхні, а також для досягнення гладеньких поверхонь (останнє - не для робочих поверхонь циліндрів двигунів внутрішнього згорання).

Процес хонінгування відбувається при постійному зіткненні поверхонь інструменту та заготівлі. Зняття матеріалу відбувається при геометрично невизначеному різанні завдяки зібраним у хонінгувальних брусках шліфувальним засобам (пов'язане зерно).

Хонінгувальні бруски поміщені в хонінгувальні головки, які можна через зубчасті рейки або конусні механізми встановлювати радіально і плоскопаралельно; тим самим досягається тиск притискання.

Хонінгувальний інструмент рухається при хонінгуванні одночасно в радіальному та осьовому напрямках. Тим самим виникає характерна для хонінгування перехресна сітка шліфувальних штрихів. Тому хонінгування називається також перехресним шліфуванням. Залежно від співвідношення швидкості обертання та швидкості подачі виходять більш менш круті кути хонінгування. Для мастила, охолодження, відведення металу, що знімається, і шліфувальних зерен у процесі хонінгування подається у великих кількостях хонінгувальна олія або при обробці сірого чавуну - водо-олійна

					МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

рахунок різної величини перебігу бруска; а - конусоподібне, б - сідлоподібності; в - бочкоподібність;

При зазначеному способі виправлення похибок можливе нерівномірне зношування брусків по довжині, для зменшення якого доводиться працювати брусками підвищеної твердості. Істотний вплив на виправлення похибок форми надає швидкість знімання металу. Що ця швидкість, то більша величина похибки виправляється. Таким чином, при необхідності виправляти значні похибки форми, слід підвищувати швидкість знімання металу і в першу чергу шляхом збільшення ріжучої здатності брусків.

Швидкість виправлення відхилень отворів від круглості визначається жорсткістю механізму розтискання брусків та фактичним їх тиском. Для швидкого виправлення вихідної величини відхилень від круглості застосовують хонінгувальні головки з підвищеною жорсткістю механізму розтискання брусків.

Хонінгуванням формується поверхневий слей оброблюваних деталей як за шорсткістю, так і за фізичними властивостями. У ньому виникають стискаючі залишкові напруги, що сприятливо впливають на експлуатаційні показники деталей. При режимі різання величина цих напруг досягає 400 МПа (40 кгс/мм²). При режимах точення - полірування величина залишкової напруги збільшується до 900 МПа (90 кгс/мм²).

Таким чином, для досягнення максимальної стискаючої залишкової напруги та ступеня зміцнення поверхневого шару операцію хонінгування рекомендується закінчувати в режимі тертя - полірування, для чого колову швидкість головки слід підвищувати до 70-80 м/хв, а тиск - до 1,0-1,2 МПа (10-12 кгс/см²).

Існує два методи контролю одержуваних отворів - пасивний і активний. При пасивному контролюють остаточний розмір отвору,

					МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

одержаний у процесі обробки. Такий контроль може здійснюватися універсальними та спеціальними вимірювальними засобами (див. гл. 6). Пасивний метод контролю не впливає перебіг процесу обробки.

При активному контролі здійснюється автоматичне керування технологічним процесом в залежності від результатів вимірювання деталі під час її обробки або в залежності від налаштування спеціальних пристроїв. При активному контролі розміри деталей контролюються безпосередньо в процесі їх обробки, завдяки чому попереджається поява зеднання. Час контролю поєднується з машинним часом, що сприяє підвищенню продуктивності. Особливо більшу ефективність має активний контроль при алмазному хонінгуванні, де одним комплектом брусків без переналагодження можна обробляти до 10 тис. деталей і більше.

Хонінгування отримало найбільш широке застосування для обробки наскрізних і глухих циліндричних отворів. Внаслідок постійного підвищення вимог до точності, якості та економічності обробки, а також завдяки великим можливостям алмазного інструменту область застосування хонінгування та його різновидів суттєво розширюється. У багатьох випадках це дозволяє створювати якісно нові технологічні процеси, що забезпечують підвищення надійності та ресурсу, відповідальних поєднанню деталей машин.

Використовуються хонінгування та деякі його різновиди для обробки внутрішніх, зовнішніх і плоских поверхонь. До них належить хонінгування з додатковими осцилюючими рухами, хонінгування переривчастих (багатоярусних) отворів, комбіноване хонінгування отвору і прилеглого до нього торця, хонінгування обмежених сферичних поверхонь, обробка робочих поверхонь поршневих кілець, .

До прогресивних методів обробки відноситься хонінгування з додатковим осцилюючим рухом. На основі досліджень, проведених у нашій країні та за кордоном, встановлено, що введення до складу рухів при

					<i>МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

хонінгуванні додаткового осцилюючого (коливального) руху дозволяє підвищити точність геометричної форми оброблених отворів, покращити оброблюваність важкообробних матеріалів та збільшити продуктивність металознімання. Інтенсифікація процесу металознімання в даному випадку відбувається завдяки тому, що при правильному виборі параметрів.

Режим обробки процес хонінгування має незатухаючий характер, і ріжучі зерна при своєму русі не повторюють траєкторій руху попередніх зерен. В результаті цього їх ріжучі властивості використовуються більш повною мірою

У методах хонінгування, що використовуються на практиці, осцилюючий рух доповнює зворотно поступальний рух. Однак введення коливального руху в осьовому напрямку обмежена масою рухомих частин, а також зниженням точності обробки через змінність напрямку осьової сили і відхилень у величині перебігу брусків.

Для подолання зазначених недоліків і обмежень був розроблений новий спосіб здійснення осцилюючого руху в хонінгувальному верстаті, сутність якого полягає в накладанні коливального руху на обертання шпинделя верстата, що дозволяє застосовувати опори кочення, забезпечити можливість плавного регулювання частоти та амплітуди коливань, при необхідності здійснювати включення або вимкнення осцилюючого руху, застосовувати механізм осциляції незалежно від розмірів хонінгувального верстата.

Найкращі результати обробки виходять при односпрямованих траєкторіях руху ріжучих зерен, що за наявності осьової осциляції нездійснено.

Подальшим розвитком розглянутих схем є хонінгування з одночасно введенням осьової та кругової осциляцією. Подібну схему обробки вперше було запропоновано в Київському політехнічному інституті на основі використання кінематики плоскодовідного верстата з растровою траєкторією. Траєкторії руху ріжучих зерен при різній кінематиці хонінгування показані на

					<i>МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

рис. 8. Звичайна схема хонінгування (рис 8, а) характеризується типовою сіткою слідів обробки у вигляді гвинтових ліній, що перетинаються. 8, б, вони утворюються в результаті складання основного і коливального рухів і мають ідентичний характер.

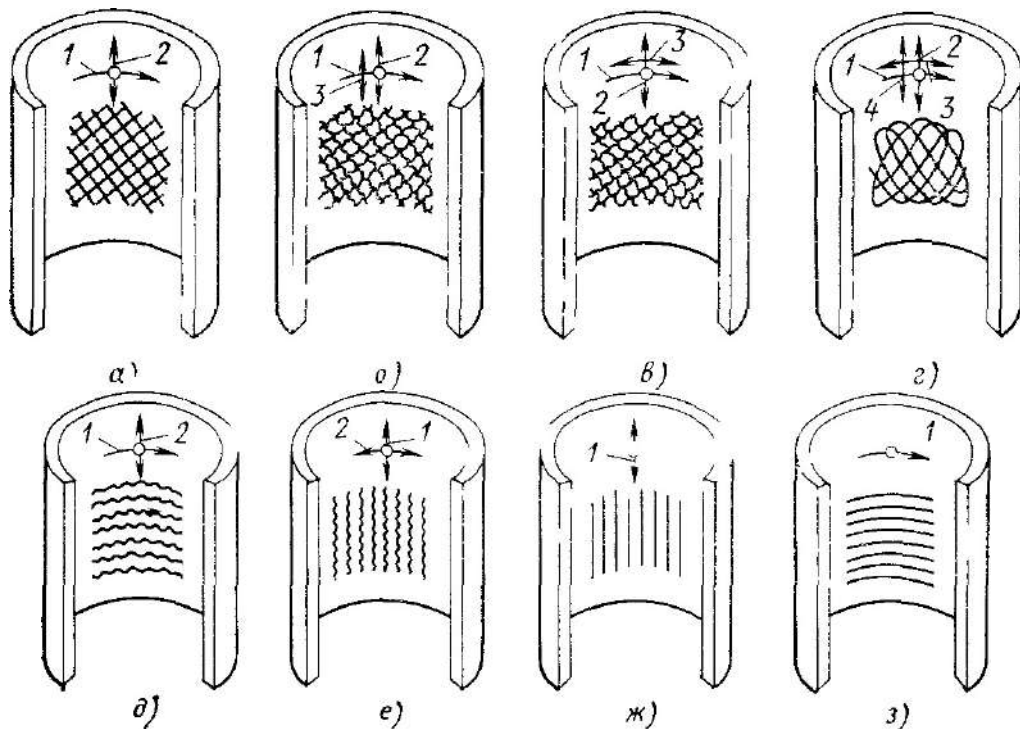


Рисунок 8 - Траєкторії руху ріжучих зерен за різної кінематики процесу хонінгування

У схемі, запропонованій Київським політехнічним інститутом як основні робочі рухи різання, прийняті синусоїдальні осьові і кругові коливання, а обертальний і зворотно-поступальний рух відповідно є круговий і осьовий подачами інструменту.

При такій кінематиці хонінгування утворюється растрова траєкторія руху зерен у вигляді фігур Ліссажу (рис.8,г), що утворюють при правильному підборі параметрів складових рухів рівномірну густу сітку слідів обробки сіток по всій оброблюваній поверхні забезпечується за рахунок кругової і осьової подач. При таких сітках жодне з зерен не переміщається по траєкторії іншого зерна, що забезпечує інтенсивне

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

використання ріжучої здатності хонінгувальних брусків, що дає утворення дрібної стружки, що легко видаляється із зони різання. В результаті суттєво зростає продуктивність металознімання та точність геометричної форми оброблюваних отворів.

При хонінгуванні використовують бруски виготовлений методом пресування на керамічній та бакелітовій основі. Абразивним матеріалом є білий електрокорунд марок 23А, 24А, 25А та зелений карбід кремнію марок 63С, 64С, а також як абразив використовується алмаз та ельбор. Для хонінгування використовують бруски 2-х типів: БКв – квадратні, БП – плоскі. Розміри: довжина від 15 до 200 мм ширина та висота від 2 до 80 мм.

Широке поширення на операціях хонінгування набули алмазні бруски, що обумовлено значним підвищенням їх стійкості та ріжучої здатності в порівнянні з брусками з електрокорунду та карбіду кремнію. При виборі розмірів алмазних брусків керуються такими співвідношеннями: сумарна ширина комплекту брусків становить 0,15-0,35 довжини кола обробленого отвору. Довжина бруска становить: $(0,7-1) \cdot l$ (l – довжина отвору, що обробляється) при $D < 1$ (D – діаметр); $(0,5-0,8) \cdot l$ при $D = 1-3$. При використанні широких брусків в них прорізають поздовжні пази для поліпшення підведення мастильно-охолоджувальної рідини та вимивання відходів.

Концентрація алмазу в бруску багато в чому визначає економічність операцій хонінгування. Так, при обробці чавуну слід використовувати 50% - ну і 75%-ну концентрацію, при обробці сталі - 100%-ну концентрацію. При обробці отворів з великим ставленням L/D у сталевих загартованих деталях паливної апаратури доцільно застосовувати 150% концентрацію. Дані на вибір зернистості алмазних брусків залежно від оброблюваного матеріалу, знімається припуску і необхідної шорсткості наведені в табл. 4.

Крім металевих та металокерамічних зв'язок використовуються також алмазні бруски на еластичних органічних зв'язках; їх застосовують на остаточних операціях, коли необхідно отримати параметр шорсткості $Ra =$

					<i>МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

0,16 мкм. Внаслідок високої пружності цих зв'язків глибина впровадження алмазних зерен у метал зменшується, хонінгування здійснюється в режимі тертя - випрасування.

Еластичні бруски зернистістю 40/28 отримують параметр шорсткості $Ra = 0,08-0,1$ мкм; брусками зернистістю 20/14- $Ra = 0,05- 0,06$ мкм; брусками зернистістю 10/7- $Ra = 0,03 - 0,04$ мкм. Еластичні бруски використовують для нового технологічного процесу – плосковершинного хонінгування. Цей вид хонінгування застосовують для обробки гільз двигунів і полягає він у послідовному здійсненні двох операцій: попереднього хонінгування алмазними брусками на металевій зв'язці АС32 125/100 МІ 100% і остаточного хонінгування еластичними брусками АСМ 80/63 Р1. В результаті такої обробки значно підвищується зносостійкість гільз, зменшується витрата олії.

При виборі абразивного матеріалу бруска дотримуються загальноприйнятого принципу: для обробки сталі необхідні бруски з електрокорунду, а для обробки чавуну та кольорових металів – з карбіду кремнію. Можливі відхилення від такого вибору: часто при обробці сталі на операції попереднього хонінгування застосовують бруски з білого електрокорунду, а на операції остаточного хонінгування - бруски із зеленого карбіду кремнію, що забезпечують менш шорстку поверхню.

Важливу роль брусках грає зв'язка. Більшість абразивних брусків випускаються на керамічній зв'язці, що має пористість і крихкість, що забезпечує самозаточування бруска. У той же час через крихкість зв'язки можуть відбуватися відколи кромки брусків, і осколки, потрапляючи між оброблюваною поверхнею і брусками, наносять на оброблювану поверхню ризику та подряпини. Нерівномірна твердість брусків часто є причиною налипання металу на більш тверді ділянки робочої поверхні брусків, що також призводить до появи оброблюваної поверхні рисок і подряпин. Ці недоліки хонінгувальних брусків на керамічній зв'язці ускладнюють обробку

					МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

не термооброблених сталевих деталей, а обробки деталей з алюмінієвих і мідних сплавів вони здебільшого непридатні.

Широке поширення на попередніх операціях набули крупнозернисті хонінгувальні бруски на бакелітовій зв'язці. Вони мають високу міцність на вигин і еластичність, внаслідок чого при хонінгуванні зменшується кількість сколів. Перевагою таких брусків є збільшення знімання металу на 20-60%.

Зі зменшенням розміру зерен шорсткість поверхні зменшується; висота нерівностей R_t залежить від розміру зерна d_s і становить $(0,04-0,1) d_s$.

З переходом на крупнозернисті бруски знімання металу зростає, наприклад, зі збільшенням зерен в 2 рази знімання металу зростає приблизно на 25-30%.

На остаточній операції при хонінгуванні в два-три переходи та при хонінгуванні в один перехід вибір зернистості брусків визначається вимогами до шорсткості обробленої поверхні деталі. На попередній операції застосовують більш крупнозернисті бруски, щоб отримати найбільшу продуктивність. При виборі твердості брусків орієнтуються на середину діапазону твердостей для відповідної зернистості бруска, матеріалу деталі та припуска, що знімається. При необхідності вибрану твердість брусків коригують з деяких міркувань.

1. Чим грубіше вихідна поверхня деталі і чим інтенсивніше знімання металу, тим твердіше повинні бути бруски.

2. Чим менше відношення довжини отвору до діаметра, тим твердіше мають бути бруски. У момент виходу кінців брусків за край отвору їх тиск зростає на 40-100% за рахунок зменшення площі торкання бруска з поверхнею металу, і при зворотному ході край отвору викрашує абразивні зерна, що найбільш виступають.

3. Чим менше ширина брусків, тим більше тверді бруски можна застосовувати, оскільки зі зменшенням їхньої ширини полегшується видалення продуктів обробки.

4. Чим вище твердість матеріалу, що обробляється, тим м'якше

					МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

повинні бути бруски.

Дуже м'які метали (мідь, алюміній) обробляють м'якими брусками. В цьому випадку вибір твердості брусків пов'язаний із явищем налипання металу на бруски. Налипання металу на бруски часто призводить до зєднання деталей по подряпинах і задирках; відбувається воно з наступної причини: за певних умов в деяких місцях поверхні бруска об'єм металу, що знімається, перевищує обсяг простору для його розміщення і метал, спресовуючись, вдавлюється в тіло бруска.

З підвищенням твердості брусків зменшується їх пористість та збільшується міцність, внаслідок чого погіршуються умови для розміщення стружки та утворюються більші наліпи металу. Зі зростанням продуктивності процесу збільшується кількість стружки та зростає небезпека утворення налипів. При знятті нерівностей від попередньої обробки небезпека утворення налипів металу зменшується, оскільки полегшується відведення стружки. Це дозволяє застосовувати твердіші бруски. При обробці деталей з короткими отворами та отворами з сильно пересіченою поверхнею (шлицеві отвори) також доцільно застосовувати твердіші бруски, тому що в процесі роботи поверхня брусків часто виходить з контакту з поверхнею деталі і завдяки цьому вільно змивається мастильно-охолоджувальною рідиною.

При хонінгуванні м'яких металів (міді, алюмінію) обсяг стружки, що знімається, виходить досить значним і утворюються на брусках численні великі наліпи металу наносять глибокі подряпини на поверхню деталі. З метою зменшення розмірів подряпин у разі вибирають м'які бруски, під час роботи, із якими зменшується небезпека утворення великих налипів.

