

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ
АГРАРНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

ЖИТНИКОВ СЕРГІЙ АНДРІЙОВИЧ

Допускається до захисту:
завідувач кафедри Механізації
сільського господарства
канд.техн. наук, доцент
_____Анатолій Поляков
«___»_____2023 р.

**ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ ВНУТРІШНІХ
ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ
ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Спеціальність 208 Агроінженерія

Кваліфікаційна робота
на отримання ступеня вищої освіти магістра

Керівник: канд.техн.наук, доцент
Анатолій Поляков

Оцінка: _____/_____/_____
бали/за шкалою ЄКТС/за націон. шкалою

Київ - 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет Аграрний
Кафедра «Механізації сільського господарства»
Рівень вищої освіти Другий - магістр
Спеціальність 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____Анатолій Поляков
« ____ » _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

ЖИТНІКОВА СЕРГІЯ АНДРІЙОВИЧА

1. Тема роботи: «Підвищення якості фінішної обробки внутрішніх циліндричних поверхонь при відновленні деталей машин»
керівник роботи Поляков А.М. канд.техн.наук, доцент
затверджено наказом СНУ ім. В. Даля від « ____ » ____ 2023 р. № _____
2. Строк подання здобувачем роботи 27.11.2023р. _____
3. Вихідні дані до роботи
 - 1) завдання кафедри;
 - 2) матеріали огляду літературних джерел; нормативно - технічна документація.
4. Зміст основної частини роботи:
 - Дослідження кінематичних процесу хонінгування внутрішніх циліндричних поверхонь
 - Траєкторія растрового руху у виробничій лінії його аналіз і параметри-
 - Кінематичні схеми устаткування, способи проведення досліджень і різновиду абразивних брусків
 - Растровий спосіб хонінгування досвід і дослідження
 - Дослідження в області якості оброблених поверхонь за допомогою растрового руху
5. Перелік графічного матеріалу:
 - Актуальність теми роботи .
 - Траєкторії руху різальних зерен при різній кінематиці процесу хонінгування.
 - Хонінгувальні голівки з центральним конічним розсунення.
 - Схема руху голівки при растровому хонінгуванні.
 - Утворення траєкторії різального зерна при растровому хонінгуванні.
 - Вплив тиску брусків на висоту мікрозадирок.
 - Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 15.09.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Дослідження кінематичних процесу хонінгування внутрішніх циліндричних поверхонь	30.09.2023	
2	Методика проведення експериментальних досліджень	15.10.2023	
3	Кінематичні схеми устаткування, способи проведення досліджень і різновиду абразивних брусків	10.11.2023	
4	Растровий спосіб хонінгування досвід і дослідження	30.11.2023	
5	Дослідження в області якості оброблених поверхонь за допомогою растрового руху		

Здобувач вищої освіти _____ Сергій Житніков

Керівник _____ Анатолій Поляков

АНОТАЦІЯ

Житніков С.А. «Підвищення якості фінішної обробки внутрішніх циліндричних поверхонь при відновленні деталей машин»: кваліфікаційна робота на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»: 208 «Агроінженерія»/ Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. Київ, 2023, 78 с.

У кваліфікаційній роботі розглянуто методи підвищення якісних характеристик поверхонь, внутрішніх циліндричних поверхонь деталей машин. Встановлена можливість управління точністю геометричної форми оброблюваного отвору шляхом регулювання параметрів рухів подаць при незмінних параметрах рухів різання. Відмічена ефективність растрового хонінгування для підвищення якості обробки внутрішніх циліндричних поверхонь.

Ключові слова: технологія, растрове хонінгування, якість обробки циліндрів.

Кваліфікаційна робота: 78 сторінки, 16 таблиць, 20 рисунків, 35 літературних джерел.

ABSTRACT

Zhitnikov S.A. "Improving the quality of the finishing of internal cylindrical surfaces during the restoration of machine parts": qualifying work for obtaining the degree of higher education "master": 208 "Agroengineering"/

Eastern Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl.

Kyiv, 2023, 78 p.

Methods of improving the quality characteristics of surfaces, internal cylindrical surfaces of machine parts are considered in the qualification work. It is possible to control the accuracy of the geometric shape of the processed hole by adjusting the parameters of the motions of submissions while the parameters of the cutting movements are unchanged. The effectiveness of raster honing for improving the quality of processing internal cylindrical surfaces has been noted.

Keywords: technology, raster honing, cylinder processing quality.

Qualification work: 78 pages, 16 tables, 20 figures, 35 literary sources.

	ЗМІСТ	
	ВСТУП	6
1	Дослідження кінематичних процесу хонінгування внутрішніх циліндричних поверхонь	8
	1.1 Основа методу хонінгування і галузі його застосування	8
	1.2 Дія технологічних показників на якісні параметри при обробці алмазними брусками	10
	1.3 Дослідження базового методу обробки класичним хонінгуван	16
2	Траєкторія растрового руху у виробничій лінії його аналіз і параметри	19
	2.1 Обробка циліндричних поверхонь растровим методом	19
	2.2 Час появи траєкторії з растровою кінематикою величина кадру	22
	2.3 Растровий рух дослідження траєкторії кінематики	27
3	Кінематичні схеми устаткування, способи проведення досліджень і різновиду абразивних брусків	30
	3.1 Устаткування для проведення дослідів «Nagel»	30
	3.2 Хон голівки і різноманітність хонінгувальних брусків	36
4	Растровий спосіб хонінгування досвід і дослідження	38
	4.1 Порівняльний аналіз методів хонінгування робочого руху	38
	4.2 Чинники, що впливають на дослідження технологічних процесів на базовому процесі обробки блоку циліндрів	41
	4.3 Формування шорсткості в процесі хонінгування дослідження технологічних процесів	47
5	Дослідження в області якості оброблених поверхонь за допомогою растрового руху	60
	5.1 Обробка стінок циліндрів дослідження впливу параметрів верстата на погрішність геометричної форми	60
	5.2 Дослідження технології процесу хонінгування циліндричних поверхонь для підвищення точності обробки	65
	5.3 Мікронерівності і методи впливу на її параметри	70
	ВИСНОВКИ	73
	СПИСОК ВИКОРИСТОВАНИХ ДЖЕРЕЛ	75

ВСТУП

У сучасному світі, де головну роль грає час, необхідно створювати надійні і ефективні машини і механізми, які працюватимуть на високих швидкостях і знакозмінних навантаженнях, виготовлення оптимальних параметрів якості і точності деталей і агрегатів. Таким чином зростає потреба в доводочних операціях деталей, що закінчують виробництво.

Експлуатаційні характеристики компонентів верстатів параметри, що контактують з деталлю : герметичність, втома деталей, жорсткість конструкції і так далі, більше залежні від властивостей мікронерівностей деталі, відхилення геометричної форми, мікроплівка поверхні матеріалу. Такі властивості досягаються на останніх операціях. Що б зробити оптимальну шорсткість з необхідними технічними вимогами, коштує одне з головних технічних завдань, за допомогою якого можна буде збільшити працездатність і експлуатаційні властивості устаткування.

Передовим рішенням в доводочних операціях є операція хонінгування, яка вирішує великий спектр проблем як при шліфуванні, так і при суперфінішування. Доводочные і хонинговальные операції широко увійшли до процесів машинобудівних виробництв, допомога теоретичну і практичну робили учені Е.Н. Маслова, Б.Г. Левина, М.С. Наермана, З.И. Кременя, Г. І. Панина, П. Н. Орлова, М.М. Хрущова, Ю.Н. Фрагина, П. І. Ящерицина, Ю.Б. Серебренника, И.Х. Чеповецкого, Р. Г. Кудоярова і багатьох інших.

При обробці металів використовується величезний набір комплексів, інструментів які в свою чергу діляться на лезові та абразивні. Лезовий інструмент виготовляють зі швидкорізальних сталей та твердих сплавів порошкової металургії. Абразивний інструмент виготовляють з основи зв'язки і самого складу частинок, що складається з (синтетичного алмазу або кубічного нітриду бору) так званого КБН. На хонінгувальних операціях бруски мають велике пятно контакту з поверхнею оброблюваної деталі. Отже, сили і швидкості обробки не високі, то не виникає температурної напруги, вони

незначні ними можна знехтувати. Таким чином не виникають залишкові напруги, вони мінімальні. У результаті отримуємо відмінної якості оброблену поверхню. Еволюція хонінгування дискретно відбулася з розробкою нових матеріалів для використання в хонінгувальному процесі, особливо в абразивній сфері матеріалів, створених на основі синтетики та нітриду бору. Відмінні показники даного матеріалу при обробці поверхонь дало їм шлях широко крокувати в процесах хонінгування. Порівняльний аналіз показав, що такий абразивний інструмент значно перевершує за всіма такими параметрами як міцність, твердість, дозволило вирішити масу технологічних проблем, пов'язаних з процесом хонінгування. Мета роботи – підвищення якості обробки деталі на лінії "Nagel" блок циліндрів для ДВЗ 1,8 л. у технологічному процесі на обробку блоку циліндрів закладено технічні вимоги на дотримання якості продукції дана вимога жорстко регламентує параметри якості поверхні стінок циліндрів особливо шорсткості.

1. Дослідження кінематичного процесу хонінгування внутрішніх циліндричних поверхонь

1.1. Основа методу хонінгування і галузі його застосування

Хонінгування — процес обробки в основному циліндричних поверхонь, обробна операція виведення геометричної форми шляхом видалення припусків, що залишилися, з попередньої операції, за допомогою операції хонінгування можна добитися шорсткості поверхні $Ra = 0.63$ і відхиленням від циліндричності і погрішності геометричної форми в межах 5 мкм. На хонинговальній операції здійснюється кінематика із заданою траєкторією цей рух включає зворотно-поступальний рух, обертання навколо осі, в радіальному напрямі рух для створення тиску на оброблювані стінки циліндрів. Процес хонінгування зазвичай супроводжується щедрим поливом мастильно-охолоджувальної рідини в зону контакту інструменту з поверхнею заготівлі. За допомогою мастильно-охолоджувальної рідини віддаляється мікрочастки матеріалу, зменшується тертя інструменту об поверхню що призводить до зниження температур в зоні різання і зниження зносу інструменту.

Процес хонінгування за часту є останньою технологічною операцією. Хонінгування як засіб для досягнення необхідного мікрорельєфу і точності циліндрів.

По суті своїй процес хонінгування схожий з процесом суперфінішування.

Процес хонінгування і суперфінішування все-таки мають декілька відмінностей один від одного, в плямі контакту поверхонь брусків з деталлю. Суперфінішування має демпфуючі елементи, які дозволяють зберігати погрішності поверхні при обробці. Хонінгування застосовують кінематику замикання контакту, дозволяючи виправляти погрішності поверхні геометричної форми.

Можна виділити кілька видів, що описують знаків, технологічні процеси абразивного зняття матеріалу оселками, відносяться:

- 1) Контакт інструменту з поверхнею заготівлі велика;
- 2) Вчасно обробці на плямі контакту більшість зерен перебуває у взаємодії з поверхнею;
- 3) Рух абразивних зерен має складну траєкторію та порівняно низьку швидкість;
- 4) Невелика температура на поверхні контакту із заготівлею, завдяки цьому відсутні перепали та залишкова напруга.

Якісними параметрами обробки хонінгуванням є точність геометричної форми та шорсткістю поверхні, зносостійкість осів.

Ці параметри мають пряму залежність від поєднання різних технологічних характеристик, таким чином їх можна поділити на кілька груп.

1. Параметри, що зумовлюють технологічні режими процесу. Такі як:

- фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу
- властивість осів та їх кількість
- габарити та конфігурації
- схема налагодження хонінгування
- характеристика роботи
- властивість мастильно-охолоджувальної рідини.

2. Характеристики, що описують кінематику різання від траєкторії робочого руху, рівні та закономірності модифікації швидкостей та прискорень зворотно-поступальних рухів інструменту та деталі, що характеризують щільність та кут сітки траєкторії.

3. Параметри, що зумовлюють характеристики процесу (динамічні параметри), що рухаються.

Закономірність зміни тиску що з'єднується поверхні циліндра та інструменту, сили процесу різання, що описують залежності, головною залежністю в процесі хонінгування є радіальне уявлення хонінгувальної головки та загальної дії кінематики технологічних параметрів. Алмазні бруски мають наступні відомості, відомості, що характеризують їх, про матеріал зв'язки, зерно, концентрацію

абразиву в зв'язці, зернистості і габарити самого інструменту [1]. Інструмент підбирається на основі властивостей оброблюваної заготовки, від величини і шорсткості [76, 94, 109]. При підборі правильних брусків можна отримати стабільні показники по шорсткості і геометричній точності.

На вихідні параметри впливають такі процеси як кінематика і динаміка хонінгування.

Є великий накопичений з роками досвід і багато проведено досліджень у сфері абразивного і алмазного хонінгування в різних галузях машинобудування.

У справжній час, вивчений досить великий масив даних про процес хонінгуванні поставлені експерименти над закономірністю процесів обробки хонем, також проводилися різні досліді на взаємодію залежних один від одного чинників, такі як кінематика верстата і щільність сітки, мікрорельєф обробленої поверхні якість продукції, що виготовляється [16, 25 та ін.]. В результаті отримані інструкції по наладці хонинговальної операції, комплекту характеристик брусків і параметрів для точних обставин виготовлення деталі [1,9, 10 та ін.].

З появою нових матеріалів в абразивній обробці і хонінгуванні безліч різних нових шарів робітників, розроблені нові процеси хонінгування [25], значно збільшивши області його використання. За допомогою синтетичного алмазу (КНБ - кубічного нітриду бору) можливо стало обробляти металокераміку, легкі сплави, чавуни, бронза, сирі сталі і загартовані та ін.. Все ще залишаються питання відкритими по стабільності процесу, по точності і геометричної форми, шорсткості поверхні, продуктивності і економічності ефективності.

1.2. Дія технологічних показників на якісні параметри при обробці алмазними брусками.

Утворення геометричних форм при хонінгуванні утворюється за допомогою мікрорізання матеріалу відразу найбільшою кількістю абразивних зерен.

Деформація металевої структури при мікрорізання або при нанесенні рисок на стінки поверхні складається із складних механіко- кінематичних рухів, хімічних

і фізичних показників, які з'являються залежно від процесу більшою чи меншою мірою. У основі фізико-механических процесів хонінгування явище абразивного зносу твердих тіл : деталей, що виготовляються, і абразивного інструменту при їх безумовному русі. У процесі хонінгуванні в силу найбільшої твердості використовуваних абразивних брусків, в рази більше твердості оброблюваного матеріалу, переважає механічна деструкція металевої поверхні в процесі мікрорізання абразивними зернами [12].

При обробці хон голівками відбувається знос мікрошару оброблюваної деталі від дії абразивних часток на них цю область процесу хонінгування досліджував І. В. Крагельским [29] в результаті дії часток абразиву виконувала обдирання матеріалу, що вело до пластичної і пружної деформації металу.

За даними М. М. Хрущова та М. А. Бабишева , процеси, закладені в абразивну обробку, необхідні для усунення відкришеного або віддаленого металу з поверхні оброблюваної деталі та виведення даної частинки з області різання за допомогою рясним пролиттям СОЖ .Підсумки дослідів різних матеріалів на стійкість до зносу при різних методах абразивного зносу, в абразивній масі, через абразивний шар і при терті про абразивні зерна уявили, що, незважаючи на непереборні відмінності режимів взаємодії абразивних зерен з поверхнею матеріалу, має багато спільного зі зношуванням матеріалів [20]. Але на думку В. Н. Кашеева [26], є присутніми загальні риси процесів абразивного руйнування твердих тіл з різним станом абразивних часток, з фізичних уявлень про руйнування твердих тіл, вільне зерно не діятиме також на матеріал, як і жорстко закріплене. Міра утримання абразивних зерен впливає на їх здатність робити безпосереднє деструкцію матеріалу, відкладається в принципі щедрого витрачання [12, 13, 20]. На основі даних отриманих шляхом експериментів Н. І. Богомоллова напруженість деструкції металу q від звичайного тиску хонінгування виводиться формулою: (1.1) де показник ступеня $m_0 = 0,7 - 1$ показує спосіб фіксації абразиву. В результаті даних учені дійшли висновків Н. Н. Хрущова і Н. А. Бабишева під час обробки металу і створеного тертя на поверхні

$m_0 = 1$, а вчасно, коли абразив відривається, і обробка відбувається не закріпленими частинками абразиву, то ступінь набуде значення $0,7...0,8$.

При хонінгуванні відбуваються різні деформації та деструкції матеріалу, що обробляється: пружне деформування матеріалу; пластичне деформування матеріалу; мікрорізання. Здатність того чи іншого виду деформування оброблюваного матеріалу встановлюється відношенням k/s [29], де k - занурення на глибину абразивного зерна в метал; s - радіус вершини зерна. При цьому, якщо $k/s < 0,02$, то відбувається пружне відтискання при $0,02 < k/s < 0,5$ - пластичне деформування матеріалу, а при $k/s > 0,5$ - мікрорізання.

Описані вище процеси деформації розрізняються один від одного за кількістю дій, що ведуть до руйнування матеріалу. У зоні пружного контакту число дій складає 10 - /, при пластичній деформації 10 - /, мікрорізання відбувається при одиничній дії. Таким чином можна зробити висновок що що визначає продуктивність хонінгування являється мікрорізання.

В процесі хонінгування у результаті інтенсивного пластичного відтиснення і малого виділення теплоти, шар на поверхні металу впливає не велике наклепання і супроводжується залишковою напругою стискування [29]. Впровадження напруженого шару змінюється залежно від режимів обробки від 5 до 15 мкм, при цьому найвищою напругою відмічені в тонкому шарі глибиною 1 - 1,5 мкм.

Деструкція матеріалу при хонінгуванні проявляється фізичними і хімічними явищами, що включаються в появі оксидних плівок і адсорбційних шарів, що впливають видалення металу абразивними частинками, що переміщуються. Введення до складу охолоджуючої рідини ПАР добавок збільшується вплив поглинаючого пластифікування поверхневого шару матеріалу внаслідок ефекту Ребіндера [18]. Таким чином зменшується міцність металу, стає легшим його пластичне деформування та збільшується якість виробленої поверхні. У цій роботі описані результати вимірів механічної, фізичної, хімічної роботи залежно від зрізуваної товщини і абразивної швидкості обробки. Показується тотальний напрям на збільшення енерговитрат зменшуючи товщину зрізу зі збільшенням швидкості мікрорізання. Механічна робота збільшується у декілька разів, коли товщина обробки від 0,001 до 0,1 мм.

Що б пояснити фізичні явища абразивної деструкції твердих матеріалів є різні методи. Перший пов'язаний з усуненням від дійсного процесу за допомогою

моделювання механіки зіткнення з поверхнею твердого тіла з абразивними частками. Другий метод моделювання механізму дії закріплених або вільних зерен з шаром поверхні деталі, що виготовляється.

Було проведено велику кількість експериментів мікрорізання одним зерном, що допомагають розкрити більше закономірностей процесу дряпання. Розглядаючи стан у зоні плями одного зерна з твердим матеріалом та зазначенням напруги, сил, що ведуть до деструкції оброблюваного матеріалу при різних режимах обробки. Багато досліджень дії дряпання металів одним зерном відкрили шляхи глибшого вивчення суті фізичного процесу. Даний підхід дозволив виявити кількісні зусилля різання, впливу, що витрачаються на пластичне деформування матеріалу та втрати на тертя, а також тип та зміст зносу абразиву залежно від фізичних та механічних параметрів різання металу, форми та види абразивних одиничних частинок, швидкості та різних факторів.

