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

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

## «Впровадження платовершинного алмазного хонінгування для обробки гільз циліндрів ДВЗ»

Рівень вищої освіти *перший бакалаврський*
Галузь знань *13 Механічна інженерія*
Спеціальність *132 Матеріалознавство*
Освітня програма *Відновлення та технічний сервіс автомобілів*

Шифр ***КвРМТВА. 26 22018.000 ПЗ***

Виконав студент *4* курсу група *МТВАз-22-1* _____ *Денис МАЧУЛЬСЬКИЙ*
Підпис

Керівник *к.т.н., доцент каф. ТАМ* _____ *Олег БАБАК*
Підпис

Нормоконтролер
*к.т.н., доцент каф. ТАМ* _____ *Олег МАКОВКІН*
Підпис

**До захисту допускаю:**
Завідувач кафедри *ТАМ*
10. 06 2026 _____ *Олександр ДИХА*
Дата Підпис

Хмельницький, 2026

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет *інженерії, транспорту та архітектури*

Кафедра *трибології, автомобілів та матеріалознавства*
Галузь знань *13 «Механічна інженерія»*
Спеціальність – *132 «Матеріалознавство»*
Рівень вищої освіти – *Перший бакалаврський*
Освітньо-професійна програма – *«Відновлення та технічний сервіс автомобілів»*

**ЗАТВЕРДЖУЮ**
**Завідувач кафедри** *ТАМ*
*проф., д.т.н. Диха О.В.*
*15 04* 2026 року

# З А В Д А Н Н Я
## НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

*Мачульському Денису Олеговичу*
Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи *« Впровадження платовершинного алмазного хонінгування для обробки гільз циліндрів ДВЗ»*

керівник роботи *Бабак Олег Петрович к.т.н., доцент*.
Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання
Затверджено наказом ректора університету від *8 січня* 2026р. № *7(Д14)*

2. Строк подання студентом роботи на кафедру *10 червня 2026 року*

3. Вихідні дані до роботи *Матеріали переддипломної практики; робочі креслення досліджуваних деталей; нормативно – технологічна документація по розбиранню, дефектації, складанню і регулюванню вузла дослідження; вимоги з охорони праці і безпеки роботи при виконанні ремонтних робіт; техніко – економічні показники роботи підприємства.*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
*1. Аналіз стану питання. Платовершинне хонінгування гільз блоку циліндрів двигуна внутрішнього згоряння; 2. Устаткування платовершинного хонінгування; 3. Коротка характеристика інструменту платовершинного хонінгування; 4 Контрольно-вимірювального обладнання параметрів платовершинного хонінгування; 5. Розрахунок залежності переміщення хон брусків у гільзу блоку циліндрів від зусилля, прикладеного до штока у програмі CATIA; 6. Дослідження мікрогеометрії поверхні дзеркала циліндра ДВС, аналіз впливу зносу інструменту на параметри шорсткості.*

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)
*Графічна частина роботи представлена у вигляді презентації на слайдах*

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання ---- 15.04.26

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва розділу кваліфікаційної роботи | Строки виконання | Примітка |
|---|---|---|---|
| 1 | *Літературний огляд* | *20.05.2026* | |
| 2 | *Технологічний розділ* | *25.05. 2026* | |
| 3 | *Конструкторський розділ* | *30.05. 2026* | |
| 4 | *Оформлення розрахунково–пояснювальної записки* | *2.06. 2026* | |
| 5 | *Оформлення презентації кваліфікаційної роботи* | *5.06. 2026* | |
| 6 | *Нормоконтроль кваліфікаційної роботи* | *9.06. 2026* | |
| 7 | *Підписання розділів. Затвердження дати захисту* | *10.06. 2026* | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

**Студент** _____ Підпис _____ *Денис МАЧУЛЬСЬКИЙ* Ім'я, прізвище

**Керівник роботи** _____ Підпис _____ *Олег БАБАК* Ім'я, прізвище

# РЕФЕРАТ

Випускну кваліфікаційну роботу виконано студентом гр. МТВАз 22-1 Мачульським Денисом Олеговичем на тему: «Впровадження платовершинного алмазного хонінгування для обробки гільз циліндрів ДВЗ».

Дані, які відображають сутність, методологію та основні результати випускної роботи, наводяться в основній частині кваліфікаційної роботи.

Це дослідження стосується того, як зношування інструменту впливає на параметри шорсткості при платовершинному хонінгуванні.

Дипломна робота є комплексною та складається з шести розділів:

1. Дослідження стану проблеми платовершинного хонінгування гільз блоку циліндрів двигуна внутрішнього згоряння;
2. Техніка для хонінгування платовершинної поверхні;
3. Інструмент для хонінгування платовершинної поверхні;
4. Плато вершинного хонінгування для контролю та вимірювання;
5. Розрахунок за допомогою комп'ютерних технологій, зроблених у CATIA, щоб визначити, наскільки залежить зусилля, прикладене до штока, від переміщення хон-брусків на хонінговану поверхню гільзи блоку циліндрів.
6. Дослідження мікрогеометрії поверхні дзеркала циліндра ДВЗ, вивчення впливу зношування інструменту на параметри шорсткості

У першому розділі представлено короткий опис різних підходів до отримання мікрогеометрії дзеркала циліндра. Розглянуто критерії якості одержуваної поверхні, характеристики блоків циліндрів і потенційні дефекти поверхневого шару, що виникають під час обробки.

У другому розділі буде розглянуто обладнання для хонінгу платовершинного типу, а також тенденції розвитку хонінгувальних верстатів у закордонних країнах. У третьому розділі розглядаються різні види інструментів для платовершинного хонінгування, а також їхні специфікації та назви.

У четвертому розділі розглядається обладнання для вимірювання як параметрів шорсткості, так і параметрів платовершинного хонінгування.

У п'ятому розділі розраховано зусилля, прикладене до штока у програмі CATIA, яке залежить від переміщення хон брусків у гільзу блоку циліндрів.

У шостому розділі досліджено параметри мікрогіометрії поверхні дзеркала циліндра ДВЗ, проведено аналіз впливу зносу інструменту на параметри шорсткості, а також зроблено порівняльний аналіз керамічних інструментів із фінішної операції платовершинного хонінгування різних виробників щодо стійкості та витрат на одиницю виробленої продукції.

Структура та масштаби КРБ

Зміст КРБ, вступ, шість розділів, висновки та список використовуваних джерел. Дослідження складається з 94 сторінок, які містять 41 рисунок і 21 таблицю.

Ключові слова: ХОНІНГУВАННЯ, ВПЛИВ ЗНОСУ ІНСТРУМЕНТУ, ПАРАМЕТРИ ШОРСТКОСТІ, ГІЛЬЗИ БЛОКУ ЦИЛІНДРІВ.

ЗМІСТ

Вступ……6

1. Аналіз стану питання. Платовершинне хонінгування гільз блоку циліндрів двигуна внутрішнього згоряння……..12

1.1 Специфікація компонентів ДВЗ та технології платовершинного хонінгування.

1.2 Опис технологічного процесу плато вершинного хонінгування……..12

1.3 Критерії якості процесу хонінгування……..15

1.4 Створення борозден при хонінгуванні……..20

1.5 Орієнтація борозден при хонінгуванні……..23

1.6 Кут хонінгування……..24

1.7 Якість поверхні……25

1.8 Дослідження якості поверхні циліндра ДВЗ під растровим електронним мікроскопом та методом світлової мікроскопії……26

1.9 Побудова операцій хонінгування……...35

1.10 Коротка характеристика блоку циліндрів ДВЗ……..36

1.11 Поліпшення процесу тертя циліндра ДВЗ……37

2. Устаткування платовершинного хонінгування ……39

2.1 Характеристика обладнання платовершинного хонінгування……..39

2.2 Тенденція розвитку хонінгувальних верстатів за кордоном……..42

3. Коротка характеристика інструменту платовершинного хонінгування...46

3.1 Абразивні бруски……46

3.2 Абразивний матеріал……..46

3.3 Зернистість……49

3.4 Вид зв'язки……..52

3.5 Алмазні бруски……..54

3.6 Зернистість алмазних порошків……56
3.7 Концентрація алмазів…….59
3.8 Зв'язування…….…….60
4 Контрольно-вимірювального обладнання параметрів платовершинного хонінгування……..…61
4.1 Характеристика контрольно-вимірювального обладнання параметрів платовершинного хонінгування……61
4.2 Крива Аббота……..….63
5. Розрахунок залежності переміщення хон брусків у гільзу блоку циліндрів від зусилля, прикладеного до штока у програмі CATIA……..….65
5.1 Опис конструкції…….65
6. Дослідження мікрогеометрії поверхні дзеркала циліндра ДВЗ, аналіз впливу зносу інструменту на параметри шорсткості……..….73
6.1 Матеріали та методи……..73
6.2 Вплив зносостійкості інструменту на стандартні параметри шорсткості.74
6.3 Заміри шорсткості та аналіз мікрогеометрії у трьох точках висоти Н1, Н2, Н3……..…75
6.4 Аналіз впливу зносостійкості керамічного інструменту з характеристиками SCG 320 20 Ke 6268/F=03 на стандартні параметри шорсткості……..……77
6.5 Аналіз впливу зносостійкості керамічного інструменту з характеристиками 63CM28 M9 V на стандартні параметри шорсткості……..79
6.6 Методика оцінки та застосовуване обладнання……..……..80
6.7 Оцінка параметрів шорсткості дзеркала циліндрів з використанням керамічних брусків різних виробників……85
6.8 Порівняння характеристик інструменту двох виробників…….…..86
6.9 Економічний ефект……86
ВИСНОВОК…….89
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……..……91
ДОДАТКИ…….……..94

# ВСТУП

Актуальність питання. Платовершинне хонінгування є одним із методів механічної обробки, який швидко розвивається та залишається актуальним. Застосовується для остаточної обробки ріжучих поверхонь і циліндричних отворів. Економічний і високопродуктивний, але знос інструменту є одним із змінних процесу обробки. Для галузі ресурсозбереження та, особливо, для масового виробництва, дослідження методів підвищення зносостійкості інструменту або способів зниження його витрат є важливими. Це також стосується підвищення якості виробів машинобудування, яке супроводжується зростаючими вимогами до вдосконалення технологій їх виготовлення.

Фінішні методи абразивно-алмазної обробки, такі як шліфування та хонінгування, відіграють важливу роль у вирішенні завдань технологічного забезпечення якості деталей і виробів. Хонінгування, яке використовується переважно для остаточної обробки циліндричних отворів, є одним із згаданих методів обробки, який широко використовується [1 с. 18].

Привабливість хонінгування пояснюється продуктивністю та високими техніко-економічними показниками, досить ґрунтовною його вивченістю та досвідом застосування у технології металообробки, наявністю відповідного технологічного оснащення – обладнання, інструменту, складу технологічних рідин. Розробка нових, більш досконалих конструкцій інструментів хонінгувальних головок, абразивних брусків, які мають більш привабливі характеристики, включає використання нових матеріалів абразивних зерен, форму та орієнтацію брусків, а також нові види сполучних абразивних брусків [2 с. 25].

На даний момент виконано значну кількість досліджень як у нашій, так і за кордоном, які досить повно описують різні аспекти досліджуваного процесу. Світові дослідники внесли значний внесок у розвиток і дослідження методу

обробки платовершинного хонінгування: С.І. Куликова, Ф.Ф. Рівзанова, В.А. Романчука, С.В. Ковалевського, Н.М. Бобровського, І.М.Бобровського, О.М. Табєнкіна, В.А. Жукова, А.П. Бабічова, Ю.М. Полянчікова, А.В. Славіна, В.М. Шум'ячера, М.Ю. Полянчікова, Л.В. Гусакова, Волоценко, О.Л. Воронова, С.Г. Бабаєва, С.М. Степанова, О.М., С.Б. Тарасова, В.М. Давидова, Ф.В. Новікова, В.Г. Шкурупія, В.Л. Баранова, В.М. Лаврухіна, Н.В. Третьякова, І.Х. Чеповецького, В.Л.Стріжакова, А.В. Бараболя, а також зарубіжних вчених Ф.Кабанетес (F. Cabanettes), З.Димковського (Z. Dimkovski), Б.Г.Росена (B.-G. Rosén), М. Юсфі (M. Yousfi), С. Мезгані (S. Mezghani), І. Демірсі (I. Демірсі). Мансорі (M. El Mansori).

У роботах Ф. Кабанеца та З. Димковського представлено теорію впливу зносу інструменту на топографію поверхні та результати практичних досліджень на блоці циліндрів ДВЗ автомобіля Volvo (5 циліндрів).

Вивчення кожного параметру призвело до наступних результатів: у міру зношування інструменту для хонінгування середня ширина та висота канавки залишаються незмінними. Але параметр висоти досить мінливий. Платохонінгування впливає лише на поверхні верхнього шару. Базове хонінгування, яке відповідає за форму канавок, є більш постійним протягом досліджуваного періоду часу. Крім того, слід звернути увагу на те, що параметр, який показує глибину канавок, має більшу стійкість, ніж звичайний еквівалентний параметр шорсткості Svk. Плато-покриття поступово зменшується у міру зношування інструменту.

Згідно з даними спостережень, плато мають більше дефектних нерівностей на поверхні, таких як поглиблення. Крім того, воно підтверджує тенденції, які були виявлено під час аналізу стандартних параметрів. У міру зношування інструменту абразивні зерна округляються і прооруються, що є дуже помітним ефектом. Зміни топографії, викликані зносом хонінгувального інструменту, можна описати за допомогою обмеженої кількості параметрів шорсткості. Spk і Sk є найцікавішими параметрами для

прив’язки процесу виробництва та характеристик. Вони всі описують верхню поверхню.

На результати кореляції між параметрами шорсткості та зносу інструменту, мабуть, не впливає розташування вимірів. Інтенсивна шорсткість плато та пік (Sk, S pk) свідчить про проорання, а нерівності стають гострішими (Ssc). Вплив на канавки незначний (Svkta середня ширина канавки W).

Тим не менш, питання періодичності заміни інструменту поки що не повністю вирішені. Крім того, як вплив зносу інструменту на параметри шорсткості внутрішньої поверхні гільзи блоку циліндра, так і відсутність практичних рекомендацій щодо розумного використання інструменту під час платовершинного хонінгування (PVH), ця проблема є однією з небагатьох. Підготовка систематизованого матеріалу для хонінгування є надзвичайно корисною. Це прискорить вивчення процесів хонінгування та впровадження їх у виробництво нових режимів, високопродуктивних інструментів, обладнання та пристроїв.

Мета роботи. Розробка системи для розумного використання інструментів і зниження витрат для підвищення ефективності технології платовершинного хонінгування

Метою буде досягнуто шляхом використання методу оцінки параметрів шорсткості за кривими Аббота. За допомогою профілактографа будуть отримані параметри мікрогеометрії хонігованої поверхні дзеркала циліндра ДВС у трьох координатах (H1, H2 і H3) кожного циліндра з прив’язкою до дати заміни інструменту.

Після цього необхідно побудувати поле реальних значень параметрів мікрогеометрії. Надане поле буде обмежено верхньою та нижньою межами кривих Аббота. У цьому розділі ми можемо обговорити вплив зносу інструменту на параметри шорсткості.

Завдання для дослідження

1. Аналізувати та класифікувати інструменти для платовершинного хонінгування.

2. Проаналізуйте залежність шорсткості від стійкості та частоти заміни інструменту.