При обробці алюмінію хонінгування, а також процес розкриття повинні проводитися за допомогою так званих хонінгувальних багатобрускових інструментів. Для досягнення точної геометрії отворів потрібно від 5 до 8 розташованих по периметру брусків (рис. 9). Установка

					<i>МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

різальних брусків досягається у багатобрускових хонінгувальних головок за допомогою центрального конічного розсування з гідравлічним або електромеханічним приводом (рис. 10). Найбільш підходящими є верстати, у яких установка хонінгувальних брусків відбувається гідравлічно, і таким чином можливе дуже точне регулювання тиску та установки.



Рисунок 9 – Обробні бруски

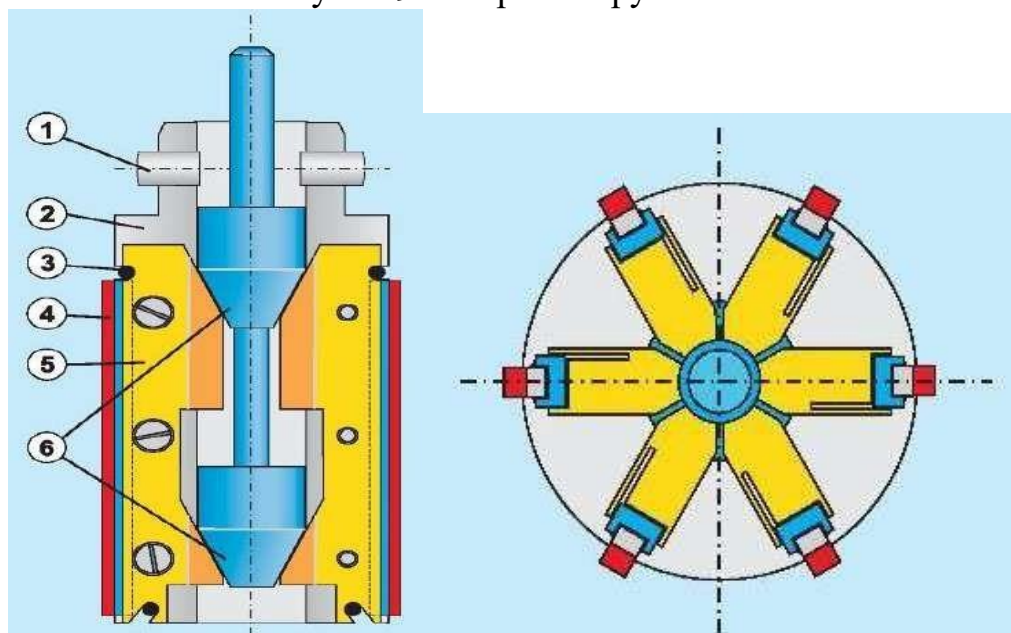


Рисунок 10 - Хонінгувальні головки за допомогою центрального конічного розсування з гідравлічним або електромеханічним приводом

1 - карданний шарнір, 2. - хонінгувальний інструмент, 3. - кільцева пружина 4. - хонінгувальний брусок, 5. - хонінгувальна головка, 6. - настановний конус.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MPTAM 24 23591. 000 ПЗ

Арк.

31

Через особливі вимоги при хонінгуванні алюмінієвих робочих поверхонь циліндрів застосовні лише абразивні бруски з алмазами на пластмасовій зв'язці. Твердість алмазів забезпечує точне різання інтегрованих в алюміній твердих кремнієвих фаз. Пластмасова зв'язка алмазних різальних брусків перешкоджає виникненню знайомих проблем, що виникають при хонінгуванні алюмінію керамічними різальними брусками.

Бруски є і при м'якому матеріалі, як алюміній, що самозаточуються, тобто, зв'язка алмазів досить міцна для утримання алмазів в процесі хонінгування, в той же час досить м'яка, щоб алмазні зерна, що затупилися, змогли б вивалитися. Витримка параметрів обробки перешкоджає руйнуванню, а також виламуванню інтегрованих кристалів кремнію, і поверхня оптимально готується до подальшої операції розкриття.

Хонінгування застосовується переважно як остаточна операція обробки високоточних отворів в деталях і є більш ефективною технологічною операцією, ніж притирання та полірування абразивними пастами та суспензіями. Як правило, хонінгування проводять після операцій шліфування, розточування, зенкерування, розгортання, протягування; у деяких випадках чорнове хонінгування замінює операції шліфування. Діапазон розмірів отворів, що хонінгуються, дуже широкий: діаметр від 5 до 500-800 мм, довжина до 20 м. Хонінгуванням обробляють наскрізні і глухі циліндричні отвори з гладкою або переривчастою поверхнею (шпонкові пази, кільцеві отвори, а також круглі отвори). з метою створення необхідного мікрорельєфу, навіщо в хонинговальних головках є еластичні елементи системи притиску брусків. Хонінгування часто використовують для одночасної обробки кількох співвісних отворів.

Хонінгування набуло широкого поширення в різних галузях машинобудування при обробці гільз та блоків циліндрів двигунів, шатунів, зубчастих коліс, циліндрів гідросистем та амортизаторів, деталей паливної

					<i>МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

апаратури, типу труб великих довжин та діаметрів та ін. Існують і отримали практичне застосування такі різновиди хонів (без застосування мастильно-охолоджувальної рідини) хонінгування статорів електродвигунів; електрохімічне хонінгування отворів великої довжини; вібраційне хонінгування, при якому хонінгувальній головці або оброблюваній деталі повідомляють додатково коливання частотою до 10-15 Гц і амплітудою 5-10 мм. Як приклад обробки хонінгуванням зовнішніх поверхонь можна навести процес алмазного хонінгування пакетів поршневих кілець.

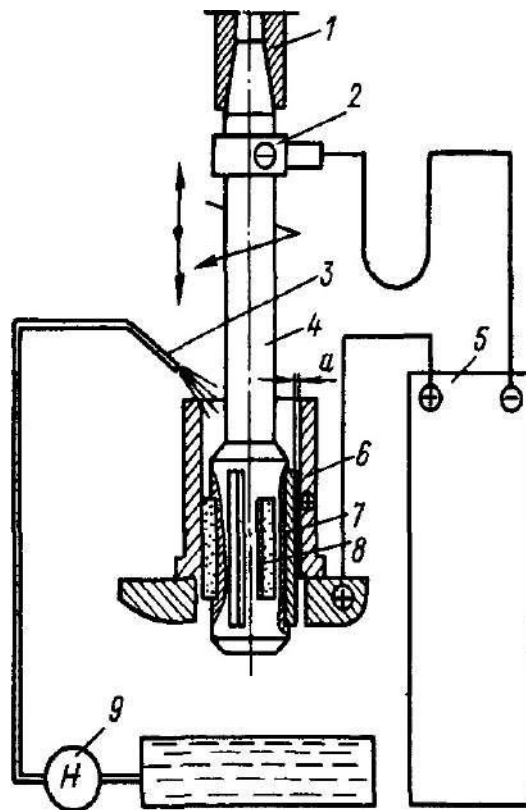


Рисунок 11 - Верстат для електрохімічного хонінгування:

- 1 – шпиндель; 2 - струмознімач; 3-трубопровід підведення електроліту; 4- хонінгувальна головка; 5 – генератор; 6-деталь; 7-катод; 8-брусок; 9 - насос

Для значного підвищення продуктивності хонінгування розроблено спосіб електрохімічного хонінгування, при якому на механічну дію брусків накладається ефект електрохімічного (анодного) розчинення металу. Однією

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ

Арк.

33

із схем електрохімічного хонінгування є обробка брусками на струмопровідній зв'язці: металевій та бакелітовій з графітним наповнювачем. Однак при такій схемі часто спостерігається електроерозійні явища на контакті брусок-деталь внаслідок малого зазору, що дорівнює висоті виступаючої частини абразивних зерен і великою поверхнею контакту. Тому найбільшого поширення набула схема зі спеціально встановленими в хонінгувальній головці катодами і нетокопровідними або ізольованими брусками (рис. 11).

Конструкція верстата для електрохімічного хонінгування мало відрізняється від конструкції звичайного хонінгувального верстата. Число оборотів, швидкість зворотно-поступального руху, механізм радіальної подачі хонінгувальних брусків приблизно однакові. Деякі відмінності, зумовлені особливостями електрохімічного процесу, полягають у тому, що від негативного полюса джерела струм мідно-графітовими щітками за допомогою колектора на шпинделі, що обертається, підводиться до хонінгувальної голівки. Пристрій з оброблюваною деталлю підключено до позитивного полюса. Як джерела струму можуть бути використані низьковольтні генератори постійного струму і випрямлячі, розраховані на силу струму 1000-10 000 А, що дозволяють безступінчасто регулювати напругу від 5 до 18 В. Деталі верстата, що перебувають у контакті з електролітом, виготовлені з корозійностійких сталей.

Резервуар для електроліту має об'єм 500-1000 дм в залежності від необхідного знімання матеріалу. Великий вплив на продуктивність і шорсткість обробленої поверхні надає фільтрація електроліту, завдяки якій з розчину видаляються відходи, що являють собою суміш дрібних стружок металу, зерен абразиву і пластівцевих продуктів окислення, що швидко забивають звичайні фільтри. Для фільтрації необхідно застосовувати центрифуги та магнітні сепаратори.

Головка для електрохімічного хонінгування мало відрізняється від

					МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

звичайної. Катодом може служити корпус головки, що має менший діаметр, ніж діаметр отвору, що обробляється, на подвоєну величину міжелектродного зазору, або електрод, розміщений між хонінгувальними брусками. Поверхні катодів не піддаються зношуванню і служать лише підведення струму. Бруски на струмопровідній зв'язці повинні бути ретельно ізолювані від несучих колодок для запобігання короткому замиканню.

Головку з нерухомим катодом застосовують для знімання невеликих припусків (до 0,5-0,8 мм), а головку з рухомим катодом - для знімання припусків понад 1 мм. Електрохімічне алмазне хонінгування тонкостінних азотованих циліндрів із сталі 38ХМЮА з твердістю поверхневого шару 62-67 HRC проводять попередньо головкою з шістьма алмазними брусками АС20250/200М1100% і нерухомим катодом при наступних параметрах обробки:

Окружна швидкість, м/хв 150-200.....

Швидкість поступального руху, м/хв 14-16

Тиск брусків, МПа 0,2-0,6

Щільність струму. А/см² 2-5

Початковий міжелектродний зазор, мм 0,4-0,5

Об'ємна витрата електроліту, л/хв 20-40

За 2 хв видаляється припуск 0,3-0,4 мм. Похибка форми циліндрів після обробки становить трохи більше 0,02 мм при початкової похибки 0,1—0,2 мм. Параметр шорсткості обробленої поверхні після попереднього хонінгування $R_a = 0,32 - 0,63$ мкм. При подальшому обробленні електрохімічному абразивному хонінгуванні протягом 30 секунд параметр R_a знижується до 0,08-0,16 мкм. Як інструмент застосовують три пружних бруска 63СМ14С2К і три жорстко встановлених дерев'яних бруска, що підтримують міжелектродний зазор між катодом і оброблюваною

					<i>МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

поверхнею.

Електрохімічне хонінгування в порівнянні зі звичайним має ряд переваг. Продуктивність зі знімання металу в 4-8 разів вище і не залежить від твердості та міцності матеріалу, а точність, що забезпечується хонінгуванням, досягається швидше. Оскільки процес ведеться при невеликих тисках брусків, електрохімічним хонінгуванням доцільно обробляти деталі зниженої жорсткості. Економічність електро-хімічного хонінгування тим більша, чим вищі припуски на обробку і чим гірша оброблюваність матеріалу.

Після електрохімічного хонінгування спостерігається «розструювання» поверхневого шару металу по межах зерен на глибину до 3-4 мкм, тому обов'язковим є заключний етап роботи з вимкненим струмом протягом 10 с, що дозволяє видалити розплавлений шар. Основну роль розвитку нафтогазового сектора зіграло виникнення трубопровідних методів транспортування нафти і є, виробу яких можливе лише з допомогою металевих конструкцій та устаткування. Крім цього, у розробці та експлуатації нафтових та газових родовищ широко застосовуються технологічне обладнання.

Експлуатаційні особливості технологій нафтогазової галузі мають особливе значення в реалізації продуктів нафти та газу та їх економічних показників.

					МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

2 ФОРМУВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ РАСТРОВОМУ ХОНІНГУВАННІ.

Хонінгування - це складний механічний процес видалення припуску з обробної поверхні за допомогою масового динамічного впливу абразивних зерен, що базуються на робочій поверхні - бруска в закріпленому стані, поверхневий шар оброблюваної деталі при їх відносному переміщенні під навантаженням [10, 31, 37]. Кінематика процесу включає три основні рухи: обертання, зворотно-поступальний рух і радіальне переміщення брусків з метою створення необхідного контактного тиску абразивних зерен на поверхню, що обробляється. При цьому хонінгування супроводжується, як правило, рясною подачею в зону контактування мастильно-охолоджувальної рідини, чим забезпечується видалення продуктів зносу, зниження сили тертя та температури в зоні контакту та покращення умов мікрорізання металу абразивними зернами.

Хонінгування є фінішною операцією у технологічному процесі обробки деталей. Метою хонінгування є забезпечення необхідного мікрорельєфу та геометричної точності оброблюваних поверхонь.

Найбільш близьким за технічною сутністю процесом чистової обробки брусками циліндричних поверхонь є суперфінішування [31, 98, 104]. При спільності механізму абразивного впливу процеси хонінгування та суперфінішування мають відмінність у принципах замикання контактованих поверхонь брусків та деталі [30, 31, 100]. Для суперфінішування характерна схема силового замикання контакту через пружний елемент, коли розмір нормального навантаження зберігається постійної незалежно від вихідної похибки форми оброблюваної деталі. При хонінгуванні застосовують схему кінематичного замикання контакту, в результаті контактні тиску між брусками і деталлю функціонально пов'язані з вихідною похибкою форми оброблюваної

					<i>МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

деталі, тобто процес хонінгування, володіючи високою чутливістю до похибок геометричної форми поверхні, забезпечує інтенсивне їх виправлення [9, 5 103].

До загальних ознак, що характеризують процеси абразивної обробки брусками, відносяться:

- 1) велика поверхня контакту інструменту з оброблюваною поверхнею;
- 2) одночасний вплив на оброблювану поверхню великої кількості ріжучих зерен, різних за формою та мають певний ймовірний розподіл за висотою;
- 3) складна траєкторія руху ріжучих зерен за відносно низьких швидкостей;
- 4) невисока температура в зоні обробки та відсутність у зв'язку з цим фазових перетворень та структурних змін у поверхневому шарі деталі.

Основні вихідні параметри процесу хонінгування – це якісні показники, що характеризуються точністю геометричної форми та шорсткістю обробленої поверхні, а також продуктивність обробки та стійкість брусків. Вихідні параметри залежать від поєднання різних технологічних факторів, які можуть бути поділені на такі основні групи.

1. Чинники, що визначають технологічні властивості процесу. До них відносяться: фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу, характеристики брусків, їх число, розміри та форми, налагоджувальна схема хонінгування, режим обробки та склад мастильно-охолоджувальної рідини (СОЖ).

2. Фактори, що характеризують кінематику процесу - це вид траєкторії робочого руху, величини та закон зміни швидкостей та прискорень відносних рухів інструменту та деталі, а також співвідношення швидкостей цих рухів, що характеризують щільність та кут сітки траєкторії.

3. Чинники, що визначають динамічні характеристики процесу (динамічні чинники).

Це, перш за все середня величина і закон зміни контактного тиску в

					<i>МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

поєднанні інструмент - оброблювана поверхня, характеризує силові залежності процесу хонінгування і залежні головним чином методу здійснення радіальної подачі брусків [25,49,96] і сукупного впливу технологічних і кінематичних чинників.

Характеристика брусків містить відомості про матеріал абразивних зерен, зернистість, про матеріал зв'язки, концентрації абразиву у зв'язці, а також про форму та габаритних розмірів брусків [1, 83, 105]. Характеристика брусків призначається залежно від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, величини припуску, що знімається, і необхідної шорсткості [76, 94, 109]. Критерієм правильного вибору характеристики брусків є отримання стійких результатів щодо точності обробки та шорсткості поверхні у поєднанні з високою продуктивністю та економічністю процесу.

Схеми хонінгування розрізняються за методом компенсації похибок відносного положення інструменту та оброблюваної деталі при різному розподілі рухів між ними [1,16,76,83,93] та визначають тип і конструкцію хонінгувальної головки та затискного пристосування. Вибір схеми хонінгування здійснюється залежно від конструктивних особливостей деталей, їх ваги та габаритів.

2.1 Кінематичні та динамічні параметри растрового робочого руху.