Однак, виявлені закономірності абразивної деструкції матеріалу, що покладаються на механічному баченні взаємної дії одного зерна з цілою поверхнею матеріалу, не надає всебічного бачення напруженого стану в плямі контакту, що веде до руйнування матеріалу в межах неодноразового впливу абразивних частинок на дійсні процеси абразивної обробки. Крім цього, при взаємній дії одиночного зерна з матеріалом, що обробляється, маркери процесу деструкції вивчаються в залежності від механіко-фізичних властивостей тільки двох взаємно діючих твердих матеріалів. Під час хонінгування на верстаті є потреба одночасно вивчати взаємодію та параметри деструкції трьох твердих тіл: матеріалу зв'язки, абразиву та матеріалу деталі.

Також викликає великий інтерес вивчення теоретичних та експериментальних досліджень руху плями дотику взаємодії алмазно-абразивного інструменту з поверхнею матеріалу на принципі теорії пружно-пластичного контактного впливу абразивних поверхонь. У плямі контакту абразиву та алмазного бруска виникають одночасно відбувається кілька дій: тертя абразиву про метал, без помітних слідів на поверхні деформації; пластичне розведення металу без його деструкції; різання та відведення, мікростружки, що супроводжується пластичним деформуванням

металу. Пріоритетність процесів залежатиме від поверхні ріжучого рельєфу, властивостей механічної обробки металу та режимів плям контакту впливу інструменту на оброблювану поверхню.

Між алмазним брусом і поверхнею в плямі контакту обумовлено геометрією, що залежать від ландшафту ріжучого бруса і початкової мікронерівності оброблюваної поверхні. У ряді стоять стандартні параметри мікронерівності Ra і R-важливим вважається параметри кривих опорних брусків і поверхні деталі, і округлення мікрорельєфу і кути нахилу профілю. У результаті вивчення мікрорельєфу оброблюваної поверхні алмазних брусків виявили, що розподіл алмазних частинок по висоті регулюється законом нормального розподілу. Частинки алмазного зерна виступає над рівнем зв'язки приблизно 10% діаметра зерен при зернистості 50/40 і 3-6% при зернистості 200/160-400/315. За даними М.С. від усієї кількості зерен на робочій поверхні алмазного бруса.

У роботі [1] вивчений оригінальний метод обстеження плями контакту абразивного бруса з оброблюваною поверхнею з використанням полімерних плівок безбарвних товщина яких становить близько 25 мкм.

Даний метод допомагає виявити реальну пляму контакту бруса з поверхнею, площу пружної та пластичної плями дотику алмазних частинок, площу плями фактичної зв'язки з поверхнею, кількість працюючих частинок, пружнопластичні, та пружні робочих алмазних частинок та

різні параметри. Виявлено, що у русі після зупиненого процесу навантаження збільшується близькість поверхонь деталі з інструментом. При цьому покращується якість плями контакту та зони контакту зв'язки.

У дисертації описані підсумки експериментальних досліджень характеристики зіткнення поверхні деталі з абразивним інструментом, типів деструкції алмазних частинок та їх зношування, ще теплові явища при хонінгуванні від параметрів алмазних брусків, параметрів, фізичних механічних властивостей оброблюваного металу та ін.

Розклавши підсумки досліджень виявлено, що з високому тиску щодо

збільшується реальна площа плями алмазного бруска з поверхнею матеріалу всім зернистостей. Виявлено, що при обробці сталевих поверхонь дійсна площа зіткнення зростає менше, ніж при хонінгуванні чавуну.

Виявлені закономірності розподілу плям зіткнення зв'язків і алмазів. Обробляючи чавунні поверхні брусками АС6 80/63-М1 площа плями абразивних часток більше у декілька разів площа плями зв'язки, а при хонінгуванні сталевих поверхонь збільшується площа плями зв'язки. Аналіз алмазних часток на поверхні брусків, число що пружно впливають алмазних часток, що виступають (не різальних) і пружнопластичності, впливаючих (різальних), вказує, що їх залежності від марки хонінгувальних брусків, оброблюваного металу і параметрів обробки і інші параметри.

Найцікавіші для вивчення являються різальні частки. З підвищенням міцності алмазів і зернистості збільшується відносна кількість робочих зерен в русі. Так при різанні чавуну брусками АСС 250/200-М2- 01-100%, число різальних зерен складає 6,3-8,1%, при різанні чи ста- 2,0-3,0%, а для алмазів АС4 відповідно 3,4-4,8%; 0,7-0,8% від усієї кількості часток на поверхні бруска.

Розраховані розміри узгодяться з результатами, описаними в роботі [56]. Обробка хонінгуванням піддається тепловим явищам. Головним виробником тепла є зовнішнє тертя і пластична деформація.

Всеобщее тепловыделение и уравновешенная температура при обработке находятся в зависимости, от параметров инструмента и материала; режима и метода изготовления [13]. Виявлено, что при работе брусками из натуральных, искусственных алмазов и кубического нитрида бора в 1,5-2 раза общее выделение тепла меньше, чем при работе абразивными брусками. Таким образом алмазное хонингование сопровождается установившейся температурой около 40-50° С, при абразивном 95-100° С.

При роботі абразивні і алмазні частки бруска взаємодіють залежно від параметрів режимів різання за природою типам зносу - адгезійно-втомному, абразивному, дифузійному, механічному та ін.[19]. При не великій швидкості різання, таких як хонінгування, абразивний знос зводиться до нуля [1].

Головними типами виробітку при хонінгуванні зумовлюються механічна деструкція абразивних частинок та руйнування зв'язки. Обробляючи в'язкі матеріали (такі як сталь), тим часом відбуваються дії дифузійного та адгезійного зносу абразивних зерен у режимах щільної плями дотику та тертя. За допомогою експериментів були виявлено забруднення алмазного інструменту впливає не у результаті адгезійного закріплення зв'язки зі взаємодіючим матеріалом, а в результаті наростів на алмазні частки і механічне введення стружки в зв'язку [11].

У брусках з кубічного нітриду бору не виявлено наросту із-за їх хімічної подібності із заліза, у інструменту, виготовленого з кубонита і ельбора доля наростообразовання мала, можна зробити висновок про їх придатність при виготовленні сталевих поверхонь.

1.3. Дослідження базового методу обробки класичним хонінгуванням

Обробка отвору, з допомогою доведенню і хонінгуванні при зніманні стружки металу дією декількох чинників таких як кінематика динаміка технологічність і інших чинників. Виявивши відношення матеріалу, що знімається, з різними чинниками, з'являється можливість передбачити і розпоряджатися налаштуваннями обробки циліндрів.

На сьогодні в обробці хонінгувальними алмазними брусками таких деталей використовуються на операціях попередніх [12]. Все-таки і у цього інструменту є свої недоліки - округлюються кромки і час роботи незначний. Ще один кінематичний спосіб видалення задирок [17], при русі хонінгувальних часток по не прямолінійній траєкторії по довжині кромки перехрещення. Таку модель процесу можна досягти растровим методом хонінгування.

У теорії і на практиці утворення геометричних форм точних отворів за допомогою хонінгування і доводочних операцій описаний велика кількість матеріалу [20, 23, 17]. Щоб виправити еліпсність необхідно використати парне число в хон голівці брусків.

Так само потрібно враховувати довжину отвору, що обробляється. Для

забезпечення рівномірного зносу та зрізання стружки по довжині, якщо використовувати занадто короткі бруски, це призведе до хвилястості поверхні. Даний метод кінематики веде до нерівного руху та довгого контактування точок зі стінками оброблюваної циліндричної поверхні за один цикл поступального переміщення [3, 21]. Не рівномірне контактування залежить від багатьох кінематичних і траєкторії параметри і геометричні форми: перебіг інструменту, габаритний розмір оброблюваного отвору чи циліндра і режимів осьового обертання.

У деяких працях [9, 33, 37, 103] описано збільшення ефективності доопрацювання початкової похибки геометрії поверхні за допомогою алмазного хонінгування. Це з тим, що будь-яка невідповідність викликає швидкість зняття шару металу, усунення похибки. При першому проході поверхні впливають один на одного по локальних плямах дотику, на них утворюється тиск вище, ніж номінальний. Щоб допрацювати локальні невідповідності вздовж деталі повинно бути оптимальне співвідношення довжини ходу інструменту його осциляцію та затримку у потрібних параметрах швидкостей та тиску [10]. Для того щоб підвищити продуктивність початкової похибки форм раціонально буде збільшити жорсткість інструменту та механізму розтискання, а також враховувати сили різання та моменту, що крутить [2, 3].

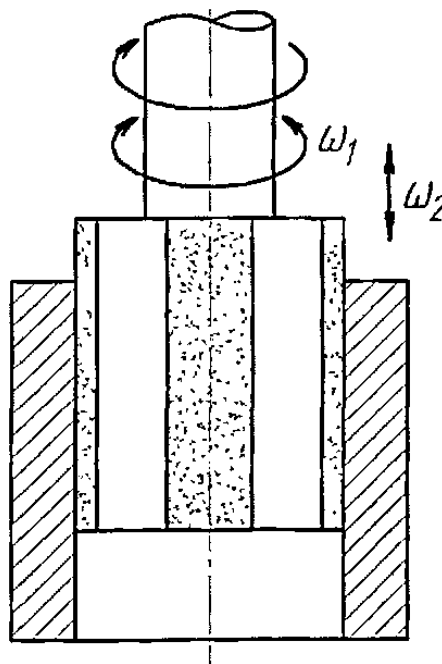
За останній час вивчено теоретично і практично з метою збільшення точності і якості виготовлення поверхонь керованим хонінговальним процесом. У роботах [12] описується, щоб зменшити початкові погрішності форми в процесі хонінгування утворюються нові погрішності, точність оброблених поверхонь. Поява погрішності форми являються причини неточності устаткування і його налаштування, знос брусків по довжині, не правильно підібрана кінематика. Для того, щоб досягти високих результатів при алмазному хонінгуванні можна скористатися автоматичним управлінням параметра, і налаштування фактичних вимог обробки, при цьому треба забезпечити точність форми алмазних брусків. У роботах [33, 34] розказано, що розподіливши рівномірно бруски по поверхні можна забезпечити шорсткість по усій довжині і діаметру поверхні, покращуючи довговічність брусків на 50% і точність. Розсіювання подряпин залежить від

режимів кінематичної схеми хонінгування, числа і габаритів брусків і геометрії оброблюваної деталі. Збільшення точності обробки за допомогою хонінгувальних процесів використовуються верстати з ЧПУ і програми, що управляють, адаптовані під погоджене налаштування режимів кінематики і тиск на поверхні оброблюваної деталі при хонінгуванні. Цей метод забезпечує постійність геометричної форми циліндрів у межах 0,004-0,005 мм, але все таки для фінішної обробки прецизійних отворів недостатньо.

2 Траєкторія растрового руху у виробничій лінії його аналіз та параметри

2.1. Обробка циліндричних поверхонь растровим методом

Обробка циліндрів з використанням різних методів та способів хонінгування здійснюється за допомогою ліній, розташованих у межах «сліду і сліду» - «дотик і дотик», чи залежно від точності кількох відносних рухів і навантажень [31]. Формуючи поверхні першого порядку, способом растрової кінематичної абразивної доведенням вистачає одного загального руху освіти форм, але обробки циліндричної поверхні другого порядку потрібно дві динаміки освіти форм. По-перше, це обумовлюється тим, що утворення площин поверхня є лінією, що виробляє розташовані в одній площині, а при виробництві циліндрів одна лінія-пряма, а друга розташована в перпендикулярних площинах кола.

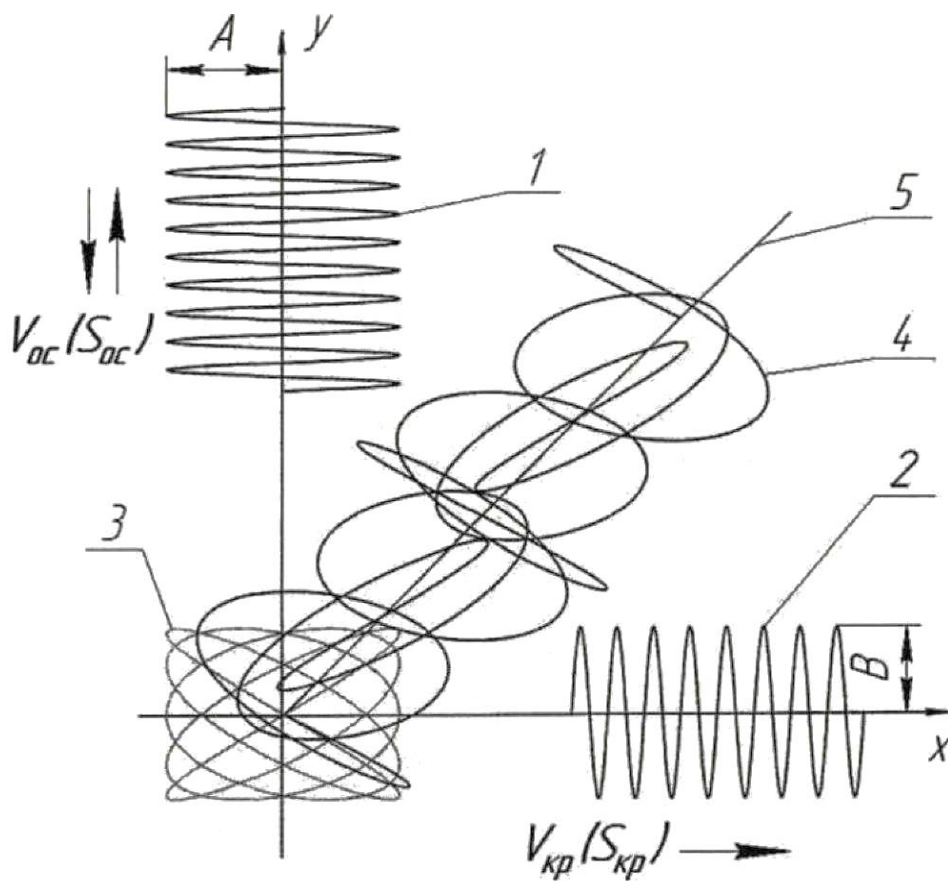


1. – окружне обертання інструменту 2. – поздовжнє переміщення інструменту

Рисунок 2.1 – Кінематика елементарної динаміки під час хонінгування з растровим рухом

По-друге, відмітні ознаки доведення поверхонь, коли деталь у рази менша за інструмент, процес хонінгування має на увазі зворотне, коли оброблювана поверхня більша, ніж інструмент.

Таким чином, щоб растровий метод обробки поверхонь циліндрів хонінгуванням, потрібна інша ідея налаштування кінематики обладнання. На рис.2.1. описано кінематику елементарної динаміки при хонінгуванні з растровим рухом. На рис. 2.2 .вказана траєкторія растрового руху хонінгування при растровому хонінгуванні.



1. амплітуда A в осьовому переміщенні
2. амплітуда B в круговому переміщенні
3. траєкторія переміщення точки в традиційному хонінгуванні
4. Траєкторія переміщення точки в растровому хонінгуванні
5. Подовжня вісь циліндра.

Рисунок 2.2 - Послідовність утворення траєкторії різального зерна

Основні відмінності растрового і класичного хонінгування полягає в тому, що пріоритетні рухи (рух різання) є підсумком з'єднання двох синусоїдальних коливань відмінними одна від однієї частотами ω_0 , ω_2 і амплітудами A і B , в

перпендикулярних напрямках - осьових і кругових.

Щоб рівномірно розподілилася сітка (растр) по усій довжині деталі додається V_{oc} , що осцилюється, і кругове $V_{кр}$ є осьовими (S_{oc}) і круговими ($S_{кр}$) подання. У результаті растрової обробки траєкторія головного переміщення голівки створюється декілька кінематики растрового руху. Ця крива називається «Растровою циклоїдою».

Точка, що рухається по поверхні циліндра з визначене траєкторією представляє з себе досить складну криву, яка має подвійне викривлення, яка виводиться з параметричної функції, вичислені координати: x, y, z точки у будь-який момент часу t :

$$x=f_1(t); y=f_2(t); z=f_3(t) \quad (2.1.)$$

За правилами дослідження складних кривих більше вимагається розкласти по поверхні на двійкову площину у напрямі осі ординат Y по довжині деталі, то вісь абсцис X по довжині кола. Ця система описує траєкторію пересування точки в плоскій координаті і розраховується рівнянням X, Y точок на кривій від функції часу t :

$$X = A - \sin(t + V_{vpt})$$

$$Y = B - \sin(c / t + c_{po}) + v_{oc} - t' \quad (2.2.) \text{ де}$$

A, B — таким чином осьові і кругові амплітуди; co_1, co_2 -

відповідно осьові і кругові частоти коливань; c_{po} - початкове зрушення фаз.

Це рівняння (2.1.) включає циклічні фрагменти рівняння з періодами

$$T_x = 2\pi / V_{vpt}, T_2 = 2\pi / co_2, \quad (2.3.)$$

які описують растрову траєкторію без додаткових переміщень

V_{oc} и $V_{кр}$, за допомогою сітки 3 (див. мал. 2.1.) розкладена на прямокутнику $X=2A$, $Y=2B$, лінійні доданки, які без амплітудних переміщень відноситься до точки по V прямої $Y=2X$, складається з лінії 5 що є розгорнутою площиною.

Растрове хонінгування та його головний рух є складним, складається з кількох простих рухів, таким чином його параметри залежать від параметрів усіх простих рухів, у його складі. Виявлено, що шлях складного ріжучого руху залежить від

параметрів всіх простих рухів між собою. Параметри непростого руху, що залишилися, залежать від абсолютних чисел відповідних значень кожного простого руху [102]. Вивчення та дослідження хонінгувальної операції вивів показники осьової (Soc) та кругової (Skp) подач дані параметри мають вплив на остаточну обробку на геометричну точність та кінематичні властивості руху. Зберігши принципи терміни і способи растрового руху В. П. Некрасовим [59, 61, 63] при дослідженні растрових траєкторій (фігур Лиссажу) що стосується обробки плоских деталей, були дослідження в цій частині і виведені закономірності растрового руху.

2.2 Час появи траєкторії з растровою кінематикою, величина кадру.

У дослідженні растрових траєкторій для зручності запишемо в рівнянні (3.1.) через фрагмент $p = Vp(t)$, виражений фазовим кутом складених коливань у будь-який момент часу, тоді функція матиме вигляд:

$$\begin{aligned} X &= A \cdot \sin m\varphi + V_1 \cdot \varphi \\ Y &= B \cdot \sin(n\varphi + \varphi_0) \pm V_2 \cdot \varphi \end{aligned} \quad (2.4)$$

де $V_2 = V_{oc} \sim \cos 1$

Між періодами перпендикулярних коливань доведено, що є співвідношення

$$[T_2 / T] = m/n. \quad (2.5.)$$

де m, n — числа прості взаємно цілі, то за час

$$T = m \cdot T_2 = n \cdot T_2 \quad (2.6.)$$

ціле число періодів повториться як T_1 так і T_2 [33]. Ця формула означає що фігура підсумкової кривої співпадатиме з періодом T у бік прямої лінії, T умовно лежатиме на осі. Якщо не можливо виміряти період коливань, то такого результату T не можна вказати. У такому рівнянні рух точки до періодичних функцій [40]. Це властиво найбільш для дійсних шляхів.