3. Порівняти результати шорсткості, стійкості та витрат на інструмент, отримані при використанні керамічних брусків на фінішній операції платовершинного хонінгування різних виробників.

4. Порівняйте склад керамічних брусків від двох виробників.

Об’єкт дослідження включає моделі та методи плато вершинного хонінгування, графічні та текстові зображення, вимірювання параметрів шорсткості зі складальної лінії ДВЗ із прив’язкою до дати заміни інструменту.

Дослідження включає порівняння характеристик інструментів, витрати на 10 000 деталей, графічні моделі та аналіз впливу зносу інструменту двох виробників на параметри шорсткості з моменту встановлення та до моменту відпрацювання.

Наукова новизна роботи: планується розробити рекомендації щодо вдосконалення технології хонінгування з точки зору інструментального чи технологічного.

Проведення дослідження та методологія

Дослідження включало спостереження за параметрами шорсткості у виробництві, що діє, а також метод вивчення досліджень платовершинного хонінгування в Росії та інших країнах. За допомогою спостереження в діючому виробництві можна провести практичне дослідження, щоб визначити переваги та недоліки методу обробки та матеріалу, що використовується, а також зменшити витрати на виробництво продукції.

Наукові позиції та результати досліджень, які підтримують

1. Аналіз двох виробників керамічних інструментів щодо залежності впливу стійкості та періодичності заміни інструменту на параметри шорсткості

2. Порівняння стійкості та витрат на інструмент для 10 000 деталей

на фінішній операції платовершинного хонінгу різних виробників

3. Аналіз складу керамічних брусків двох різних виробників

Структура та масштаби КРБ

Зміст КРБ, вступ, шість розділів, висновки та список використовуваних джерел. Дослідження складається з 90 сторінок, які містять 41 рисунок і 21 таблицю.

Дані, які відображають сутність, методологію та основні результати випускної роботи, наводяться в основній частині кваліфікаційної роботи.

Це дослідження стосується того, як зношування інструменту впливає на параметри шорсткості при платовершинному хонінгуванні.

Дипломна робота є комплексною та складається з шести розділів:

1. Дослідження стану проблеми платовершинного хонінгування гільз блоку циліндрів двигуна внутрішнього згоряння;

2. Техніка для хонінгування платовершинної поверхні;

3. Інструмент для хонінгування платовершинної поверхні;

4. Плато вершинного хонінгування для контролю та вимірювання;

5. Розрахунок за допомогою комп'ютерних технологій, зроблених у CATIA, щоб визначити, наскільки залежить зусилля, прикладене до штока, від переміщення хон-брусків на хонінговану поверхню гільзи блоку циліндрів.

6. Дослідження мікрогеометрії поверхні дзеркала циліндра ДВЗ, вивчення впливу зношування інструменту на параметри шорсткості

У першому розділі представлено короткий опис різних підходів до отримання мікрогеометрії дзеркала циліндра. Розглянуто критерії якості одержуваної поверхні, характеристики блоків циліндрів і потенційні дефекти поверхневого шару, що виникають під час обробки.

У другому розділі буде розглянуто обладнання для хонінгу платовершинного типу, а також тенденції розвитку хонінгувальних верстатів у закордонних країнах. У третьому розділі розглядаються різні види

інструментів для платовершинного хонінгування, а також їхні специфікації та назви.

У четвертому розділі розглядається обладнання для вимірювання як параметрів шорсткості, так і параметрів платовершинного хонінгування.

У п’ятому розділі розраховано зусилля, прикладене до штока у програмі CATIA, яке залежить від переміщення хон брусків у гільзу блоку циліндрів.

У шостому розділі досліджено параметри мікрогіометрії поверхні дзеркала циліндра ДВЗ, проведено аналіз впливу зносу інструменту на параметри шорсткості, а також зроблено порівняльний аналіз керамічних інструментів із фінішної операції платовершинного хонінгування різних виробників щодо стійкості та витрат на одиницю виробленої продукції.

# 1 Аналіз стану питання. Платовершинне хонінгування гільз блоку циліндрів двигуна внутрішнього згоряння

## 1.1 Специфікація компонентів ДВЗ та технології платовершинного хонінгування

Фінішна обробка, яка забезпечує точність розмірів, геометричної форми та мінімальну шорсткість обробленої поверхні, називається обробкою [3].

Більшість досліджень щодо змін шорсткості у виробництві регулюються законодавством та вимогами замовника. Таким чином, параметри процесу хонінгування, такі як: інженери націлені на створення двигунів з низькою витратою палива та низькими викидами. Одним із компонентів двигуна, який має потенціал для зниження тертя, є гільза циліндра. Відповідно до нещодавнього дослідження Холмберга та ін., поршневе складання відповідає за 45% втрат на тертя у двигунах легкових автомобілів. Покращення та регулювання шорсткості поверхні гільз, таких як параметри кривої Аббота, є одним із способів зменшити тертя.

Зазвичай використовується процес хонінгування для отримання поверхонь з хорошими функціональними можливостями для контакту кільця або гільзи, таких як тонкі поверхні та сітки.

Інструмент для хонінгування складається з набору хонінгувальних брусків, які притискаються радіально з зовнішньої частини. Машина створює сітчасту модель, одночасно обертаючи та обертаючи гільзу циліндра для хонінгування.

Атопографічні розкиди все ще існують у глобальних масштабах (різниця між блоками циліндрів) і локальних масштабах (верхня мертва точка, середній хід і нижня мертва точка гільз), незважаючи на досить вивчений і контролований процес хонінгування.

Вплив параметрів процесу хонінгування, таких як

час хонінгування та тиск [7];

швидкості розширення бруска [7];

розмір зернистості [8];

абразивний тип [20].

Зміни шорсткості в гільзі циліндра є основною темою багатьох досліджень. Однак оскільки серійне виробництво гільз є необхідним для спостереження за впливом зносу інструменту хонінгування, спостереження за його впливом можливе лише на діючих виробничих лініях.

У літературі спостереження за шорсткістю гільз циліндра проводяться на спрощених випробуваннях хонінгувальних стендів, зразках, виготовлених лабораторними хонінгувальними машинами, або на блоках циліндрів виробничих ліній.

Стандартні методи отримання кількох профілів із стілусом у верхній мертвій точці З такими вимірами виникає проблема з репрезентативністю результатів.

Спостереження можна провести шляхом отримання зображень за допомогою растрового електронного мікроскопа, показаного на рис. 1.1, або вимірів 3D-інтерферометра, показаного на рис. 1.2, щоб дослідити різні розташування всередині гільз. Але для цього потрібно різати блоки циліндра двигуна.

Спостереження, отримані за допомогою контрольних зображень за допомогою камер CCD з надчутливою матрицею, все ж проводяться та дозволяють уникнути деструктивних експериментів, але не проводиться звичайна оцінка поверхонь.

Рисунок 1.1 — Растровий електронний мікроскоп PEM JEOL JSM 6430F

Рисунок 1.2 Лазерний 3D сканер Nicon

Таким чином, критично обґрунтовані дослідження обмежені. Пропонується зіставити зміни шорсткості гільз циліндрів, які виникають через знос хонінгувальних інструментів. За допомогою неруйнівного методу швидкісного захоплення створюється тривимірна топографія блоків циліндрів, які були відібрані з поточної виробничої лінії.

Конфокальне вимірювальне обладнання може сканувати будь-яку ділянку гільзи циліндра легкового автомобіля, що означає, що є можливість отримати статистично достовірні дані для спостереження за впливом зношування хонінгувальних інструментів на топографії поверхні гільзи

циліндра [4 с. 5-6].

## 1.2 Опис технологічного процесу плато вершинного хонінгування

Виробництво малотоксичних двигунів з оптимізованими характеристиками є основною метою в автомобільній промисловості.

Текстура поверхні циліндра має значний вплив на функціональні характеристики двигуна, такі як тертя, знос і витрата масла. Ця текстура створюється за допомогою трьох етапів суперфінішного хонінгування, відомих як прецизійне розточування, чорнове хонінгування та чистове хонінгування [5].

Автоматичне платовершинне хонінгування включає два етапи обробки, щоб досягти бажаної структури та рівномірної поверхні:

- операція прецизійного розточування;
- Наступні операції хонінгування. Обробка проводиться у три етапи:

1. етап - прецизійне тонке розточування.

На цьому етапі метою є попередня обробка циліндрів, щоб забезпечити параметри макрогеометрії для створення висотних параметрів на наступних етапах.

Різальні пластини з кераміки, які мають стійкість 160–190 отворів, використовуються для обробки.

Згідно з припущенням, розмір становить від 0,15 до 0,25 мм. Обробка триває 10–12 секунд при швидкості 600 м/хв.

Якість поверхневого шару (Rz = 4–20 мкм) оцінюється за допомогою двоетапного чорнового хонінгування.

Задача цього етапу полягає в тому, щоб забезпечити рівномірність значень Rzi зведення розкиду в діапазоні від 12-15 мкм і створити умови для якісних показників на операціях чистового та напівчистового хонінгування.

На цьому етапі утворюються глибокі сліди хонінгування, однаково спрямовані, що утворює сітку дзеркала циліндра.

Крупнозернисті бруски розміром 100-160 мкм обробляються.

Величина припуска, що знімається, коливається від 0,05 до 0,15 мм і не впливає на кінцевий результат.

Різальна швидкість 50 м/хв. Обробка займає 25–30 секунд.

Якість поверхневого шару — Rz = 12-15 мкм 11. Три етапи включають чистове хонінгування.

У цьому етапі формоутворення плато (опорної поверхні) здійснюється шляхом видалення піків хонінгованої поверхні.

Плато хонінгується в два етапи, попередня і чистова обробка. У першому етапі крупнозернистий, м'який брусок хонінгується з напрямком обертання шпинделя вправо.

Швидкість різання становить 30 м/хв. Обробка займає від 15 до 20 секунд.

Припускні розміри становлять 0,015–0,025 мм. Якість поверхневого шару - Rz = 10-12 мкм2 стадія - дрібнозернистим хонінгувальним бруском, напрямок обертання шпинделя зворотний (ліворуч).

Алмазні або керамічні бруски з розміром зерен до 320 мкм використовують для обробки. Час обробки складає від п'яти до восьми секунд при тій же швидкості різання, що становить приблизно п'ять-шість робочих ходів.

Припускна величина становить 0,005 мм.

Якість поверхневого шару — Rz = 7–10 мкм

Напрям обертання шпинделя на всіх операціях формоутворення поверхні дзеркала циліндра змінюється на зворотний, щоб досягти частки відкриття графітових зерен, щоб досягти найкращого результату обробки та стабільності якості мікрогеометрії профілю відхонінгованої поверхні:

- при розточуванні до 10-15%;

- при чорновому хонінгуванні 16-18%;
- при отримувачовому хонінгуванні 20-22%;
- При чистовому платохонінгуванні до 27%.

При застосуванні керамічних брусків ці показники можуть зростати на 35–40% при отриманому хонінгуванні та на 50% при чистому платохонінгуванні [6].

Системи подвійної подачі, коли обидві операції хонінгу, включаючи зміну напрямку обертання шпинделя, виконуються безперервно в одній позиції, також відіграють важливу роль у досягнення якості.

При чистому хонінгуванні вузькими крупнозернистими алмазними брусками (наприклад, з розміром зерна Д 150 та низькою концентрацією) або керамічними брусками утворюються рівномірні однаково спрямовані сліди. Матеріал, що знімається, може мати максимальну довжину 0,015–0,025 мм.

Після напівчистового хонінгування після другої стадії операції піки поверхні забираються дрібнозернистими хонінгувальними брусками або алмазними брусками із зерном Д 30 за 3-4 робочі ходи з максимальним часом хонінгування 5–8 секунд. У результаті цієї процедури утворюється профіль плато.

У кожному наступному ступені операції змінюється напрямок обертання хонінгувальних шпинделів, щоб досягти кращого ефекту обробки та зменшити відшарування (особливо при алмазному хонінгуванні під високим тиском притискання).

Напівчистове і чистове хонінгування доцільно проводити один за одним в одній позиції обробки через певний час. Для досягнення цього було розроблено хонінгувальні інструменти з подвійною системою подачі. Це дозволяє виконувати обидві хонінгувальні операції, включаючи зміну напрямку обертання, у нерозривній послідовності. Можливість виконувати обидві операції за допомогою одного затискання є ще однією перевагою цього методу.

На верстатах хонінгу, розрахованих належним чином, виконуються інші хонінгувальні операції, які економічно вигідніші, ніж «плато»-хонінгування, за допомогою таких систем подвійної подачі [7, с. 113].

Для досягнення точності за розмірами за допомогою автоматичних вимірювальних пристроїв момент перемикання з напівчистового плато-хонінгування на чистове плато-хонінгування вибирається таким чином, щоб включити другу систему подачі, коли нижня межа заданого допуску на обробку досягнеться.

Чистове «плато»-хонінгування виконується лічильником ходів або автоматикою регулювання часу.

У результаті швидкого перемикання інструменту хонінгування постійно знаходиться в отворі, що запобігає неконтрольованій фазі процесу хонінгування.

У процесі окремих операцій обробки шорсткість поверхні дзеркала циліндра розвивається, як показано на рис. 1.3.

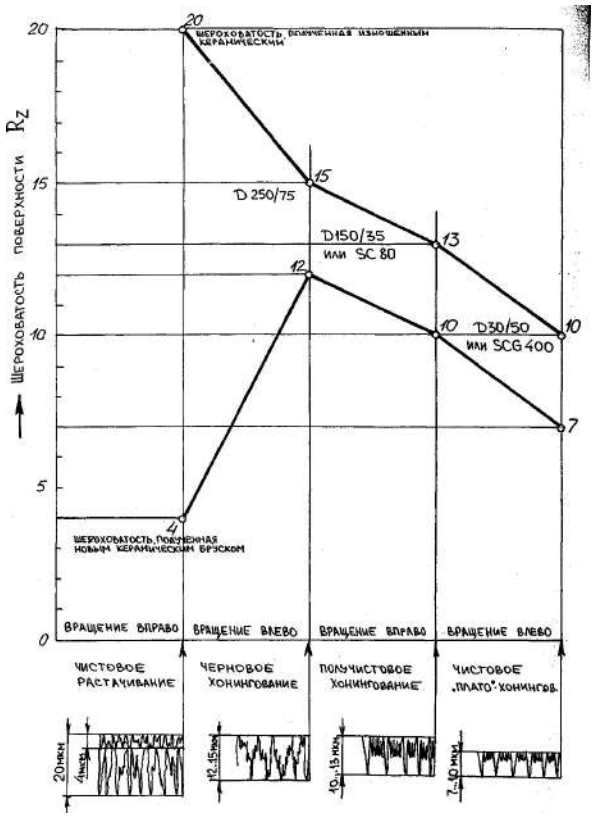
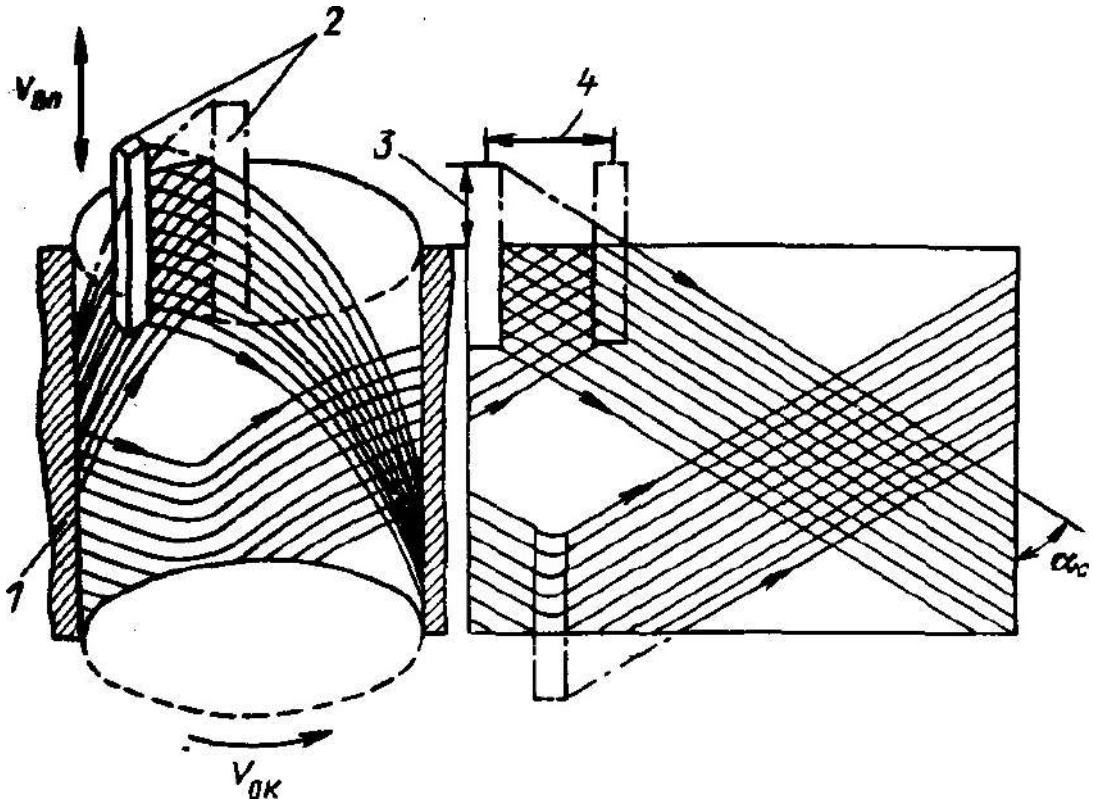



Рисунок 1.3 – «Розвиток» шорсткості поверхні дзеркала циліндра [7, с. 113].