Формоутворення циліндричних поверхонь при використанні різних способів і схем хонінгування може здійснюватися одним з методів утворення геометричних ліній, що знаходяться в діапазоні "сліду і сліду" - "дотик і дотик", або декількома з них в залежності від точності відносного руху і зовнішніх навантажень [33,102]. Якщо для формування площини - поверхні першого порядку, методом растрового абразивного доведення достатньо одного поєданого руху формоутворення, то для формування циліндричної поверхні - поверхні другого порядку необхідно два рухи

					МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

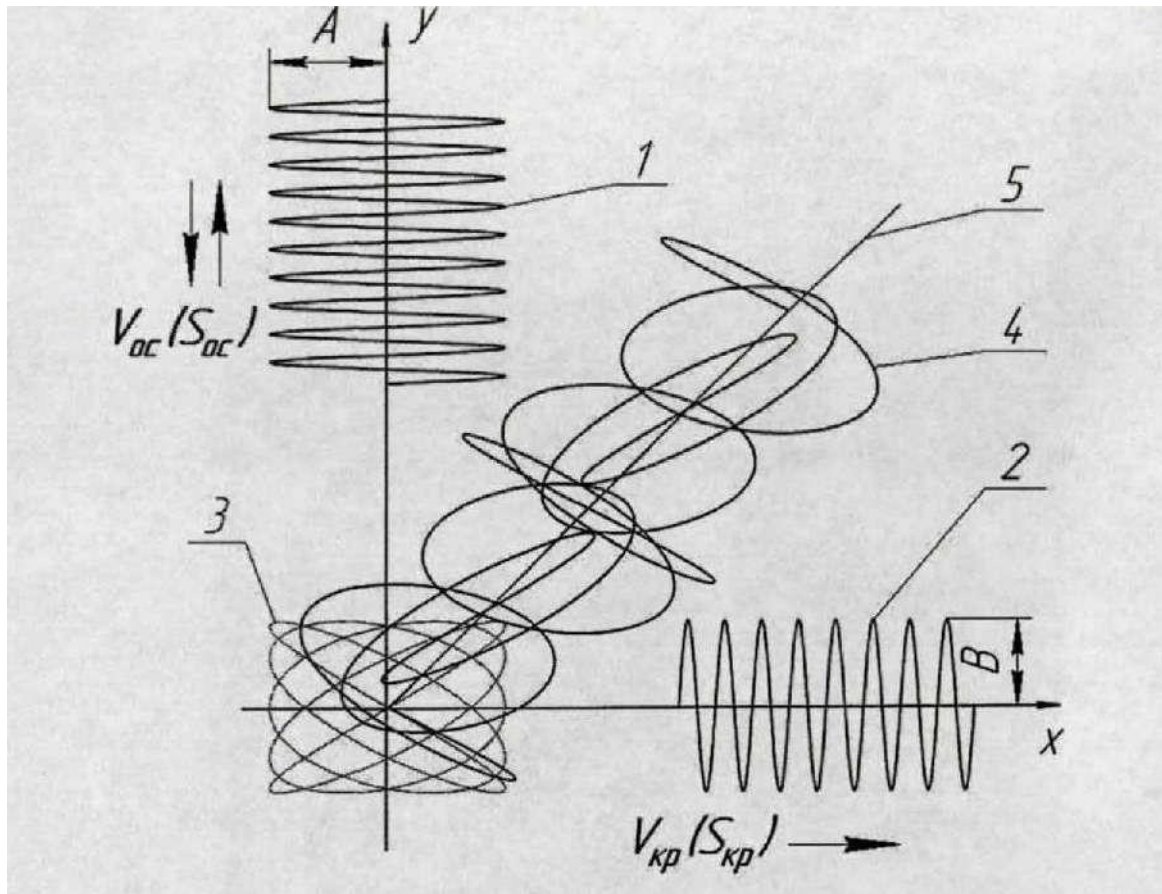


Рисунок 13 – Послідовність утворення траєкторії ріжучого зерна при хонінгуванні.

Принципова відмінність хонінгування з растрової кінематикою від традиційного та вібраційних методів полягає в тому, що головний рух або рух різання є результатом комбінації двох синусоїдальних коливань з різними частотами ω_1 , ω_2 . ($\omega_1 > \omega_2$) і амплітудами A і B у взаємно перпендикулярних напрямках — кругових 1 і осьових 2. Для рівномірного розподілу сітки (растру) 3, що утворюється, по всій оброблюваній циліндричній поверхні інструменту або оброблюваної деталі додатково повідомляються зворотно-поступальне V_{oc} і обертальне руху з малими швидкостями, які є відповідно осьову (S_{oc}) і кругову (S_{kp}) подачі. Таким чином, при растровому хонінгуванні траєкторія 4 робочого руху інструмента утворюється в результаті комбінації чотирьох рухів і являє собою растрову траєкторію 3 розтягнуту в напрямку гвинтової лінії 5. Таку результуючу

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ

Арк.

41

криву умовно називатимемо «растровою циклоїдою».

У загальному просторовому випадку траєкторія руху точки по циліндричній поверхні є дуже складною кривою двоякої кривизни, яка задається трьома параметричними рівняннями, що визначають координати x , y , z точки в будь-який момент часу t : $x=f_1(t)$; $y = f_2(t)$; $z = f_3 (t)$. Не порушуючи спільності завдання дослідження властивостей таких складних кривих зручніше і наочніше на розгортці циліндричної поверхні на площину, направивши вісь Y вздовж утворює циліндра, а вісь X вздовж розгортки напрямної кола. У цьому випадку траєкторія руху точки - плоска крива і задається двома параметричними рівняннями, що визначають декартові координати X , Y точок кривої функції часу t :

$$X = A \cdot \sin \omega_1 t + V_{KP} \cdot t \quad (3)$$

$$Y = B \cdot \sin (m_2 t + \phi_0) + V_{OC} \cdot t \quad (4)$$

де A , B - відповідно кругові та осьові амплітуди;

ω_1 , ω_2 - ідповідно кругові та осьові частоти коливань;

ϕ_0 - початковий зсув фаз.

Рівняння (3 і 4) містять періодичні доданки з періодами $T_1 = 2\pi/\omega_1$ і $T_2 = 2\pi/\omega_2$, які, за відсутності додаткових рухів V_{OC} , V_{KP} , описують растрову траєкторію у вигляді сітки 3 (див. рис. 41.) розподіленої за площею прямокутника $X = 2A$, $Y = 2B$, а також лінійні доданки, які за відсутності коливань відповідають руху точки по $V_{прямий} = V \cdot X$, що представляє гвинтову лінію 5 V_{KP} розгорнуту на площину.

Виконавчий рух при хонінгуванні розтровання є складним, тобто, що складається з декількох елементарних рухів тому його параметри залежатимуть від параметрів всіх елементарних рухів до його складу. Встановлено, що траєкторія складного виконавчого руху залежить від співвідношень всіх параметрів елементарних рухів між собою. Решта всіх параметрів складного руху залежатиме від абсолютних значень відповідних

					МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

параметрів кожного елементарного руху [102]. Попередній аналіз траєкторій робочого руху при растровому хонінгуванні показав, що параметри кругової ($S_{кр}$) та осьової ($S_{ос}$) подач, а також їх співвідношення суттєво впливають на геометричні та кінематичні властивості результуючої траєкторії. Тому, зберігаючи загальну методикау та термінологію, запропоновану В. П. Некрасовим [59, 61, 63] при дослідженні растрових траєкторій (фігур Лісажу) стосовно доведення площин, нами проведені повномасштабні дослідження властивостей і закономірностей утворення растрових траєкторій робочого руху при хонінгуванні циліндричних .

Для дослідження геометричних та кінематичних властивостей результуючої траєкторії робочого руху — «растрової циклоїди» було використано пакет програм MathCad. У цьому середовищі здійснювалося моделювання растрових траєкторій на площині та тривимірному графіку, а також дослідження їх властивостей у широкому діапазоні зміни параметрів та їх співвідношень усіх утворюючих рухів.

2.2 Періодичність растрових траєкторій, розміри кадру

Дослідження властивостей растрових траєкторій зручніше при записі рівнянь (3 і 4) через параметр $\varphi = \varphi(t)$, що являє собою фазовий кут коливань, що складаються в довільний момент часу t . Позначимо траєкторії набувають вигляду:

$$X = A \cdot \sin m\varphi + V_1 \cdot \varphi \quad (5)$$

$$Y = B \cdot \sin(n\varphi + \varphi_0) + V_2 \cdot \varphi \quad (6)$$

Встановлено, якщо між періодами взаємно перпендикулярних коливань існує співвідношення $T_2/T_1 = m/n$, де m, n — цілі взаємно прості числа, то за час $n \cdot T_1 = 2$ повторити ціле число періодів як T_1 так і T_2 [32]. Це означає, що

					<i>MPTAM 24 23591. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

конфігурація результуючої кривої повторюватиметься з періодом T у напрямі прямої 5, яка може бути умовно названа «віссю» цієї кривої. Якщо періоди коливань непорівнянні, такого значення T не можна вказати. У цьому випадку рівняння траєкторії точки відносять до майже періодичних функцій [41]. Таке явище найбільш властиве реальним траєкторіям.

У зв'язку з цим необхідно враховувати те що, що параметри будь-якої реальної системи не задаються, а вимірюються з обмеженою точністю. Тому в початкових умовах завжди існує деяка експериментальна невизначеність, яка з часом може поступово змінюватись [14]. Фігури Лісажу, які лежать в основі досліджуваних траєкторій, є виразним прикладом того, як дуже малі зміни в початкових умовах (зсув фаз ϕ_0 , відношення частот коливань, а також відношення лінійних скорочень і періодичних доданків) можуть призводити до значних змін форми траєкторії. Тому дослідження властивостей растрових траєкторій будемо проводити, ґрунтуючись на математичному підході, тобто, замінюючи реальну систему ідеалізованою, для якої початкові умови задані з абсолютною точністю.

Періодичність результуючої кривої — растрової циклоїди визначається лише параметрами періодичних доданків, тобто параметрами синусоїдальних коливань і не залежать від параметрів лінійних доданків. Тому властивості пов'язані з періодичністю растрової циклоїди збігаються з властивостями періодичності кривих Лісаж, дослідженими В. П. Некрасовим [62]. Для опису властивостей растрових траєкторій було введено поняття растру та кадру. Растр - це траєкторія, пройдена точкою за час $T = mT_1 = nT_2$. За період растру T величина зсуву фаз досягає значення 2π . Виразивши неузгодження частот через $\Delta\omega = \omega_1 - \omega_2$, отримаємо вираз для кутової частоти зміни растрів.

Аналіз загальних для растрових траєкторій закономірностей показав, кожна з них є сукупність послідовних кадрів, у кожному їх конфігурація кривої проходить певний цикл перетворень. Частина растру, що відповідає

						Арк.
					<i>MPTAM 24 23591. 000 ПЗ</i>	44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

різниці аргументів синусоїдальних коливань $n = m_1 t - m_2 t$, називається кадром. Кадр утворюється, коли зсув фаз досягає величини $= 2\pi$.

Така траєкторія (рис. 14) нагадує різноспрямовану траєкторію віброхонінгування з осью або круговою осциляцією [16, 88]. В окремому випадку, при якому $m_1 - m_2 = 1$, растр складається з одного кадру, іншими словами, кадр збігається з растром.

Послідовність утворення такого кадру растрової циклоїди при $\omega_2/\omega_1 < 0,5$ представлена на рис. 15

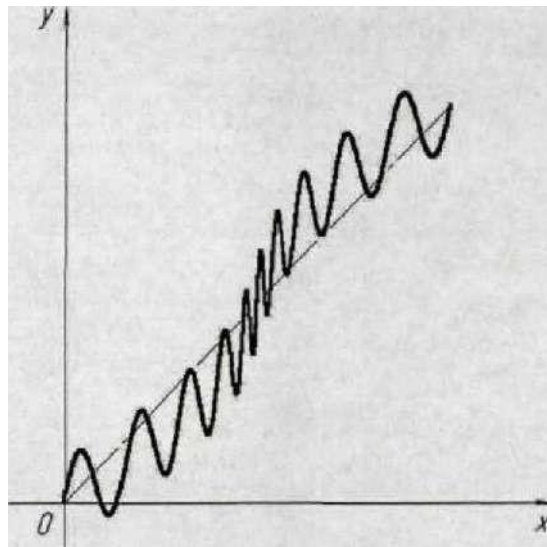


Рисунок 14 - Траєкторія руху точки при $\omega_2/\omega_1 < 0,5$

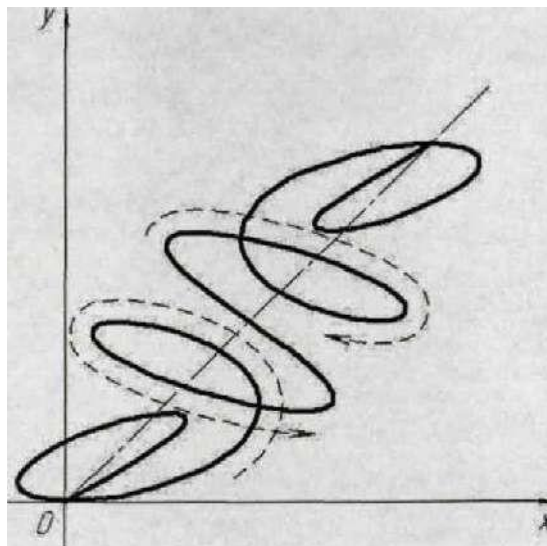


Рисунок 15 - Траєкторія руху точки при $\omega_2/\omega_1 = 4/5$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Як видно з малюнка, за час утворення одного кадру растрової циклоїди точка, що рухається, двічі змінює напрямок обертання навколо умовної «осі». Ця закономірність має місце за будь-яких відносин частот і встановлена нами при дослідженні поведінки похідної кута дотичної до траєкторії, яка двічі змінює знак за період кадру. Результати цих досліджень представлені в таблиці 3. Таким чином, періодичність, з якою змінюється напрямок обертання точки, що рухається, збігається з частотою зміни кадрів. Така властивість растрових траєкторій дозволяє максимально використовувати ріжучу здатність інструменту та сприяє більш рівномірному його зносу.

Таблиця 3 - Значення похідної кута щодо періоду кадру.

Час t, с	0	T/10	T/5	3T/10	2T/5	T/2	3T/5	7T/10	4T/5	9T/10	T
$(\arctg \frac{y'}{x'})$	0	2337	982	975	2818	0	-2818	-975	-982	-2337	0

Для практики хонінгування особливий інтерес становлять траєкторії, вихідні частоти яких мало відрізняються одна від одної.

Застосування такого методу дозволяє проводити кінематичні дослідження траєкторії робітничого руху за період одного кадру.

На відміну від траєкторій утворених лише коливальними рухами (поз. 3, рис. 16), розміри кадру «растрової циклоїди» функціонально залежить від параметрів всіх рухів, що її утворюють, і є величиною змінної. Напрямок формування растрової траєкторії визначається кутом а нахилу гвинтової лінії 5 до осі X (рис. 16.).

напрямку гвинтової лінії від співвідношення частот коливання та співвідношення швидкостей лінійних та коливальних рухів.

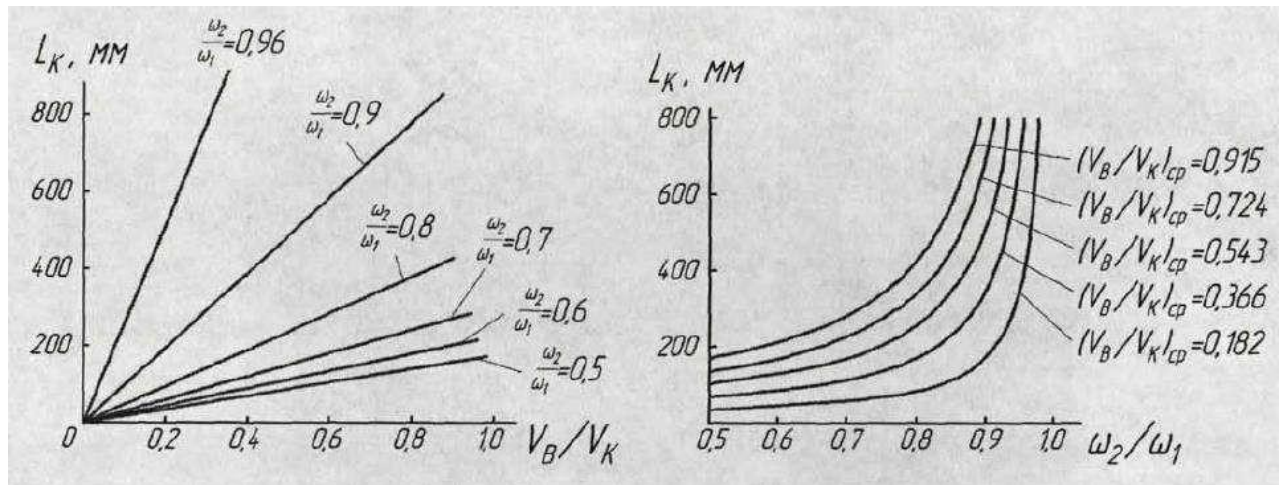


Рисунок 17 - Розмір кадру у напрямку гвинтової лінії.

Для практики растрового хонінгування необхідні відомості про такі кінематичні параметри, як швидкість коливальних рухів, рухів подач, сумарної швидкості різання, а також характер зміни величини швидкості та прискорення.

Швидкості руху подач, тобто. V_{KP} і V_{OC} визначаються за відомими формулами:

$$V_{KP} = \pi \cdot d \cdot n_1, \quad V_{OC} = 2 \cdot l_x \cdot n_2 \quad (11)$$

де d - номінальний діаметр оброблюваного отвору, мм;

n_1 - Частота обертання інструменту, с-1;

n_2 - частота подвійних ходів хонінгувальної головки, с-1;

l_x - Довжина ходу зворотно поступальних рухів, мм.