Враховуючи, що будь-яка реальна система не встановлюється, а заміряються з лімітованою точністю. Таким чином існує невідомість експериментальна, яка в плині часу міняється. Фігури Лиссажу, які закладені траєкторій, що в принципі

вивчаються, незначні зміни в первинних прикладах (зрушення фаз ϕ_0 , відношення частот коливань, а також відношення швидкостей лінійних і періодичних доданків) призводять до великих змін фігури траєкторії. Вивчення растрових траєкторій спиратимемося на математичний апарат, тобто підміняючи реальну систему на математичну модель, оскільки для нього встановлені з абсолютною точністю.

Періодичність результуючої кривої — растрової циклоїди виявити їх можна тільки параметрами періодичних чисел, що складаються, тобто синусоїдальних коливань і незалежні від лінійних чисел. Таким чином періодичність циклоїди співпадають з кривими Лиссажу, дослідженими В. П. Некрасовим [32]. Щоб наочніше можна було змалювати растрову траєкторію запропоновано було використати поняття кадру і растру. Растр — проходження точки траєкторії за час:

$$T = m[T] = nT_2 \quad (2.7.)$$

Величина зрушення фаз періоду растру T прагне до значень $2 - \pi m$. Розузгодження частот виразимо через:

$$A_0 = (\omega_x - \omega_2) \quad (2.8.)$$

де $/$ - розузгодження частоти, $/$ - переміщення уздовж осі X , $/$ - осьові і кругові частоти коливання.

Отримаємо вираження для кутової частоти зміни растрів :

$$2 - \pi n - A_{\omega} T m - n \quad (2.9)$$

Растрові закономірності вивчення їх дає пояснення в природі появи кадрів, що змінюються, які при обертанні за один цикл роботи описує фігуру кривої. Таким чином растр вірніше його частина, є аргумент різниці синусоїдальних коливань :

$$m - (p - n) - (p - a)_1 - 1 - a_2 - 1 = 2\omega \quad (2.10.)$$

називається кадром. Під час зрушення фаз кадр досягає величини. Таким чином

кадр складається з частини растру з позитивним періодом: траєкторій, що вивчаються [65]. Частота зміни кадрів в області дорівнює різниці початкових частот $\omega_k = \omega_2 - \omega$.

Відношення робочих частот в інтервалі $L > 2 < 0,5$ щільність кадрів встановлюється з початкових частот найменша: $\omega_k = \omega_2$

складовій, а високочастотна викликає лише фон. Ця траєкторія (мал. 2.3.) показує траєкторію, різноспрямовану віброхонінгування з осциляцією [33]. У особливих випадку, при якому $m - n = 1$, тут растр співпадає з кадром. Процес утворення цього кадру растрової циклоїди представлена на рис. 2.4.

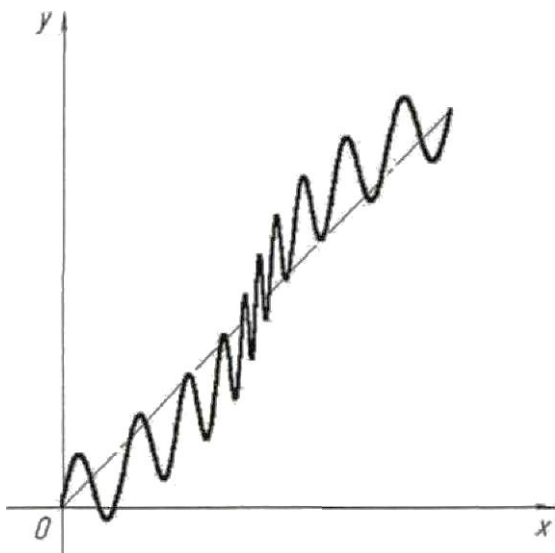


Рисунок 2.3 - Траєкторія руху точки при $y > q_2/x > q < 0,5$

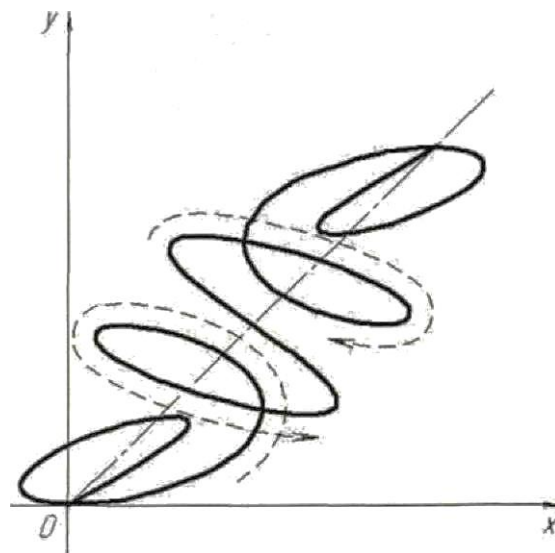


Рисунок 2.4 - Траєкторія руху точки при $y > q_2 / x y, = 4/5$

Як видно з рисунка, за час утворення одного кадру растрової циклоїди точки 2 рази міняє напрям руху навколо осі. Таке явище спостерігається відношення частот до кута дотичної, 2 рази міняє знаки на протилежні за період кадру. Підсумки таких дослідів описані в таблиці нижче. Періодичність зміни обертання руху точки дорівнюють зміні кадрів. Ця траєкторія дозволяє масу проблем при використанні різального інструменту і рівному зносу.

Таблиця 2.1.Значення похідної кута дотичної за період кадру.

Время с		0	T/10	T/5	3T/10	2T/5	T/2	3T/5	7T/10	4T/5	9T/10	T
У	5	0	2337	982	975	2818	0	-2818	-975	-982	-2337	0

У хонингованном процесі представляє цікавість траєкторія, початкової частоти практично не відмітні один від одного. Представимо співвідношення частот запишемо у формулу:

$$a > 2na_1n + 1 \quad (2.11.)$$

при будь-якому наборі періодичності може бути виведений будь-який випадок $m-n=1$. Використання цього способу допомагає в дослідженні процесу хонінгування головного руху за кадр.

Відмінності траєкторій зроблених цією кінематикою (поз. 3, мал. 2.2) «растрова циклоїда» кадру величина залежить функціонально від рухів і розмір змінної. Растрова траєкторія утворюється нахилом гвинтової і кутом. (рис.2.5.)а

$$a = AB_2 \cdot V \cdot V_{rh} \quad (2.12.)$$

Вивчення величини кадру залежить від простих рухів в системі координат JO, Y_j вісь X_j дорівнює виткової лінії. У нових осях рівняння (2.1.) наберуть вигляду:

$$X = \frac{A-V_{kp}}{V_E} - \sin^2 r + \frac{V}{H} - \sin^2 i + < p_o + V_H; A - V y, = \frac{H}{E} \sin ul_3 + < p_o . \quad (2.13.)$$

V_E – швидкість руху часток по витій траєкторії. Рівняння (2.3.) показує функція / називається періодичною з тактом $T=2\omega$. Цей запис означає, що час T цей рух часток відносно гвинта.

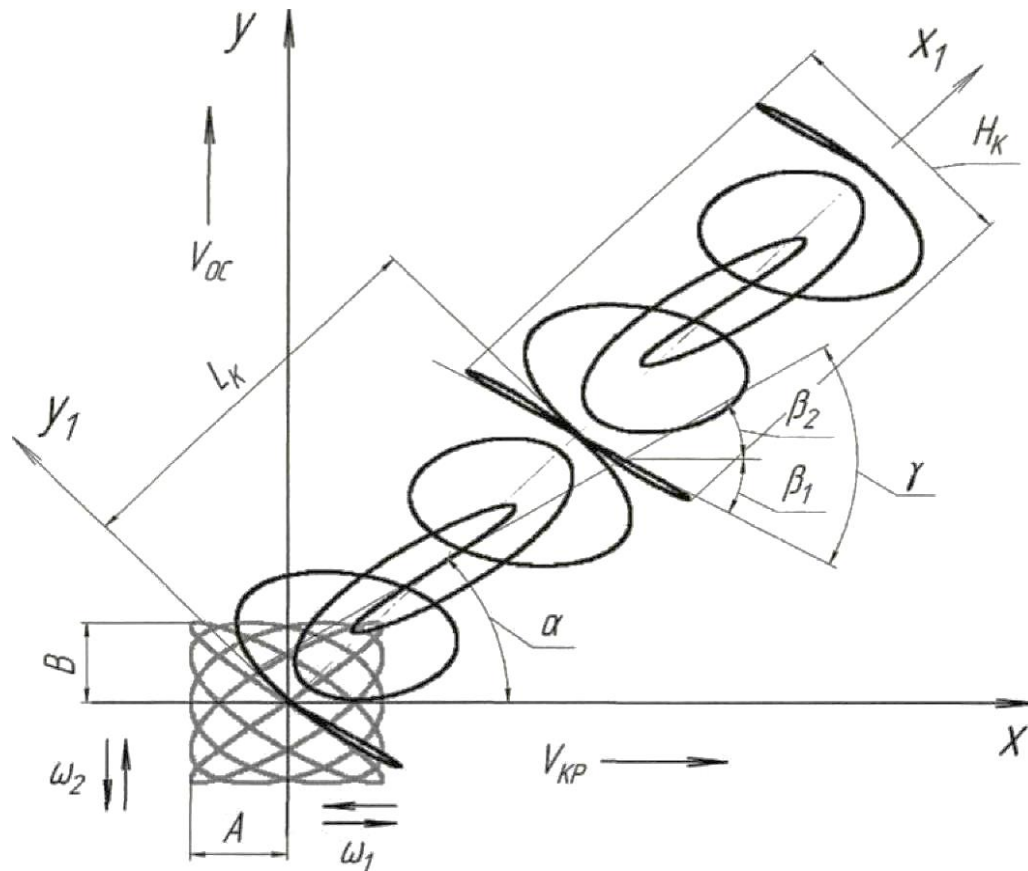
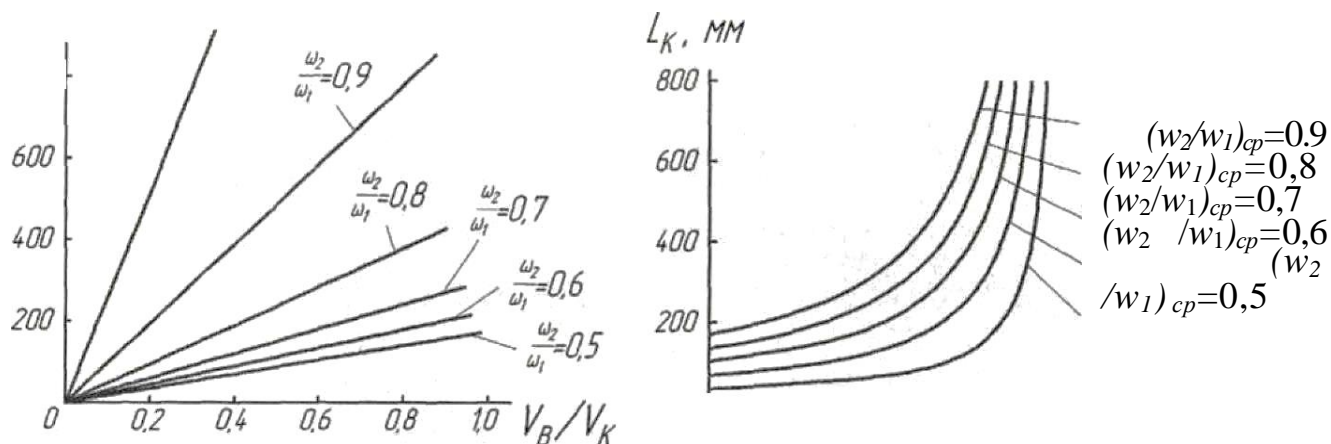


Рисунок 2.5 - Параметри растрової траєкторії

Виведемо величину «растрової циклоїди» за час кадру T_k у бік осей X_1, Y_2 ($p_0 \rightarrow 0$). Величину L_k розрахуємо підставивши для експерименту співвідношення величини кадру від розмірів простих переміщень в іншу систему координат JO, Y_1 X_1 дорівнює витій лінії. Тоді формула (2.2) виглядатиме так:

$$X, Y = \frac{A - V_k}{E} = \sin^r + \frac{V}{H} - \sin^i + V_H; BVA - VY = \sin u j_3 + < p_o \sin^t \quad (2.14.)$$

Рівняння (2.3.) показує функція / називається періодичною з тактом $T=2\omega$. Час T описує виту лінію повторень. Візьмемо величину «растрової циклоїди» за час кадру / по координатах / при (/ / /) Розмір виведемо з L_k .



Малюнок 2.6 - Розмір кадру у напрямі гвинтової лінії.

2.3 Растровий рух дослідження траєкторії кінематики.

Розраховуючи кінематику растрового хонінгування, вимагаються інформація про режими різання, швидкості подання, коливальні рухи, зміни величин прискорення і швидкості.

Для того, щоб визначити миттєву швидкість у будь-якому відрізку часу візьмемо першу похідну від часу рівнянь (2.1) точки при $P_0=0$:

$$V_x = X' = A * \cos 3J + V_y = Y = B - \cos 2 - \cos 2t + V_{oc}$$

Максимальну швидкість позначимо як геометричну суму її проекцій :

$$V = 4^V X + Y^V = -\cos fi^{\wedge} + F^{\wedge})^2 + (B)_2 * \cos 2t + V_{oc})^2. \quad (2.15.)$$

На рис. 2.7. описано відношення швидкості на період кадру. Максимальної швидкості на початку середини та кінці кадру досягається.

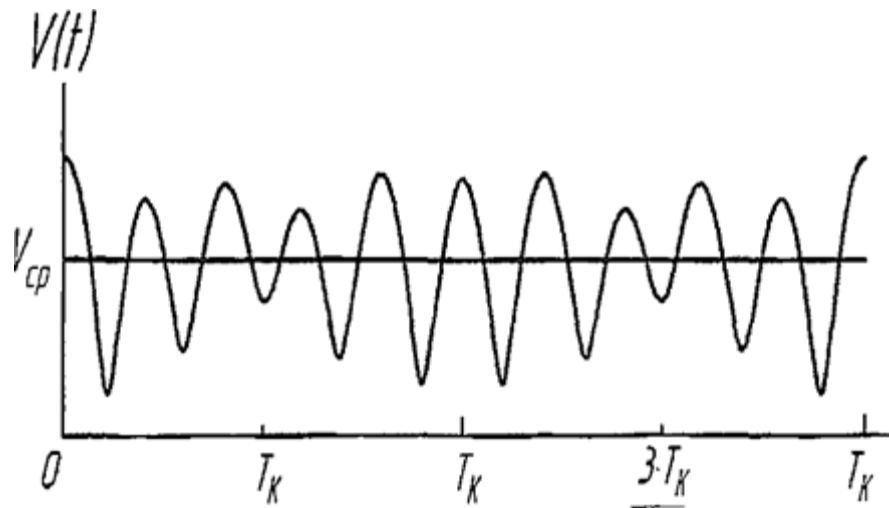


Рисунок 2.7 - Зміна миттєвої швидкості за період кадру

$$K_p = M^{67A \wedge U} + (0,67Ba_2)^2 + 0,67(V^2 + V_p^2) \wedge c/). \quad (2.17.)$$

Графік зміни середньої швидкості V_{cp} залежно від відношення частот коливальних рухів при різних стосунках швидкостей показана на рис. 2.8.

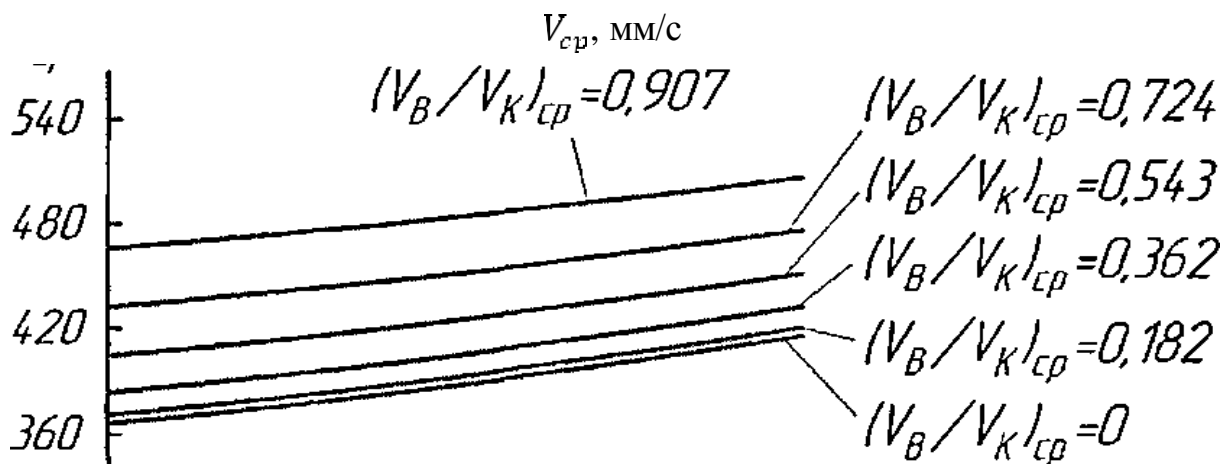


Рисунок 2.8 – Залежність середньої швидкості від частоти коливань.
(0,5;0,6;0,7;0,8;0,9;1,0 мм/с)

Траєкторії, що описують спосіб обробки по кінематики, виводиться з співвідношення швидкостей. Области переходу однієї траєкторії в іншу для відношення частот коливань на (рис. 2.9.). Оцінюючи стосунки // що б перейти від растрової кінематики до віброхонінгування було усунення реверсивної кінематики часток за годину кадру (рис. 2.4.). Обробка вібраційним хонінгуванням складається з двох варіантів [88]: перший варіант називається однонапрямлений такий варіант

у якого швидкість постійна і напрямок обертання направлено в один бік, другий варіант називається різноспрямованими при такому варіанті швидкості не постійні і напрямок обертання за один цикл змінюється неодноразово. У цій ситуації область зміщення від різноспрямованої до односпрямованої виводиться за такою формулою: $V \cdot Y_{ch}=1,6$. (2.18.)

Більшість доводочних операцій і віброхонінгування [34,35] вказано, це впливає на виробництво знімання металу і якість оброблюваних деталей, прискорюється процес обробки.

Проекції прискорення $W(t)$ і T_k є другим похідним за часом від параметричних рівнянь руху (2.1.). Через них можна висловити повне прискорення. Повне прискорення можна визначити як векторну суму дотичного. $W_n = T_p$ (p — радіус кривизни траєкторії). Зміна за величиною миттєвого повного прискорення у період кадру представлено на рис. 2.10.

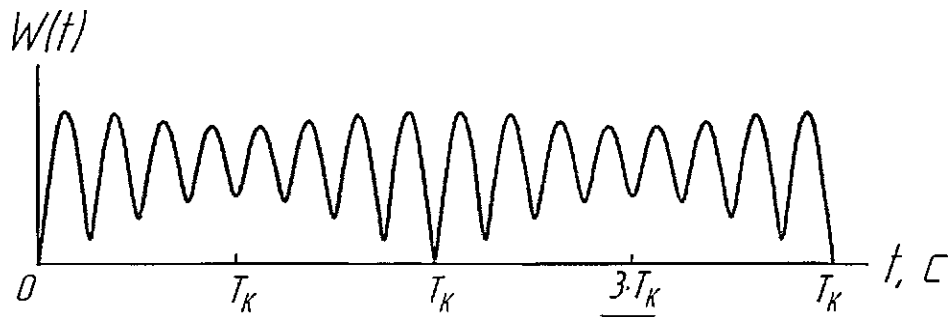


Рисунок 2.10 - Зміни миттєвого повного прискорення у період кадру.