Схема робочого руху хона представлена на рис. 1.4. Розжим брусків у радіальному напрямку при хонінгуванні відбувається на кожен подвійний хід хонінгувальної головки або безперервно під впливом постійного зусилля, або періодично [8, с. 59].




1 – деталь; 2 – брусок; 3 - перебіг; 4 - перекриття (Vок- окружна швидкість, Vвп- швидкість зворотно-поступального руху, αз- кут сітки)

Рисунок 1.4 – Схема робітничого руху хона [8, с. 59].

Хонінгування — це процес, при якому брусок постійно стикається з деталлю по всій робочій поверхні. Це відрізняється від шліфування, коли контактна поверхня становить лише незначну частину робочої поверхні кола. Під час хонінгування брусок спочатку додається до оброблюваної поверхні. Такий контакт пари брусків під час заготівлі підвищує продуктивність обробки та точність форми деталей. Тиск, який створюється при хонінгуванні поверхні бруска з деталлю, коливається від 0,1 до 1 МПа, що у

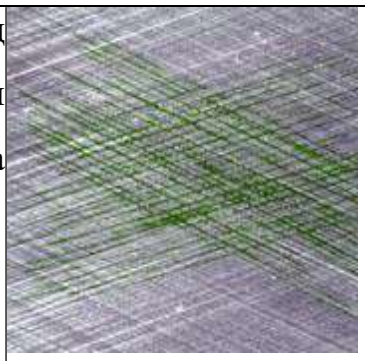
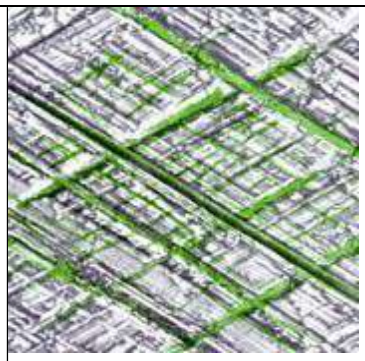
десять-сто разів менше, ніж при шліфуванні. Обробка брусками використовує швидкість різання 10-100 м/хв, що у 15-100 разів нижче, ніж при шліфуванні. Таким чином, тепловиділення в зоні обробки при хонінгуванні значно нижче, ніж при шліфуванні, а температура контакту не перевищує 150–200 °С. Таким чином, немає фізичних причин утворення мікротріщин і припалів у поверхневому шарі, а також залишкових напружень розтягування [8, с. 60].

## 1.3 Критерії якості процесу хонінгування

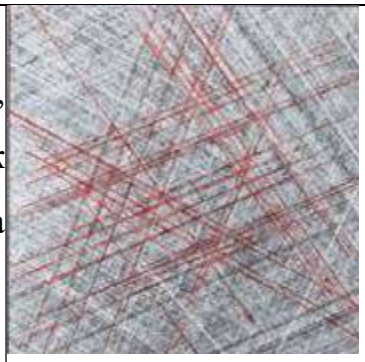
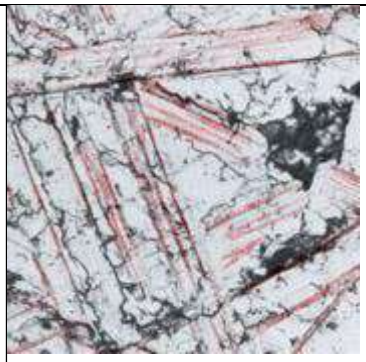
Поверхня дзеркала циліндра блоку ДВС повинна відповідати ряду технологічних вимог, щоб вона була оброблена відповідно до функціонального призначення. Поверхня дзеркала циліндра повинна мати циліндричність 1 мкм, хвилястість менше 0,2 мкм, нециліндричність і непрямолінійність менше 2-5 мкм і кут хонінгування 40-80 °.

Різноманітність хонінгування, основні види та причини дефектів наведені в таблиці 1.1 [8]. На подальшу роботу двигуна внутрішнього згоряння впливає відсутність металевого дефектного шару, такого як структурно-фазові зміни, напруги розтягування, мікротріщини та певні значення параметрів форми мікронерівностей та опорної поверхні.

Таблиця 1.1 – Рівномірність хонінгування та основні види та причини дефектів

| | | |
|---|---|---|
| Зовнішній вигляд поверхні повинен бути виразним, однорідним та чистим. |  |  |
| | Збільшення 15:1 | Збільшення 80:1 |

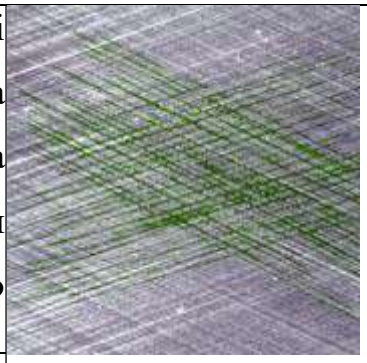
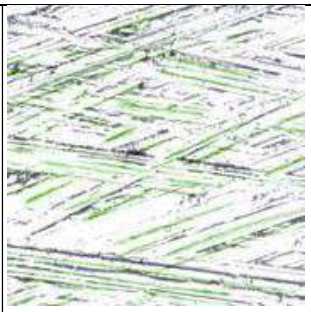
Продовження таблиці 1.1

| | | |
|---|---|---|
| Дефекти: Неоднаковий кут хонінгування, нерівну відстань між борозенками; матова зовнішня поверхня |  Збільшення 15:1 |  Збільшення 100:1 |
| Можливі причини дефектів | - Невідповідний стан інструменту<br>- недостатньо закріплена деталь<br>- багаторазове повторення процесу<br>- хонінгування різними брусками та з різною швидкістю. | |
| Наслідок виявлених дефектів | Недостатній розподіл мастила, вібрування кілець<br>- погане мастило, швидке знос кілець. | |

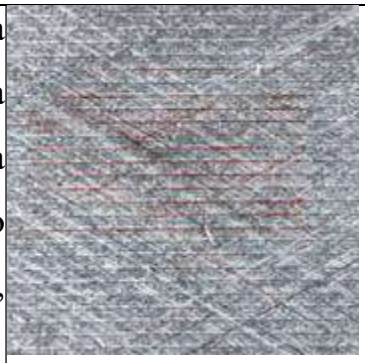
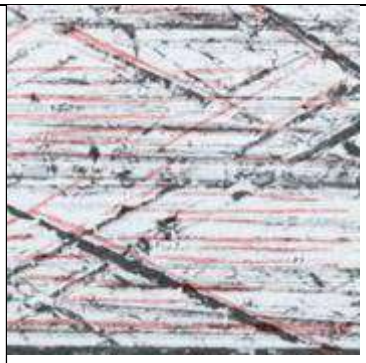
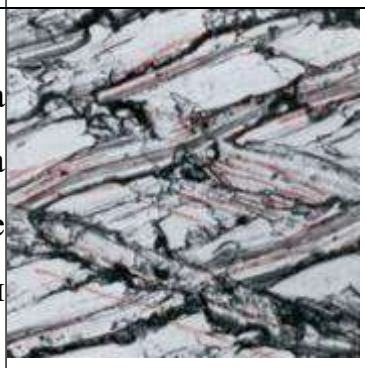
1.4 Освіта борозен при хонінгуванні

Таблиця 1.2 показує утворення борозен при хонінгуванні відповідно до вимог, а також основні види дефектів і причини їх утворення.

Таблиця 1.2: навчання борозен під час хонінгування

| | | |
|---|---|---|
| Краї борозен повинні бути чистими та чіткими, ширина борозен має бути однаковою, не надто великий (максимум — 0,1 мм). |  Збільшення 15:1 |  Вид під похилим освітленням Збільшення 80:1 |

Продовження таблиці 1.2

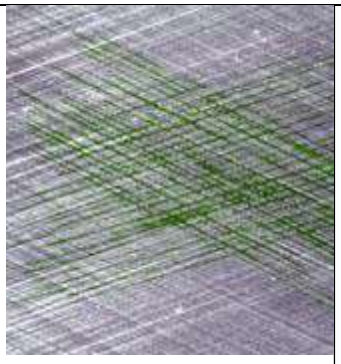
| | | |
|---|---|---|
| Дефекти: Занадто густа або дуже рідкісна перехресна штрихова сітка; дуже тонкі або недостатньо глибокі, нечіткі борозенки. |  Збільшення 15:1 |  Збільшення 100:1 |
| Можливі причини дефектів | Недостатня товщина заготівлі для хонінгування<br>- тиск бруска замало, утворюється низька зернистість поверхні<br>- Надто жорстка зв'язка при шліфуванні<br>- місцями напружені зони. | |
| Наслідок виявлених дефектів | Необхідна обкатка, кільця вібрують або зчіплюються, розподіл мастила недостатньо, швидке зношування кілець і кільцевих виїмок, небезпека появи доріжок, схильність до стирання | |
| Дефекти: борозенки надто широкі та хвиляści, що тягне за собою надлишкове мастило, краї борозен загнуті та забруднені. |  Збільшення 100:1 | |
| Можливі причини дефектів | Хонінгувальний брусок з м'якими кубічними гранулами, які дуже швидко зношуються, відокремлюються, брусок затуплюється, швидше тисне, ніж ріже; мастило при цьому | |

| | |
|---|---|
| | забруднюється. |
| Наслідок виявлених дефектів | Швидке абразивне знос робочої поверхні кілець і циліндра; погане мастило (невикористане масло витікає); великий перевитрата масла, недостатнє мастило, схильність до появи доріжок та утворення корозії. |

1.5 Орієнтація борозен при хонінгуванні

Таблиця 1.3 містить орієнтацію борозен при хонінгуванні відповідно до вимог, а також основні види дефектів і причини їх виникнення.

Таблиця 1.3 містить інформацію про орієнтацію борозен під час хонінгування.

| | | |
|---|---|---|
| Рівномірна нарізка на протягом усього ходу бруска вгору та вниз. |  | |
| Дефекти: Відсутність ефекту перехресного сітки, нерівномірне відстань між борозенками. | | |

| | |
|---|---|
| Можливі причини дефектів | Погана якість інструменту неправильне центрування бруска, зношеність верстатних з'єднань, погано закріплена деталь, неоднаковий хід при неодноразовому хонінгуванні. |
| Наслідок виявлених дефектів | Необхідна обкатка, недостатня мастило, кільця дуже сильно обертаються, швидке зношування кілець і кільцевих виїмок, перевитрата масла і т.д. |

## 1.6 Кут хонінгування

- Для подальшої роботи ДВЗ необхідно дотримуватися кута хонінгування при обробці поверхні дзеркала циліндрів. Згідно з різними методами оцінки якості кут може коливатися від сорока до восьмидесяти градусів.

- Надто великий кут більше 60 градусів виникає через неправильне співвідношення швидкості поступального руху вздовж осі до кутової швидкості обертання. Брусок рухається занадто швидко, а шпиндель обертається занадто повільно, що вимагає тривалої обкатки через насосний ефект, а погане мастило призведе до перевитрати масла та утворення доріжок на поршневих кільцях.

- Якщо брусок рухається надто повільно, а шпиндель обертається надто швидко, це означає надто малий кут, менше 30 градусів. Це призведе до вібрації поршневих кілець під час роботи ДВЗ, що призведе до швидкого зношування поршень, зношування посадкових місць і поганого розподілу масла або недостатнього мастила [9].

## 1.7 Якість поверхні

Крива Абота, яка представляє довжину опорної поверхні та показник несучої можливості, використовується для визначення мікрогеометричних критеріїв шорсткості поверхні.

Відхилення якості поверхні, які можуть залишитися після завершення процедури:

наявність задираків металу, областей наклепу або відшарувань на поверхні, які є результатом поганого різання чистових різців;

якість маслоутримання рисок може бути односпрямованою або перехрещуваною; наявність або відсутність плосковершинного ризику;

наявність сторонніх рисок;

пір, усадкова раковина, пластинчастий графіт або неправильний процес різання чистових різців.

Дві січні ризики повинні бути симетричними щодо осі, перпендикулярної циліндру (рис. 1.5) [10; 11]. Кут, створений двома ризиками, повинен бути 50 градусів плюс-мінус п’ять градусів.