Для визначення миттєвої швидкості у довільний момент часу скористаємося першою похідною за часом рівнянь (5 та 6) руху точки при $\varphi_0 = 0$:

$$V_K = X' = A \cdot \omega_1 \cdot \cos \omega_1 t + V_{KP} \quad (12)$$

$$V_F = Y' = B \cdot \omega_2 \cdot \cos \omega_2 t + V_{OC} \quad (13)$$

Повну швидкість визначимо як геометричну суму її проєкцій:

						Арк.
					МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ	48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_{max} = \sqrt{(A \cdot \omega_1 + VKP)^2 + (B \cdot \omega_2 + V_0C)^2} \quad (14)$$

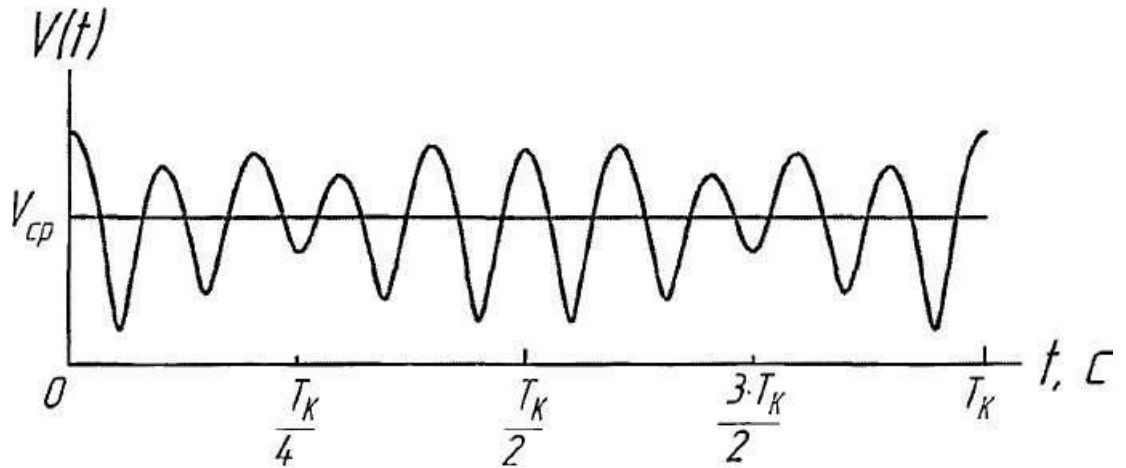


Рисунок 18 – Зміна миттєвої швидкості за період кадру.

На рис. 18 показано зміну швидкості за величиною за період одного кадру. На початку, середині та кінці кадру швидкість досягає максимального значення. Для практики важливо знати середню швидкість руху ріжучих зерен, яку можна визначити як приватне від розподілу довжини траєкторії SK кадр на період кадру ТК.

Отримані інтеграли виражаються через елементарні функції. Обчислення отриманих залежностей здійснювалося за допомогою ЕОМ у середовищі програми MathCad для 64 різних відносин частот.

Графік зміни середньої швидкості V_{cp} в залежності від відношення частот коливальних рухів при різних відносинах швидкостей представлений на рис. 19

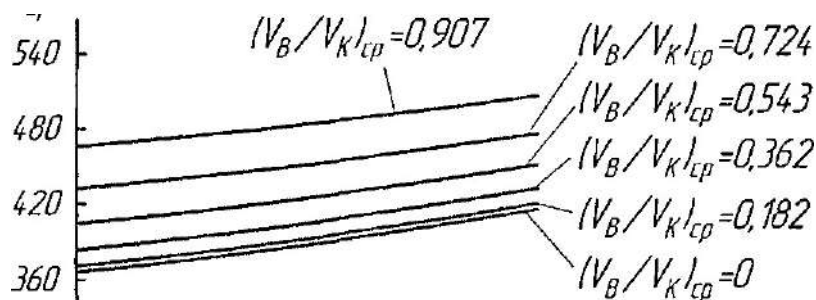


Рисунок 19 - Залежність середньої швидкості від відношення частот коливань.

Проаналізовано похибки апроксимуючих виразів, помилка не перевищує 3%.

Траєкторії віброхонінгування можуть бути двох видів [88]: різноспрямовані, у яких проекції вектора сумарної швидкості на осі координат протягом циклу осциляції змінюють свій напрямок, і односпрямовані у яких проекції вектора сумарної швидкості завжди спрямовані в одну сторону. Для нашого випадку зона переходу різноспрямованої траєкторії до односпрямованої визначається відношенням

$$\frac{V_B}{V_{Kcp}} = 1,6$$

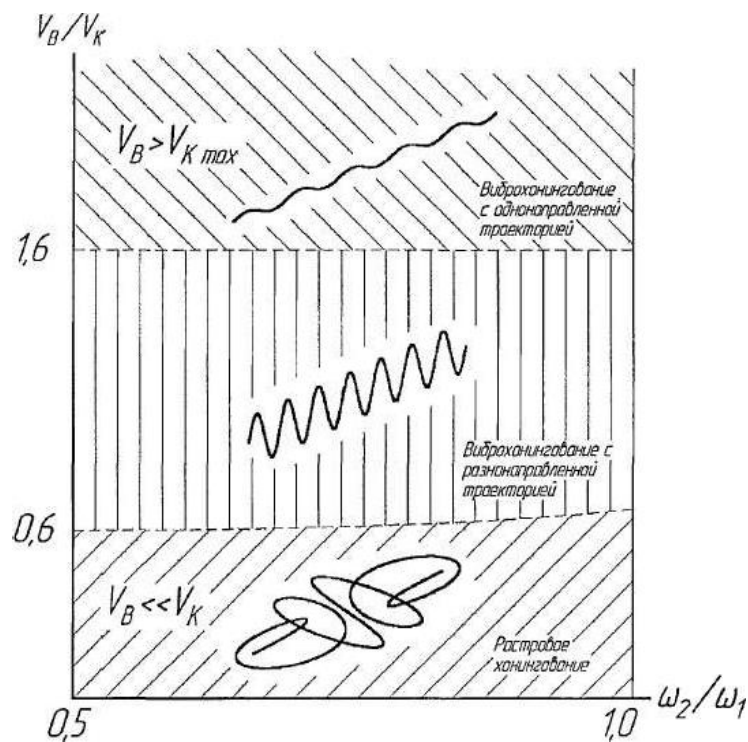


Рисунок 20 – Види траєкторій під час растрової

У ряді робіт з доведення та віброхонінгування [73, 74, 75, 80] показано, що суттєвий вплив на процес різання та якість поверхневого шару при абразивній обробці надає прискорення робочого руху.

Проекції прискорення W_X і W_Y є другим похідним за часом параметричних рівнянь руху (5 і 6). Через них можна висловити повне прискорення:

$$W = \sqrt{W_X^2 + W_Y^2} = \sqrt{(A \cdot \omega_1^2 \cdot \sin \omega_1 t)^2 + (B \cdot \omega_2^2 \cdot \sin \omega_2 t)^2} \quad (19)$$

Зміна величини миттєвого повного прискорення у період кадру представлено на рис. 21

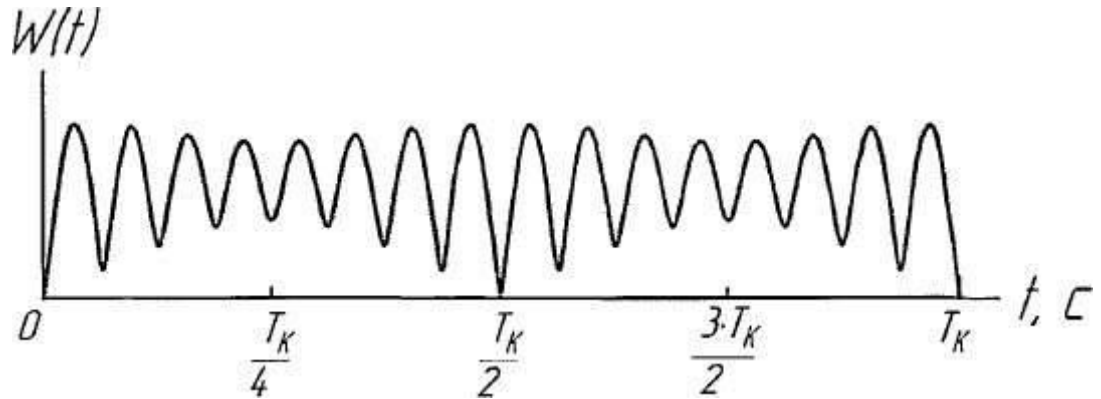


Рисунок 21 - Зміни миттєвого прискорення за період кадру.

Безперервна зміна швидкості та прискорення за величиною та спрямуванням, а також складність і неповторність траєкторії растрового руху є передумовою для його ефективного використання як робочого руху при хонінгуванні.

Висновки

1. Растрова траєкторія робочого руху при хонінгуванні циліндричних поверхонь утворюється в результаті комбінації чотирьох рухів - осьових та кругових коливань з різними частотами та амплітудами та рухів осьових та кругових подач з малими швидкостями.
2. Аналіз закономірностей растрових траєкторій показав, що кожна з них є сукупністю послідовних кадрів, частота зміни кадрів визначається різницею частот кругових ω_1 і осьових ω_2 коливань.
3. Важлива для практики властивість растрових траєкторій полягає в

тому, що за період кадру рушійна точка (ріжуче зерно) двічі змінює напрямок обертання по циліндричній поверхні.

4. Розроблено методику розрахунку швидкостей та прискорень растрового робочого руху та отримано компактні емпіричні формули для визначення середньої швидкості коливальних рухів (V_{Kcp}) та швидкості різання з урахуванням швидкостей подач (V_B).

					<i>МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		52

3. МЕТОДИКА І АПАРАТУРА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.

3.1. Установа «РХ-7»

Експериментальна установка «РХ-7» призначена для обробки циліндричних поверхонь діаметром до 70 мм і довжиною до 250 мм. Кінематична схема верстата представлена на рис. 23

Привід хонінгувального верстата містить роздільні кінематичні ланцюги кругових та осьових коливань інструменту та кінематичні ланцюги кругових та осьових подач. Ланцюг осьових коливань (Кос.) інструменту 1 включає себе електродвигун 2, клинопасовий варіатор 3, зубчасті передачі 4, кривошипний диск 5 з ексцентрично розташованим пальцем 6, який входить у поперечний паз пінолі 7 для повідомлення останньої і пов'язаному з нею шпинделя 8 коле напрямі. Ланцюг кругових коливань (Ккр) інструменту містить електродвигун 9, циліндричну зубчасту передачу, кривошипний диск 10 з ексцентрично розташованим пальцем 11, шатун 12, кінематично зв'язуючий водило 13 з пальцем 11 і службовий для повідомлення шпинделя 1 механізму.

Кінематичний ланцюг осьових подач (Сос) призначений для повідомлення шпindelної коробки 16 і шпинделю 8 повільного зворотно поступального руху в осьовому напрямку і включає реверсивний електродвигун 17, черв'ячну передачу 18, ходовий гвинт 19, що працює в парі з гайкою.

Ланцюг кругових подач (СКР) містить електродвигун 20, черв'ячну передачу 21, пов'язану із зовнішнім колесом планетарного механізму, і служить для повідомлення шпинделя повільного обертального руху.

					МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

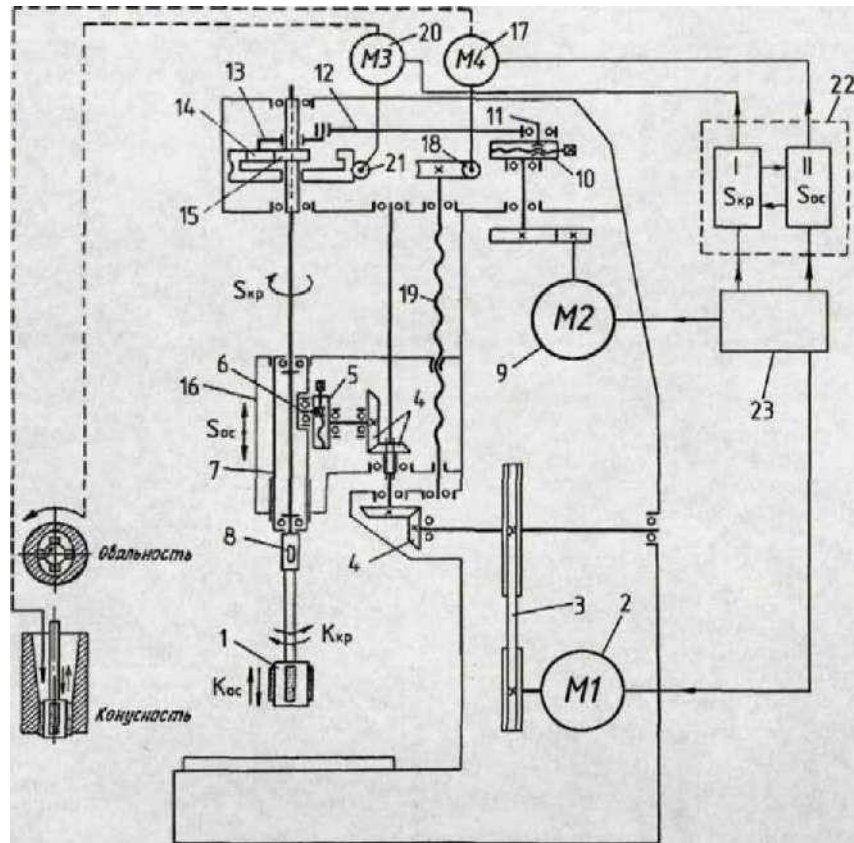


Рисунок 23 – Кінематична схема верстата «PX-7»

Позитивною властивістю хонінгувального верстата з растровою кінематикою, що має роздільні кінематичні ланцюги, є можливість незалежного регулювання параметрів усіх елементарних рухів головного та формоутворювальних рухів інструменту. Змінюючи співвідношення частот та амплітуд коливань, можна варіювати параметри мікрорельєфу обробленої поверхні, а шляхом програмування осьових та кругових подач можна керувати геометричною формою отвору. Верстат з такою системою приводів має адаптивні властивості [7]. Дійсно, при обробці деталі, що має вихідні похибки геометричної форми у вигляді конусності та овальності, навантаження на електродвигунах 2 і 9 за період одного коливання змінюється від деякого номінального значення до максимуму в момент, коли хонінгувальні бруски контактують з мінімальним діаметром отвору. Слідкуючі системи I або II реєструють зміну навантаження і виробляють командний сигнал, який подається в

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MPTAM 24 23591. 000 ПЗ

Арк.

54

ланцюг управління двигунами 17 і 20, а ті зміщують інструмент у зону найбільшого навантаження.

Таким чином, адаптивний привід при хонінгуванні розтрощів дозволяє цілеспрямовано виправляти як конусність, так і овальність отвору, що обробляється. При цьому в результаті введення перехресних зв'язків між системами, що стежать, автоматично більш інтенсивно вирівнюється та похибка, яка має більше відхилення оптимізує процес виправлення геометричної форми.

Технічна характеристика верстата "РХ-7".

Максимальний діаметр обробного отвору в мм 70

Максимальна довжина оброблюваної деталі мм 250

Розмах кругових коливань у град 0-210°

Розмах осьових коливань у мм 0-60

Частота кругових коливань кіл/хв 120; 180; 240

Частота осьових коливань кіл/хв 0-300

Розузгодження частот у % безступінчасто до 100%

Осьове зусилля механізму розтискання брусків у кг 0-80

Потужність приводу головного руху у кВт 2,2; 1

Потужність приводу подач в кВт 0,3; 0,3

Габарити верстата мм 25x1020x2295

Маса верстата в кг 800

3.2. "Растр-Ц20" - дослідний верстат.

Хонінгувально-довідковий верстат [8] з комплексним робочим рухом призначений для фінішної обробки прецизійних отворів у деталях паливної та гідравлічної апаратури. На відміну від хонінгувальних верстатів з традиційною кінематикою, даний верстат дозволяє здійснювати різні методи

					МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

хонінгування, що мають ускладнені траєкторії робочого руху, з тонко регульованими параметрами. Кінематична схема верстата представлена на рис. 24 і складається з приводу обертання шпинделя з механізмами коливальних рухів і приводу зворотно-поступального переміщення інструмента вздовж осі деталі, що обробляється.

Привід обертання і коливальних рухів містить електродвигун 1, пов'язаний клинопасовою передачею 2 з проміжним валом 3. Останній за допомогою клинопасового варіатора 4 і зубчастої передачі 5 з'єднаний з конічним диференціалом і механізмом 6 осьових коливань, який виконаний у вигляді двох торцевих кул. одним сепаратором з опорною шайбою 7, жорстко закріпленою на шпинделі 8. Конічний диференціал містить однакові центральні колеса 9, 10 і сателіти 14. Загальна вісь сателітів 14 виконана у вигляді вигнутого 2-подібного валу 15, кінематично пов'язаного з 8 причому один із сателітів жорстко з'єднаний з валом, а інший - з можливістю вільного обертання. На валах центральних коліс 9 і 10 конічного диференціала встановлені двосторонні муфти 11 і 12, призначені для стопоріння коліс щодо корпусу шпиндельної коробки 13 або повідомлення їм обертання від варіатора 4 і передачі 5. Привід зворотно-поступального руху шпиндельної коробки 13 17, ходовий гвинт 18, що працює в парі з гайкою, закріпленою на коробці шпиндельної.

Швидкість поступального руху регулюється частотою обертання електродвигуна, а величина та положення ходу безконтактними кінцевими перемикачами. Управління приводом здійснюється програмованим інвертором, який дозволяє задавати необхідний закон зміни швидкості поступального руху (лінійний, S-подібний, ступінчастий), а також затримки в точках реверсування.

					МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

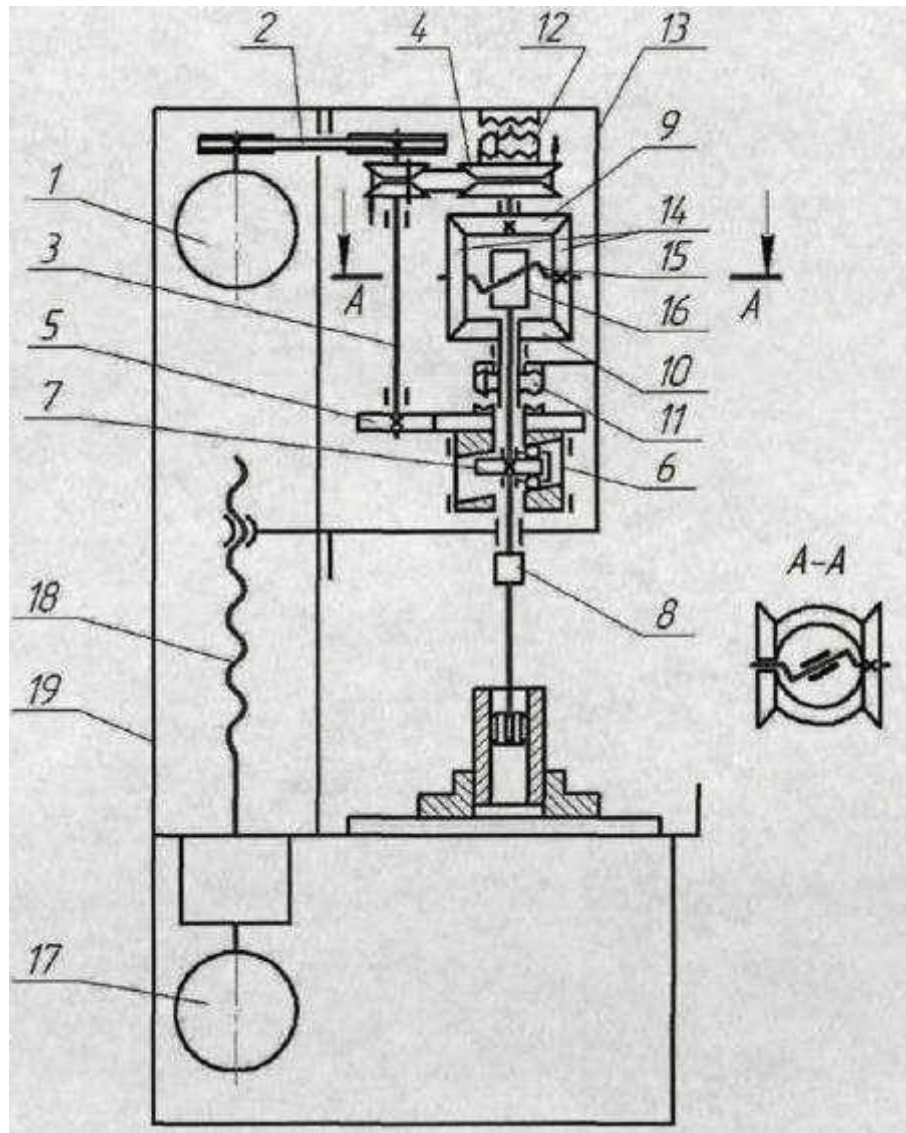


Рисунок 24 - Кінематична схема хонінгувально-доводочного верстата «Растр Ц20»

Верстат реалізує два методи віброхонінгування з різними частотами осцилюючого руху і растровий метод хонінгування, що відрізняється складною траєкторією робочого руху з тонко регульованими параметрами. Залежно від технологічного призначення операції (попереднє, остаточне) шляхом перемикання муфт 11 та 12 встановлюється метод хонінгування та задається відповідна траєкторія робочого руху інструменту.

Введемо позначення:

ω_1, ω_2 - частоти обертання центральних коліс 9 та 10 конічного диференціала;

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ

Арк.

57

$\omega_{шп}$ -частота обертання шпинделя;

$\omega_{кр}$ -частота кругових коливань шпинделя;

$\omega_{ос}$ -частота осьових коливань шпинделя;

$i_{ос}$ - передатне відношення механізму осьових коливань;

$i_{кр}$ - передатне відношення від центральних коліс до сателітів

дифференціального механізму).

Розглянемо варіант роботи верстата, коли муфта 11 включена вниз і центральному колесу 10 конічного диференціала повідомляється обертання, а колесо 9 зафіксовано муфтою 12 щодо корпусу 13. Строго кажучи, у цьому випадку диференціальний механізм стає планетарним.

При пуску верстата циклу включається реверсивний електродвигун 17 і за допомогою ходового гвинта 18 інструмент, закріплений в шпинделі 8, вводиться в зону обробки, здійснюється його розтиск і зворотно-поступальний рух уздовж осі оброблюваної деталі. Одночасно включається електродвигун 1 і рух клинопасової передачею 2 передається на проміжний вал 3, який через зубчасту передачу 5 і муфту 11 повідомляє обертання центрального колеса 10 конічного диференціала. При цьому друге центральне колесо 9 зафіксовано за допомогою двосторонньої муфти 12 щодо корпусу 13. Сателіти 14, обкочуючись по нерухомому колесу 9, повідомляють за допомогою Z-подібного валу 15 та вилки 16 швидке обертання шпинделю 8 з частотою, що дорівнює половині частоти обертання колеса 10 [15].

$$\omega = \omega_2 \quad (25)$$

Крім того, за рахунок обертання Z-образного валу навколо власної осі шпинделю додатково повідомляються кругові коливання, амплітуда яких дорівнює куту нахилу Z-образного валу. Частота кругових коливань дорівнює частоті обертання Z-образного валу і визначається з виразу:

					МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

$$\omega = \omega_2 \cdot i = \omega \cdot i \quad (26)$$

2

Внаслідок малої амплітуди кругових коливань сумарний рух, що повідомляється шпинделю є односпрямованим (без реверсу) обертанням зі змінною швидкістю.

Одночасно з проміжного валу 3 через зубчасту передачу 5 обертання передається торцевим кулачкам механізму 6, які через кульки, що синхронно обертаються, повідомляють опорній шайбі 7 і шпинделю 8 осьові коливання. Амплітуда коливань визначається кутом скосу торцевих кулачків і діаметром кільцевих канавок на опорній шайбі, а частота пропорційна алгебраїчній різниці швидкостей обертання шпинделя і кулачків механізму 6. Такий механізм дозволяє ненаголошено і з мінімальними інерційними навантаженнями. В описаному варіанті включення двосторонніх муфт 11 і 12 шпиндель і торцеві кулачки механізму 6 обертаються в одному напрямку, в результаті шпинделю повідомляються низькочастотні осьові коливання .

При перемиканні муфти 11 вгору, а муфти 12 вниз, центральне колесо 10 конічного диференціала фіксується щодо корпусу 13 а колесучез клинопасовий варіатор 4 повідомляється обертання в напрямку зворотному попередньому випадку.

В результаті рух обкатки сателітів 14 по нерухомому колесу 9 та обертання шпинделя 8 реверсуються. Частоти обертання та кругових коливань шпинделя визначаються частотою ω_1 обертання центрального колеса 9.

					<i>МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

подачі.

Растрова траєкторія робочого руху інструменту реалізується шляхом перемикання муфт 11 та 12 вниз. У цьому випадку центральні колеса 9 і 10 конічного диференціала отримують обертання в протилежних напрямках та з різними швидкостями. Частота обертання 10 колеса постійна, а колеса 9 може регулюватися в невеликому діапазоні за допомогою клинопасового варіатора 4, причому в середині діапазону регулювання частоти обертання коліс 9 і 10 по модулю рівні.

При растровому хонінгуванні середні швидкості коливальних рухів значно перевищують швидкість обертання та поступального руху. При такому співвідношенні швидкостей утворюється складна і неповторна сітка слідів обробки (рис. 25 в) причому щільність сітки можна змінювати безступінчато шляхом регулювання кругової подачі і швидкості поступального руху. Таким чином, запропонована конструкція верстата дозволяє простими технічними засобами реалізувати на одному обладнанні різні методи хонінгування, що відрізняються траєкторією робочого руху інструменту.

Технічна характеристика хонінгувально-довідного верстата «Растр Ц20» Розміри деталі, що обробляється:

Максимальний діаметр, мм 20

Максимальна довжина мм 180

Хід шпиндельної коробки, мм 10-200

Найбільша відстань торця шпинделя від столу, мм 412

Виліт шпинделя, мм 150

Параметри роботи верстата:

1. З растрової траєкторією інструменту:

розмах кругових коливань, град 72

розмах осьових коливань, мм 5,2

Частота коливань шпинделя, кіл/хв кругових 1020, 1300. Осьових 880, 1100

					МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Кругова подача, об/хв 0-±60

Осьова подача, мм/хв 800

2. З гвинтовою траєкторією інструменту:

Швидкість обертання шпинделя, об/хв 900; 710

Частота осьових коливань, кільк./хв 560; 440

Час затримки при реверсі осьової подачі, сек 0-8,8

Осьове зусилля, механізму розтискання брусків у, кг 0-20

Потужність приводу головного руху, кВт 0,3

Потужність приводу осьової подачі, кВт 0,12

Габарити верстата, мм 856x696x1762

Маса верстата, кг 250

Основним завданням даних експериментальних досліджень було пошук раціональних умов ведення процесу хонінгування растрової та традиційної кінематики, що забезпечують найбільшу продуктивність, необхідну шорсткість і стабільну точність геометричної форми.

3.3. Матеріали, що застосовуються в дослідженнях.

У дослідженнях впливу технологічних факторів процесу растрового хонінгування використовувалися серійні деталі типу «гільза золотника» сталі 95Х18 з твердістю $HRc \geq 57$ і сталі 12ХНЗА з твердістю $HRc58...62$. Діаметр отвору, що обробляється 10 мм, довжина 48 і 60 мм. Деталі порівняно складні за конструкцією, мають багато радіальних отворів та кільцевих проточок по зовнішньому діаметру (рис. 26).

					МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

алмазосодержащего [91] прокату, що відрізняються зв'язкою, зернистістю, видом абразиву та концентрацією.

- | | |
|--------------------------|----------------------------|
| 1. КР 125/100-М5-22-100% | 6. КР 80/63-М5-22-100% |
| 2. АС20 80/63-М5-22-100% | 7. АС20 125/100-М5-22-100% |
| 3. АС15 80/63-М5-22-100% | 8. АС6 60/40-МД-50% |
| 4. КМ 20/14-М5-22-50% | 9. КМ 40/28-М5-22-50% |
| 5. КМ 60/40-М5-22-100% | 10. АСМ 60/40-М5-22-100% |

Номенклатура хонінгувальних брусків для обробки кілець, включає бруски для розмірного хонінгування і бруски для чистового (оздоблювального) хонінгування. Для розмірного хонінгування випробувані бруски з прокату на металевій зв'язці, що відрізняються видом абразиву, зернистістю, концентрацією та характеристикою зв'язки.

КМ 60/40-М2-01-100%

КМ 40/28-М5-22-50%

АС6 63/50-М2-01-100%

При хонінгуванні загартованих легованих сталей переважно металосилікатна зв'язка М5-22. Дана зв'язка за рахунок зміцнювальних добавок має в порівнянні з традиційною зв'язкою М2-01 більш високу твердість та зносостійкість, що має позитивно впливати на точність обробки.

Опробування чистового (оздоблювального) хонінгування здійснювалося алмазними брусками на каучуковмісних зв'язках різної характеристики.

АСМ 40/28-Р9/Р4-25%

АСМ 20/14-Р9-25%

АСМ 28/20-Р11-50%

Розміри брусків як для розмірного, так і для чистового хонінгування залежать від розмірів отвору, що обробляється. Для кілець діаметром отвору 35 мм довжина (Lбр.) брусків 30 мм, ширина 8 мм. Кільця з отворами діаметра 18 мм хонінгувалися «пакетом» по дві деталі, брусками довжиною

					МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

44 мм, шириною 4 мм.

Хонінгувальні головки. Для експериментального випробування процесу хонінгування отворів у «гільзі золотника» та в контрольних кільцях розроблено та виготовлено хонінгувальні головки жорсткої конструкції з номінальними діаметрами 35 рис. 28 та 18 мм, рис. 29 з довжиною

брусків відповідно 30 та 44 мм. Для отворів діаметром 10 мм, конструкція хонінгувальної головки аналогічна головки діаметром 18 мм. Головки призначені для розмірної та чистової (оздоблювальної) обробки наскрізних отворів.

Хонінгувальні головки чотирибрускові містять корпус 1, у зовнішніх пазах якого розміщені хонінгувальні бруски. Бруски складаються із сталевго корпусу 2 і ріжучого шару 3, виконаного з алмазовмісного або кубанітового прокату різної характеристики. Можуть бути використані також стандартні хонінгувальні бруски. Кріплення прокату або стандартних брусків до основи 2 проводиться методом паяння або приклеювання. Фіксація брусків в осьовому напрямку здійснюється по торцях основ, або (для головки $d=35$ мм) штифтами 4 кінці яких встають в кільцеву канавку на корпусі головки. У центральному отворі корпусу розміщений розтискний конус 5, при осьовому переміщенні якого через радіальні штовхачі 6 або безпосередньо здійснюється розжим брусків. Стиснення брусків проводиться кільцевими пружинами 7. Для підвищення жорсткості чотирибрускової головки використовувався варіант конструкції, в якій два бруски рухомі в радіальному напрямку і розташовані в пазах під кутом 90° . Навпроти рухомих брусків також під кутом 90° на периферію корпусу напаяні нерухомі бруски. Ріжучий шар усіх брусків виконаний із прокату.

Після паяння або приклеювання прокату до основи з метою забезпечення циліндричної форми інструменту проводиться шліфування і подальша обробка робочої поверхні брусків у зборі з хонголкою. Відхилення від циліндричності має перевищувати 0,01-0,015 мм.

					МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Стикувальний вузол між шпинделем верстата і хонінгувальною головкою є жорсткий з'єднувальний вал 8 з проміжним штовхачем 9. З'єднувальний вал базується по отвору посадкового і по торцю шпинделя верстата і фіксується накладною гайкою. На нижньому кінці валу також базується хонінгувальна головка та фіксується накладною гайкою 10. У хонголівки $d=18$ мм корпус і з'єднувальний вал виконаний за одне ціле.

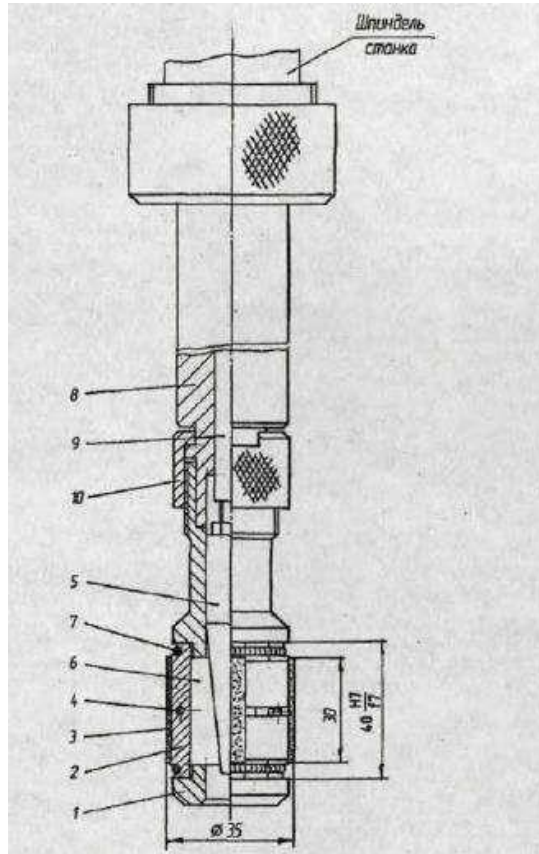


Рисунок 28 – Хонінгувальна головка діаметром 35 мм.

					МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

3.6. Методика вимірювання відхилень геометричної форми отворів

Для контролю параметрів геометричної форми використовувалися кругломір моделі ВЕ-20А, Вільнюської філії ЕНІМС.

З метою розширення функціональних можливостей кругломіра моделі ВЕ-20А була проведена його модернізація, в результаті якої стало можливим контролювати такі параметри геометричної форми циліндричних поверхонь: відхилення від круглості та відхилення профілю поздовжнього перерізу.

Кругломір моделі ВЕ-20А призначений для вимірювання некруглості або неконцентричності циліндричних поверхонь у перпендикулярному перерізі їх осі. Принцип дії кругломіра заснований на обмацуванні вимірювальним наконечником датчика, що обертається, контрольованої поверхні деталі, нерухомо встановленої на центрувальному столику. Реєстрація результатів вимірювання здійснюється за допомогою універсального самописця на круглограмі у полярній системі координат або на діаграмній стрічці у прямокутних координатах.

Кінематична схема модернізованого варіанта кругломіра представлена на рис. 31. Прилад має вертикальне компонування і включає станину 1, на якій змонтований на кулькових опорах 2, центруючий столик 3 і жорстко закріплена стійка 4. На напрямних стійки 4 встановлена вимірювальна головка 5, яка може переміщатися по напрямних за допомогою рейкової передачі 6. У вимірювальній головці змонтований привід обертання датчика 7 з вимірювальним щупом 8. Привід містить електродвигун 9, обертання від якого через зубчасту передачу 10 і пружну муфту повідомляється прецизійному шпинделю 11 і датчику 7. Центрування контрольованої деталі відносно осі у горизонтальній площині у взаємоперпендикулярних напрямках за допомогою двох мікрогвинтів 12. Таку кінематику має серійний прилад, призначений для вимірювання некруглості.