3 Кінематичні схеми устаткування, способи проведення дослідження і різновиду абразивних брусків

3.1 Устаткування для проведення дослідів «МФК 500».

Комплекс для проведення вимірів форми для ОТК і лабораторій. Прилад призначений для контролю блоків циліндрів, голівок блоку циліндрів, коробок передач, компонентів гідравлічних систем, розподільних і колінчастих валів. Оптимізована конструкція забезпечує високу точність вимірів в усій вимірювальній області системи. Великий діапазон ходу і вимірів забезпечує легку і безпечну зміну деталей.

Прилад контролю форми має гранітну основу, яка не схильна до деформацій і виключає вплив вібрацій. Високопрецизійна горизонтальна поверхня формує базову площину для вимірів. Стіл для установки вимірюваних деталей забезпечує монтаж і задане переміщення деталей на гранітній поверхні за допомогою аеростатичних підшипників.

Особливістю цього комплексу являється:

1. Універсальна установка вимірів форми з великою зоною вимірів для важких деталей.
2. Система «МФК 500» має 3 вимірювальних осі і 4 калібрувальних осі для виміру форми компонентів.
3. Легкість використання і швидка установка за допомогою поворотного щупа і автоматичного позиціонування деталей.
4. Невеликий об'єм необхідного технічного обслуговування і можливість управляти тривало діючими навантаженнями завдяки аеростатичному підвісу.
5. Стежачі системи із захистом від зіткнень для широкої гамми вимірювальних завдань.
6. Велика монтажна зона для установки, як окремих деталей великих розмірів, так і майданчиків, фіксувальних декілька деталей.

7. Блок виміру круглості з автоматичним регулюванням по діаметру деталі, навіть якщо положення не відцентроване.
8. Вимір прямолінійності по 3 напрямкам уздовж основних осей координат.
9. Оцінка параметрів деталей відповідно до ISO 1101.
10. Контроль в машинній системі координат або система координат, пов'язаною з деталлю, відповідно до виробничих вимог.
11. Усебічне оцінювання параметрів форми і положення, діаметрів і даних позиціонування.
12. Широка гамма приладдя і щупів забезпечує оптимальне рішення усіх вимірювальних завдань.
13. Просте розширення можливостей з забезпеченням додаткових ступенів свободи в процесі виконання програми вимірів.

Це означає, що вимірювальні завдання виїмкою складності, наприклад, V - образного блоку циліндрів, можуть бути виконані в автоматично, без втручання оператора.

У блок виміру круглості входить на додаток до вимірювального шпинделя (осі C), блок виміру круглості має вісь автоматичного регулювання щупа по діаметру деталі (вісь R). При виконанні виміру круглості вісь R направляє щуп відповідно до форми деталі навіть при відхиленні x від центрального розташування, окрім переміщення самого щупа. Блок виміру прямолінійності по вертикалі осі (Z) забезпечує задане переміщення блоку вимірів круглості на гранітній поверхні. У системі «МФК 500» осі X і Y столу з електроприводом центрування і нахилу є осями позиціонування.

Калібрувальні осі (A і B) інтегровані в стіл для установки вимірюваних деталей і можуть автоматично центрувати деталі в межах простору виміру .

Вимірювальні можливості. Функції автоматичного калібрування, вбудовані в цикл вимірів, забезпечують безперервний режим роботи. Паралельні процеси реєстрації і обробки вимірюваних значень скорочують час виміру. Сфера застосування установок виміру форми розширюється за рахунок великої гами приладдя.



Рисунок 3.1 – Апарат для перевірки похибок та відхилень геометричних форм

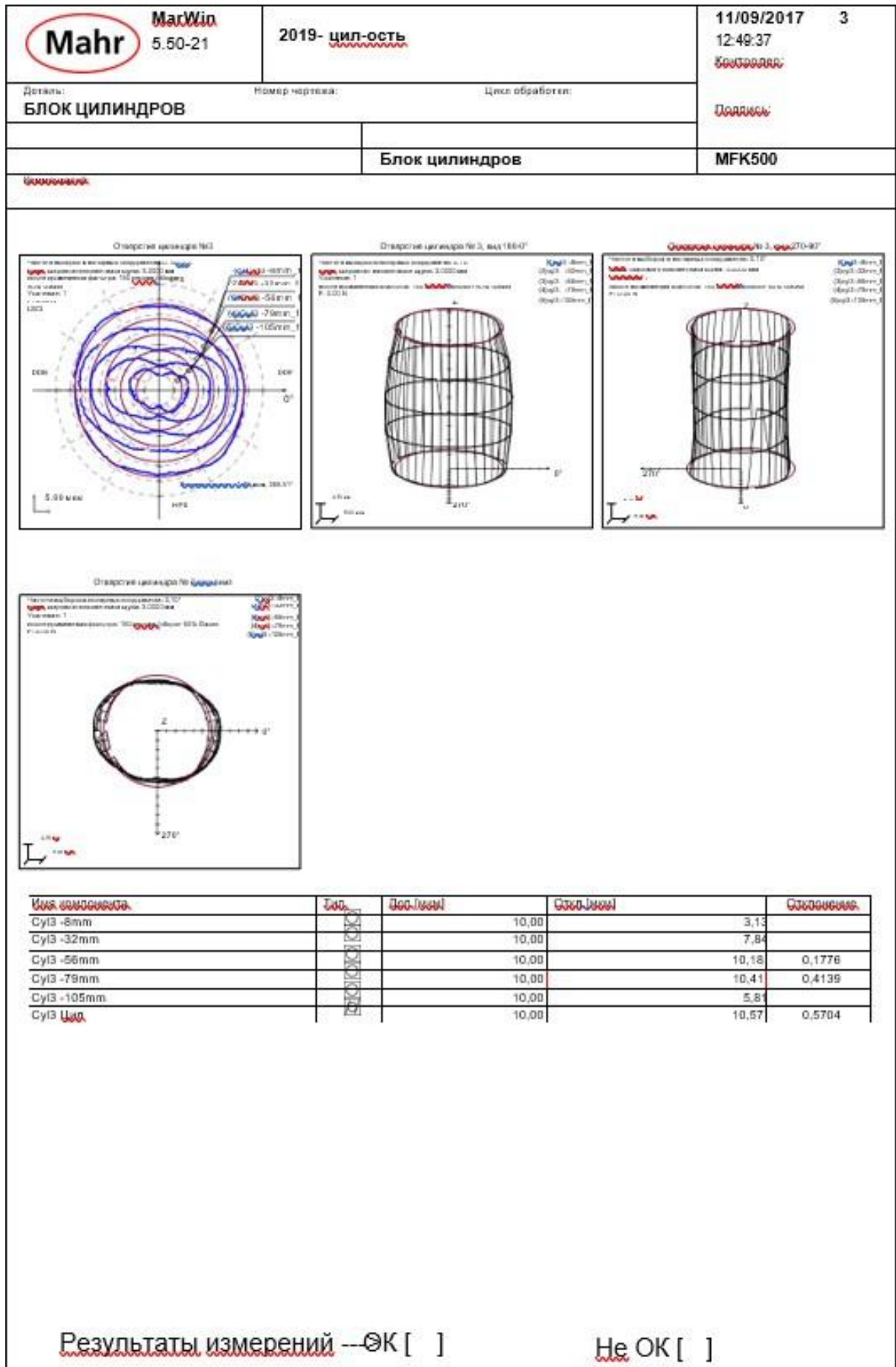


Рисунок 3.3 - звіт про відхилення циліндрів по бочкоподібності циліндр
другий

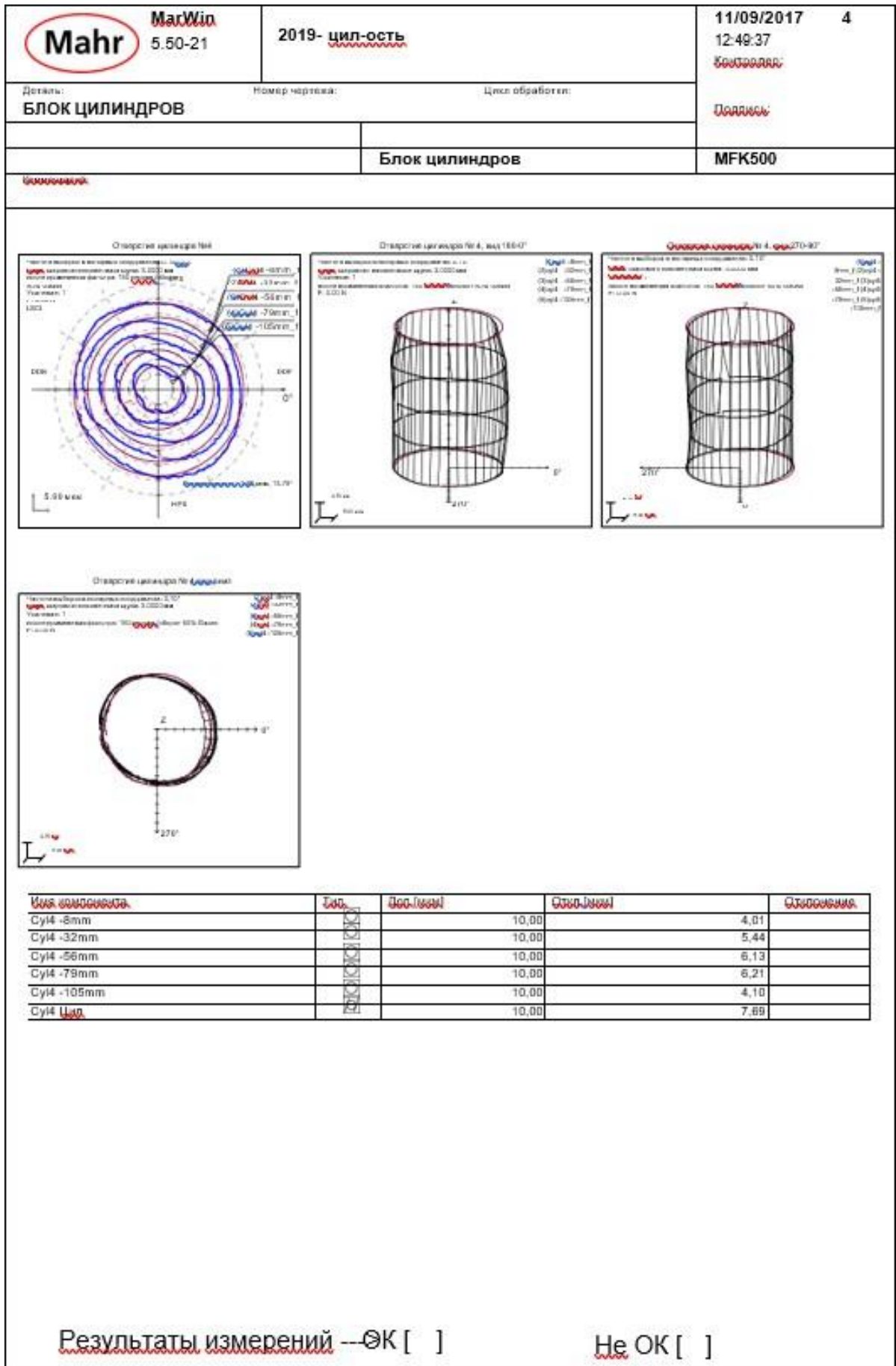


Рисунок 3.4 - звіт про відхилення циліндрів по бочкоподібності циліндр третій

3.2 Методологія проведення вимірів шорсткості поверхонь Прилад для виміру параметрів шорсткості, хвилястості і профілю поверхні HOMMEL-WERKE TURBO WAVE V7.20.

Призначення засобу вимірювань для вимірювання параметрів шорсткості, хвилястості та профілю поверхні різних деталей, а також визначення у вимірних профілях геометричних параметрів: радіусів дуг, координат точок, відстаней, кутів та топографії поверхні. Прилад може застосовуватися для вимірювання деталей складної форми в різних галузях машинобудування, електротехніки, у виробництві пластмасових виробів і т.д.

Опис засобів вимірювальної техніки HOMMEL-WERKE TURBO WAVE V7.20. Действие прибора основано на принципе ошупывания неровностей исследуемой поверхности алмазной иглой измерительного преобразователя и преобразования возникающих при этом механических колебаний щупа в изменения напряжения, пропорциональные этим колебаниям, которые усиливаются и преобразуются электронным блоком.

Результати виміру виводяться на монітор комп'ютера і надалі можуть бути використані для подальших розрахунків.

Прилад складається з наступних елементів: вимірювального перетворювача, що складається з індуктивного датчика і блоку подання, блоку посилення сигналів, мікропроцесорного пристрою, блоку видачі інформації, принтера і блоку живлення. Для розширення області використання приладу забезпечується різними типами датчиків. Вони розрізняються радіусом закруглення щупа, матеріалом виготовлення, розміром корпуси, положенням і формою опори.

Завдяки модульній конструкції приладу, за допомогою мережевої карти HOMMEL - WERKE CAN - BUS до нього можуть бути підключені різні компоненти системи. Для роботи в режимі виміру шорсткості і профілю поверхні використовується облаштування подання Waveline 120 або Waveline 200. Вбудована в пристрій високоточна базова площина дозволяє використати безопорний датчик. Для вертикального переміщення при вимірі використовується

колона, що забезпечує можливість ручного або моторизованого повороту у вертикальній площині закріпленого на ній приводу на $\pm 45^\circ$, окрім цього, $\pm 5^\circ$ настраюється мікрометричним гвинтом облаштування точного подання. Для роботи в режимі виміру мікротопографії поверхні призначено облаштування Y - Positioner, що представляє з себе моторизований вимірювальний столик з точним переміщенням по осі Y в горизонталі площини.



Рисунок 3.6 – Апарат для контролю якості мікрорельєфу поверхні

4 Растровий спосіб хонінгування досвід і дослідження

4.1 Порівняльний аналіз методів хонінгування робочий рух.

Зроблені досвідчені дослідження, з метою розуміння управління траєкторії робочого руху хонинговальної голівки на принципах показників процесів. Порівнюючи між собою двох різних кінематики з традиційною і растровою. Що б умови постанови дослідів були рівними застосовувалося устаткування і інструмент з рівними параметрами обробки таблиця 4.1.

Таблиця 4.1. Параметри наладки устаткування

Режим обробки	Растрове хонінгування	Традиційне хонінгування
$T_{\text{хон}}$	2	2
$V_{\text{рез}}$ м/мин.	28,4	28,5
2α , град.	55°	56°
P, Мпа	0,1 - 1	
Устаткування	«Nagel»	
СОЖ	70% гасу, 30% олія «Індустріальна»	

Підбір параметрів наладки верстата обґрунтований можливостями кінематики досвідченого устаткування «Nagel». Порівняльні дослідження проводилися одним комплектом брусків АС6 80/63-М5- 07-100% і стали 95Х18 (НРС 54... 58), діаметром 18 мм, завдовжки 60 мм, брусками КР 80/63-М5- 07-100%. Значення початкової шорсткості підтримувалося постійною. Результати експериментів представлені в таблиці 4.2. і на рис. 4.1. і 4.2.

При дослідженні були виявлені переваги растрового хонінгування по відношенню до традиційного; при меншій шорсткості поверхні, обробленої, час обробки методом растрового хонінгування в 1,5-2 рази вищий, ніж при традиційному способі обробки. У зоні роботи інструменту при однаковому тиску витрата інструменту Аас/АЛ1ет знос брусків залишився таким же як і при традиційному хонінгуванні.

Таблиця 4.2. Результати сравнительных исследований процесса хонингования

Метод хонінг ування	Показники	Р, МПа								
		од	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9	0,95
Растро ве хонінг ування	$<2(\text{мкм/хв})$	12	20	25,5	34	44	50	78		83,5
	$A_{ac}, (\text{мкм})$	0,6	1,4	1,91	3	3,91	зд	10		15,5
	$L_{ac}/A_{мет}$	0,01 6	0,023	0,02 5	0,028	0,026	0,02 4	0,05 5	0,07	0,09
	$La, \text{мкм}$	0,40		0,37		0,40		0,64		0,64
Традиц ійне хонінг ування	$<2(\text{мкм/хв})$			13		23,5	34		63	
	$A_{ac}, (\text{мкм})$			1		2,0	2		3,6	
	$A_{ac}/A_{мет}$			0,02 2		0,028	0,02 0		0,03 5	
	$La, \text{мкм}$			0,53		0,54	0,52		0,76	

Виявлено, що весь діапазон досліджуваних тисків поділяються на 3 області. У першій області тиск не перевищує 0,2 МПа введення алмазних частинок в поверхню оброблюваної деталі, цей тиск не вистачає для того, щоб зробити обробку різанням. Формоутворення відбувається за допомогою багаторазових пластичних деформацій. У 2 області середній тиск (від 0,2 до 0,9 МПа). Даного тиску вистачає для того, щоб виробляти мікрорізання так як тиск, що чиниться на частинки і зв'язку мало для повного знімання металу. Це місце називається головним рухом. У третій області йде відділення абразивних частинок від брусків і відбувається сильне зношування інструменту. Такий процес веде до різкого підвищення мікронерівності та часу обробки. Цей регіон для роботи алмазним інструментом вкрай небажаний. У трьох областях, описаних вище 1) традиційне хонінгування, 2) растрове хонінгування, 3) вібраційне хонінгування, з усіх прийнятніше растровий метод оскільки він починає працювати на менших тисках

за допомогою різноспрямованої траєкторії руху хон голівки, запобігає «засалюванню» інструменту і збільшує інтенсивність самозаточування. Використання растрової кінематики відсутнє таке явище як забруднення брусків навіть дрібнозернистим інструментом.

Процес хонінгування робився одним набором брусків КМ 80/63-М5- 2- 100%. Аналіз результатів дослідів описані в таблиці 4.3. і на мал. 4.3.