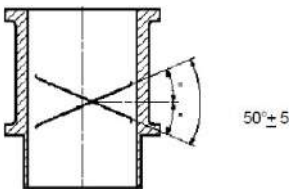



Рисунок 1.5 – Кут хонінгування

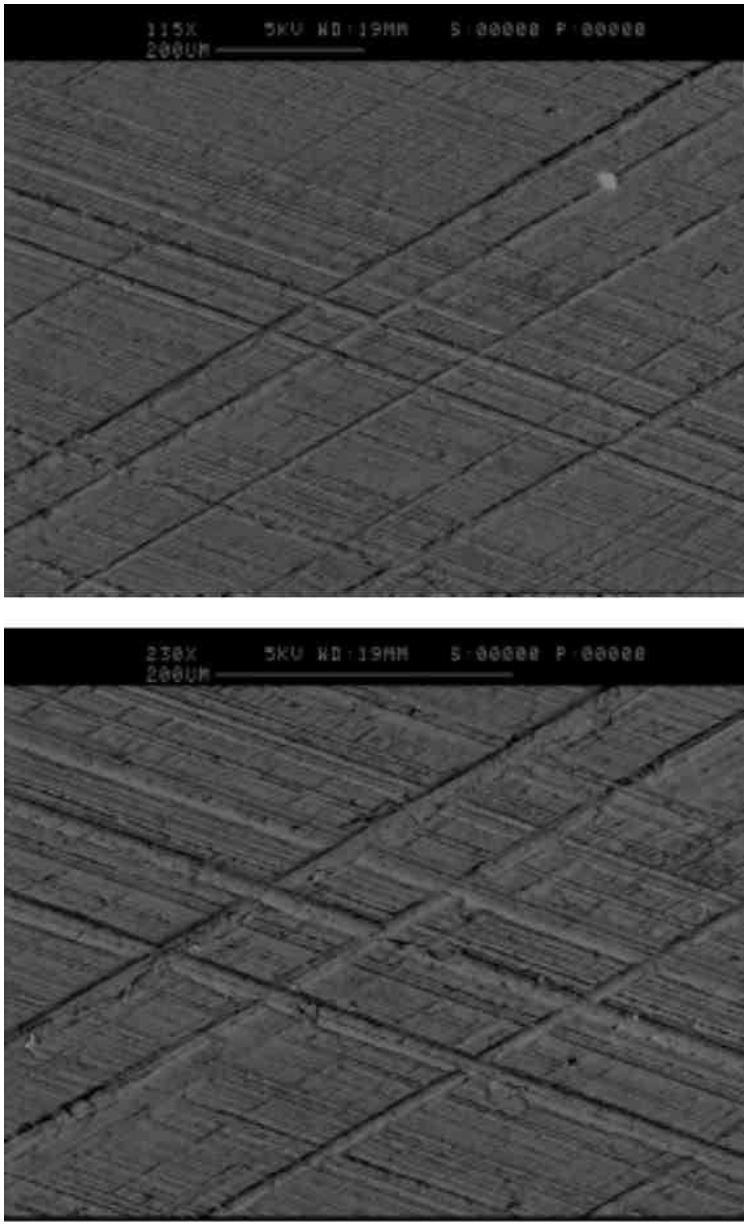
Перехресний кут - це кут, який виникає між хонінговими канавками, які лежать перпендикулярно до осі циліндра. Узгодження цього кута відбувається протягом кількох стадій. Перша стадія, відома як фінішне хонінгування основних поверхонь, включає грубе хонінгування, яке

відбувається з визначеним перехресним кутом. Потім настає остання стадія, яка узгоджує різний кут хонінгування [12].

Кут хонінгування вважається важливим з функціональної точки зору, оскільки він використовується двигуном для споживання олії. Експерти вважають, що збільшення хонінгувального кута може призвести до зменшення споживання олії. Застосування гідродинамічного контактного моделювання між гільзою циліндра та поршневим кільцем показало, що кути хонінгування 40–55 градусів забезпечують найнижчий коефіцієнт тертя [13].

## 1.8 Дослідження якості поверхні циліндра ДВЗ під растровим електронним мікроскопом та методом світлової мікроскопії

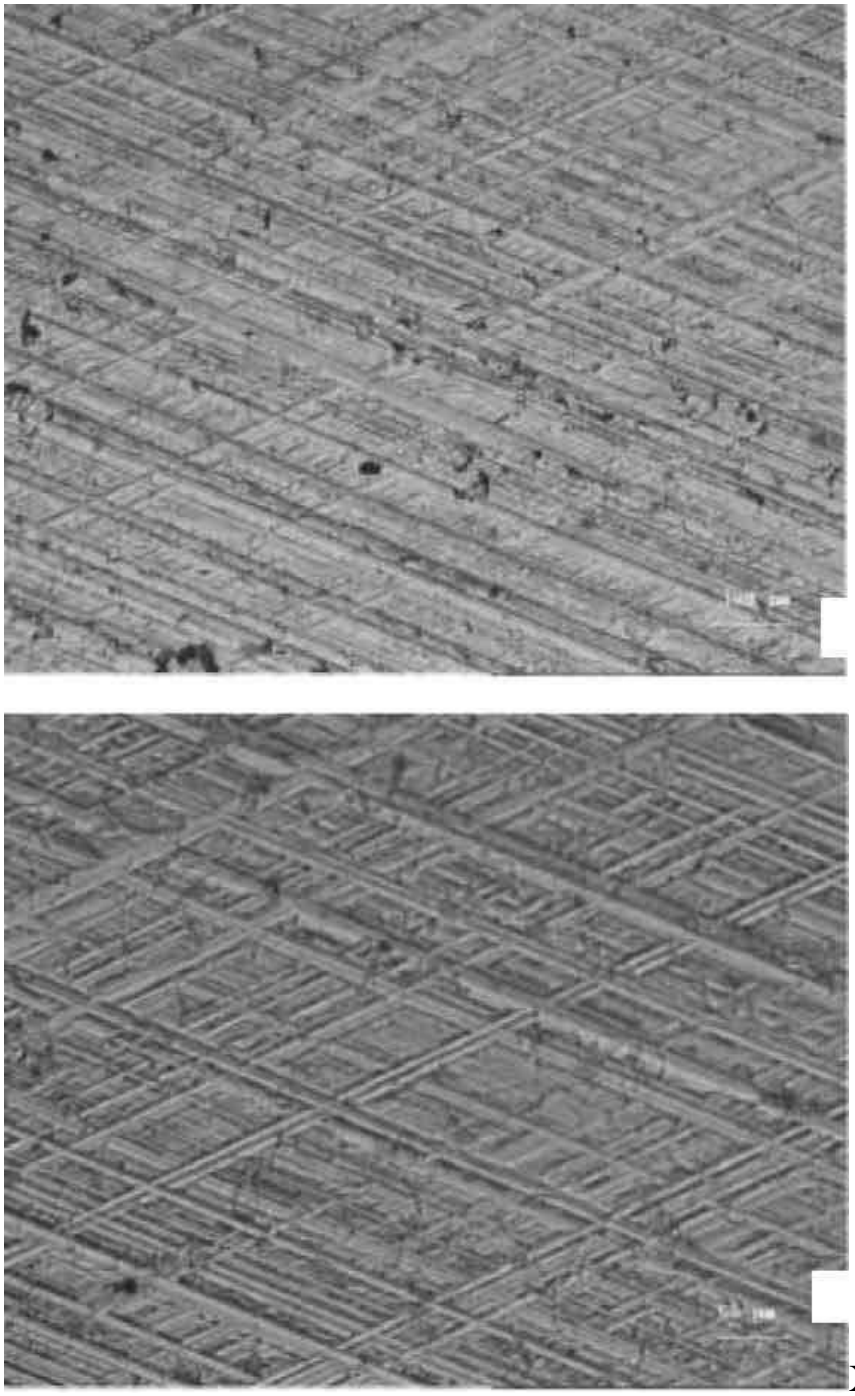
Як показано на рис. 1.6, дослідження якості поверхні під растровим електронним мікроскопом Тип 1 показало добре перетинаються і чітко виражені ризики хонінгу «немає язв».




X 200

Рисунок 1.6 – Якість поверхні під растровим електронним мікроскопом Тип 1

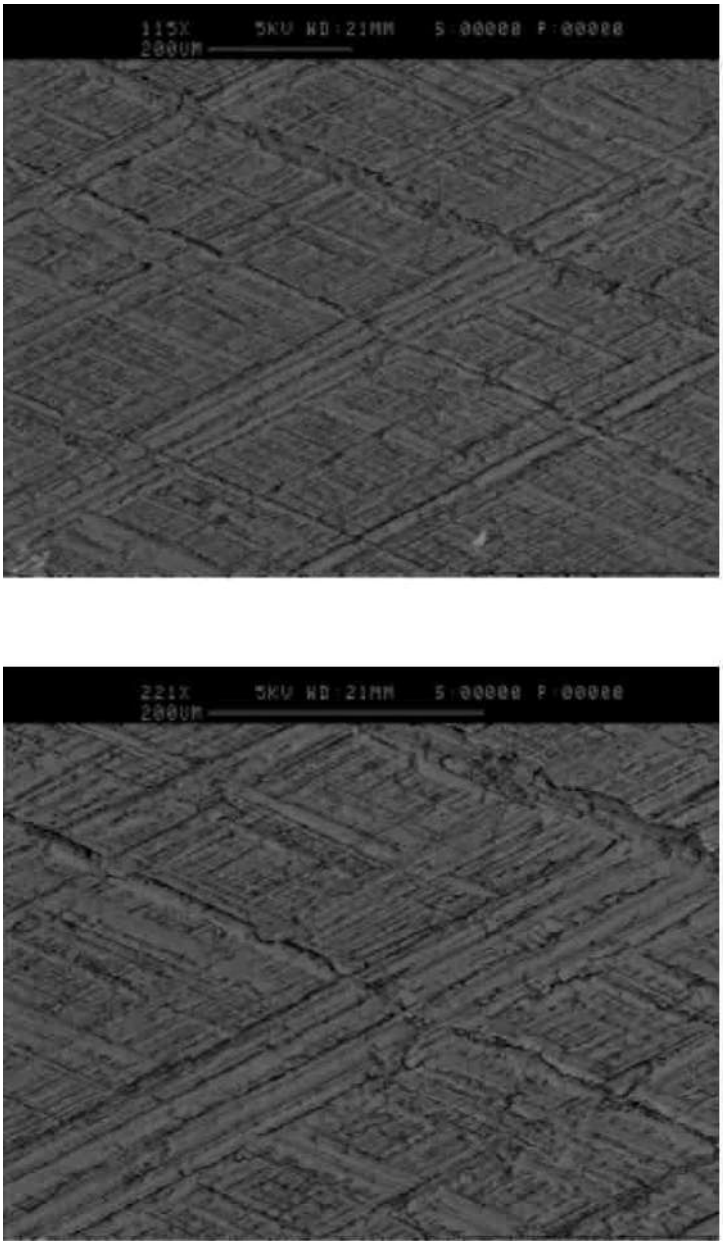
На рис. 1.7 показано дослідження якості поверхні Тип 1 методом світлової мікроскопії, яке демонструє добре перетинаються та чітко виражені ризики хонінгувальних «язви відсутні».



X 200

Рисунок 1.7 – Якість поверхні методом світлової мікроскопії Тип 1

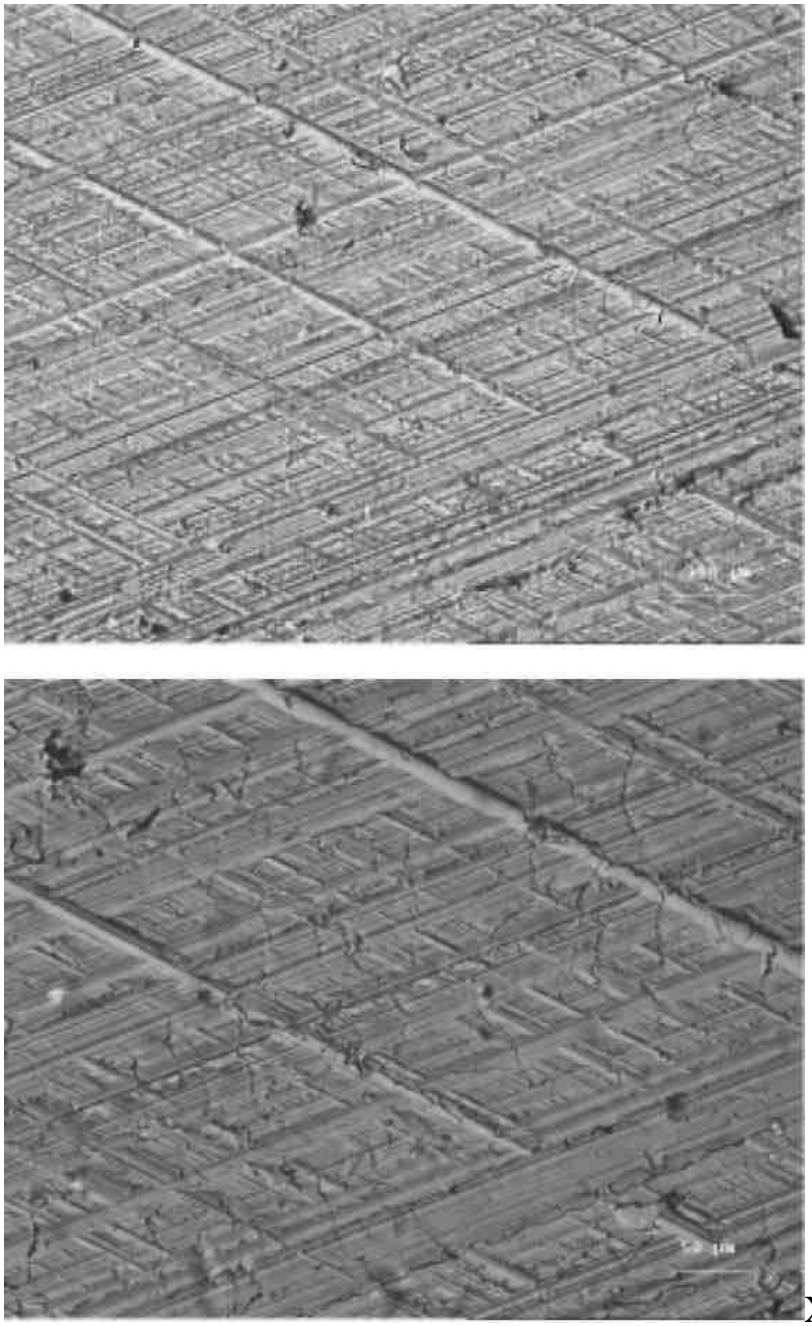
Наявність «язв» металу розміром більшим або рівним розміру маслоутримуючих рисок свідчить про значні ризики хонінгу, як показано в дослідженні якості поверхні під растровим електронним мікроскопом Тип 2 на рис. 1.8.




X200

Рисунок 1.8 – Якість поверхні під растровим електронним мікроскопом Тип 2

Наявність «язв» металу розміром більшим або рівним розміру маслоутримуючих рисок свідчить про значні ризики хонінгу, як показано в дослідженні якості поверхні Тип 2 методом світлової мікроскопії на рис. 1.9.



X 200

Рисунок 1.9 – Якість поверхні методом світлової мікроскопії Тип 2

Наявність значних ризиків хонінгування; наявність «мов» металу розміром більшим або рівним розміру маслоутримуючих рисок, як показано в дослідженні якості поверхні під растровим електронним мікроскопом Тип 3 на рис. 1.10.