Модернізація приладу полягає в тому, що введено додатковий вузол

					<i>МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

точних переміщень осьових контрольованої деталі. Основними елементами вузла є високоточний шток 13, що переміщається в направляючій втулці 14, яка нерухомо закріплена в центральній розточці центруючого столика 3. Вибірка зазору в контакті шток-напрямна втулка здійснюється за допомогою пластинчастої пружини 15 і гвинта 16. котирувальний столик 17, за допомогою якого вісь контрольованої деталі встановлюють паралельно осі штока. Привід осьових переміщень штока 13 нерухомо змонтований в станині 1 і містить реверсивний електродвигун 18, пов'язаний через муфту з гвинтом 19, що працює в парі, з гайкою зафіксованої від обертання за допомогою ковзної шпонки (на схемі не показана).

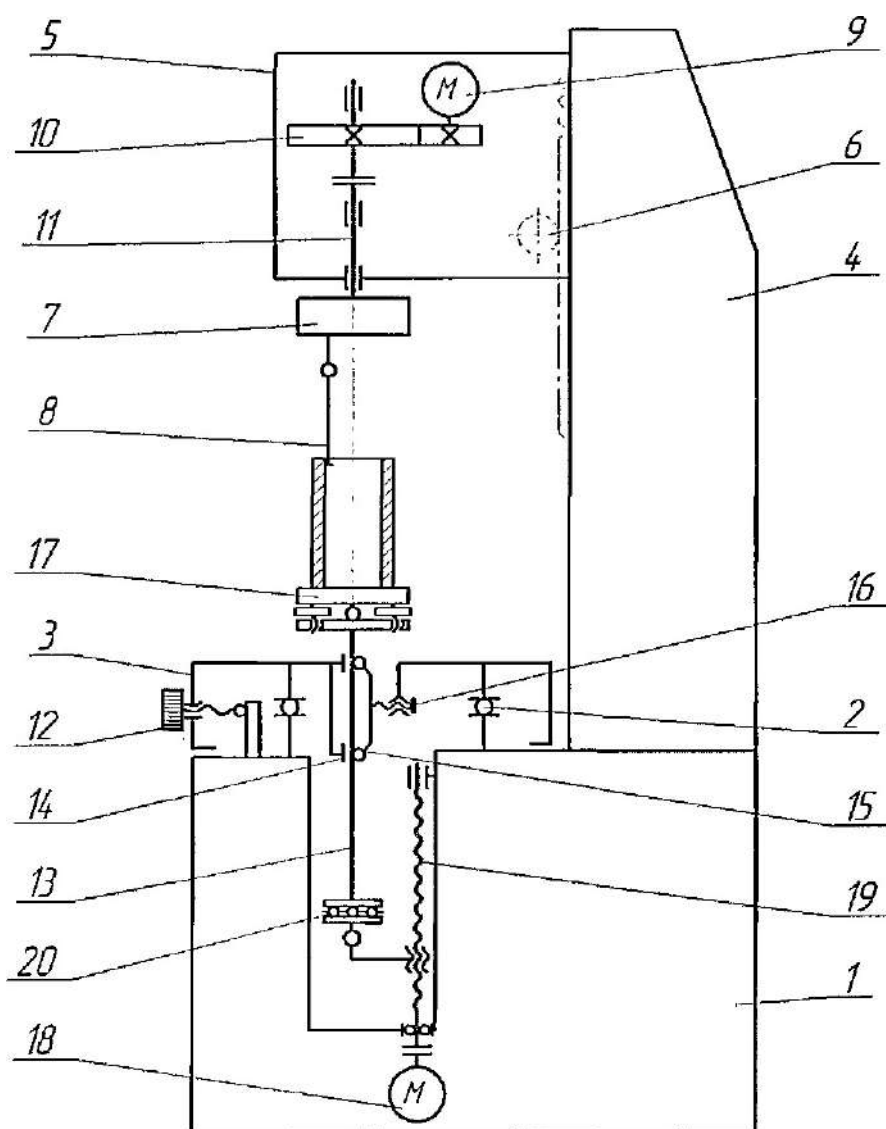


Рисунок 31 - Кінематична схема модернізованого кругломіра ВЕ-20А

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ

Арк.

72

перпендикулярно до робочої поверхні пластини і створюється необхідний натяг за стрілкою індикатора центрування. Після цього за допомогою котирувального столика робоча поверхня пластини встановлюється паралельно осі переміщення штока. Юстування необхідно перевіряти при послідовному перемиканні ступенів збільшення. При цьому за час проходження щупом усієї діаметральної поверхні пластини стрілка індикатора не повинна виходити за межі верхнього малого прямокутника. Після цього за допомогою самописця здійснюється запис філограми на діаграмній стрічці, за якою оцінюється похибка осьових переміщень.

Запис профілограм проводиться при максимально допустимому збільшенні двох взаємно-перпендикулярних положень пластини. За профілактограмами, записаними зі збільшенням 10000 (максимальне збільшення) визначається похибка вузла осьових переміщень.

Результати перевірки подано на рис. 33. Похибка обертання шпинделя датчика менше 0,15 мкм, а похибка вузла осьових переміщень на довжині не менше ніж 50 мм не перевищує 0,2 мкм.

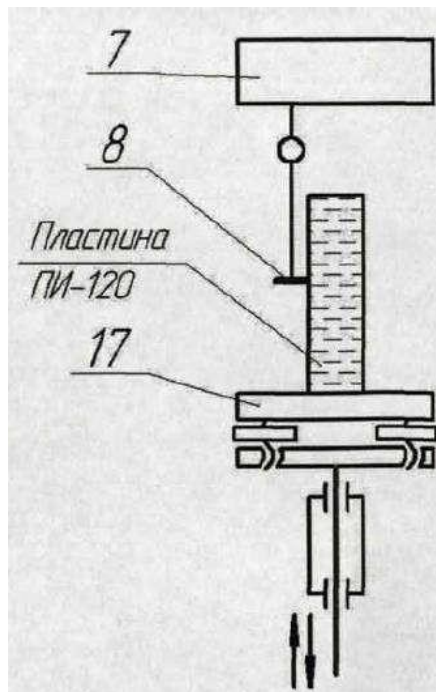


Рисунок 32 - Схема перевірки похибки осьових переміщень

Для перевірки ступенів збільшення електронного блоку прилад укомплектований спеціальним еталоном з двома робочими поясками та атестованими величинами лисок. Перевірка здійснюється шляхом запису відповідного пояска еталона на круглограмі або діаграмної стрічки. Підраховуються відхилення та порівнюються з фактичною величиною, вказаною на еталоні. Результати перевірки наведено на рис. 62.

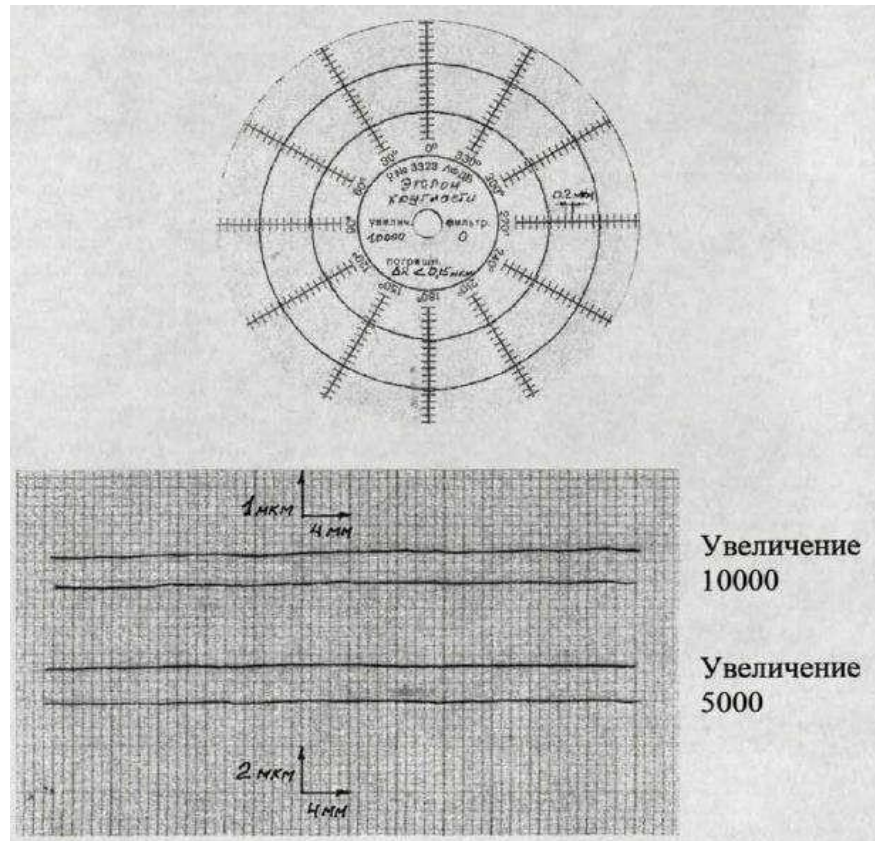


Рисунок 33. – Результати перевірки

розраховується відхилення від круглості $\Delta R_{\text{тах}}$. Характер похибки - овальність, огранювання та ін. визначається за видом круглограми.

Відхилення профілю поздовжнього перерізу циліндричної поверхні — це найбільша відстань $\Delta_{\text{пр}}$ від точок, що утворюють реальну поверхню, що лежать у площині, що проходять через її вісь, до відповідної сторони прилеглого профілю в межах ділянки, що нормується.

Для визначення відхилення $\Delta_{\text{пр}}$ на філограмах записаних на діаграмній стрічці проводяться дві паралельні прямі, що стикаються з реальним профілем осьового поздовжнього перерізу і розташовані поза матеріалом деталі так, щоб найбільша відстань точок реального профілю від відповідної прямої в межах нормованого ним ділянки. Далі шляхом вимірювань знаходиться найбільша відстань від точок реального профілю до відповідної прямої прилеглої і відповідно до масштабу збільшення розраховується відхилення $\Delta_{\text{пр}}$. Характер відхилення — конусоподібність, сідлоподібність, бочкоподібність та ін. визначається візуально за видом філограми.

Для всієї номенклатури деталей були виготовлені спеціальні оправки для центрування та закріплення їх на столику юстируючого приладу. Вимірювання відхилень геометричної форми проводилися в наступній послідовності.

1. Контрольована деталь за допомогою спеціальної оправки закріплюється на столику юстировки 17 рис. 31.

2. Наконечник щупа 8 підводиться до контрольованої поверхні деталі, після чого вимірювальна головка 5 і радіальна каретка датчика 7 жорстко фіксуються. Подальше налагодження приладу здійснюється при ручному обертанні датчика.

3. За допомогою центруючого столу здійснюється центрування контрольованої поверхні щодо осі шпинделя обертання датчика.

4. За допомогою котирувального столика вертикальна вісь

					<i>МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

контрольованої поверхні встановлюється паралельно до осі прецизійного штока вузла осьових переміщень.

5. При виконанні пункт 4 проводиться коригування центрування за пунктом 3. Операції за пунктами 3 і 4 повторюються після кожного перемикавання радіального збільшення.

6. Вмикається обертання датчика і при нерухомій деталі здійснюється запис круглограм на діаграмному диску. Круглограми записуються у двох-трьох перерізах: на відстані 2 мм від торців (круглограма А) та в середньому перерізі по довжині контрольованої поверхні (круглограма Б).

7. Відключається обертання датчика, включається осьове переміщення контрольованої деталі та здійснюється почерговий запис профілю подовжнього перерізу у двох взаємно перпендикулярних осьових площинах та позначаються відповідно I пл. та II пл. Запис профілю здійснюється на діаграмній стрічці.

8. Радіальне збільшення встановлюється залежно від № щупа та величини відхилення форми. Всі вимірювання проводилися при фільтрах або В, залежно від шорсткості поверхні.

3.7. Методики оцінки продуктивності обробки та зносу абразивних брусків

До показників, що характеризують процес хонінгування, належать: продуктивність, стійкість брусків, шорсткість обробленої поверхні, а також параметри геометричної форми обробленого отвору.

Продуктивність процесу хонінгування оцінювалася за критерієм - обсяг металу, знятий ділянкою площі робочої поверхні брусків за одиницю часу, Q см³/см² год. Цей критерій універсальний, оскільки, не залежить від розмірів оброблюваної деталі, а також від кількості та розмірів брусків у хонінгувальній головці.

					<i>МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

Для розрахунку продуктивності процесу фіксувався час хонінгування $T_{хон}$ і визначався діаметральний знімання металу ΔMET .

$$\Delta T = d'_{CP} - d_{CP}, \text{ мкм}$$

де, d'_{CP} та d_{CP} - середнє значення діаметрів до і після хонінгування.

Вимірювання діаметра здійснювати у трьох перерізах по довжині отвору за допомогою нутроміра моделі Г-872, ДСТУ 9244-59 з багатооборотним індикатором типу ПГ-1. Ціна поділу індикатора 1 мкм.

Стійкість брусків оцінюється за середнім значенням їх лінійного зносу $\Delta БР$, мкм за певний проміжок часу і за питомою витратою надтвердих абразивних матеріалів (СТМ). Питома витрата СТМ - Це відношення ваги витрачених СТМ, $G_{СТМ}$ до ваги знятого металу G_{MET} .

Питома вага синтетичних алмазів $\gamma_{СТМ} = 3.48 \text{ год} \cdot 3.56 \text{ мг/мм}^3$. Вага знятого металу: $G_{СТМ} = V_{MET} \cdot \gamma_{MET}$, Г.

Вимірювання величини зношування брусків проводилося на вертикальному довгомірі ІЗВ-2 відповідно до схеми рис. 34.

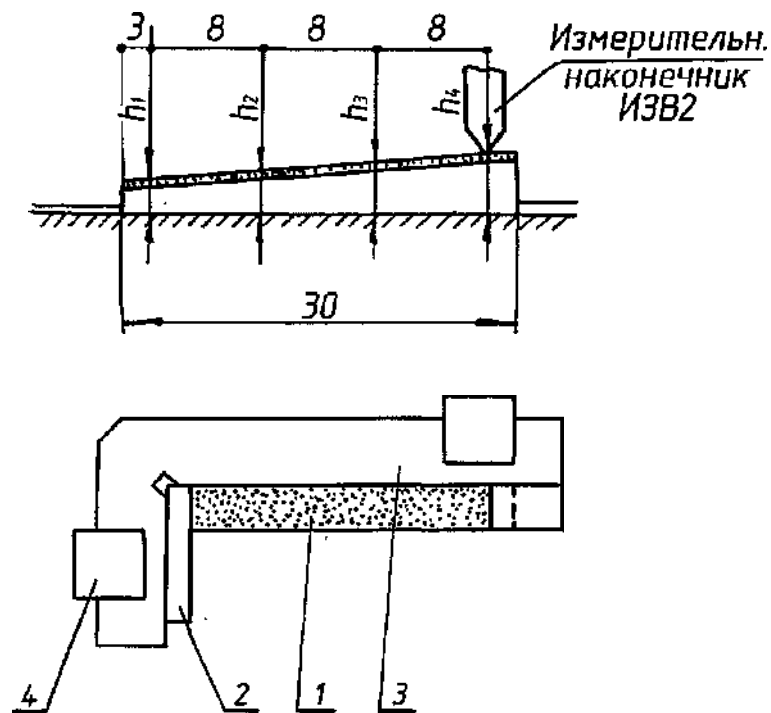


Рисунок 34 -Схема виміру бруска.

1. Брусок; 2. Кінцева міра довжини; 3. Кутник; 4. Планка

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ

Арк.

79

Кожен брус до і після експерименту вимірювався в чотирьох точках. Ідентичність точок вимірювання забезпечувалася установкою на столику приладу косинця 3, закріпленого планками 4, та застосуванням кінцевих заходів 2 для отримання точного кроку виміру. Лінійне знос $\Delta_{бр}$ підраховувалося як середнє арифметичне зносу у трьох точках.

Висновки

1. Експериментальне обладнання з растрової кінематикою дозволяє за ідентичних технологічних умов здійснювати порівняльні експерименти з різних методів хонінгування, що відрізняються траєкторією робочого руху інструменту.

2. З метою розширення функціональних можливостей кругломіра моделі ВЕ-20А була проведена його модернізація, в результаті якої стало можливим вимірювати відхилення від круглості та відхилення профілю поздовжнього перерізу.

3. Розроблено методику перевірки точності вузла прецизійних осьових переміщень за допомогою скляної пластини типу ПІ діаметром 100 мм, ДСТУ 2923-59.

4. Розроблено методику контролю відхилень профілю поздовжнього перерізу циліндричної поверхні та методику обробки результатів вимірювання.

5. Розроблено методику вимірювання розміру мікрозадирок за допомогою профілографа-профілометра моделі 252.

					МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ПАРАМЕТРІВ РАСТРОВОГО ХОНІНГУВАННЯ.