Показатели процесса	Методи хонінгування		
	Традиційний	С осью оцилляцією	растровий
$<2, \text{ мкм/хв}$	20	31	33
$La, \text{ мкм}$	0,301	0,320	0,206

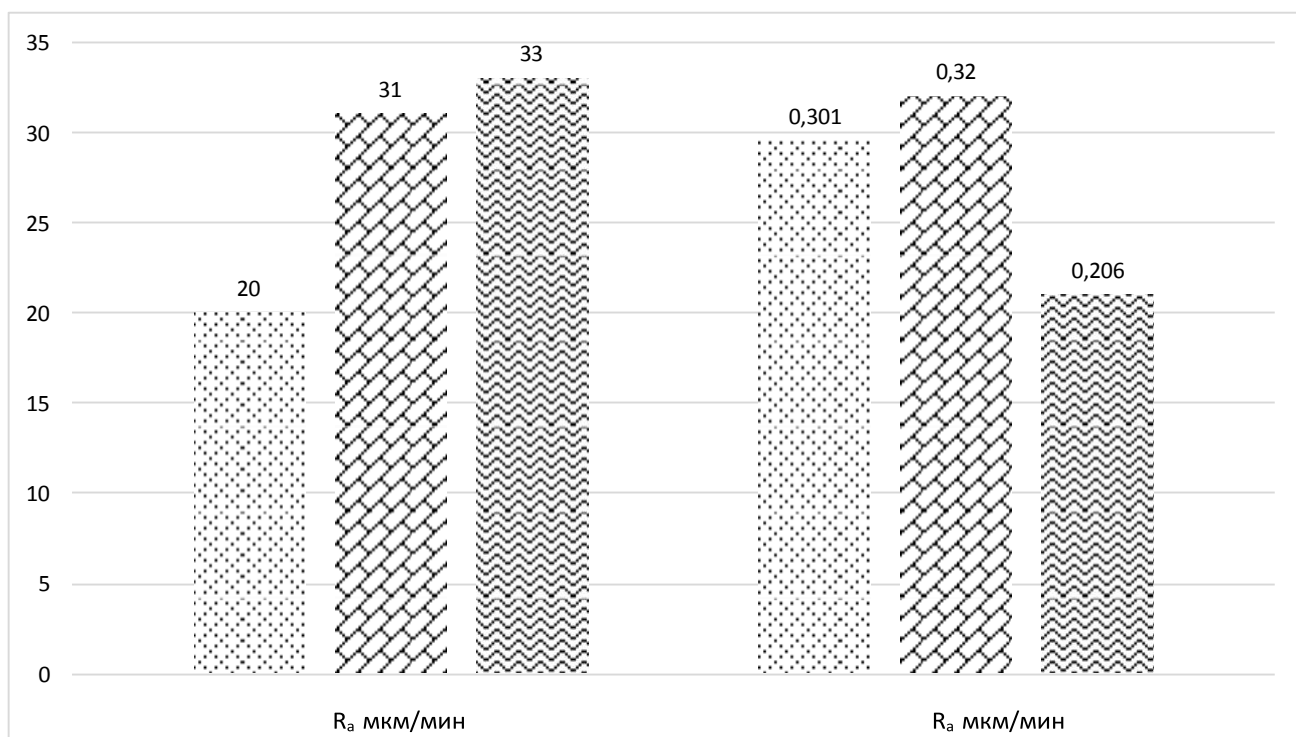


Таблица 4.3. Порівняльні показники залежності від хонінгування

1. Традиционное хонингование – 20,
2. Хонингование с осевой осцилляцией – 31,
3. Растровое хонингование – 33.

Рисунок 4.3 - Результати порівняльних експериментів

Для порівняння двох способів обробки бралися такі параметри як продуктивність різання, так і якість шорсткості обробленої поверхні. У експериментах мінявся

тільки варіант траєкторії головного руху різання брусків, інші параметри не мінялися. Числа, вказані на (рис 4.3) підтверджують ефективність растрового способу хонінгування : по продуктивності хонінгуванню з осьовою осциляцією, так само найбільш ефективний по шорсткості обробленої поверхні.

4.2 Чинники, що впливають на дослідження технологічних процесів на базовому процесі обробки блоку циліндрів.

Досліди ставилися на деталі масового виробництва типу «блоку циліндрів» з чавуну Gh 190B. Розміри оброблюваного отвору : діаметр отвору — 82 мм, довжина отвору — 129 мм, твердість — $HRC > 57$. На фінішній обробці, погрішності геометричної форми не більше 0,01 мм, шорсткість Ra 0,2.0,8 мкм. Вибираючи параметри алмазних брусків, на цьому етапі досліджень випробувані великий асортимент алмазних брусків.

Показники процесу основними прийняті: продуктивність та середня витрата СТМ, мікронерівність деталі. Використовувався матеріал чавун Gh 190B з твердістю $HRC > 57$ для постановки експерименту над інструментом (синтетичного та кубанічних нітриду бору (рис. 4.4. та табл. 4.4. 4.5.)). Дані параметри оброблюваного металу веде до дуже швидкого зносу ріжучих частинок приблизно за 1-5 хв., Надалі відбувається розчинення і змішування частинок, що зрізаються з алмазами абразиву. Підсумки змішування відбиті на фотографіях ріжучих частинок рис.4.5. виконані за допомогою електронного мікроскопа. Таким чином, процес різання різко переходить у процес вигладжування, зрізуючи матеріал тільки в межах початкової шорсткості. Матеріал Gh 190B; $HRC > 57$; $T_{хон} = 0,5$ хв; $P = 0.8$ МПа; $V_{рез} = 21$ м/хв.

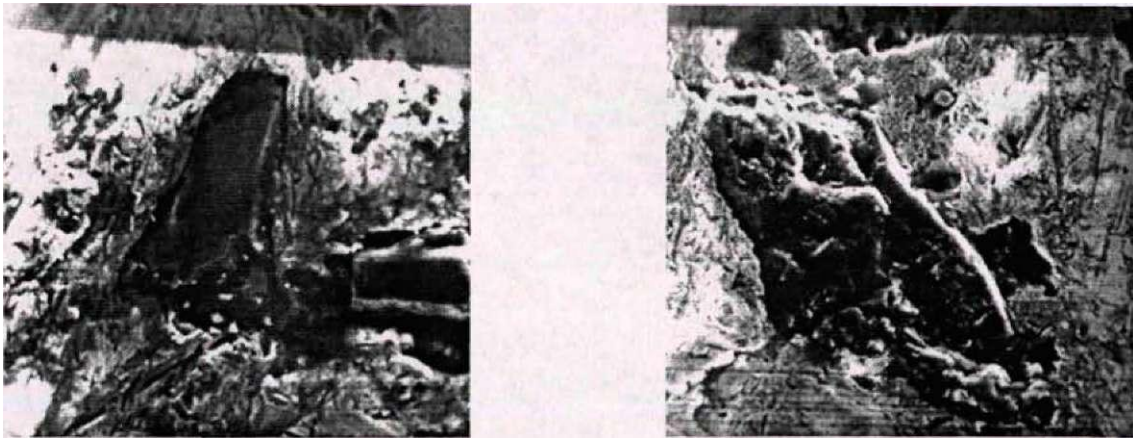
Таблиця 4.4. Порівняльні експерименти з хонінгування чавуну.

Номер цикла хонінгування	КР 80/63-М5-22—100%		АС20 80/63-М5-22-100%	
	$A_{мен1}$ МКМ	$D_{«ел»}/T_{хон}$ МКМ/ХВ	$A_{мет}$ МКМ	$d_{мет}/T_{хон}$ МКМ/ха
1	18	36	7	14
2	17	34	4	8
3	18	36	4	8
4	16,5	33	3,5	7
5	16,5	33	4	8
6	15,5	31	3,5	7
7	17,5	35	2,5	5
8	17	34	3	6
9	16	32	2,5	5
10	7	34	2,5	5

Таблиця 4.5. Параметри інструменту для хонінгування

Характеристика брусков	Даєт МКМ	Q_{cm}^{32} /см ² ч	Астм, МКМ	К, мг/г	Ra , МКМ
КР 80/63-М5-22-100%	17	0,408	2	0,8	0,301
АС20 80/63-М5-22-100%	3,7	0,0981	0,9	2,28	0,23
КМ 60/40-МД-50%	15	0,38	2,3	2,6	0,187
АСН 60/40-МД-50%	3,5	0,097	4	14,2	0,22

Виходячи з переліченого вище для хонінгування чавуну Gh 190В інструмент з синтетичних алмазів вилучили далі експеримент вівся на одному виді брусків з КНБ, щоб зняти підозри і невідповідності. Цей вид інструменту відрізняється своєю термостійкістю і нейтральний до дії з металами.



а) АС20 125/100-М5-22-100%, Тхон=5м. б) КР125/100-М5-22-100%.ТХо_н,=60 м.

Рисунок 4.5 - Характер зносу ріжучих зерен. (Збільшення 2500)

Поставлені експерименти пояснюють і описують можливості даного інструменту: -висока продуктивність, -великий період заміни інструменту, - термостійкість, -якісну шорсткість і т.д. зв'язкою М5-22, то дана зв'язка більш м'яка. З вище перерахованого можна дійти невтішного висновку у тому, що вихідна шорсткість більш вища з урахуванням зв'язки МД зазначені у таблиці 4.6. (Тхон = 0,5 хв; Р = 0,8 МПа; $V_{pe} = 21 \text{ м / хв}$)

Таблиця 4.6 – Зернистість брусків

Характеристика брусків	$D_{мет}$	$Q \text{ см}^3/\text{см}^2\Gamma$	$\wedge_{стм}$	$K\tau/\tau$	$Ya \text{ мкм}$
КМ 40/28-М5-22-50%	14	0,35	2,2	1,0	0,135
КМ 60/40-МД-50%	15	0,38	4,3	2,6	0,187
КМ 60/40-М5-22-100%	15	0,38	2,2	1,0	0,180
КР 80/63-М5-22-100%	17	0,40	2	0,8	0,301
КР 125/100-М5-22100%	20	0,46	1,8	0,75	0,59

На обробні операції хонінгування блоків циліндрів з чавуну Gh 190B, було запропоновано використати бруски в діапазоні каучуковмісних зв'язків Pli — P18T. Початкова шорсткість при дослідженні трималася постійною $Ra=0,19-0,21\text{мкм}$. Час хонінгування 60 сек. Результати представлені в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7. Залежність шорсткості брусків на мікрорельєф

Характеристика брусков	R_{cp} , мкм	Ra мкм	R_{cp} , почат.
АСМ 40/28-P18T-50%	0,116	0,013	0,190-0,210
АСМ 40/28-P11T-50%	0,105	0,014	
АСМ 40/28-P14/P9-50%	0,115	0,014	
АСМ 40/28-P11/P9-50%	0,119	0,013	

експерименти доводять, що зв'язки на цій основі мають однакову швидкість обробки і якість мікрорельєфу, однорідність сітки. Початкова мікронерівність деталі $Ra = 0,190 — 0,210$ мкм, бруски зернистістю АСМ 40/28 не досягається необхідній шорсткості ($\text{ita}=0,08 — 0,04$ мкм). Були проведені дослідження для оптимального підбору інструменту. Висновки описані в таблиці

4.8. У експерименті використовувався інструмент на зв'язці P11T.

Таблиця 4.8. Воздействие подбора инструмента по зернистости на микрорельеф детали

Параметры алмазного инструмента	Ra_{cp} , мкм	RL_A мкм	R_{cp} , исход.
АСМ 40/28-P11T-50%	0,0310	0,0072	0,12-0,15
АС4 50/40-P11T-50%	0,0311	0,0040	
АС4 80/63-P11T-50%	0,0516	0,0029	

Експерименти підвели до виводу інструмент із зернистістю 40/28 найякісніше обробляє початкову мікронерівність, але утворення форми нівелюється і веде до зниження. Це явище пояснюється тим що інструменту не якісно знімає первинний припуск на обробку на цій операції що призводить до погрішності цієї геометричної форми. У підсумки був підібраний оптимальний абразивні інструмент АС4 50/40-Р11Т- 50%. Такий інструмент зрізував первинні припуски без відхилення геометричної форми і виводив однорідну сітку. Багато що залежить від параметрів налаштування і режимів обробки верстата.

Таблиця 4.9. Підбір оптимального абразиву

$V_{рез}$ м/хв	$A_{мет}$ мкм	$O_{см^3/см^2}$	$A_{стм}$ мкм	K мг/г	$R_{аср,мкм}$
14	20,4	0,238	1.5	0,60	0,46
21	31,4	0,368	1,5	0,42	0,40
27	42,0	0,495	1,7	0,38	0,42

На досвіді побачили, що зі збільшенням швидкості процесу різання лінійно збільшується знос інструменту в 3 рази. Висновок, що відносний знос СТМ при зростанні швидкості веде до зменшення. Поверхня залежить від швидкості обробки. У растровом методі обробки за допомогою такого інструменту можна встановлювати максимальну швидкість різання матеріалу. Тиск у цьому вигляді обробки надає величезний вплив на оброблювані деталі. Підсумки поставлених експериментів занесені до таблиці 4.10. та на рис.4.6. Контактний тиск впливає на результати обробки (Бруски КР 80/63-М5-22-100%; $T_{хон} = 0,5$ хв; $V_{рез} = 27$ м / хв)

Таблица 4.10. Результаты исследований растрового метода

Р, МПа	A _{мет} , мкм	3 2см /см г	АСТМ, мкм	К ,мг/г	R _а сред, мкм
0.4	10	0,28	1,5	0,95	0,27
0.8	17	0,408	2	0,80	0,301
1	20	0,46	2,3	0,78	0,320
1.2	29,8	0,68	4	1,2	0,493

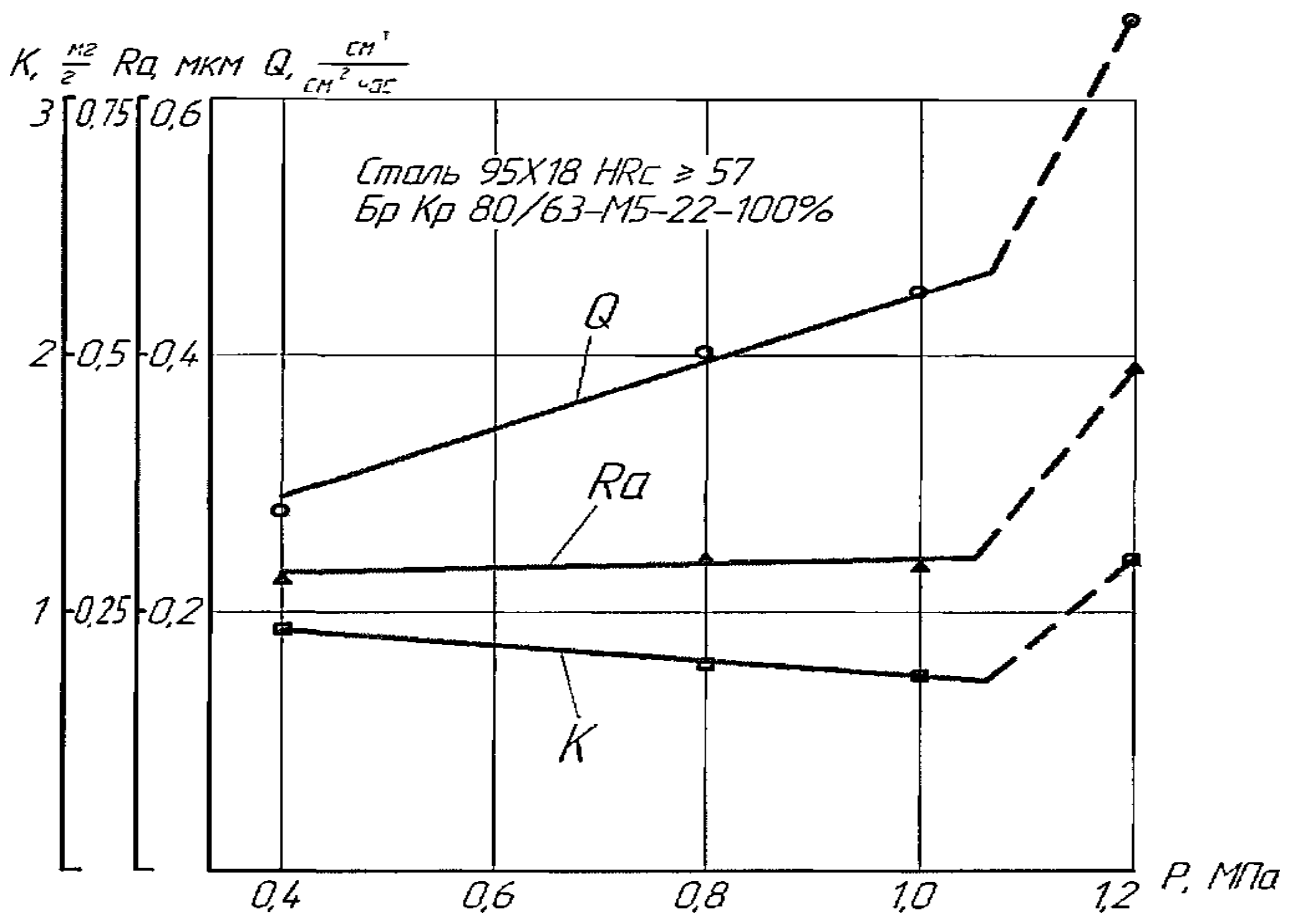


Рисунок 4.6 Вплив радіального тиску на показники продуктивності

Зображена на мал. 4.6. залежність контактного тиску від продуктивності (залежність, наближена до лінійної).
Це явище пояснюється тим що різальні частки впроваджуються глибоко. Це розташування обробки матеріалу допомагає зберегти інструмент від швидкого зносу.

Це явище залишається актуальним до тих пір, поки тиск дорівнює 1 Мпа, при збільшенні тиск витрата інструменту теж росте також тягне за собою і мікронерівність.

4.3 Формування шорсткості в процесі хонінгування дослідження технологічних процесів.

У процесі обробки фіксованими частинками абразиву якщо його порівнювати з довідковим процесом не зафіксованими частинками абразиву і досягти мети технічних вимог щодо відсутності мікрозадирок у перехресті радіальних та центральних борозен. Перш ніж провести досвід управління технологічним процесом у традиційному хонінгуванні на виникнення мікрозадирок. Поставлено завдання для проведення пошуків прийомів та умов процесу хонінгування, які мінімізували виникнення мікрозадирок. У дослідженні був задіяний інструмент з вісьмома брусками хонінгувальні головки діаметром 80, два бруски нерухомі, наступні рухливі в радіальному напрямку, і так далі чергується по всьому діаметру. Необхідний тиск на деталь забезпечується за рахунок здатності розтискатися рухомим брускам. Довжина – 150 мм, ширина – 10 мм, розміри абразивного інструменту (бруска). Бруски, виготовлені з прокату робочий шар яких складається на основі металосилікату М5-22, до їх складу входить кубічний нітрид бору або синтетичні алмази. Для дослідження були підібрані бруски з різними основами зв'язок :

КМ 20/14-М5-22-50%; КМ 40/28-М5-22-50%; АСМ 60/40-М5-22-100% КМ 60/40-М5-22-100%; КР 80/63-М5-22-100%; АС15 80/63-М5-22-100%.

Традиційне і растрове хонінгування здійснювалося при $V_{pe3}=21$ м/хв, $P=0,8$ МПа.

Таблиця 4.11. Воздействие размера среза металла на высоту микрозаусенца

Метод хонінгування і характеристика брусків	МКМ	h, мкм в отв.	
		діаметр 3 мм	діаметр 5 мм
Традиційне КР80/63-М5- 22-100%	22	11	10
	40	16,5	17,5
	62	23	24
Традиційне АС1580/63М5- 22-100%	22	11	15
	40	20,5	30
	59	32,5	35
Растрове КР80/63-М5- 22-100%	30	5	6
	46	4,5	6
	64	5	5

З таблиці 4.11. ясно, що у міру збільшення діаметрального зрізу металу розмір мікрозадирок росте. Проте, при обробці брусками з КНБ, розмір мікрозадирок в 1,3... 1,6 разу менше, ніж при хонінгуванні брусками з синтетичних алмазів. Це явище пояснюється тим що інструмент з КНБ при обробки загартованих матеріалів відрізняються на багато більшою різальною силою чим інструмент з синтетичних алмазів. Під час растрового хонінгування розмір мікрозадирки практично не залежить від зрізу матеріалу. За допомогою складної траєкторії ходу різальних часток постійно міняється напрям ходу.

Було досліджено структура мікрозадирки за допомогою мікроскопа. Виявлено, що у багатьох мікрозадирок мають форму скрученої кульки, яка відбувається при загинанні-загортанні мікрозадирки в поперечному напрямі відносно кромки радіального отвору. Ця структура мікрозадирки обумовлена для процесу хонінгування як брусками з КНБ, так і брусками з синтетичних алмазів.

Це явище пояснюється тим, що інструмент з КНБ, володіючи значним різальним властивостям, менше відхилення від геометричних форм при хонінгівальній обробки. У результаті мікрозадирки мають слабкіше «корінь».