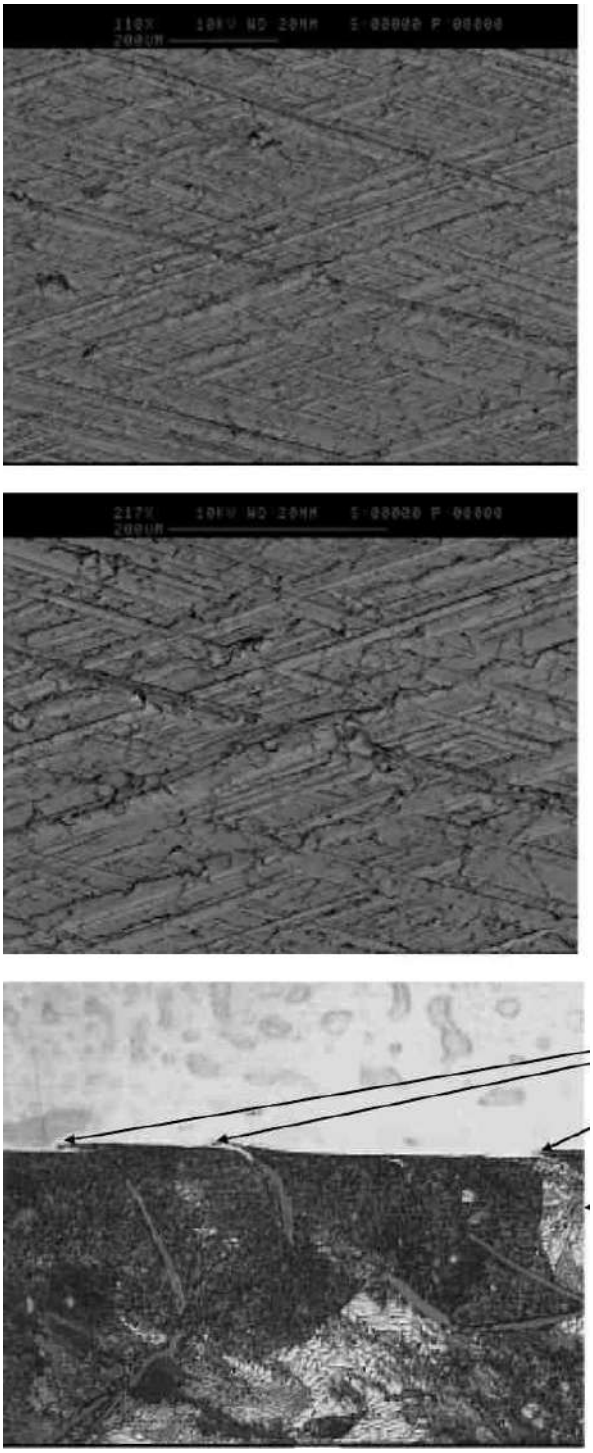
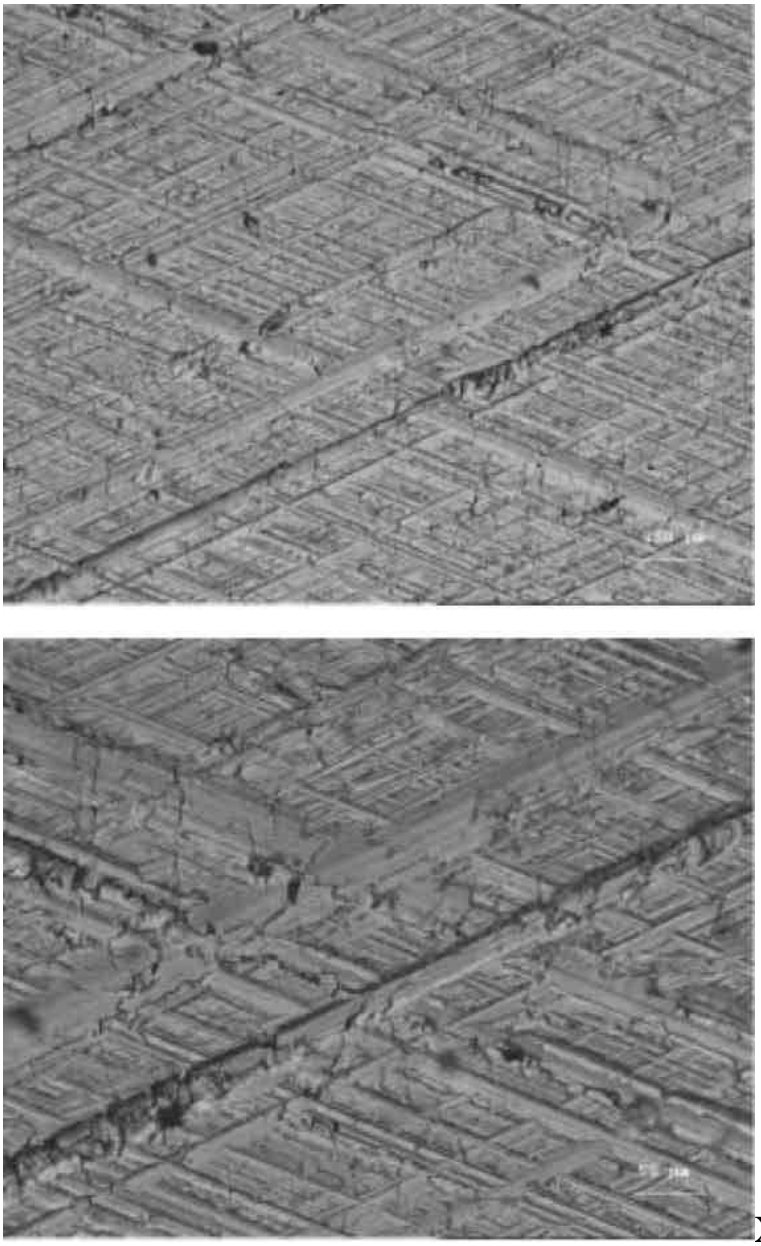


Рисунок 1.10 – Якість поверхні під растровим електронним мікроскопом Тип 3

У дослідженні якості поверхні методом світлової мікроскопії Тип 3 на рис. 1.11 показано, що ризики, пов’язані з хонінгуванням, нечітко виражені;

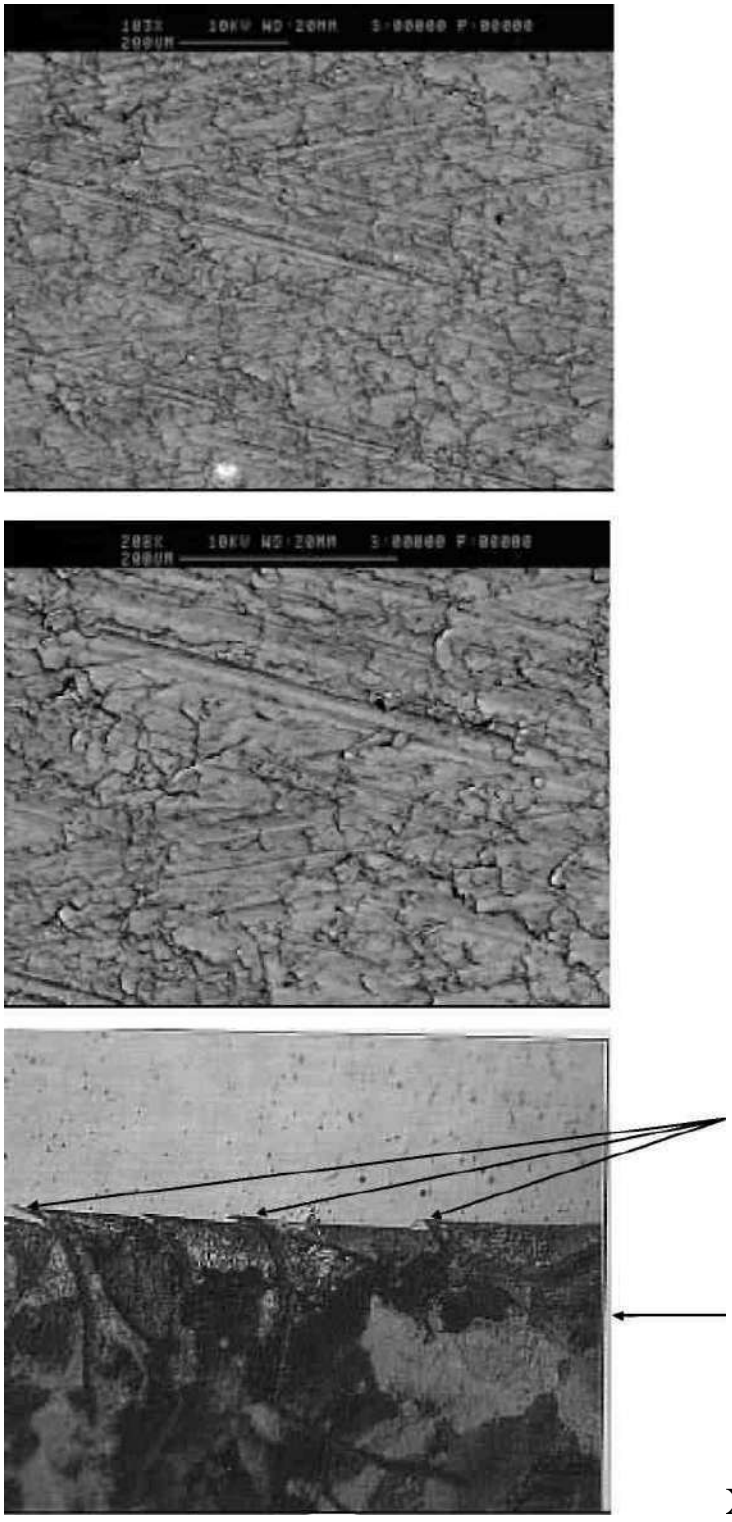
багато мов металу явно перевищують розміри рисок для утримання масла.



X 200

Рисунок 1.11 – Якість поверхні методом світлової мікроскопії Тип 3

Згідно з рис. 1.12, дослідження якості поверхні під растровим електронним мікроскопом Тип 4 показало, що хонінгувальні ризики нечітко виражені та перекриваються, а поверхня має явища.

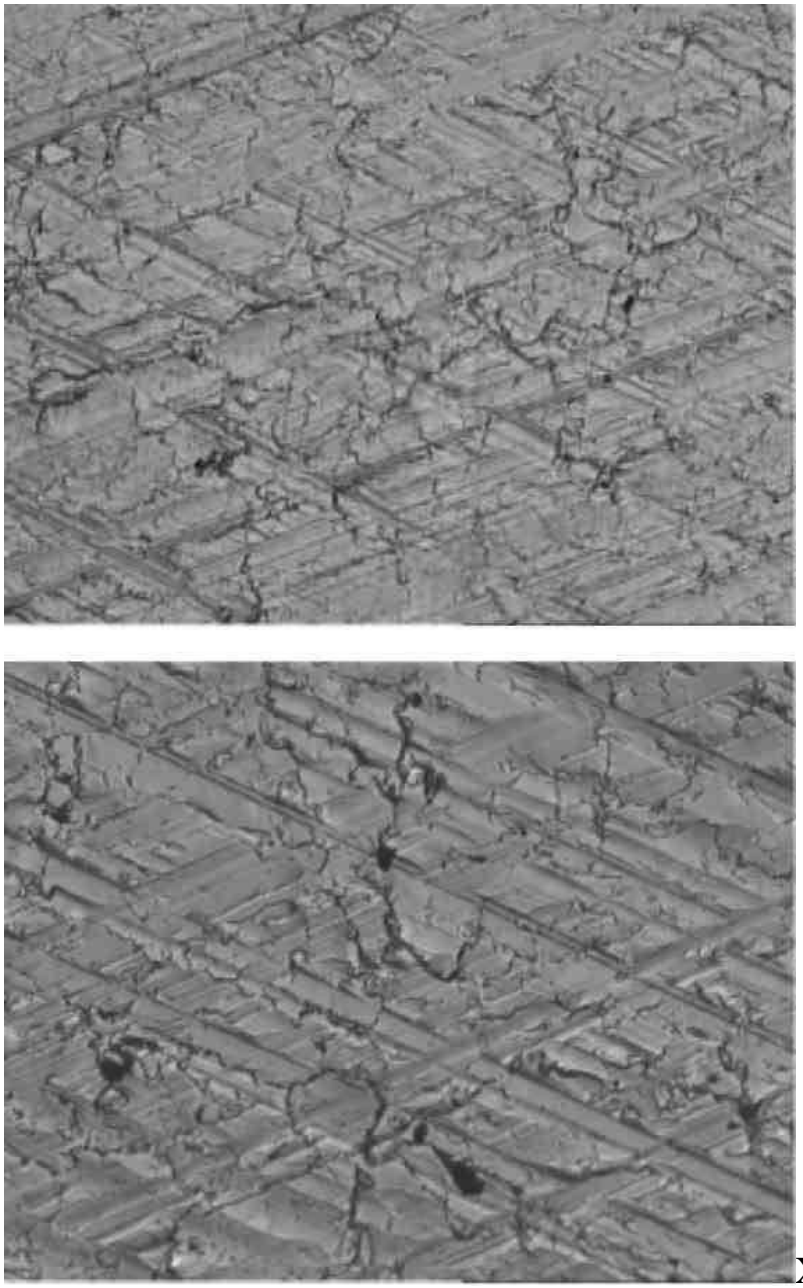


X 1000

Рисунок 1.12 – Якість поверхні під растровим електронним мікроскопом Тип 4

Згідно з рисунком 1.13, дослідження якості поверхні Тип 4 методом

світлової мікроскопії показало, що ризики, пов’язані з хонінгуванням, нечітко виражені та перекриваються; і що на поверхні є «язви».



X 200

Рисунок 1.13 – Якість поверхні методом світлової мікроскопії Тип 4

На рис. 1.14 показано приклади виривів матеріалу

Рисунок 1.14 Вирив металу

Контроль шорсткості і якості поверхні повинен здійснюватись згідно з планом контролю [14, 15].

## 1.9 Побудова операцій хонінгування

Визначення кількості операцій, визначення характеристик хонінгувальних брусків і вибір режиму обробки, включаючи вибір мастильно-охолоджувальної рідини (СОЖ), є частиною розробки технологічного процесу хонінгування. Операції хонінгування поділяються на попередні (чорнові), напівчистові, чистові та оздоблювальні залежно від того, як збираються матеріали для обробки.

Призначення попереднього хонінгування полягає в тому, щоб зменшити значні припуски (до 0,6–0,8 мм) і виправити похибку форми отвору. При достатньому обсязі оброблюваного матеріалу (до 0,1 мм)

хонінгування дозволяє отримати поверхню з шорсткістю до Ra=0,63 мкм і точною формою отвору. Чистове хонінгування призначено для покращення якості оброблюваної поверхні (до Ra 0,08 мкм). Поверхня шорсткості (до Ra = 0,04 мкм) отримується за допомогою оздоблювального хонінгування. Попередні операції хонінгування повинні гарантувати точність розміру та форми отвору [16].

## 1.10 Коротка характеристика блоку циліндрів ДВЗ

Обробка деталей ПВХ для виготовлення блоків циліндрів з чавуну та алюмінію зараз широко використовується в автомобільній промисловості в масовому виробництві. Виготовлення деталей вимагає високої точності та якості поверхні. Показники блоків циліндрів можна знайти в таблиці 1.4 [17; 18].

Таблиця 1.4 - Характеристики блоку циліндрів

| Блок циліндрів "Рено" | Блок циліндрів «Шкода» |
|---|---|
| 1 | 2 |
| Модель автомобіля: встановлюється на передньопривідні автомобілі. Матеріал: алюміній. Діаметр циліндра: 78,00 мм Вага: н/д Характеристика: Об'єм 1.6 л. | Модель автомобіля: встановлюється на передньопривідні автомобілі. Матеріал: чавун. Діаметр циліндра блоку: 82,00 мм. Вага:34 кг Характеристика: Об'єм: 1.6 Л. |
| | |

Продовження таблиці 1.4

| 1 | 2 |
|---|---|
| | |
| | |

## 1.11 Поліпшення процесу тертя циліндра ДВЗ

Основним джерелом механічних втрат двигуна внутрішнього згоряння є втрати на тертя, які виникають під час контакту поршня з отвором циліндра. Коли використовується традиційне плато-хонінгування, поверхня розточування гільзи блоку циліндрів є досить шорсткою, з численними канавками для утримання масла та плато-поверхнями, які зазвичай мають мікрошорсткість, що спонукає механічне тертя виступати в позиції опорної поверхні. Гладка відшліфована поверхня буде ідеальною для досягнення низького рівня тертя і зносу в циліндрі.