У цьому розділі розглянуті питання формоутворення поверхні під час растрового хонінгування. Під формоутворенням тут розуміється процес, у результаті якого утворюється мікро та макрорельєф обробленої поверхні. Формоутворення отворів при хонінгуванні відбувається в результаті знімання металу з його поверхні при дії комплексу технологічних, кінематичних та силових факторів. Встановивши зв'язок величини знімання в кожній точці отвору з різними факторами, можна прогнозувати і керувати формоутворенням шляхом спрямованого впливу на домінуючі фактори [3,21,56,111].

Основними факторами, що впливають на точність геометричної форми отворів при абразивній обробці, є: кінематика відносного руху інструмента і деталі, жорсткість технологічної системи, параметри налагодження, а також вихідна похибка форми інструменту.

Особливість кінематики руху інструменту щодо поверхні, що обробляється при хонінгуванні, полягає в наступному. Всі точки абразивних брусків здійснюють складні коливальні рухи різання, а також обертання ($V_{кр}$) та поступальний рух ($V_{ос}$) щодо оброблюваної поверхні з малими швидкостями (рухи подач $S_{кр}$ та $S_{ос}$). Контактуючі точки переміщуються конгруентним траєкторіям, мають рівні швидкості, але тривалість контактування за час одного поступального ходу по довжині отвору розподілена не рівномірно і залежить від кінематичних і масштабно-геометричних факторів.

Масштабно-геометричні фактори – це співвідношення довжини отвору ($LOTB$) і брусків ($L_{бр}$), величини ходу (lX) та перебігу ($lП$) брусків.

У роботах Б. Н. Кириллина та П. І. Ящеріцина [111] наведено схеми-графіки, що показують зміну часу контакту інструменту з оброблюваною

					МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

поверхнею при русі його вздовж осі. Розглянуто два варіанти обробки: при довжині ходу (l_x) рівної або більшої суми довжин отвору і інструменту, і довжині ходу менше зазначеної суми. Вважаючи, що знімання металу в одиницю часу за інших рівних умов прямо пропорційне часу контакту інструменту та отвору в кожному поперечному перерізі, то рівномірність знімання по довжині отвору, а значить і точність форми в поздовжньому перерізі залежать в основному від характеру зворотно-поступального руху (осьовий подачі). Розглянуто два варіанти обробки: при довжині ходу (l_x) рівної або більше суми довжини отвору та інструменту, і довжині ходу менше зазначеної суми.

У першому випадку (рис. 35) кожен поперечний переріз отвору контактує з інструментом (брусками) однаковий час, що дорівнює $t = L_{бр} / V_{ос}$ за умови сталості швидкості $V_{ос}$.

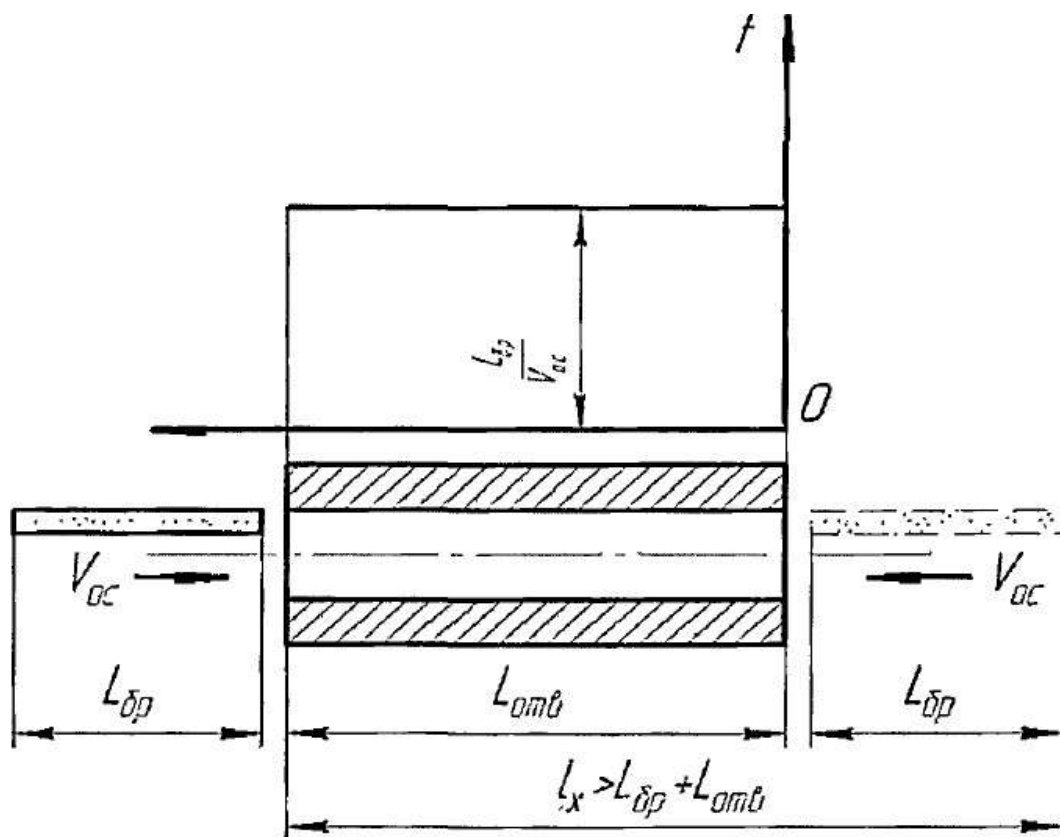


Рисунок 35 – Схема абразивної обробки при повному виході інструменту з отвору

Отримані теоретичні залежності експериментально перевірені на верстаті на верстаті «Растр-Ц20» при обробці серійних деталей зі сталі 95Х18 і 12ХНЗА. Обробка здійснювалася за схемою: "жорстка" чотирьох брускова головка - "плаваюча" деталь. Довжина брусків 30 мм з наступною характеристикою: КМ 40/28-М5-22-50%, ІХ = 38 мм, ІІІ = 10 мм.

Під час проведення експериментів параметри головного руху, тобто амплітудно-частотні характеристики коливань, що зберігалися постійними: $\omega_1 = 133$ сек-1, $A = 3.14$ мм, $\omega_2 = 114$ сек-1, $B = 2,6$ мм. Формоутворення здійснювалося шляхом регулювання параметрів осьових (S_{oc}) та кругових ($S_{кр}$) подач.

На рис.66 представлені результати експериментальних досліджень, які показали задовільну збіжність з теоретичними висновками. При хонінгуванні з реверсом осьової подачі з часом затримки не більше 0,2 с була отримана «бочкоподібна» форма отвору з відхиленням 4-5 мкм (рис. 38 а). Збільшення часу затримки до 2,5-3 с призводить до корсетності (рис. 38 б) із похибкою форми 4-5 мкм. З умови однакового часу контактування по довжині отвору, що обробляється, розрахунковий час затримки становив 1,14 с. При заданому експериментах час затримки 1,2 с стабільно забезпечувалася циліндрична форма отвору з відхиленням не більше 1,5 мкм (рис. 38 в).

					МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

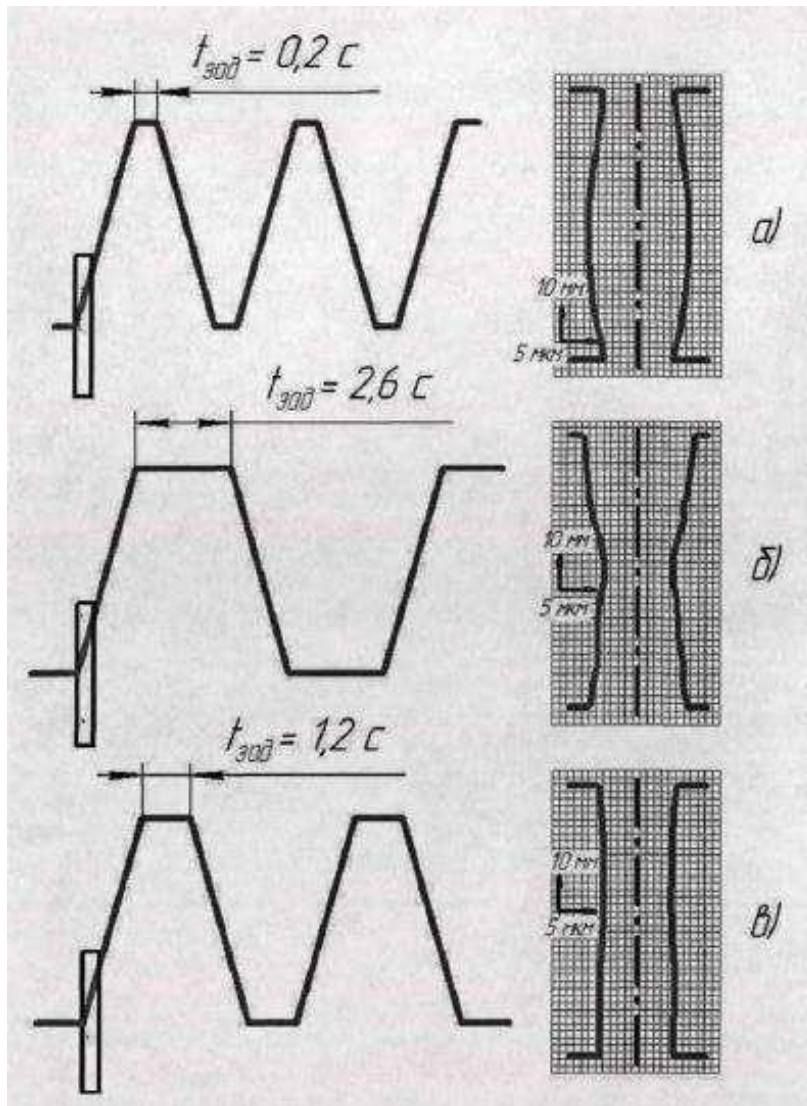


Рисунок 38 – Вплив часу затримки осьової передачі на відхилення профілю поздовжнього перерізу отвору

Крім того, виявлено, що шляхом незалежного варіювання часу затримки в кожній точці реверсування можна програмувати виправлення вихідних похибок, а також отримувати отвори із заданою формою та напрямком відхилень.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ

Арк.

86

геометрична стійкість інструменту.

4.1. Підвищення якості внутрішніх циліндричних поверхонь.

На даному етапі експериментальних робіт проведено великий комплекс досліджень з метою визначення впливу основних технологічних параметрів хонінгування на показники точності геометричної форми отвору, що обробляється. Досліджено вплив відношення довжини брусків до довжини отвору, а також обробка отвору з двох сторін за методом взаємної правки.

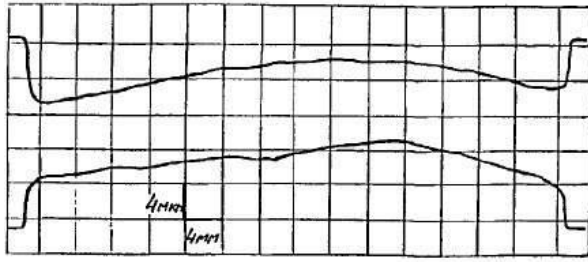
На інтенсивність виправлення вигнутості осі отвору при хонінгуванні гільз паливної апаратури впливає згинальна жорсткість деталі та інструменту, значення кута розтискного конуса, жорсткість системи радіальної подачі, а також співвідношення довжини брусків і отвору, що обробляється [2]. Велике значення на інтенсивність виправлення вигнутості осі має різуча здатність брусків і кінематика робочого руху.

При проведенні експериментальних досліджень, для підвищення жорсткості чотирьохбрускової головки використовувався варіант конструкції, в якій два бруски рухомі в радіальному напрямку і розташовані в пазах під кутом 90° . Навпроти рухомих брусків також під кутом 90° на периферію корпусу напаяні нерухомі бруски. Різучий шар усіх брусків виконаний із прокату.

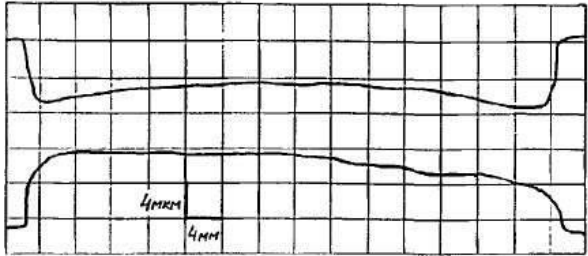
Проведено порівняльні експерименти з наступним співвідношенням довжини брусків до довжини отвору $L_{бр} / L_{OTH} = 0,5$ і $L_{бр}/L_{OTB} = 0,83$. Досліди проводилися на деталях зі сталі 12ХНЗА, з довжиною отвору $L_{OTB} = 60$ мм., Брусками довжиною $L_{бр} = 30$ мм і $L_{бр} = 50$ мм. Результати експериментів подано на рис. 40 та 41

					<i>МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

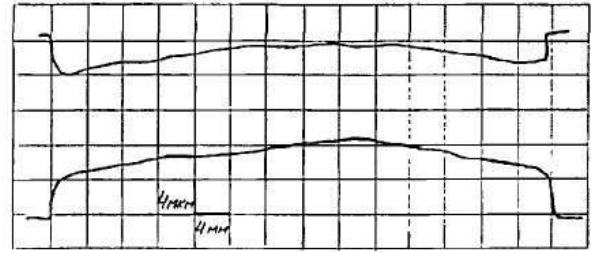
Исходная $\Delta_{из} = 4,5 \text{ мкм}$



Полученная $\Delta_{из} = 25 \text{ мкм}$



Исходная $\Delta_{из} = 4 \text{ мкм}$



Полученная $\Delta_{из} < 0,8 \text{ мкм}$

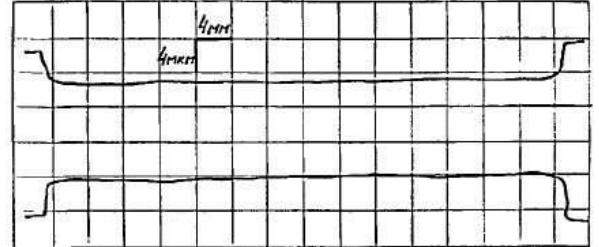


Рисунок 40 - Виправлення вигнутості осі при $L_{бр}/L_{отн} = 0,5$; $T_{X0H} = 1.5$ хв, $P = 0.8 \text{ МПа}$.

Рисунок 41 - Виправлення вигнутості осі при $L_{бр}/L_{отн} = 0,83$; $T = 0.5$ хв, $P = 0.8 \text{ МПа}$.

Отримані результати свідчать про доцільність хонінгування прецизійних отворів у деталях паливної апаратури інструментом з довжиною брусків $L_{бр} = (0,8 - 1) \cdot L_{отв}$, що забезпечують більш інтенсивне виправлення вигнутості осі отвору.

Точність форми отвору в поздовжньому перерізі великою мірою залежить від вихідної похибки геометричної форми інструменту і оброблюваної деталі, співвідношення довжини брусків ($l_{бр}$) і довжини отвору, що обробляється ($L_{отв}$), а також від параметрів налагодження, що включають положення і довжину осевого ходу (l_x) та величину перебігу брусків (l_p). Можливість варіювання параметрів налагодження суттєво обмежена при хонінгуванні високоточних коротких отворів порівнянних з довжиною брусків. На рис. 42 представлена схема контактування брусків при хонінгуванні точних коротких отворів у контрольних кільцях.

При поштучному хонінгуванні коротких отворів величина і діапазон регулювання осевого ходу (X) дуже обмежені допустимими значеннями

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ

Арк.

89

перебігу брусків (П). Насправді величину перебігу брусків призначають рівної $1/3$ довжини бруска ($l_{бр}$). При більшому значенні перебігу брусків відбувається розвал отвору у торців. У разі при довжині бруска 30 мм рекомендована величина перебігу брусків становить $l = 10$ мм. При довжині отвору $L = 25$ мм (для кілець з $d = 35$ мм) максимальна величина ходу при однакових перебігах брусків дорівнюватиме 15 мм. З умови дотримання контакту всієї поверхні брусків з отвором, що обробляється величину ходу можна регулювати лише в межах 2 - 3 мм, причому в бік зменшення ходу. При растровому хонінгуванні даних кілець величина ходу забезпечувалася амплітудою осьових коливань.

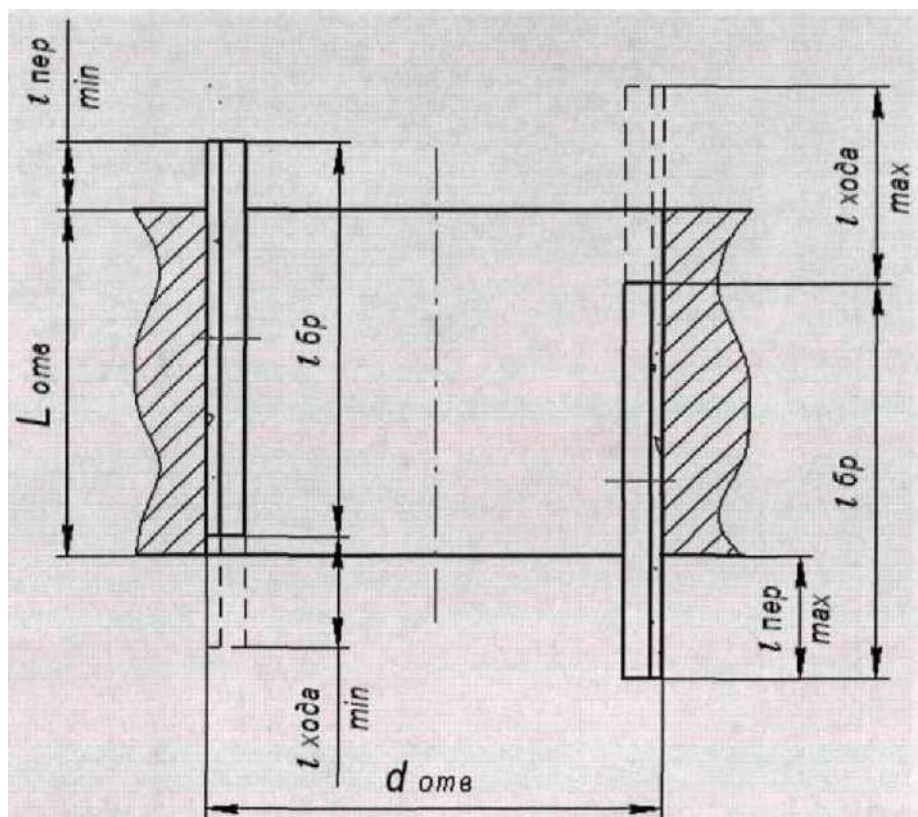


Рисунок 42 - Схема налагодження при хонінгуванні контрольного кільця

При малій величині осьового ходу відбувається локальний контакт поверхні брусків з оброблюваною поверхнею, тобто верхня частина брусків контактує лише з верхньою частиною отвору, а нижня половина брусків з нижньою частиною отвору. В результаті відбувається нерівномірне знімання

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

та знос брусків, і інтенсивне копіювання вихідної похибки геометричної форми інструменту отвором і навпаки.