В процесі нарощування висоти мікрозадирок міцність їх спочатку зростає, а потім не багато знижується. Таке явище пов'язане зі збільшенням висоти мікрозадирки здійснюється зміна сторін величин між висотою і завдовжки. Нарощуючи співвідношення, збільшується і радіус зусилля, що докладається, на інструмент і оснащення таким чином це призводить до меншого опору на оброблюваній поверхні що сприяє зменшенню сил різання. Таке явище можна спостерігати як при обробки брусками з алмазу синтетичного, так і після обробки кубічним нітридом бору.

У таблиці 4.12. зазначені методи та інструмент за допомогою якого вівся порівняльний аналіз продуктивності та ефективності методів обробки за допомогою традиційного хонінгування з брусками із синтетичного алмазу, так само проводилося випробування з традиційною траєкторією та брусками із кубічного нітриду бору (КБН). Растровий метод обробки досвіду ставився з брусками з кубічного нітриду бору. З даних наведених у таблиці 4.12. видно, що обробка різними брусками, але одним і тим самим методом різниця між обробками практично не помітна. Растровий метод значно відрізняється традиційного.

Таблиця 4.12. Вплив виду абразиву та методу хонінгування на розміри та міцність мікрозадирок

Метод хонінгування і характеристика брусків	Отвір й 3 мм		Отвір с15 мм	
	/Г, мкм		до, мкм	ЯН
Традиційне КР80/63-М5- 22- 100%	11	2,15	10	1,76
	16,5	3,92	17,5	3,33
	23	5,88	24	3,82
Традиційне АС 1580/63-М5- 22-100%	11	6,66	15	0,23
	20,5	7,90	30	9,40

	32,5	10,2	35	9,11
Растрове	5	0,44	6	0,64
KP80/63-M5- 22-100%	5,5	0,48	5	0,60

Відмінності полягають в тому, що мікрозадири які оброблялися синтетичними алмазами в процесі чого з'являлися мікрозадири були набагато міцніші і було потрібно менше енергії на зрізування.

Дія інструменту, тобто зернистості його на шорсткість і висоту мікрозадири досвід ставився на загартовану сталь і інструментом з КНБ. Досвід проводився з різними брусками за типом зернистості, зв'язки з синтетичного алмазу та ін. Усі досліди проводилися в рівних умовах за такими показниками як матеріали, настрій і наладка верстатів, підібраний був однаковий інструмент це було потрібно для об'єктивнішого і незалежнішого експерименту над процесом хонінгування.

У таблиці 4.13. приведені результати використання інструменту з різною зернистістю, що приводило на різних інструментах до збільшення мікрозадири. Таке явище пояснюється тим що інструмент з великою мікронерівністю частки, які розташовані вище за середній рівня проникають в матеріал глибше що призводить до інтенсивної продуктивності різання і знімання великих часток металу.

Таблиця 4.13. Дія зернистості інструменту на величину шорсткості і мікрозадири.

Характеристика брусков	Δ_{MET} МКМ	h, мкм	Ra, мкм
КМ 20/14-M5-22—50%	31	4,0	0,086
КМ 40/28-M5-22-50%	43	7,5	0,15
КМ 60/40-M5-22—100%	45	10,0	0,26
КР 80/63-M5-22-100%	40	17,0	0,41
АСМ 60/40-M5-22—100%	39	12,0	0,15
АС 15 80/63-M5-22-100%	40	25,0	0,48

Аналогічно обробляючи інструментом з синтетичного алмазу ситуація подібна. Варто відмітити, що КНБ і алмаз синтетичний рівній мікронерівності зрізує частини металу великих розмірів. При збільшенні зернистості інструменту росте і шорсткість поверхні деталі.

Таблиця 4.14. Дія тиску інструменту на продуктивність

Оброблюваний матеріал	P , Мпа	$L_{\text{мет}}$, мкм	DO , мкм	R_a , мкм
12ХН3А	0,3	51	14,8	0,179
	0,6	48	13,5	0,220
	1	56	14,0	0,242
95Х18	0,3	51	14,9	0,233
	0,6	51	14,2	0,260
	1	50	13,5	0,302

Таблиця 4. 15. Вплив величини тиску на висоту h , мкм мікрозадирку.

Характеристика брусків і метод хонінгування	h , мкм при тиску P , МПа 0,2 0,6 0,8 1			
Традиційне КР 80/63-М5— 22-100%	7,5	11	14,5	16,5
Растрове КР 80/63-М5— 22— 100%	2,5	3,9	4,4	4,8

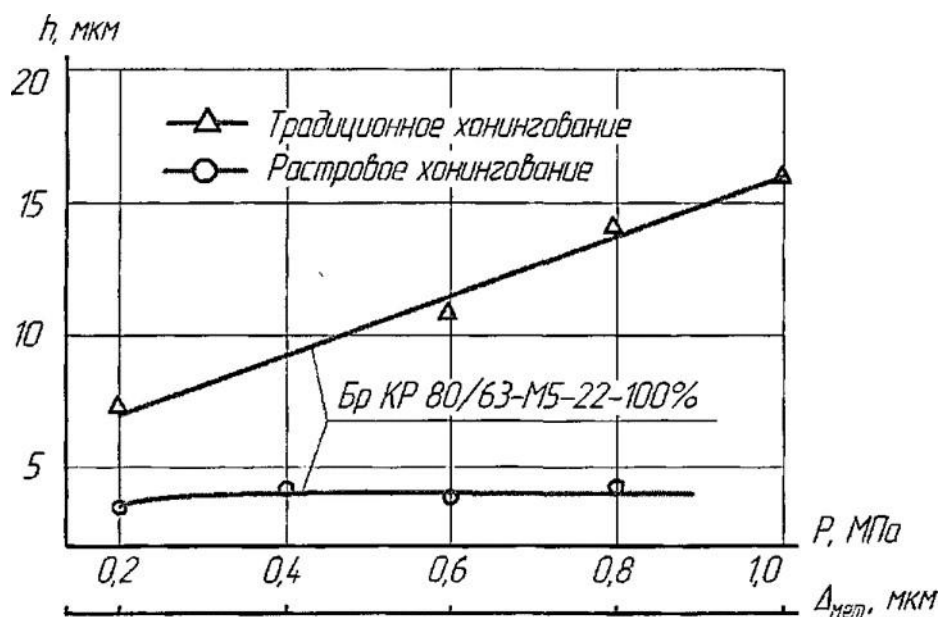


Рисунок 4.7 - Вплив тиску брусків на висоту мікрозадирок

При постійному напрямі русі інструменту переверот деталі напрям руху інструменту відносно кромки радіального різку міняється на антагоністичний. Край радіального отвору, до розвороту деталі була попутною і мала збільшену мікрозадирку після розвороту.

Режими обробки. Якщо врахувати, що довжина оброблюваної сторони співвідноситься з довжиною інструменту, растрове хонінгування робилося без осевого подання ($V_{oc} = 0$). Кінематика головного руху брусків вказана на мал.

4.14. Проводилися досліді розмірного і чистового хонінгування велися при таких параметрах наладки : $V_{pe3} \sim 22$ м/хв, тиск брусків для розмірного хонінгування $P=0,6-1$ МПа, для чистового (обробного) хонінгування $P=0,6-0,8$ МПа.

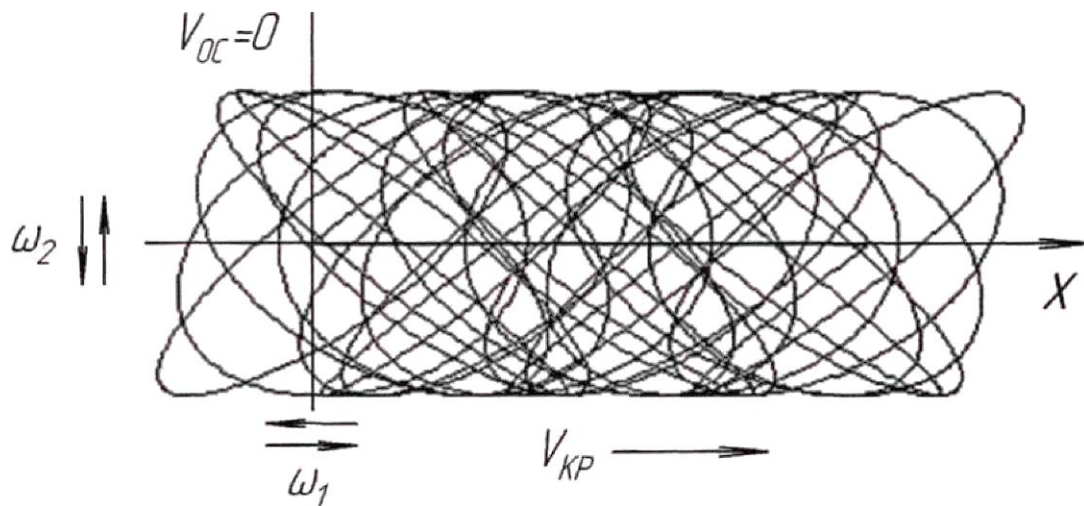


Рисунок 4.8 - Растрова траєкторія робочого руху при хонінгуванні контрольних кілець

Підсумки проведених дослідів розцінювалися за такими показниками процесу: продуктивність процесу, мікрорельєф поверхні та похибки геометричної форми отвору, що виготовляється (підсумки дослідів похибки геометричної форми описані в п'ятому розділі). Через війну рівних початкових розмірів отворів у кільцях, обробка хонінгуванням встановлювалася по спрощеному методу: діаметральний зріз $A_{мст}$ мкм за одиницю часу, Q мкм/мин. Для цього встановлювався стабільний час обробки та розраховувався діаметральний зріз як різницю середніх діаметрів до і після хонінгування. Виміри діаметра проводилися за двома трьома перерізами довжини отвору індикаторним нутромірором з ціною розподілу 1 мкм. Про аналізувавши виміри, попереднє шліфування отвору в кільцях похибка геометричної форми сягає 30 мкм і більше, мікрорельєф поверхні в даній області Ra 06 - 12 мкм. За технічними вимогами необхідно забезпечити похибки геометричної форми трохи більше 2 мкм, а мікрорельєф остаточною обробкою поверхні 0,025 мкм. Дане збільшення якісних параметрів можливе лише за двох або триразової

обробки. Для цього велося розмірне хонінгування, при якому проводився необхідний зріз металу та виправлення початкового відхилення геометричної форми оздоблювальне хонінгування, при якому досягалася необхідна шорсткість поверхні. Хонінгування проводилося за схемою – жорстка головка – «плаваюча» деталь.

У початкових етапах досвідчених робіт випробувана велика номенклатура інструменту для розмірного хонінгування. Досліди ставилися на кільця діаметром отворів 35 мм. Мірою оцінювання були продуктивність зрізу металу і мікрорельєф обробленої поверхні. Результати експериментів представлені в таблиці 4.16. і 4.17.

Таблиця 4.16. Вплив зернистості брусків на продуктивність знімання і шорсткість поверхні ($P=0,8$ МПа, $V_{рез}=22$ м/хв)

Характеристика Брусків	Продуктивність знімання Q , ср, мкм/хв	Шорсткість $R_{аср}$, мкм
АС6 63/50 - М2-01 - 100%	36	0,32
КМ 60/40 - М2-01 - 100%	40	0,15
КМ 40/28 - М5-22 - 50%	44	0,12

Експериментально встановлено, що за допомогою КНБ можна підняти продуктивність навіть за умови низької зернистості інструменту ніж абразив зформований з синтетичного алмазу.

Таблица 4.17. Воздействие типов зерен на обработку

Характеристика бруска	Производительность О мкм/мин Циклы хонингования							
	1	2	3	4	5	6	7	8
АС6 63/50 -М2-01 - 100%	88	61	32	47	25	12	12	11
КМ 60/40 -М2-01 - 100%	58	36	51	44	37	40	22	35
КМ 40/28 - М5-22 - 50%	55	45	45	37	52	31	40	46

Пояснення цього явища тим, що внаслідок хімічної активності частинок алмазу із залізом (контактовані частини «алмаз – сталь») не ріжучих частинках із синтетичного алмазу миттєво відбувається майданчик зносу. Так само стає менше величина впровадження частинок в оброблюваний метал і відбувається поетапне зниження зрізання мікрорельєф виробленої поверхні змінюється у відношенні з шорсткістю брусків.

Закономірність дії швидкості різання на обробку зрізу металу і мікрорельєфу поверхні подібна до підсумків отриманим при обробки хонінгуванням стали. Лімітованим параметром в цьому випадку є допустиме збільшення відхилення форми зробленого отвору із-за інерції.

Для того, щоб досягти необхідної якості отримуваної мікронерівності

поверхні ($R_a=0,025$ мкм), після розмірного хонінгування брусками КМ 40/28-М5- 22-50% робилося обробне (чистове) хонінгування інструментом на основі каучукосодержащих зв'язках. Випробувані бруски різної шорсткості з різною жорсткістю зв'язки. Усі дослідження велися при однакових режимах, що і розмірне хонінгування окрім тиску інструменту. Тиск виставлявся в лімітах 0,6 - 0,8 МПа.

Підсумки дослідження чистового хонінгування кілець з діаметром кілець 35 і 18 мм приведені в таблиці 4.18. і на малюнках 4.15. - 4.18. Під час хонінгування пружними брусками зріз металу не збільшується від початкової шорсткості, таким чином геометрична форма і величина оброблюваних отворів насправді не міняється. Проте ріст часу хонінгування більше 60 сек. і тиск інструменту більше 1 Мпа показуються не значні скруглення на кромках отворів.

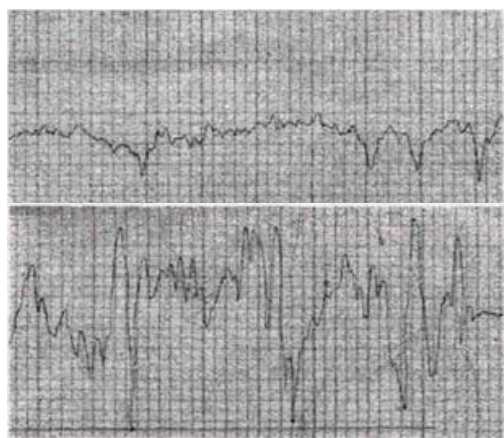
Таблиця 4.18. Вплив характеристики брусків на величину шорсткості ($T_{хон} = 30$ сек.; $P=0,8$ МПа, $V_{рез}=22$ м/хв)

Характеристика брусків	Шорсткість $R_{аср}$ мкм.
АСМ 40/28 - P9/P4 - 25%	0,040
АСМ 28/20-PI 1 -50%	0,027
АМС 20/14 -P9- 25%	0,022

Наочно видно при хонінгуванні брусками АСМ 40/28-Р9/Р4-25%, які за максимальної зернистості мають найменшу жорсткість зв'язки рахунок складової Р4. Цей інструмент за 30 сек. обробки не знижує вихідну мікронерівність після розмірного хонінгування до необхідної мікронерівності ($R_a 0,0025$).

Розмір мікронерівності після оздоблювального (чистового) хонінгування залежить від початкової мікронерівності, виробленої після розмірного хонінгування. Підсумки порівняльних дослідів, зроблених у рівних умовах, описані на профілактограмах (рис. 4.15-4.17).

Необхідну за технічними вимогами мікронерівність забезпечує інструмент зернистістю 20/14 на зв'язці Р9. Зв'язка Р11 по жорсткості не сильно відрізняється у бік нарощування від зв'язки Р9. Тому брусками на зв'язці Р11 або Р11Т, яка є більш зносостійкою, але з зернистістю 20/14, складно за менший час ($T_{\text{хон}} = 20$ сек) стійко забезпечувати необхідну мікронерівність. Загальна динаміка зниження шорсткості поверхні, починаючи від вихідної після шліфування, показано на рис.4.17.



$$R_{aCP} = 0.12 \text{ мкм}$$

Розмірне хонінгування КМ

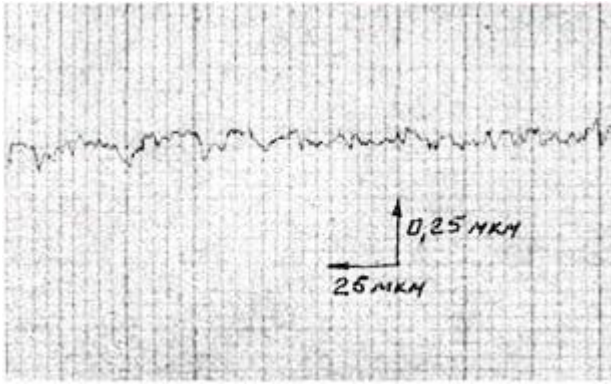
40/28-М5- 22-50%

R_{aCP}

Чистовое хонингование АСМ

40/28-Р9/Р4-25% $T_{\text{хон}} = 30$ сек

Рисунок 4.16 - Розмірне та чистове хонінгування експериментальне

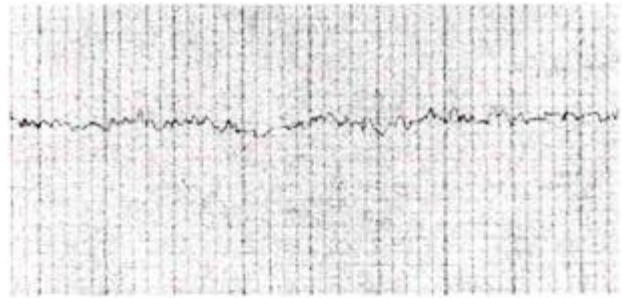


$R_{aCP} = 0.33$ мкм Чистове

Хонінгування АСМ 28/20-Р11-50%

$K_{aCP} = 0.022$ мкм

Чистове хонінгування АСМ 20/14-
25% $T_{\text{хон}} = 30$ сек



Р9-

Рисунок 4.17 - Розмірне та чистове хонінгування експериментальне

5 Дослідження в області якості оброблених поверхонь за допомогою растрового руху

5.1 Обробка стінок циліндрів дослідження впливу параметрів верстата на погрішність геометричної форми

У цій главі розглядаються проблеми, пов'язані з формоутворенням циліндрів при растровому хонінгуванні. Поняття формоутворення макро- і мікрорельєфу обробленої поверхні. При хонінгуванні відбувається знімання металу з поверхні при дії технологічних, кінематичних і інших чинників за допомогою яких відбувається формоутворення циліндрів. Вивчивши взаємозв'язок величини стружки оброблюваного циліндра в кожній точці з різними ознаками, можна передбачити і управляти обробкою циліндрів з допомога дії на головні параметри [36].

«Головними параметрами керівники точністю геометричної форми отворів при обробки алмазними брусками являються : відносний кінематичний рух інструменту, технологічна жорсткість системи, наладка, первинна погрішність форми інструменту». Головною суттю кінематики траєкторії інструменту по відношенню до оброблюваної поверхні при русі растрового хонінгування є наступним. Кожна частинка алмазного абразивного бруска роблять складні коливальні траєкторії різання, а також кругові ($F_{кр}$) і зворотно- поступальну кінематику ($F_{ос}$) відносно поверхні циліндрів з малими швидкостями (подання $S_{кр}$ і $S_{ос}$). Дотичні частки переміщаються по контурних траєкторіях, швидкості їх рівні, але година контакту за один хід поступальний по довжині циліндра не рівномірний і залежить від руху і масштабно-геометричних параметрів. Масштабно-геометричні параметри - це співвідношення довжини отвору (L_{OTB}) і брусків ($L_{бр}$), величини ходу (l_X) і перебігання ($l_{П}$) брусків.