Покращення показників рівня викидів і ефективності малих двигунів стає все більш важливим для виробників двигунів. Нещодавно розпочався термін дії основних зобов'язань Кіотського протоколу (2008-2012). Ці зобов'язання передбачають, що країни-учасниці повинні скоротити загальні викиди CO-2 від рівня 1990 року на наступну декаду. Період вторинної дії зобов'язань (2013–2020) має на меті продовжувати скорочувати викиди CO2.

Це призведе до того, що виробники «зелених» двигунів повинні збільшити ефективність своїх механозбірних і автомобільних заводів.

Зважаючи на це, автовиробники повинні ретельно розглянути використання алюмінію як матеріалу для блоку циліндрів, оскільки це допоможе їм знизити масу, заощадити бензин і зменшити викиди CO2. Інші вдосконалення включали покращені системи заправки паливом, покращені конструкції головки двигуна та зміни, спрямовані на зменшення механічного тертя в циліндрі, такі як використання поверхонь меншого розміру та розточувальних поверхонь циліндра з низьким коефіцієнтом тертя.

Удосконалення ефективності циліндра залежить від зменшення механічних втрат. Енергія, що витрачається на нагрівання двигуна, разом із відпрацьованими вихлопними газами, є другою найбільшою втратою енергії, пов'язаною з механічним тертям двигуна, особливо в поршневому вузлі.

Таким чином, покращення в цій галузі матиме найбільший вплив на підвищення загальної економічності палива ДВЗ. Алюміній, особливо у вигляді його різних силікатних сплавів, є легким металом з чудовими співвідношеннями міцності та маси, і він використовується в багатьох областях інжинірингу. Для блоків двигунів внутрішнього згоряння все частіше використовується алюміній. Алюміній використовується для створення блоку циліндрів або заливається навколо чавунної гільзи. Евтектичний силікатний сплав алюмінію A390 має ідеальне співвідношення міцності до маси, а високий вміст силікату запобігає зношуванню після того, як алюміній витравлюється, виставляючи силікат як опорну поверхню. Метод, який зараз використовується для виготовлення малих ДВЗ, які можна використовувати в універсальних двигунах, таких як тримери, ланцюгові пили та малі генератори, у поєднанні з хонінгуванням поверхні для створення гратчастої моделі на розточувальній поверхні циліндра [19].

# 2 Устаткування платовершинного хонінгування

## 2.1 Характеристика обладнання платовершинного хонінгування

На верстатобудівному заводі фрезерних верстатів в Одесі виготовляють верстати для хонінгу, а також верстати зарубіжних компаній, таких як Наумберг (Німеччина), Нагель (Німеччина), Мікроматик (США), Герлінг та інші, для виконання процесу хонінгування. Верстати хонінгу вертикального та горизонтального типу відрізняються за розташуванням осі шпинделя. Для хонінгувальних верстатів використовується вертикальний шпиндель.

Глибокі та довгі отвори (наприклад, отвори в деталях паливної апаратури та ін.) можна хонінгувати горизонтальними хонінгувальними верстатами. Універсальні та хонінгувальні верстати розрізняються залежно від технологічного призначення. Багато універсальних верстатів мають один шпиндель. Багатошпиндельні верстати зазвичай виготовляють на вимогу клієнта. Обробляючи компоненти в великих кількостях чи в масовому виробництві, використовують спеціальні одношпиндельні та багатошпиндельні верстати. Такі моделі включають СС 250 з автоматичним поворотним столом для хонінгування гільз двигуна внутрішнього згоряння. Відповідний верстат моделі СС 210 має налагодження для обробки деталей, таких як шатуни та шестерні. Цей верстатозавод виробляє ці верстати. У місті Одеса працює завод фрезерних верстатів, який виробляє двошпиндельні верстати моделей 3820-2, 3821-2 і 3822-2, а також одношпиндельні верстати моделей 3820, 3821 і 3822. Цих верстатів використовують для виготовлення двоколонної чотиришпиндельної верстати, яка має кутове розташування колон і поворотний стіл. Ці верстати здебільшого призначені для абразивного хонінгування.

Вони також широко використовують для алмазного хонінгування. Тим

не менш, верстат, який має жорстку автоматично регульовану радіальну подачу брусків у діапазоні від 0,1 до 3 мкм на кожен подвійний хід шпиндельної бабки, забезпечує більшу ефективність алмазного хонінгування, має підвищену жорсткість конструкції та виготовлений більш точно. коливань головки та оброблюваної деталі, що дозволяє продуктам хонінгування інтенсивно підводити СОЖ.

Горизонтально-хонінгувальні верстати, на відміну від вертикально-хонінгувальних верстатів, отримують обертання як головки, так і оброблюваної деталі. Це означає, що вага хонінгувальної шарнірної головки не впливає на точність форми отвору. На спеціальних люнетах можна встановлювати головку та деталь. Цей зворотно поступальний рух забезпечується стебловою бабкою з закріпленою на ній хонінгувальною головкою і зазвичай забезпечується гідроприводом [20 с. 71-74]. Таблиця 2.1 містить короткий опис технічних характеристик серійних вертикально-хонінгувальних верстатів, виготовлених в Німеччині.

Таблиця 2.1 - Короткий опис технічних характеристик серійних вертикально-хонінгувальних верстатів, виготовлених в Німеччині

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| "NAGEL" | 1991 | БЦ – Чавун<br>Ф82 мм., 0,010; /О/0,010;<br>Ra; Rpk; Rvk; Rk | 4 |
| "GERING" | 2012 | БЦ - Чавун<br>Ф82 мм., 0,010; /О/0,010;<br>Ra; Rpk; Rvk; Rk. | 4 |
| "NAGEL" | 1990 | БЦ - Чавун<br>Ф82 мм./О/0,007;<br>Ra;.Крива Абота | 4 |
| "NAGEL" | 2015 | БЦ - алюміній Ø78 мм; Ra;<br>Rpk; Rvk; Rk | 4 |

Наступні основні елементи настилу складають верстати, виготовлені фірмою NAGEL (Німеччина) (рис. 2.1). Вони включають введення голівки з пониженою швидкістю в отвір, що обробляється, розтиск брусків до дотику з оброблюваною поверхнею, хонінгування з активним контролем отриманого розміру, стиснення брусків і виведення голівки з отвору. Подача СОЖ починається одночасно з запуском шпинделя. Машина має чотири режими обробки: хонінгувальні шпинделі.

Режими обробки 25m/min чорнова та чистова.

На чорновий обробці шпинделі 1 і 2 обертаються з швидкістю 500 оборотів на хвилину.

Кут хонінгу чорнової обробки становить 29,71.

Швидкість чорнового різання 101,41

На чистовій обробці шпинделі 3 і 4 мають швидкість обертання 250 обертів за хвилину.

Кут хонінгування чистової обробки алмазним інструментом становить 44,40.

Керамічний інструмент хонінгує кут чистової обробки 44,40

Чиста швидкість різання алмазних і керамічних інструментів - 66,17

Рисунок 2.1 – Верстати фірми NAGEL

## 2.2 Тенденція розвитку хонінгувальних верстатів за кордоном

Зарубіжні верстатобудівні компанії Gehring і NAGEL (Німеччина), Micromatik-Exzello (США), JonesSchipman (Англія) та інші. Так, п’ять серійних хонінгувальних верстатів виробляється Gehring (таблиця 2.2). Таблиця конструктивних серій містить моделі верстатів з широким діапазоном довжин і діаметрів оброблених отворів.

Таблиця 2.2 - Характеристики верстатів Gehring

| Серія | Тип конструкції верстата | Розмір отворів у мм | | Область застосування |
|---|---|---|---|---|
| | | діапазон | довжина | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | P | 4-63 [90] * | 100<br>250 | Автомобілі та компресоробудування, гідравліка та пневматика, виготовлення вимірювальних інструментів (шатуни, важелі, повзуни, роликові поршні, клапани керування, вимірювальні кільця) |

Продовження таблиці 2.2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|
| 2 | Z та KS | 4-63 [90] * | 400<br>650<br>900 | Збройове виробництво, гідравліка, загальне машинобудування, (стволи для куль і дроби, циліндри та клапани управління, що направляють для пінолів, поршневі штоки для амортизаторів.) |
| 3 | Z | 12-180 [250] * | 200<br>350<br>450<br>600 | Автомобілебудування (циліндричні отвори, робочі втулки, ребристі циліндри, та гальмівні барабани) |
| 4 | KS | 24-250 [350] * | Від 400 до 4700 | Обробка циліндрів гідравліки, гідравлічних труб, циліндричних робочих втулок для дизельних двигунів, опор колінчастого валу двигуна та кокілів, а також для зовнішнього хонінгування поршневих. штоків та приводних валів. |
| 5 | GL та GS | 55-100 [1200] * | | |

* - Вказано найбільший діаметр отвору, що обробляється при чистому хонінгуванні

Верстати серії P використовуються для більш коротких деталей, тоді як верстати серії Z, KS і GL призначені для обробки отворів великого діаметру. Крім того, на верстатах серії KS виконується зовнішнє хонінгування штоків. Ця компанія останнім часом працює над хонінгуванням некруглих отворів, зокрема епітрохоїдних отворів статорів і роторно-поршневих двигунів [21 с. 222].

Як і раніше, Nagel виробляє різноманітні типи хонінгувальних верстатів. Найвідомішими з них є конструкційні хонінгувальні верстати серії VS6. Серія включає верстати одно- і багатошпиндельного виконання. Основні компоненти верстатів серії VS, такі як шпиндель, привод обертання та гідроциліндр, уніфіковані.

Ці вузли дозволяють фірмі Nagel виробляти багатошпиндельні верстати різного призначення. Вона також виробляє верстати для хонінгування коротких деталей, які мають механічний привід зворотно-поступального руху. Такі верстати мають багато шпинделів. Ці верстати вбудовуються в автоматичні лінії, які виробляють шатуни, зубчасті колеса та інші вироби.

Фірма Nagel виробляє верстати з портальною установкою для хонінгування великих і важких деталей.

Micromatik-Exzello є провідним виробником вертикально-хонінгувальних верстатів у Сполучених Штатах. Таблиця 2.3 містить технічні характеристики деяких моделей верстатів, виготовлених цією фірмою. У моделях 723 5V16, 8V16, 10V16 і 10V25 шпиндель вбудований у пустотілий шток гідроциліндра зворотно-поступального руху. Аналогічні верстати випускає відома англійська фірма JonesSchipman за ліцензією фірми Micromatik-Exzello.

Загальна міцність верстатів цих фірм полягає в тому, що вони мають винесену гідростанцію та систему подачі СОЖ, яка має пристрої для стабілізації температури робочих рідин. Для очищення СОЖ застосовуються різні методи, включаючи центрифуги, магнітні фільтри, фільтри тонкого очищення та інші. Фірма Micromatik-Exzello розробила процес електролітичного хонінгування, який полягає в поєднанні електролітичного нанесення покриття та хонінгування. Фірма стверджує, що цей процес дуже перспективний, оскільки він дозволяє збільшити довговічність деталей машин, наносячи на їхні робочі поверхні покриттів, які є надзвичайно міцними та стійкими до зносу. За рахунок того, що операції підготовки поверхонь до покриття не потрібні, поєднаний процес має високу продуктивність. СОЖ як електроліт у аналізованому процесі [21 с. 226-227].

# 3 Коротка характеристика інструменту платовершинного хонінгування

Для плато вершинного хонінгування використовується два види інструментів: алмазний брусок для чорнової обробки та двоетапної чистової обробки. Це дозволяє досягти високих якістьових стандартів шляхом першого проходження шпинделя алмазним бруском і другого проходження керамічним бруском [22].

## 3.1 Абразивні бруски

Абразивний хонінгувальний брусок є пористим тілом, що складається з зв'язків і абразивних ріжучих зерен. Кожен брусок має сукупність ознак, які складають його особливості, і ці ознаки обліковуються під час вибору бруска для певних умов хонінгування.

Основні характеристики бруска включають такі характеристики, як вид абразивного матеріалу, зернистість, вид зв’язування, твердість, структуру, тип і габаритні розміри [23].

## 3.2 Абразивний матеріал

Для виготовлення абразивно хонінгувальних брусків використовують різні штучні матеріали, включаючи електрокорунд, карбід кремнію, ельбор (кубічний нітрид бору, або боразон та ін.). Електропечі металургують кристалічний окис алюмінію Al2O3, щоб виробити електрокорунд.

Електрокорунд був нормального типу Е та білого типу ЕБ. У першому вміст окису алюмінію коливається від 89–95%, а у другому від 97–99%. Зростання процентного змісту Al2O3 підвищує твердість, міцність і ріжучі

властивості зерен електрокорунду, але також підвищує їх крихкість. Щоб покращити фізико-механічні властивості електрокорунду, можна використовувати присадки, такі як цирконій, хром або титаній. Наприклад, у промисловості використовується електрокорунд червоний, також відомий як рубінокорунд, який містить присадку окису хрому Cr2O3. Абразивні зерна електрокорунду можна успішно використовувати для попереднього хонінгування та чистової обробки сталей різних марок і сплавів завдяки їх кращим ріжучим властивостям і вищій в'язкості.

Карборунд, також відомий як електрокорунд, виробляється в електричних печах металургійним шляхом. Він представляє хімічну сполуку кремнію з вуглецем SiC. Карбід кремнію чорний КС (95%–98% SiC) і карбід кремнію зелений КС (96%–99% SiC) відрізняються за складом і кількістю домішок. Чорні зерна карбіду кремнію пофарбовані в чорний або темно-синій колір, а зелені зерна пофарбовані в світло-темно-зелений колір. Обидва види карбіду кремнію схожі за своїми властивостями. Хоча зерна електрокорунду мають більшу крихкість, зерна карбіду мають більшу мікротвердість і механічну міцність, ніж зерна електрокорунду.

Ельбор (КНБ кубічний нітрид бору, також відомий як боразон) — це сполука бору та азоту. Це новий тип абразивного синтетичного матеріалу, отриманого за аналогією з синтетичним алмазом. Ельбор є монокристалом з багатою кількістю окремих вершин, які утворюють ріжучу поверхню. При зносі окремі частини зерен сколюють і утворюють нові ріжучі кромки. Зерна ельбора мають самозагострення. Кристали ельбору можуть бути прозорими або коричневими, чорними, жовтими або червоними, якщо вони не містять домішок.

Його мікротвердість наближається до мікротвердості алмазу, а його термостійкість більше двох разів перевищує алмаз. Крім того, вони надзвичайно стійкі до агресивних середовищ. Ельбор, також відомий як боразон, випускається в трьох різновидах для промислового використання: БО — звичайної міцності,

БП — підвищеної міцності та БВ — високої міцності.

Хонінгувальні ельборові бруски мають структуру, подібну до алмазів, і вони мають такі ж характеристики. Вибір абразивного матеріалу для різання зерен брусків залежить від оброблюваного матеріалу та необхідної шорсткості поверхні (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Характеристики абразивного матеріалу та застосування їх з оброблюваним матеріалом

| Операція | Матеріал, що обробляється | Абразивний матеріал |
|---|---|---|
| Попередня або напівчистова | Сталь вуглецева або легована, сталеві виливки, чавун високої міцності. | Е, ЕБ |
| Отримувальна, чистова або оздоблювальна (дрібнозернистими брусками) | Сталь загартована, Сталь вуглецева або легована, сталь загартована, чавун високий міцності. | ЕБ |
| Попередня, напівчистова та чистова. | Чавун, алюмінієві сплави, виливки з бронзи та латуні. | КЗ |

Абразивне хонінгування працює добре при твердості матеріалу HRC 30-45. Знос абразивних брусків прискорюється з ростом твердості оброблюваного матеріалу, що вимагає використання більш високого питомого тиску, що прискорює знос. Таким чином, ефективність абразивного хонінгування знижується, а вартість обробки збільшується. Алмазне хонингування є доцільним у певних умовах [20 з. 13-15].