У зв'язку з цим випробувано метод хонінгування із взаємною правкою в контактi інструмент - деталь. Принципова відмінність даного методу полягає в тому, що обробку наскрізного отвору здійснюють з двох протилежних сторін шляхом періодичного перевертання деталі, що обробляється (рис. 43).

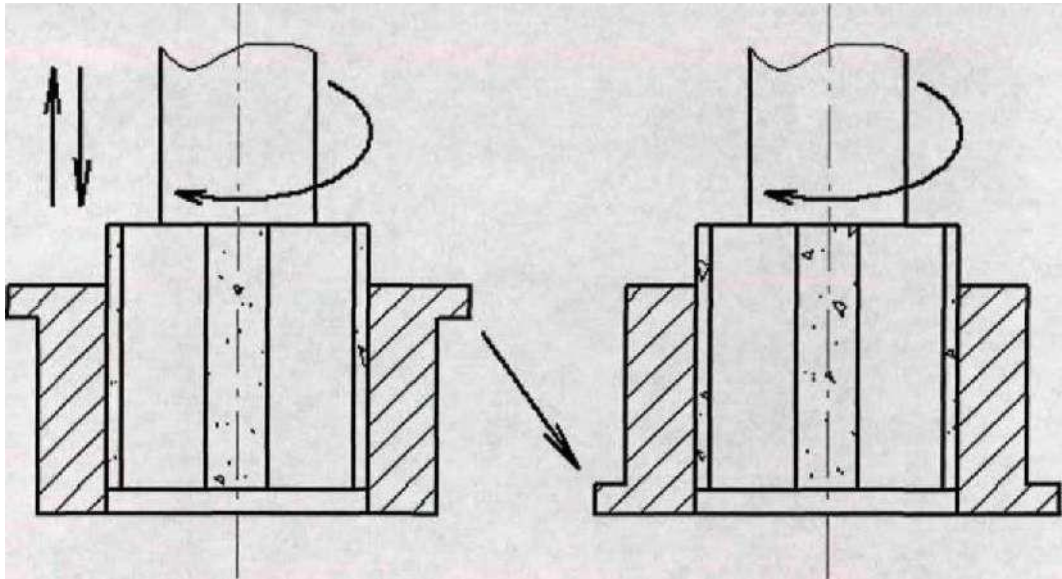


Рисунок 43 - Схема хонінгування методом взаємної правки

Цикл хонінгування ($T_{хон}$) при цьому поділяють як мінімум на два і більше підциклів ($T_{хон}=T_1+T_2+...+T_n$), у кожному з яких обробка з різних боків. Такий прийом забезпечує рівномірний контакт робочої поверхні брусків з усіма ділянками отвору, що обробляється. За рахунок ефекту взаємної редагування інтенсифікується виправлення вихідної похибки форми отвору і автоматично підвищується точність форми робочої частини інструменту, що дозволяє знизити вимоги до точності його виготовлення. Крім того, при хонінгуванні отвори з двох сторін практично повністю виключається вплив похибок налагодження, наприклад, неоднаковий перебіг брусків на точність геометричної форми обробленого отвору. Даний прийом особливо ефективний при хонінгуванні, коли довжина отворів

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

порівняння з довжиною брусків.

Цей метод випробуваний при хонінгуванні отворів $d=18$ мм. Обробка велася відразу двох кілець встановлених «пакетом» «жорсткою» хонголювкою. В результаті стало можливим збільшити довжину осьового ходу до 22 - 24 мм, що відповідає амплітуді осьових коливань = 11-12 мм. При хонінгуванні «жорсткою» хонголювкою кількість деталей у «пакеті» обмежується їхньою сумарною масою. При великій сумарній масі необхідно застосовувати схему хонінгування з шарнірною головкою та жорстким кріпленням "пакета" кілець. Перевагою хонінгування кілець «пакетом» є підвищення продуктивності за рахунок одночасної обробки кількох деталей, покращення взаємного напрямку в контакті інструмент — деталь, що позитивно впливає на точність форми, а також однорозмірність оброблених деталей. До недоліків слід віднести підвищення припуску внаслідок вихідної різнорозмірності та похибки форми деталей.

Проведено порівняльні експерименти, що показали високу ефективність хонінгування із взаємною правкою навіть при одноразовому перевероті деталі, що обробляється, або «пакета» деталей. Експерименти проведені за однакових умов обробки. Вихідна похибка геометричної форми хонголювки (конусоподібність) становила трохи більше 10-15 мкм.

При хонінгуванні отвори з одного боку відбувається часткове копіювання похибки форми інструменту. Результати подано на рис. 44 а, 44 а. Відхилення форми (конусоподібність) обробленого отвору становить 1,5-1,8 мкм.

При хонінгуванні за методом взаємної редагування під час першого підциклу (T_1) знімається основний припуск. Після перевероту оброблюваної деталі, або «пакета» деталей, тобто у другому підциклі, час хонінгування (T_2) призначається в залежності від похибки $\Delta_{пр}$ форма отвору після першого підциклу і швидкості знімання металу Q мкм/хв. У першому наближеному часі T_2 можна визначити з виразу $T_2=2\Delta_{пр}/Q$ (хв).

					<i>МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92

Результати експериментальної перевірки представлені на профілограмах рис. 45. При тій же похибці форми інструменту (1015 мкм) та одноразовому перевороті кілець відхилення форми обробленого отвору не перевищувало 1 мкм.

Практично у всіх дослідах філограми та круглограми записувалися після розмірного хонінгування жорсткими брусками та після чистового хонінгування еластичними брусками. Результати вимірювань показують, що після чистового хонінгування геометрична форма отвору не змінюється, тобто бруски на каучуковмісних зв'язках здійснюють знімання металу тільки в межах шорсткості отриманої після розмірного хонінгування.

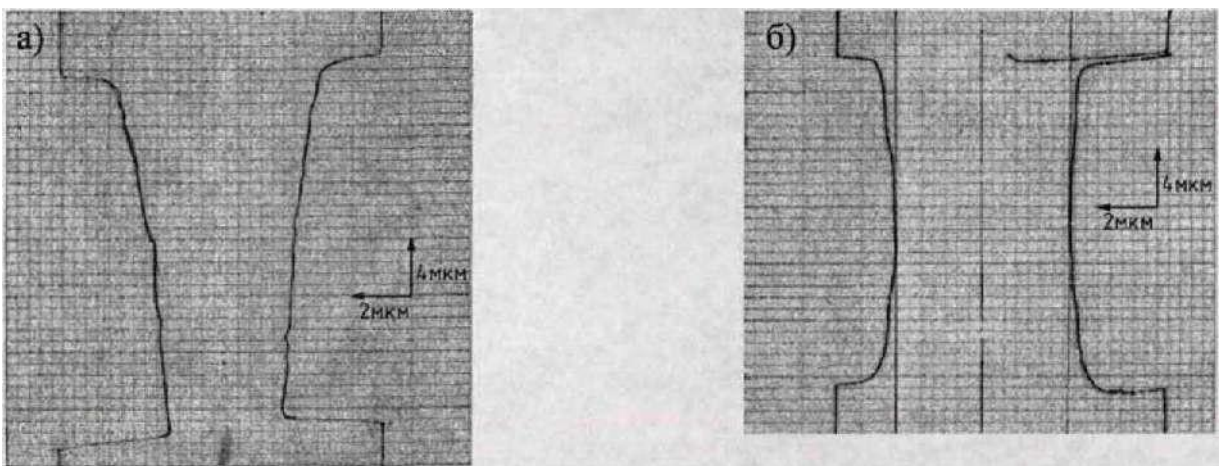


Рисунок 44 -. Результати дослід.

Бруски КМ40/28-М5-22-50% Δ принстр ≤ 15 мкм, $P= 1$ МПа

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ

Арк.

93

растрового хонінгування є можливість технологічного забезпечення необхідних параметрів мікрорельєфу обробленої поверхні шляхом керування параметрами траєкторії — кутом і щільністю сітки, а також формувати циліндричні поверхні з мінімальними відхиленнями геометричної форми за досить високої продуктивності процесу.

4.3. Висновки

1. Експериментально встановлена можливість управління точністю геометричної форми отвору, що обробляється шляхом регулювання параметрів рухів подач при незмінних параметрах рухів різання.

2. Управління формою отвору в поздовжньому перерізі здійснюється зміною величини ходу та перебігу брусків, а також регулювання часу затримки інструменту в точках реверсування поступального руху.

3. Розроблено методику теоретичного розрахунку часу затримки в точках реверсування поступального руху (осьової подачі) для управління геометричною формою отвору в поздовжньому перерізі.

4. Отримано розрахункове вираження для визначення часу затримки в точках реверсування осьової подачі, що враховує масштабно-геометричні співвідношення системи інструмент-деталь, нерівномірність розподілу тиску в контакті та параметри налагодження.

5. Проведено експериментальну перевірку ефективності управління геометричною формою отвору в поздовжньому перерізі регулювання часу затримки при реверсуванні осьової подачі, що показала відмінність з результатами розрахунків.

6. Мінімальне відхилення від круглості оброблюваних отворів досягається при ірраціональному співвідношенні швидкостей подач $V_{кр}/V_{ос} > 1$ в межах обмежених технічною характеристикою обладнання.

7. Порівняльні експерименти показали, що при хонінгуванні інструментом з подовженими брусками $L_{бр} = (0,8 - 1) L_{OTB}$ інтенсивно

					<i>МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		97

виправляється вигнутість осі отвору та підвищується точність геометричної форми.

8. Експериментально доведено ефективність хонінгування наскрізного отвору з двох сторін шляхом періодичного перевероту оброблюваної деталі, при цьому за рахунок взаємної правки в контактні інструмент - деталь значно підвищується та стабілізується точність поздовжньої геометричної форми отвору та автоматично зменшується вихідна похибка форми інструмент.

9. Хонінгування з растровим робочим рухом на відміну інших методів, дозволяє керувати параметрами шорсткості обробленої поверхні шляхом регулювання щільності сітки. Найменші висота шорсткості (Ra_{min}) та середнє квадратичне відхилення (σRa), що характеризує однорідність мікрорельєфу, досягаються щодо частот $0.9 \leq \omega_2 / \omega_1 \leq 1$ (незалежно від їх абсолютних значень) і відношенні швидкостей $V_B / V_{K_{cp}} \leq 0,1$.

					<i>МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		98

ВИСНОВОК

На підставі результатів теоретичних та експериментальних досліджень процесу хонінгування з растровою кінематикою можна зробити такі основні висновки.

1. На підставі дослідження математичної моделі руху ріжучих зерен при внутрішньому циліндричному хонінгуванні встановлено, що растрові траєкторії реалізуються щодо швидкостей $V_B/V_K < 0.6$ і відношенні частот коливальних рухів в діапазоні $0,5 < \omega_2/\omega_1 \leq 1$. Значення частот і амплітуд коливальних рухів призначаються виходячи з технічних характеристик обладнання, розміру поверхонь, що обробляються, і забезпечення максимальної швидкості різання.

2. Хонінгування з растровим робочим рухом на відміну інших методів, дозволяє керувати параметрами шорсткості обробленої поверхні шляхом регулювання щільності сітки. Найменша висота шорсткості (R_{amin}) та середнє квадратичне відхилення (σ), що характеризує однорідність мікрорельєфу, досягаються при відношенні частот $0,9 \leq \omega_2/\omega_1 \leq 1$ (незалежно від їх абсолютних значень) та відношенні швидкостей $V_B/V_{Kcp} \leq 0.1$.

3. Експериментально встановлена можливість керування точністю геометричної форми отвору, що обробляється, шляхом регулювання параметрів рухів подач при незмінних параметрах рухів різання. Мінімальне відхилення від круглості отворів досягається при ірраціональному співвідношенні швидкостей подач $V_{KP}/V_{OP} > 1$ межах обмежених технічною характеристикою устаткування. Управління формою отвору в поздовжньому перерізі досягається зміною величини ходу і перебігу брусків, а також регулювання часу затримки інструменту в точках реверсування поступального руху. Час затримки розраховується залежно від величини перебігу брусків та співвідношення довжини отвору та брусків.

					МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		99

4. Експериментально доведено ефективність хонінгування отвору з двох сторін шляхом періодичного перевероту оброблюваної деталі. При цьому за рахунок взаємної редагування в контактi інструмент - деталь значно підвищується і стабілізується точність поздовжньої геометричної форми отвору і автоматично зменшується вихідна похибка форми інструменту.

5. При хонінгуванні деталей із загартованих, високовуглецевих та хромистих сталей 95Х18, 12ХНЗА, 9ХС та ін. з точки зору продуктивності та стабільності знімання бруски з кубічного нітриду бору (КНБ) краще порівняно з брусками із синтетичних алмазів.

6. З метою забезпечення продуктивного знімання припуску та формування необхідного мікрорельєфу обробленої поверхні доцільно проводити розмірне та чистове хонінгування. Розмірне хонінгування доцільно здійснювати брусками з КНБ на металосилікатній зв'язці, із зернистістю 60/40 - 40/28, концентрація 50-100% щодо частот коливальних рухів $\omega_2/\omega_1=0.7-0.8$ щодо швидкостей $vB/vKcp < 0.3-0.5$. Для чистового хонінгування в залежності від матеріалу, що обробляється можуть бути рекомендовані алмазні бруски на каучуко- містить зв'язці P11, P11T, зернистістю 28/20, 40/28, концентрація 50% при $0,9 \leq \omega_2/\omega_1 \leq 1$, $vB/vKcp \leq 0.1$.

7. Встановлено, що при растровому хонінгуванні внаслідок безперервної зміни напрямку руху ріжучих зерен, задирки постійно зрізуються. Величина задирок практично не залежить від знімання і тиску і не перевищує 3-5 мкм, які легко видаляються на операціях оздоблювального хонінгування брусками на зв'язці каучуком.

8. Розроблено технології хонінгування на верстаті "РастрЦ20" для ряду серійних виробів машинобудівних підприємств

					МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		100

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абразивна та алмазна обробка металів. Довідник За ред. А.Н.Резнікова. Київ., "Машинобудування", 1977. -391 с.
2. Бабаєв С.Г., Мамедханов Н.К., Гасанов Р.Ф. Алмазне хонінгування глибоких та точних отворів. Київ: Машинобудування, 1978.-103 с.
3. Бабічов А.П. Хонінгування. М: Машинобудування, 1965. - 97 с.
4. Богомолів Н.І. Сутність процесу абразивного доведення. - У кн.: Передова технологія та автоматизація управління процесами обробки деталей машин. Л.: Машинобудування, 1970.
5. Богомолів Н.І. Деякі закономірності процесу шліфування металів. - У СБ: Синтетичні алмази в промисловості. Київ: «Наукова думка», 1974.
6. Бріллюєн Л. Наукова невизначеність та інформація. Київ: Мир, 1966.- 271 с.
7. Вовілін Є. А. Розрахунок та конструювання механізмів приладів та систем. Київ., «Вища школа», 1980-463 с.
8. Горюнов Ю.В., Перцев Н.В., Сум Б.Д. Ефект Ребіндер. Київ: Наука, 1966.
9. Добровольський В.В. Теорія механізмів освіти плоских кривих. М.; 1953. 20. Доведення прецизійних деталей машин. За ред. Г.М. Іполітова. Київ: Машинобудування, 1978.-256 с.
10. Дяченко О. Н., Аксельруд І.Д., Мельник В.П. До питання створення математичної моделі процесу доведення отворів вільним абразивом. - Праці ЦНІТА, вип. 76, 1980. с. 15-22.
11. Єрмаков Ю.М. Перспективи ефективного застосування абразивної обробки. Огляд. М.: НДІмаш, 1982.
12. Затуловський Д.М, Ходирєв В.І. Процес вібраційного хонінгування в зоні звукових частот. //Верстати та інструмент, №6, 1968. с. 19-21.
13. Зінов'єв А.Л., Філіппов Л.І. Введення в теорію сигналів та ланцюгів. Київ: Вища школа, 196

					МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		101

ДОДАТКИ

					МРТАМ 24 23591. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		102