Є схеми-графіки, в яких час контакту інструменту з поверхнею циліндрів при траєкторії уздовж осі. Проаналізовані 2 способи обробки : сума довжини циліндра і інструменту більше або дорівнює довжині ходу. Вважаючи, що зріз матеріалу в одиницю часу при рівних інших параметрах прямо пропорційний контакти інструменту за часом і циліндра в усіх поперечних перерізах, то розмірність зрізу по

довжині циліндра, а отже і точність геометричної форми в подовжньому перерізі залежні в принципі від параметра возвратно- поступальної ходи (осьового переміщення). Розібрані два варіанти обробки : сума довжини циліндра і інструменту більше або рівною, довжині ходу менше вказаної суми.

У першому варіанті (рис.5.1.) кожен поперечний переріз циліндрів торкається з інструментом (брусками) рівний час, $t = L_{бр} / V_{ос}$ за умови константи швидкості $V_{ос}$.

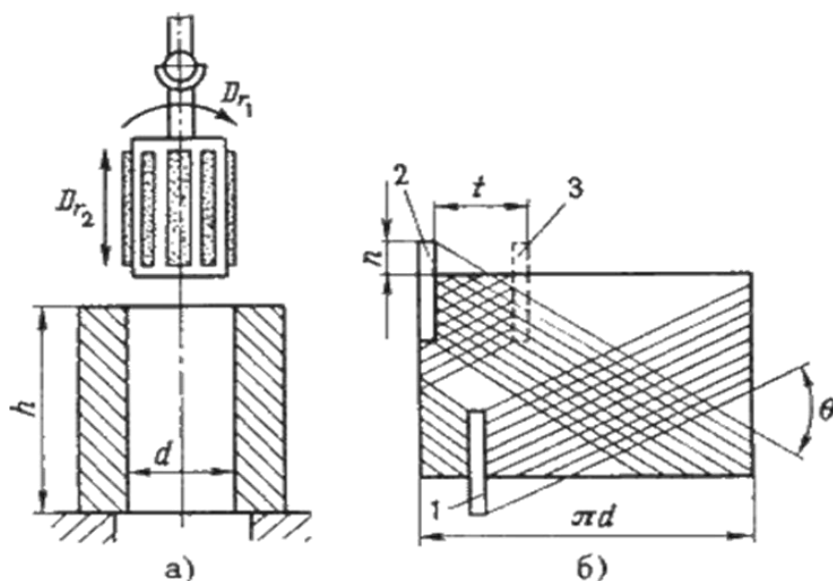


Рисунок 5.1 - Схема абразивної обробки при повному виході інструменту
Даний спосіб контактування практично не застосовується при хонінгуванні отворів. Обробка брусками способом хонінгування забезпечуючи безперервний у хон головки в

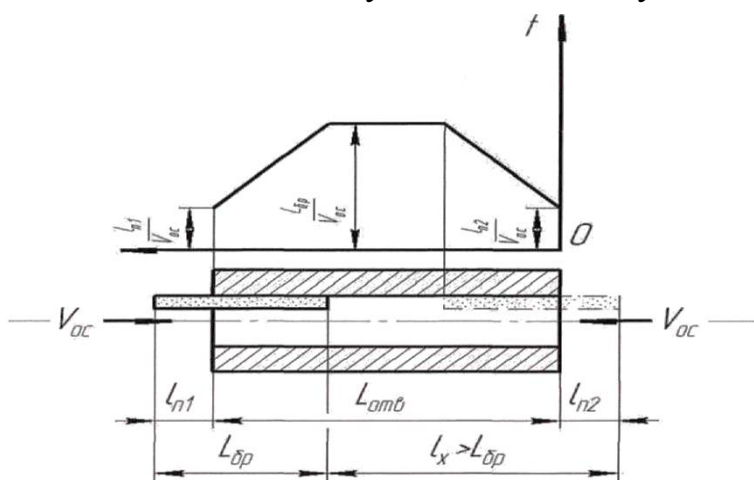


Рисунок 5.2 – Схема контактування брусків при неповному виході з отвору.

контакт хід фіксований, тобто траєкторія обробки робиться не усім виходом алмазних брусків з циліндрів. Величина перебігання ($L_{бр}$)

Розрахунок затримки часу при хонінгуванні растровим методом використовується спосіб вимірювання контакту притира з поверхнею для виготовлення прецизійних поверхонь. Досліджено два види режимів обробки з частковим виведенням брусків і циліндрів при встановленій швидкості поворотно-поступального руху (V_{oc}) за величиною: а) $l_x > L_{бр}$; б) $l_x < L_{бр}$. Помічено, що при роботі зі зв'язаним абразивом, тобто брусками, розмір матеріалу, що зрізається по довжині, що утворює, практично не відрізняється від теоретичної, тобто асиметричної часу дотику інструменту з поверхнею відповідно до графіка. рис. 5.2.

Розглянемо випадок коли $V > L_{бр}$ (рис. 5.2.) за умови $l_{ш} = l_t$ та швидкості осьової подачі (V_{oc}) постійної за величиною. Даний графік тривалості контакту бруска з поверхнею є ламаною лінією (а б з д) і виражається розміром змінної по довжині осі циліндра. Найдовша тривалість (t) контактування відзначається у середній частині циліндра і дорівнює $t_j = L_{бр} / V_{oc}$. Протяжність часу контактування (t_2) на початку і наприкінці циліндра виражається у величині перебігу інструменту і дорівнює $t_2 = l_n / V_{oc}$.

Хонінгуючи з перебігом інструмента, площа контактування інструменту змінюється на краях циліндра. Зменшуючи площу контактування та стабільно нарощувати зусилля розтискання тиск зростає, що збільшує ефективність різання металу на кромках циліндра. Зміна тиску вздовж оброблюваного циліндра вважається середнім коефіцієнтом $K_{пб}$, який асиметричний величині перебігу інструмента [33]. Сума різниці часу роботи інструменту у середній частині та кромках циліндра з урахуванням коефіцієнта $K_{пб}$ дозволяє нам враховувати його як розрахунковий час затримки зворотно-поступального переміщення V_{oc} (осьової подачі) у точках реверсування. $T_3 K_{пб} V_{oc}$.

Наступний випадок, при $l_x < L_{бр}$ використовується у виробництві, де

необхідно обробити «глухі» отвори або з невеликим перебігом інструментів. У разі більший час контакту виводиться з виразу: X/V_{oc} , а час затримки подачі в осьовому напрямі вважається всім точок реверсування $1X \sim 1П$ з виразу: $t_3 = V \cdot k$ у ОС пб.

Теоретичні залежності були перевірені за допомогою експериментальної установки «Растр-Ц20» при обробки деталей з чавуну Gh 190B і 12ХНЗА. Виготовлення циліндрів здійснювалося жорстким закріпленням деталі до верстата і плаваючою хонинговальною голівкою з 8 алмазними брусками. Довжина брусків 150 мм з наступною характеристикою: КМ 40/28-М5- 22-50%, $1X = 38$ мм, $1П = 10$ мм..

Проводячи дослід режим головного руху, тобто зворотно-поступальні частотні коливання, залишилися колишніми: $K_y = 133$ сік' 1, $A = 3.14$ лш, $a > 2 = 114$ сек~В = 2.6мм. Утворення геометричної форми виконувалося шляхом регулювання осьових (Soc) і кругових (Skr) подань.

На рис. 5.3. зображені підсумки досвідчених досліджень, результат задовольняє вимогам збіжності з теоретичними показниками. Операція хонінгування з поворотним осьового подання, з тимчасовою затримкою не більше 0,2 с., була виготовлена «бочкоподібна» геометрична форма циліндра з відхиленням 4-5 мкм (рис.5.3.а). Збільшуючи час зупинки до 2,5-3 с., веде до корсетности (рис.5.3.б) з відхиленням від форми на 4-5 мкм. Вимоги рівного часу дотику уздовж оброблюваної поверхні вичислений час відстою полягав 1,14 с., При закладеному в досвіді часі на затримку 1,2 с., постійно робилася геометрична форма циліндра з відхиленням не більше 1,5 мкм (рис. 5.3. в).

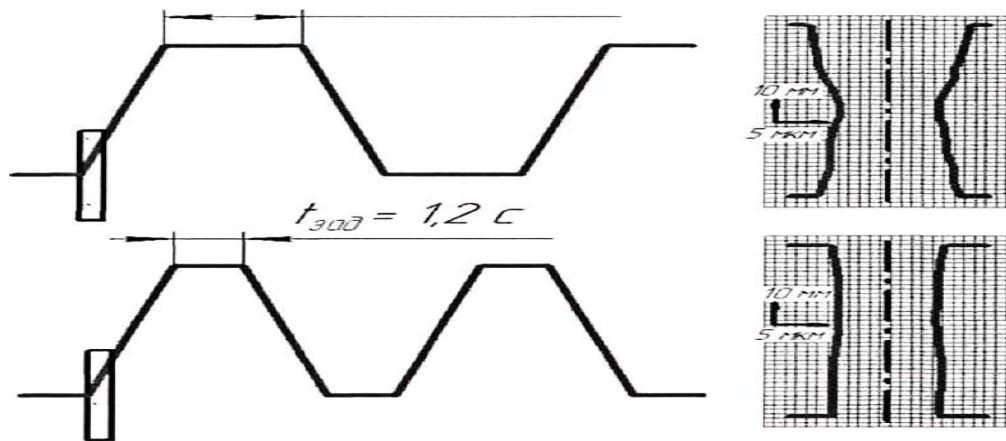


Рисунок 5.3 - Вплив часу затримки осьової подачі на відхилення профілю поздовжнього перерізу отвору.

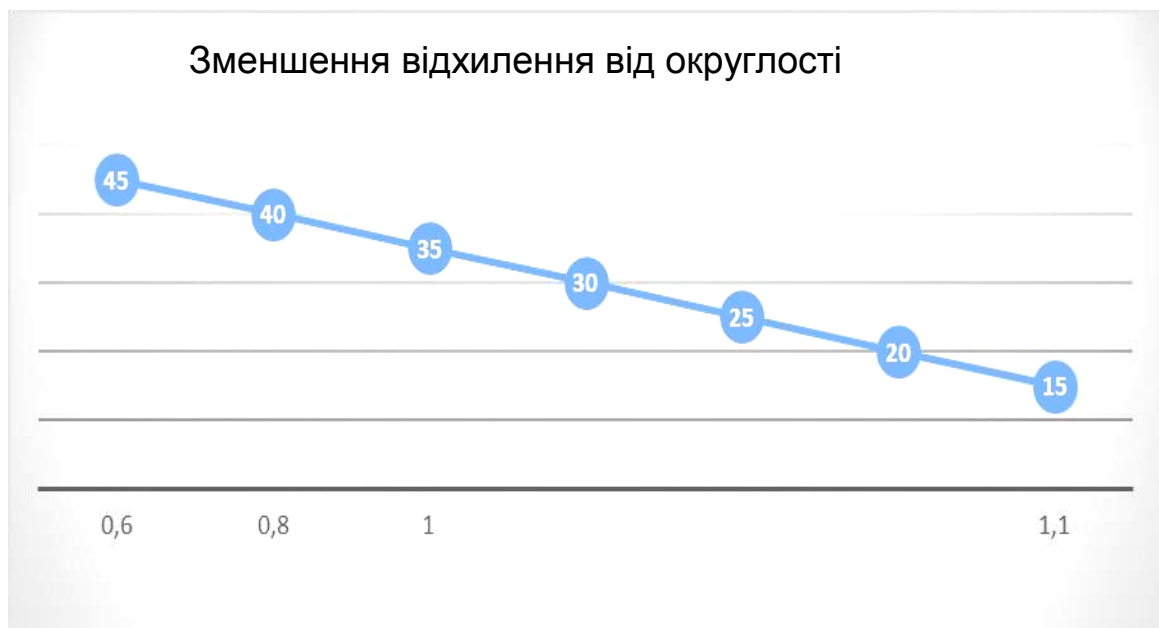


Рисунок 5.4 - Вплив кругової подачі на відхилення від округлості.

Збільшуючи кругову подачу до 45 об/хв ($K_{лр}=23,6$ мм/сек), похибка циліндричної поверхні осцилює. Можна зробити висновок, що за допомогою растрового хонінгування регулюючи режими обробки циліндра поворотно-поступальних рухів (кругової та осьової подачі) найкращий спосіб керувати виготовлення необхідних параметрів за точністю обробки циліндричних отворів. Крім того, на точність хонінгування растровим методом добре впливає важкий характер траєкторії інструменту. Отже, траєкторії, що неодноразово перетинаються, без зміни напрямку найбільш ефективно

використовується ріжуча здатність брусків і забезпечується стабільне, рівномірне знос і стійкість інструменту.

5.2 Дослідження технології процесу хонінгування циліндричних поверхонь підвищення точності обробки.

Цей етап досліджень проводився з великим комплексом виявлення впливу основних технологічних налаштувань хонінгування на параметри точності геометричної форми циліндрів. Вивчено вплив співвідношення довжини брусків до довжини циліндрів, а також виготовлення циліндрів із двох сторін за способом взаємної оправки.

Величина осевого ходу (1X) та розмір перебігу інструменту. Налагодження режимів обробки дуже обмежена при хонінгуванні презеціальних отворів порівнянних із довжиною інструменту.

Таблиця 5.1. Співвідношення довжини брусків до довжини отвору

$D_{\text{отв}}$	$T_{\text{хон}} \text{ хв}$	$A_{\text{мет}} \text{ мкм}$	$L_{\text{изм}} \text{ мкм}$ (почат)	$D_{\text{изм}} \text{ мкм}$ (одерж)
0,5	1,5	60	4,5	2,5

0,83	0,5	20	4	0,8
------	-----	----	---	-----

Представлена схема на рис. 5.7. контакти інструменту при хонінгуванні високоточних отворів в контрольних кільцях.

При одиничному виробництві хонінгування коротких отворів розмір і діапазон налаштування осьового ходу (1X) дуже граничні можливими значеннями перебігання іструмента (тп). У дествительности розмір перебігання інструменту підбирають рівною 1/3 довжини бруска (1бр). Призначаючи великий розмір перебігання інструменту веде до «розвалу» отвору у кромок.

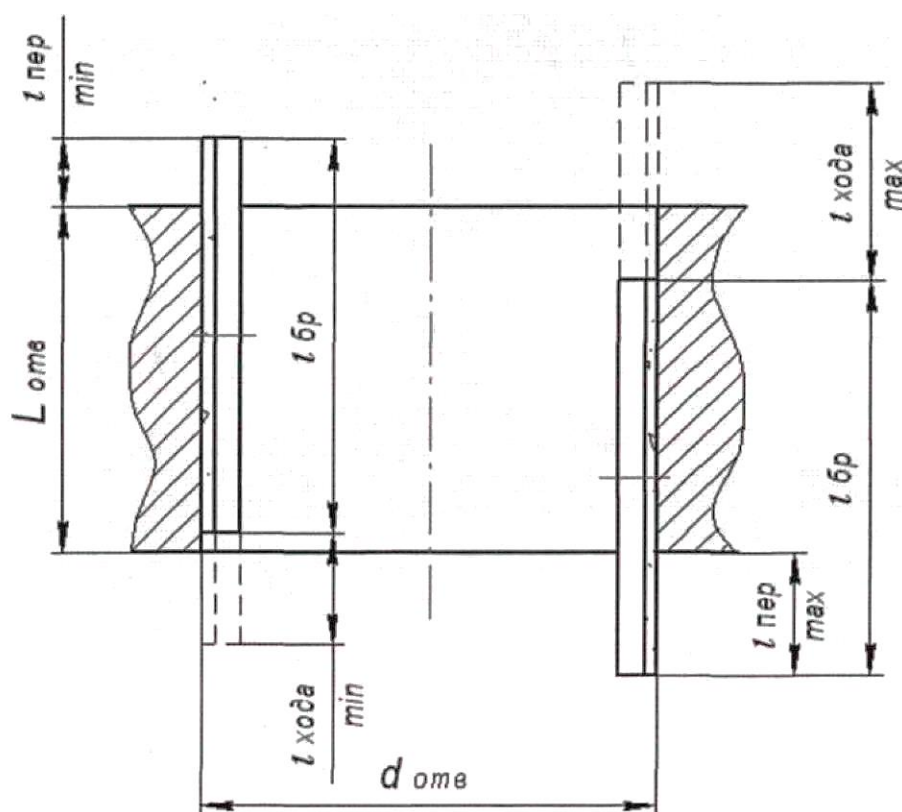


Рисунок 5.7 - Схема налагодження при хонінгуванні контрольного кільця
робочого руху представлена у розділі 4,

Малий розмір осьового пересування веде до локального контакту поверхні інструментів з оброблюваною стороною, інструмент контактує лише з верхньою

стороною отвору, а низ з нижньою частиною циліндрів. У результаті робиться нерівномірний зріз і вироблення інструменту, і великому повторенню початковому відхиленню геометричної форми.

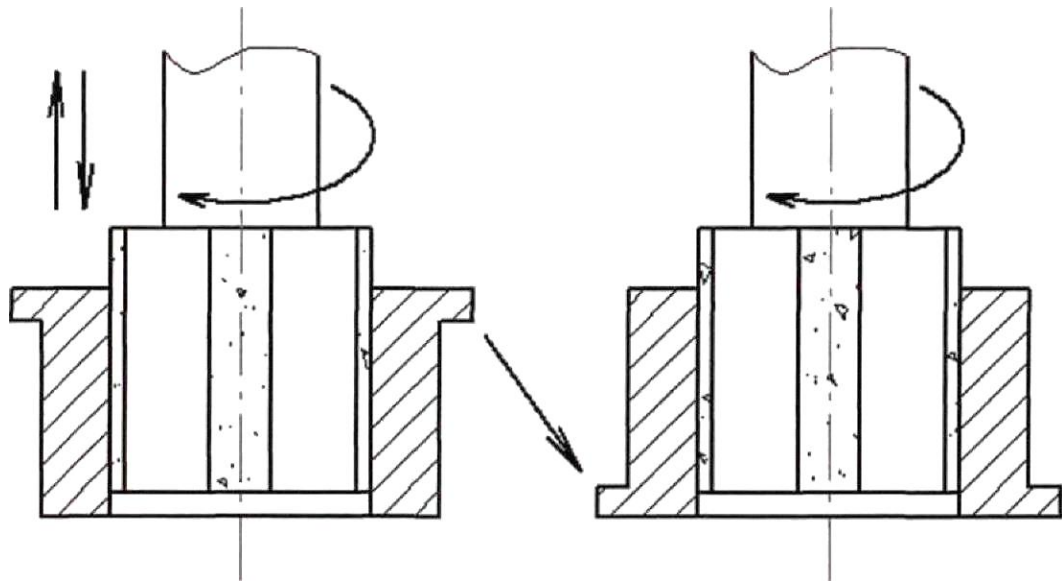


Рисунок 5.8 - Схема хонінгування за методом взаємної правки

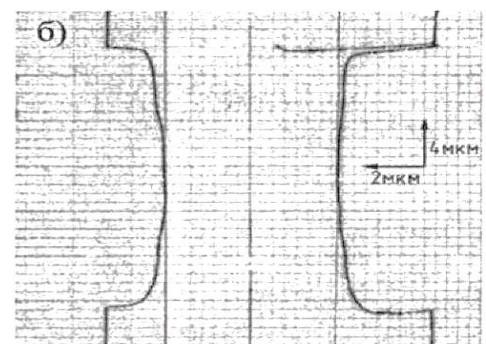
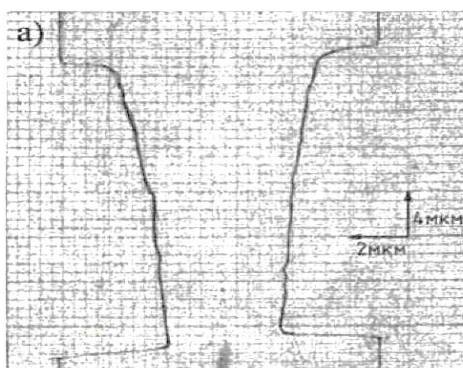
Періоди хонінгування ($T_{хон}$) також їх ділять на два види підперіоду ($T_{хон} = T_1 + T_2 + T_3$), в усіх них обробляється з різних сторін. Цей метод призводить до рівномірного контакту робочої поверхні інструменту по усій ділянці деталі. З допомога цього ефекту взаємної правки невилує виправлення початкової погрішності отвору і разом з цим підвищує точність геометричної форми робочої частини брусків, що веде до зниження вимог до точності виготовлення інструменту.