## 3.3 Зернистість

Штучний абразивний матеріал подрібнюють, а потім сортують відповідно до розміру зерен. Класифікація абразивних зерен відповідно до ДСТУ 3647-59 представлена в таблиці 1.2. Абразивні зерна поділяються на три групи за зернистістю. Шліфзерно має зернистість від 200 до 16, шліфпорошки мають зернистість від 12 до 3 і мікропорошки мають зернистість від М40 до М5. За ДСТУ 3647-59 номер зернистості шліфзерна та шліфпорошків показує розмір отвору сита в сотих частках міліметра, на якому залишаються зерна основної фракції. Розмір зерна легко визначити, знаючи номер зернистості. Наприклад, зерна основної фракції при зернистості 40 мають найменший розмір 04 мм.

Таблиця 3.2 - Характеристики зернистості абразивного матеріалу

| Номер зернистості в сотих частках мм | Розмір зерен у основний фракції в мкм | Номер зернистості в сотих частках мм | Розмір зерен у основний фракції в мкм |
|---|---|---|---|
| Для продуктів розсівання | | Для продуктів гідрокласифікації | |
| 200 | 2500-2000 | М63 | 63-50 |
| 160 | 2000-1600 | М50 | 50-40 |
| 125 | 1600-1000 | М40 | 40-28 |
| 100 | 1000-800 | М28 | 28-20 |
| 80 | 800-630 | М20 | 20-14 |
| 63 | 630-500 | М14 | 14-10 |
| 50 | 500-400 | М10 | 10-7 |
| 40 | 400-320 | М7 | 7-5 |
| 32 | 320-250 | М5 | 5-3 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 25 | 250-200 | | |
| 20 | 200-160 | | |
| 16 | 160-120 | | |
| 12 | 120-100 | | |
| 10 | 125-100 | | |
| 8 | 100-80 | | |
| 6 | 80-63 | | |
| 5 | 63-50 | | |
| 4 | 50-40 | | |
| 3 | 40 | | |

Номер зернистості мікропорошку показує максимальний розмір зерна основної фракції. Наприклад, розмір зерен при зернистості М28 не перевищує 28 мкм. Абразивні бруски виготовляють із зернистістю 16 або нижче. У певних ситуаціях, наприклад, коли підвищені припуски необхідно зняти, використовують бруски із зернистістю до 25. Літерний індекс вказує на тип абразивного матеріалу, наприклад К310 або КЗМ14. Зерна ельбора, як і алмазні порошки, класифікують так само, як і алмазні порошки (ДСТУ 9206-70). У таблиці 1.3 наведено шкалу зернистості ельбору за проектом державного стандарту. Для вказівки зернистості використовується літера «Л».

Таблиця 3.3 - Шкала зернистості Ельбора

| Зернистість. | |
|---|---|
| Шліфзерна та шліфпорошок ельбору | Мікропорошок ельбора |
| Л 315-250 | ЛМ 40/28 |
| Л 250-200 | ЛМ 28/20 |
| Л 200-160 | ЛМ 20/14 |
| Л 160-125 | ЛМ 14/10 |
| Л 125-100 | ЛМ 10/7 |
| Л 100-80 | ЛМ 7/5 |
| Л 80-53 | ЛМ 5/3 |
| Л 53-50 | |
| Л 50-40 | |

- Залежно від розміру зерен порошок ельборі поділяється на три категорії:
- шліфзерно-зернистість від Л 315/250 до Л 200/160;
- шліфпорошки-зернистість від Л160/125 до Л 50/40;
- Мікропорошки-зернистість від Л 40/28 до ЛМ 5/3.

Перші дві групи порошків отримують шляхом розцювання зерен на ситах, а порошки третьої групи отримують шляхом використання рідини та мікроскопічного контролю зернового складу. При виборі зернистості брусків три основні фактори враховуються: необхідна шорсткість поверхні, припуск, що знімається, і марка оброблюваного матеріалу.

Задана шорсткість поверхні, яка зростає із зменшенням розмірів зерен, має найбільший вплив на вибір зернистості брусків, як показано нижче в

таблиці 3.4 [20 с.15-18].

### 3.4 Вид зв'язки

В основному використовують неорганічні зв’язки (керамічні, силікатна та металева) та органічні зв’язки (бакеліт, гліфталева та вулканітова) та їх різновиди для виготовлення хонінгувальних брусків з абразивних матеріалів. Фізико-механічні властивості зв’язки визначають її якість і застосування. Ці властивості включають міцність і жорсткість, температурну та хімічну стійкість, водостійкість, чутливість до ударних і вібраційних навантажень, зносостійкість і здатність зберігати властивості бруска, однорідність структури та здатність шліфувати.

Таблиця 3.4 – Рекомендації щодо вибору зернистості брусків при абразивному хонінгуванні

| Операція | Клас чистоти | Зернистість брусків при обробці | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Чавуна | Стали сирий | Стали загартованої | Алюмінієвих сплавів |
| Попередня | 6-7 | 16-8 | 16-6 | 16-6 | 8-4 |
| Отримувальна | 8-9 | 6-3 | 16-М28 | 4-М28 | М28-М20 |
| Чистова | 9-10 | 3-М14 | М28-М14 | М28-М14 | М14 і дрібніше |

За складом і фізико-механічним складом було розроблено та випробувано багато різних зв'язок. Керамічні та бакелітові зв'язки є найпоширенішими для виготовлення хонінгувальних брусків. Одним із

найважливіших параметрів абразивного бруска є його твердість. Вона впливає на знос, затуплення, самозагострення та засолювання бруска. За ДСТУ 3751-47 прийнято загальну шкалу твердості для всіх типів абразивного інструменту, включаючи абразивних хонінгувальних брусків. Позначення ступенів наведено в порядку зростання, а також шкали твердості, прийняті в Англії та Сполучених Штатах.

Твердість абразивних брусків визначається матеріалом, який обробляється, а також умовами самозаточування. Рекомендації щодо вибору твердості абразивних брусків при хонінгуванні деталей із чавуну, сталі та алюмінію наведено в таблиці 3.6 [20 с. 18-20].

Таблиця 3.5 - Шкала твердості абразивного матеріалу

| Класифікація абразивних інструментів із твердості | Позначення | |
|---|---|---|
| | За ДСТУ 3751-47 | Прийняте у США та Англії |
| М'який | М (М1, М2, М3) | H, I, J |
| Середньом'який | СМ (СМ1, СМ2) | K, L |
| Середній | З (С1, С2) | M, N |
| Середньотвердий | СТ (СТ1, СТ2, СТ3) | O, P, Q |
| Твердий | Т (Т1, Т2) | R, S |
| Дуже твердий | ВТ (ВТ1, ВТ2) | T, U |
| Надзвичайно твердий | ЧТ (ЧТ1, ЧТ2) | W, Z |

Таблиця 3.6 – Рекомендації щодо вибору твердості абразивних брусків при хонінгуванні деталей з чавуну, сталі та алюмінію

| Оброблюваний матеріал | Припуск у мм | Твердість брусків при зернистості | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 12-8 | 6-4 | М40-М14 |
| Чавун | 0,05-0,5 | С2-Т2 | СМ2-СТ3 | СМ1-СТ2 |
| | 0,01-0,1 | СТ2-ВТ2 | СТ2-Т2 | С1-Т2 |
| Сталь | 0,05-0,5 | СМ2-СТ2 | М3-СТ1 | СМ2-С1 |
| | 0,01-0,1 | С2-Т2 | СМ2-Т1 | С1-СТ3 |
| Алюміній | 0,02-0,08 | М3-СМ2 | М3-СМ2 | М3-СМ2 |

## 3.5 Алмазні бруски

Основні характеристики алмазного бруска включають такі характеристики, як вид алмазних зерен, зернистість, концентрація алмазів, алмазний шар, зв'язка, форма та розміри. У характеристику зазвичай не включається твердість алмазних брусків.

Алмазні бруска виготовляються з природних алмазів А (природних) і синтетичних алмазів А (штучних). Алмаз має чудові фізико-механічні властивості: він найтвердіший мінерал, має найвищий модуль пружності, стійкий до кисню та добре проводить тепло. Крім того, він чутливий до вібраційних навантажень, має підвищену крихкість і відносно низьку опір вигину. Властивості, такі як твердість, міцність, жорсткість і абразивна здатність, мають вирішальне значення для використання алмазів як абразивних матеріалів при виготовленні хонінгувальних брусків. Основні фізико-механічні властивості алмазів та інших абразивних матеріалів представлені в таблиці 3.7 [20 с. 22-23].

Таблиця 3.7 Фізико-механічні властивості алмазів та інших абразивних матеріалів

| Абразивний матеріал | Механічні властивості | | | | | Фізичні властивості | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Мікротвердість у кг/мм2 | Межа міцності в КГ/мм2 | | Модуль пружності | Абразівна спосо бніс ь | Щільність у г м2 | Термостійкість в градуцук | Коефіцієнт теплопровідності в кал/м |
| | | вигин | стиснути е | | | | | |
| Природний алмаз | 10 060 | 21-49 | 200 | 90 000 | 1 | 3,01-3,56 | 670-800 | 0,33 |
| Синтетичний алмаз | 8600-10 000 | 30 | 200 | 72 000 - 93000 | - | 3,43-3,54 | 500-900 | - |
| ельбор | 8000-10000 | - | - | - | - | 3,5-3,54 | 1300-1500 | - |
| Карбіт кремнію | 2800-3500 | 10-15 | 100-200 | 37500 | 0,25 | 3,16-3,99 | 1200-1300 | 0,037 |
| електрокорунд | 1800-2400 | 87 | 76 | - | 0,12-0,14 | 3,93-4,01 | - | 0,047 |

Для виготовлення хонінгувальних брусків переважно використовують синтетичні алмази, оскільки вони дешевші, мають високу стабільність властивостей і працездатність порівняно з природними алмазами. Поверхня зерен синтетичних алмазів шорстка, що сприяє кращому утриманню зерен у зв’язці. Це є однією з причин, чому бруски алмазів мають більшу ріжучу здатність і коштують менше порівняно з брусками алмазів природного походження.

Синтетичні алмази мають різні експлуатаційні властивості. Синтетичні алмази АСО, АСР, АСВ, АСК і АСС представлені в порядку зростання міцності та крихкості зерен. Алмази АСО, АСР і АСВ використовують для виготовлення хонінгувальних брусків. Будова, міцність, крихкість і працездатність синтетичних алмазів відрізняються один від одного. Рекомендації щодо застосування алмазів та ельбору при хонінгуванні різних оброблюваних матеріалів можна знайти в таблиці 3.8 [20 с. 23-24].

Таблиця 3.8 Містить рекомендації щодо використання алмазів і ельбору під час хонінгування різних оброблюваних інструментів.

| Марка алмазу або ельбора | Матеріал, що обробляється | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Чавун | | Сталь | | | |
| | сірки | Загартування HRC> 40 | Термопокращення HRC 30-40 | Загартування HRC 59-61 | Цементований і загартована HRC 56-63 | Азотований HRC 62-65 |
| А | - | ● | - | - | - | - |
| АСО | ○ | - | - | - | - | - |
| АСР | ● | - | ● | - | - | - |
| АСВ | - | ○ | ○ | ○ | ○ | ● |
| БП | - | - | - | ○ | ○ | - |
| БВ | - | ○ | - | ● | ● | - |

Примітка. Умовне позначення - ● – рекомендується застосовувати, ○ – можна застосовувати.

## 3.6 Зернистість алмазних порошків

Алмазні порошки поділяються на дві групи залежно від алмазних зерен: шліфпорошки, отримані шляхом розсіву на ситах, і мікропорошки, які класифікуються за допомогою рідини (гідрокласифікація).

Щоб визначити зернистість шліфпорошків, основну фракцію

визначають за допомогою дробу, який містить розмір (мкм) сторони осередку верхнього сита, через який зерна основної фракції повинні проходити, а також знаменник нижнього сита, на якому ці зерна повинні затримуватися.

Розмір зерна в мікропорошку залежить від напівсуми довжини та ширини прямокутника, умовно описаного навколо проекції зерна на предметне скло мікроскопа. Дроби, які показують зернистість, складаються з чисельника найбільшого розміру зерен основної фракції та знаменника найменшого розміру зерен.

Шліфпорошки випускають з широким і вузьким діапазоном зернистостей, які відрізняються один від одного за розміром основної фракції зерен. У другому випадку забезпечується більша однорідність зернового складу, що призводить до покращення експлуатаційних якостей інструменту. Значення широкого діапазону діляться приблизно навпіл, щоб отримати зернистості вузького діапазону. Шкала зернистості алмазних шліфпорошків відповідно до ДСТУ 9206-70 представлена в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 Зернистість алмазних шліфпорошків

| Зернистість шліфпорошків марки | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| А | АСО | АСР | АСВ | АСК | АСВ |
| Широкий діапазон зернистостей | | | | | |
| 400/250 | - | - | 400/250 | - | - |
| 250/160 | - | 250/160 | 250/160 | - | - |
| 160/100 | 160/100 | 160/100 | 160/100 | - | - |
| 100/63 | 100/63 | 100/63 | 100/63 | - | - |
| 63/40 | 63/40 | - | - | - | - |

Продовження таблиці 3.9

| Вузький діапазон зернистостей | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 130/500 | - | - | - | - | 630-500 |
| 500/400 | - | - | - | 500/400 | 500/400 |
| 400/315 | - | - | 400/315 | 400/315 | 400/315 |
| 315/250 | - | - | 315/300 | 315/250 | 315/250 |
| 250/200 | - | 250/200 | 250/200 | 250/200 | 250/200 |
| 200/160 | - | 200/160 | 200/160 | 200/160 | 200/160 |
| 160/125 | 160/125 | 160/125 | 160/125 | 160/125 | 160/125 |
| 125/100 | 125/100 | 125/100 | 125/100 | 125/100 | 125/100 |
| 100/80 | 100/80 | 100/80 | 100/80 | 100/80 | - |
| 80/63 | 80/63 | 80/63 | 80/63 | - | - |
| 63/50 | 63/50 | 63/50 | - | - | - |
| 50/40 | 50/40 | - | - | - | - |

Наступні марки мікропорошку складаються з синтетичних алмазів АСМ і АСН, а природних алмазів АМ і АН. Микропорошки АСМ і АМ, які мають нормальну абразивну здатність, використовують для виготовлення притиральних паст і багатьох інструментів, включаючи хонінгувальні бруски. Мікропорошки АОН і АН, які мають підвищену абразивну здатність, часто застосовуються при обробці матеріалів, які надзвичайно крихкі. Шкала зернистості алмазних мікропорошків відповідно до ДСТУ 9206-70 представлена в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 містить значення зернистості алмазних мікропорошків.

| Зернистість | Розмір зерен в основній фракції мкм |
|---|---|
| 60/40 | Від 60 до 40 |
| 40/28 | 40 /28 |

| | |
|---|---|
| 28/20 | 28 /20 |
| 20/14 | 20/14 |
| 14/10 | 14/10 |
| 10/7 | 10/7 |
| 7/5 | 7/5 |
| 5/3 | 5/3 |
| 3/2 | 3/2 |
| 2/1 | 2/1 |
| 1/0 | 1і дрібніше |

Доцільно побудувати технологію алмазного хонінгування таким чином, щоб попередня та напівчиста операції забезпечували точність розмірів і геометричної форми отвору, що обробляється, а чиста (оздоблювальна) операція забезпечувала необхідну шорсткість поверхні з мінімальним зніманням припусків [20 с. 24].