Окрім цього при двохсторонньому хонінгуванні практично абсолютно забирається погрішність наладки, різне перебігання інструменту впливає на точність форми. Цей спосіб значно ефективний під час обробки, коли довжина отвору дорівнює довжині брусків.

Цей спосіб перевірено на отворах $D=18$ мм. Виготовляли одночасно два кільця з жорсткою установкою хон голівки. Під час хонінгування великої кількості необхідно використовувати інструмент із шарнірним закріпленням. Недоліки збільшений припуск внаслідок початкової похибки геометричної форми деталі.

Під час обробки отвору з одного боку відбувається неповне копіювання відхилення форми хонголівки. Підсумки представлені на рис. 5.9.а, 5.10.а. Похибка геометричної форми (конусоподібність) обробленого отвору становить $1,5 - 1,8$ мкм.

При обробці способом взаємної правки за час першого підперіоду (T_2) зрізається головний припуск. Після розвороту деталі, тобто у другому підперіоді час на обробку (T_2) вказується у співвідношенні від відхилення $L_{пр}$ форма деталі після першого підперіоду та швидкість зрізу металу мкм/хв. У першому періоді T_2 час можна вивести з виразу $T_2 = 2A_{пр}/()$ (хв).

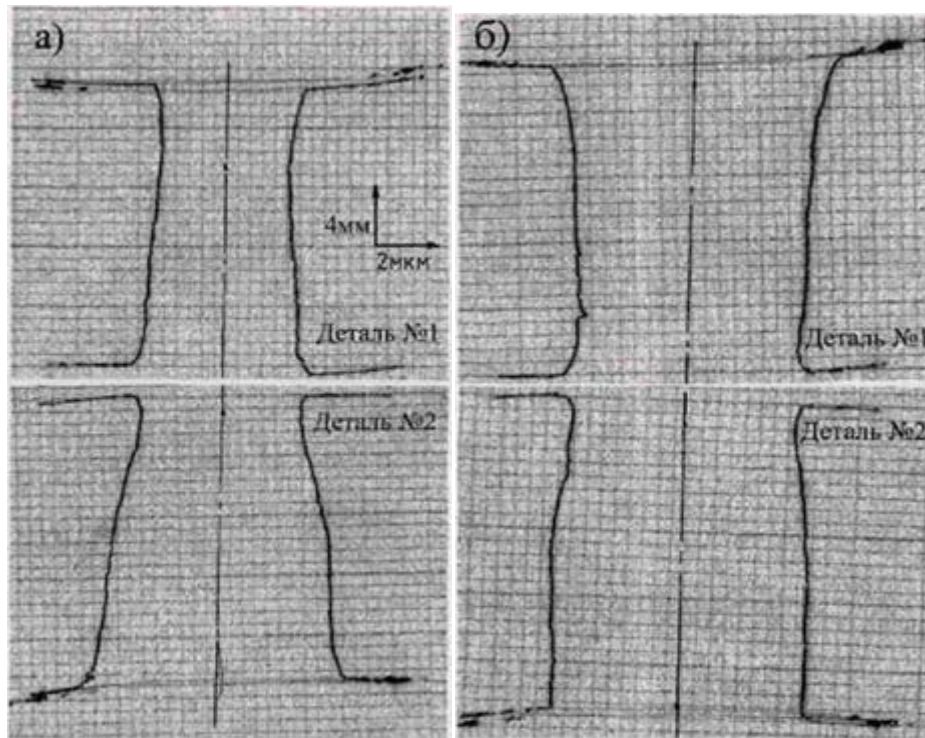


а) Хонінгування без перевероту $A_s=1,5$ мкм б) Хонінгування зі взаємною правкою

Рисунок 5.9 – Результати експерименту. Бруски КМ40/28-М5-22-50%

Рінстр - 15 мкм, $P = 1$ Мпа

У кожному експерименті профилорами і круглогами реєстрували після обробки жорстко закріпленими брусками і після фінішної обробки еластичним інструментом.



а) хонінгування «пакетом» б) Хонінгування із взаємною $L_{п}/\geq 1,8$ мкм правкою
«пакетом» $L_{п}/p=0,8$ мкм

Рисунок 5.10 – Результати експерименту. Бруски КМ40/28-М5-22-50% $1X=22$ мм,
 $P=1$ Мпа

Необхідно помітити, що кожен досвід вівся при хонінгуванні
за способом взаємної правки.

Ця різноманітність початкових погрешностей геометричної форми отворів, як за розміром, так і по різновиду наводить нас на висновок про вигідне заміщення операції предаврительного шліфування найбільш ефективною обробкою попереднього хонінгування. При цьому попереднє хонінгування може робитися на подібному устаткуванні з такими ж налаштуваннями тільки замінивши хонинговальную голівку і бруски.

5.3 Мікронерівності і методи впливу на її параметри

Під час обробки хонінгуванням відбувається зрізання початкової шорсткості та виробництво нової, притаманної даних режимів обробки. У процесі растрової обробки загальні закони впливу технологічних параметрів на величину мікрорельєфу обробленої поверхні схожим результатом традиційної обробки. Основним параметром визначальним величину мікрорельєфу виявляється зернистість інструменту. Мікрорельєф циліндра збільшується пропорційно зростанню розміру частинок абразиву. Швидкість обробки та тиск інструменту (при зміні в межах робочого діапазону) помітного впливу на величину мікрорельєфу хонінгованої поверхні не впливають.

На формоутворення шорсткості поверхні, що виготовляється, при хонінгуванні з растровою кинематикой робочого руху воздествует на щільність і кут сітки володеющи щедрим діапазоном налаштувань (глава 2, розділ 2.4.). У указаних діапазонах - від 30° до 60° кут сітки не впливає важливої дії на величину мікрорельєфу відмінністю мікрорельєфу в подовжньому і поперечному напрямі відмітно при зв'язку амплітуди коливань менше 0,25. Співвідношення амплітуд коливань В/А біля одиниці, структура поверхні, що виготовляється, встановлюється ізотропною. Кути сітки наближаються до нуля, мікрорельєф збільшується, а продуктивність зрізузначно знижується. При співвідношенні $U_v / U_{кр} < 0,6$ кут сітки знаходиться параметрами коливальних рухів.

У таблиці 5.2., 5.3. і на рис.5.11. вказані підсумки дослідів дії щільності (q) сітки шлях на режими мікрорельєфу оброблюваної деталі для двох зернистостей брусків КР 80/63 і ІСМ 40/28. Деталь з матеріалу чавун G 190B, HRC > 57.

Таблиця 5.2. Зміни величини R_a і cr від щільності сітки

Бруски КР 80/63-М5-22-100%						
$q, \text{мм}^{-1}$	0,06	0,1	0,3	0,7	1	3
$R_a, \text{мкм}$	0,24	0,22	0,20	0,171	0,16	0,15
$crR_a, \text{мкм}$	0,0245	0,0225	0,018	0,016	0,015	0,0135

Таблиця 5.3. Зміни величини R_a і cr від щільності сітки

Бруски КМ 40/28-М5-22-50%						
$q, \text{мм}^{-1}$	0,06	0,1	0,3	0,7	1	3
$R_a, \text{мкм}$	0,15	0,146	0,130	0,124	0,110	0,105
$crR_a, \text{мкм}$	0,009	0,007	0,0065	0,006	0,005	0,005

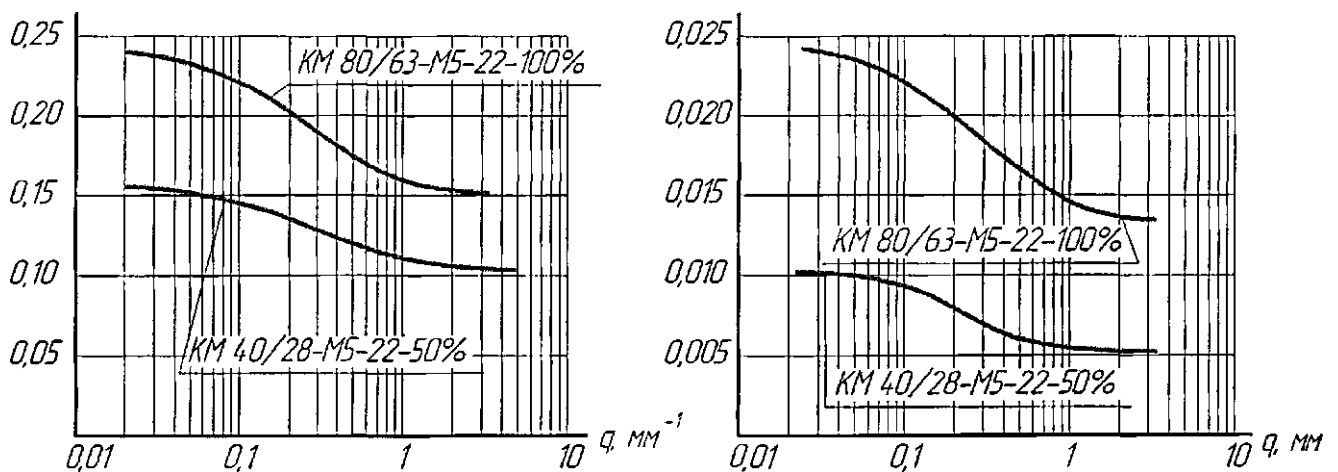


Рисунок 5.11 -Вплив щільності сітки на параметри шорсткості

при растровому хонінгуванні

Виведені підсумки вказують, що щільність сітки шляху впливає на величину мікрорельєф по параметру Ra.

З усього вище перчисленного можна зробити висновок, що основною гідністю растрового методу хонінгування виявляється можливість технологічного постачання необхідним розміром шорсткості поверхні, що виготовляється, шляхом дії параметрами і настройками траєкторіями - кутом і щільністю сітки, також виробляти циліндричні поверхні з мінімальними погрішностям геометричної форми при значно інтенсивній продуктивності процесу.

ВИСНОВКИ

Висновки з виконаної роботи в поставлених дослідках та дослідженнях растрової кінематики в процесі обробки блоку циліндрів, проаналізувавши весь обсяг роботи можна підкреслити переваги та недоліки цього виду обробки в рамках остаточної обробки.

1. Растровий метод при обробці блоку циліндрів проаналізовано в математичній моделі рух алмазних зерен, така траєкторія можлива при певній швидкості руху інструмента. Характеристики верстата, габаритні розміри деталі всі ці умови впливають на підбір коливальних частот та амплітудних значень.
2. В остаточній обробці за допомогою растрової кінематики є суттєві переваги, такі як можливість впливу на оброблювану поверхню налагодження щільності сітки та мікрорельєфу циліндрів.
3. Хонінгування растровим методом дозволяє досягти високої точності за допомогою налаштування кінематичних траєкторій та рухів подач таким чином, щоб не змінювати параметри головного руху різання. Похибки геометричної форми нівелюються за допомогою швидкостей подач при ірраціональних співвідношеннях лімітує цю можливість тільки гнучкість та налагодження обладнання. Для досягнення технічних вимог геометричної форми в поздовжньому розрізі налаштовується перебіг інструмента, налагоджується розмір ходу інструменту за відносного часу затримки інструменту при поворотно-поступальному русі. Затримка розраховується з умов довжини оброблюваної поверхні та від співвідношення перебігу інструменту.
4. З поставлених дослідів видно виробничу раціональність використання даної технологією остаточної обробки на лінії «Nagel», при цьому способі обробки досягається правка брусків і точність, мікрорельєф поверхні, що обробляється. Що призводить до покращення різання самого інструменту його стійкості та економічного ефекту.

5. Досліди ставилися на одному виді матеріалу – це чавун марки G 190B, чавунний блок циліндрів відлиті на металургійному виробництві автоваза. Однак дослідження показали універсальність даного методу хонінгування обробку даним способом можна проводити і на високовуглецевих, хромистих і загартованих сталях. Так само було проведено порівняльний аналіз інструмент із синтетичного алмазу та (КНБ-кубічного нітриду бору), дослідження в результаті показали перевагу КНБ над інструментом із синтетичного алмазу.

6. При обробці блоку циліндрів існує перехідна операція перед тим як розпочати фінішну обробку, блок проходить попереднє хонінгування зі зняттям припусків на даній операції резонніше використовувати інструмент із зернистістю 50/40, на металоцилікатній зв'язці з кубічного нітриду бору з концентрацією зерна 100% (100%) -01 100%). Для фінішної обробки або так званої (чистої) підбирається інструмент виходячи з параметрів оброблюваного матеріалу, для такого виду обробки резонно використовувати інструмент з каучукової зв'язки Pli, P11T, з концентрацією 50% і зернистістю 40/28 або 28/20.

7. У ході експерименту було виявлено явище при якому зрізана частина матеріалу створює задирок, який надалі знімається за рахунок осциляції інструменту, що рухається по растрової траєкторії. Тиск на оброблювану поверхню та розміри мікрозадирок не впливає і не більше 3-5 мкм, така величина легко забирається інструментом на основі каучукової зв'язки.

СПИСОК ВИКОРИСТОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абразивная и алмазная обработка металлов. Справочник. Под ред. А.Н.Резникова. М., «Машиностроение», 1977. -391 с.
2. Акмаев О.К. Устранение изогнутости оси отверстия при прецизионном хонинговании. //СТИН. 2007. №11. с. 21 - 25.
3. Аксельруд И.Д. К вопросу механизации процесса доводки глухих прецизионных отверстий. Труды ЦНИТА , 1974, вып. 63. с. 58 — 64
4. А.с. № 563275. БИ., №24. М., 1977. Хонинговальный станок /Зотов С.С., Никитин Н.Е., Власенко А.В.
5. А..с. № 288587. БИ, №36. М., 1970. Привод шпинделя хонинго- вального станка./ Ризванов Ф.Ф.
6. А.с. № 378313. Б.И. №19. М. , 1973. Устройство для сообщения колебательного движения хонинговальной головке. / Воробьев И.К., Давыдов П.А., Сандалов А.В.
7. А.с. № 483233. БИ, № 33. М.. 1975. Адаптивный привод хонинго- вального станка. /Муратов Р.А., Некрасов В.П.
8. А.с. № 1509235. БИ, № 35. М., 1989. Хонинговально-доводочный станок. /Муратов Р.А.
9. Бабаев С.Г., Мамедханов Н.К., Гасанов Р.Ф. Алмазное хонингование глубоких и точных отверстий. М.: Машиностроение, 1978.—103 с.
- 10.Бабичев А.П. Хонингование. М.: Машиностроение, 1965.- 97 с.
- 11.Биберман ЛМ. Растры в электрооптических устройствах. М. ;Энергия. 1969.
- 12.Богомоллов Н.И. Сущность процесса абразивной доводки. - В кн.: Передовая технология и автоматизация управления процессами обработки

деталей машин. Л.: Машиностроение, 1970.

13. Богомолов Н.И. Некоторые закономерности процесса шлифования металлов. — В сб.: Синтетические алмазы в промышленности. Киев,: «Науко-ва думка», 1974.

14. Бриллюэн Л. Научная неопределенность и информация. М.: Мир, 1966.- 271 с.

15. Вopilкин Е. А. Расчет и конструирование механизмов приборов и систем. М., «Высшая школа», 1980.—463 с.

16. Вопросы расчета и конструирования оснастки, обеспечивающей повышение точности при хонинговании. - Труды УАИ, вып. 44, Уфа, 1973.

17. Воронов С. А. Разработка математических моделей и методов анализа динамики процессов абразивной обработки отверстий. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Москва, 2008. - 33 с.

18. Горюнов Ю.В., Перцев Н.В., Сумм Б.Д. Эффект Ребиндера. М.: Наука, 1966.

19. Добровольский В.В. Теория механизмов для образования плоских кривых. М.; 1953. 20. Доводка прецизионных деталей машин. Под ред. Г.М. Иполитова. М.: Машиностроение, 1978.—256 с.

21. Дяченко А. Н., Аксельруд И.Д., Мельник В.П. К вопросу создания математической модели процесса доводки отверстий свободным абразивом. - Труды ЦНИТА, вып. 76, 1980. с. 15-22.

22. Ермаков Ю.М. Перспективы эффективного применения абразивной обработки. Обзор. М.: НИИмаш, 1982.

23. Затуловский Д.М, Ходырев В.И. Процесс вибрационного хонингования в зоне звуковых частот. //Станки и инструмент, №6, 1968. с. 19-21.

24. Зиновьев А.Л., Филиппов Л.И. Введение в теорию сигналов и цепей.

М.: Высшая школа, 1968.—280 с

25.ИсаковА,Э, Хонингование с дозированной подачей и оборудование для его реализации. //Хонингование цилиндрических и фасонных поверхностей. Пермь, 1988.С.64-67

26.Кащеев В.Н. Процессы в зоне фрикционного контакта металлов.

М.: Машиностроение, 1978.

27.Коновалов И.Т. Влияние вынужденных колебаний брусков на процессе хонингования.//Станки и инструмент №12, 1965. с.8-9.

28.Кравченко Б.А., Нерубай М.С., Старков Ю.В. Алмазное хонингование с

применением ультразвуковых колебаний. //Алмазы №8, 1983.

29.Крагельский И.В., Трение и износ. М.: Машиностроение, 1968.—480 с.

30.Кремень З.И. Прогрессивная технология хонингования и суперфиниширования. М.: Машиностроение, 1978.—52 с.

31. Греков, В.И. Роторная вибродоводка свободным абразивом [Текст] / В.И. Греков // Станки и инструмент. - 1978. - № 5. - С. 30-31.

32. Некрасов, В.П. Растровый способ абразивной доводки [Текст] / В.П. Некрасов // Машиностроитель. - 1977. - № 5. - С. 15.

33. Муратов, К.Р. Экспериментальные исследования методов хонингования [Текст] / К.Р. Муратов, А.М. Ханов, Е.А. Гашев // Поиск эффективных решений в процессе создания и реализации научных разработок в российской авиационной и ракетно-космической промышленности: междунар. науч.-практ. конф. - Казань, 2014. - С. 406-409.

34. Марков, А.И. Ультразвуковое алмазное хонингование сталей [Текст] / А.И. Марков, П.А. Ермак // Сверхтвердые материалы: тез. докл. междунар. семинара. - Киев, 1981. - Т. 2. - С. 52-55.

35. Маслов, Е.Н. Теория шлифования материалов [Текст] / Е.Н. Маслов. - М.: Машиностроение, 1974. - 320 с.