### 3.7 Концентрація алмазів

Зерна в алмазних хонінгувальних брусках містяться лише в алмазоносному шарі, верхньому робочому шарі. Залежно від розмірів, призначення та способу виготовлення брусків його товщина коливається від 1 до 5 мм. Вміст алмазів у робочому шарі бруска може бути визначений за вагою в одиниці об’єму або об’ємним процентним співвідношенням зерна та зв’язки. Вміст алмазного шару в 1 мм3 становить 0,878 мг або 0,00439 карата алмазів (1 карат дорівнює 0,2 г), якщо прийнято 100% концентрацію. У більшості випадків алмазні бруски виготовляють із концентрацією алмазів 50, 100 і 150%. Завод може виготовити бруски з різною концентрацією алмазів за спеціальним замовленням [20 с. 24].

## 3.8 Зв'язування

Найчастіше діамантові бруски складаються з металевих зв’язків. Рідше використовують бруски з бакелітовою (органічною) зв’язкою. Алмазні бруски зношуються в 100-400 разів повільніше, ніж абразивних. Це пов’язано з високою міцністю та зносостійкістю алмазних зерен, а також силою утримання алмазних зерен у зв’язках.

Знос алмазних брусків на зв'язці металу значною мірою залежить від їхньої зернистості. Питома витрата алмазів знижується в результаті механічного зносу крупнозернистих брусків і руйнування алмазних зерен. Процес самозаточування та знос брусків алмазів посилюється зі збільшенням концентрації та зернистості алмазів, що призводить до збільшення питомої витрати алмазів [20 с. 25].

# 4 Контрольно-вимірювального обладнання параметрів платовершинного хонінгування

## 4.1 Характеристика контрольно-вимірювального обладнання параметрів платовершинного хонінгування

У цехових і лабораторних умовах широко використовуються профілометри для визначення шорсткості поверхні від 5 до 14 класів. У цеху виробництва блоків циліндрів ДВЗ використовується контрольно-вимірювальний прилад профілактограф, який має вимірювальну головку та деталь, яку вимірюють.

Ці пристрої мають електричний пристрій із спеціальними датчиками. Шорсткість поверхні оцінюється за допомогою спеціальної алмазної голки з радіусом закруглення 12 мкм. Прилад автоматично визначає шорсткість. Профілометри призначені для використання як у лабораторних, так і в цехах. шорсткість зовнішніх плоских, циліндричних і отворів діаметром понад 6 мм Контрольні пластини використовуються для налаштування та періодичної перевірки профілактометрів. Гранична похибка вбирається в межах плюс-мінус 15–20% [24]. Таблиця 4.1 містить список основних постачальників вимірювального обладнання, а також інформацію про їхні характеристики.

Таблиця 4.1 - Основні постачальники вимірювального обладнання

| Основні постачальники вимірювального обладнання | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Виробник | Матеріал | Найменування обладнання | Призначення обладнання | Похибка вимірювань |
| ф "Maspeco" (Італія) | Чавун | Контрольний автомат | 100% контроль геометричних параметрів, маркування класів циліндрів | 10% від поля допуску на розмір деталі |

Продовження таблиці 4.1

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Ф "UPM" (Італія) | Чавун | Контрольний автомат | 100% контроль геометричних параметрів, маркування класів циліндрів | 10% від поля допуску на розмір деталі |
| Ф "Marposs" (Італія) | Чавун | Контрольний автомат | 100% контроль геометричних параметрів, маркування класів циліндрів | 10% від поля допуску на розмір деталі |
| Ф "Marposs" (Італія) | Чавун | Контрольний автомат | 100% контроль геометричних параметрів, маркування класів циліндрів | 10% від поля допуску на розмір деталі |
| ф. "Jenoptik" (Німеччина) | Чавун | Прилад для контролю шорсткості | Універсальні виміри, контроль шорсткості | 0,0001 мм |
| ф. "Jenoptik" (Німеччина) | Алюміній | Прилад для контролю шорсткості | Універсальні виміри, контроль шорсткості | 0,0001 мм |
| ф. "Jenoptik" (Німеччина) | Алюміній | Прилад для контролю шорсткості | Універсальні виміри, контроль круглості, циліндричності. | 0,0001 мм |
| ф. "Hexagon" (Німеччина) | Алюміній | Координально вимірювальна машина | Контроль геометричних параметрів | 0,0064 мм |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ф "Marh" (Німеччина) | Чавун | Прилад для контролю форми | Універсальні виміри, контроль круглості | 0,0001 мм |
| ф "Marh" (Німеччина) | Алюміній | Прилад для контролю шорсткості | Універсальні виміри, контроль шорсткості. | 0,0001 мм |

## 4.2 Крива Аббота

Крива Аббота, зображена на рис. 4.1, є ще однією важливою характеристикою плато-хонінгованої поверхні. У ньому реєструються несучі частини профілю DIN 4762 в залежності від глибини різання.

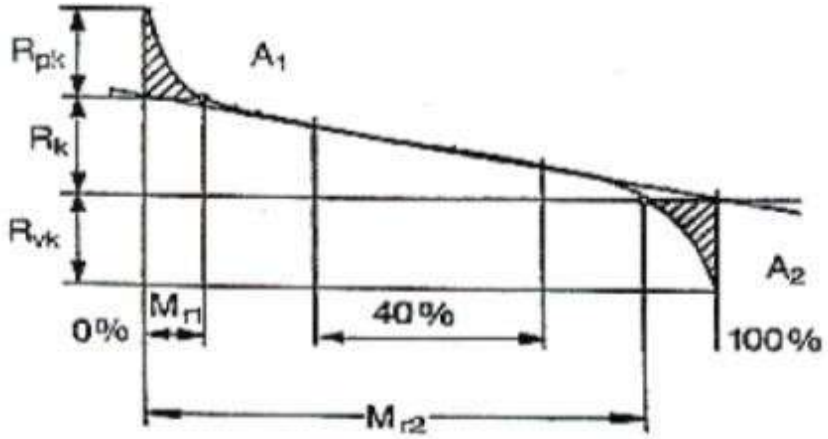



Рисунок 4.1 – Крива Аббота

Rpk — мінімальна висота піків. Після запуску двигуна верхня поверхня швидко зношується.

Серцевина шорсткості (Rk) Частина поверхні, яка працює довго, що впливає на ресурс двигуна.

Rvk знижує глибину западин. частина поверхні, яка залишилася після чорнової обробки та містить глибокі олійні жолоби або впадини.

Точка перегину, з’єднана з верхньою та нижньою межами серцевини шорсткості профілю, визначає матеріал деталі Mr1 і Mr2(В %).

Шорсткість оброблюваної поверхні контролюється в основному під час налагодження на початку зміни або переналагодження верстата відповідно до плану контролю. Перші кілька деталей піддаються перевірці, а потім виконується вибірковий контроль. Частота вимірювання залежить головним чином від налагодженості процесу хонінгування чи кількості деталей у партії. Для вимірювання параметрів шорсткості поверхні використовується система середньої лінії відповідно до номенклатури та діапазонів значень, передбачених ДСТУ 2789-73.

# 5 Розрахунок залежності переміщення хон брусків у гільзу блоку циліндрів від зусилля, прикладеного до штока у програмі CATIA

## 5.1 Опис конструкції

Хон складається з корпусу (1), у якому встановлені державки з припаяними на них хон-брусками (2), штовхача (3), клина (4), шарніра (5) і хвостовика (6), як показано на рисунку 5.1. Щойно шток гідроциліндра переміщується, клин рухається в осьовому напрямку, а державка з хон-брусками рухається в радіальному напрямку.

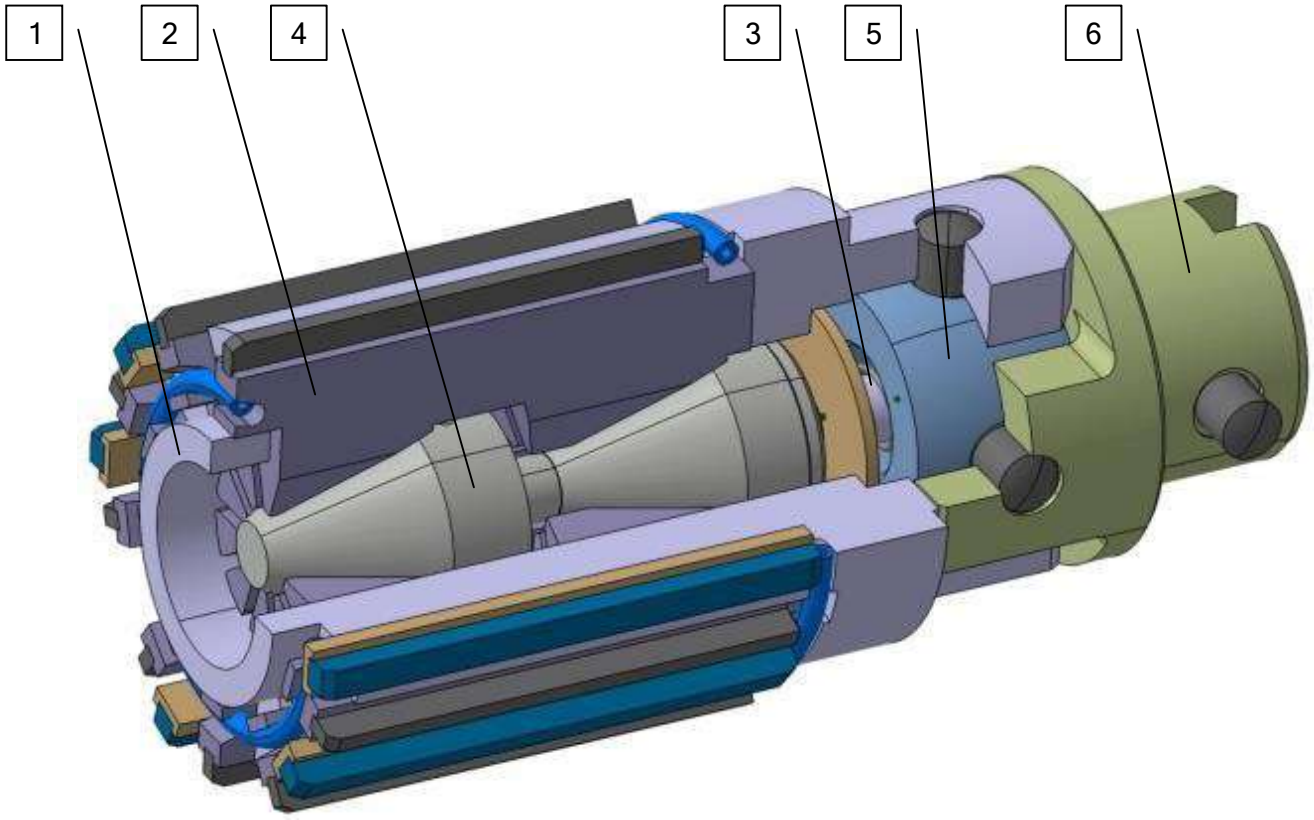



Рисунок 5.1 – Хон для обробки блоку циліндрів ДВЗ

Таблиця 5.1 містить інформацію про вибір матеріалу та розрахунки радіального переміщення хон-брусків у поверхню, що хонінгується.

| | Матеріал | Межа Міцності МПа$\sigma$ | Модуль Юнга Е, ДПА | Щільність , кг/м3 |
|---|---|---|---|---|
| Заготовка | Чавун Gh 190В 200НВ | 250 | 120 | 7200 |
| Корпус | Сталь 40ХДНМ 46…51 HRC | 1600 | 200 | 7860 |
| Тягач | Сталь 9ХС57…61 HRC | 1900 | 200 | 7860 |
| Клин | Сталь 19ХГН Цем. 57…61 HRC | 1000 | 200 | 7860 |
| Державка | Сталь ХВГ 50…55 HRC | 1700 | 200 | 7860 |
| Хон-брусок | Діамантовий брусок. | 700 | 7,6 | 4050 |

До інтерфейсу програми CATIA внесено основні характеристики матеріалів для розрахунку залежності переміщення хон-брусків у поверхню гільзи блоку циліндрів (таблиця 5.2).

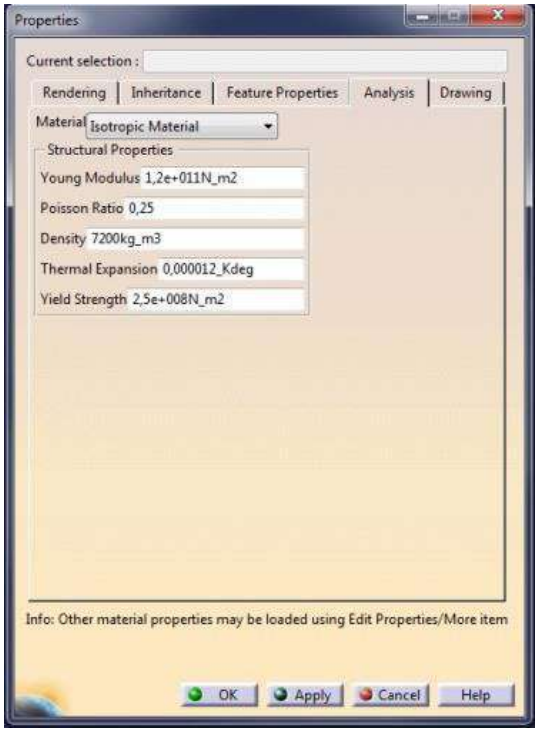
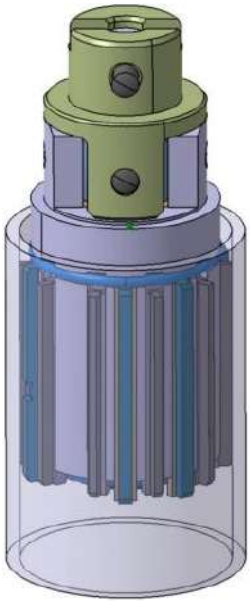



Рисунок 5.2 – Інтерфейс робочого вікна з характеристиками

Побудовано 3D модель хону з гільзою блоку циліндрів (Рисунок 5.3) та сітка кінцевих елементів (Рисунок 5.4).



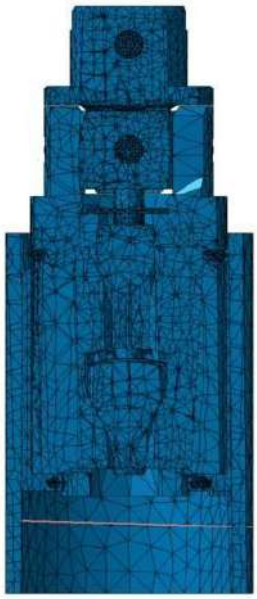


Рисунок 5.3-3D модель хона Рисунок 5.4 – Сітка кінцевих елементів

Зусилля гідроприводу було накладено на шток-штовхача, а також було

визначено переміщення хон-брусків і напругу у місці тиску хон-брусків при різних експериментальних зусиллях тиску (рис. 5.5–5.9).

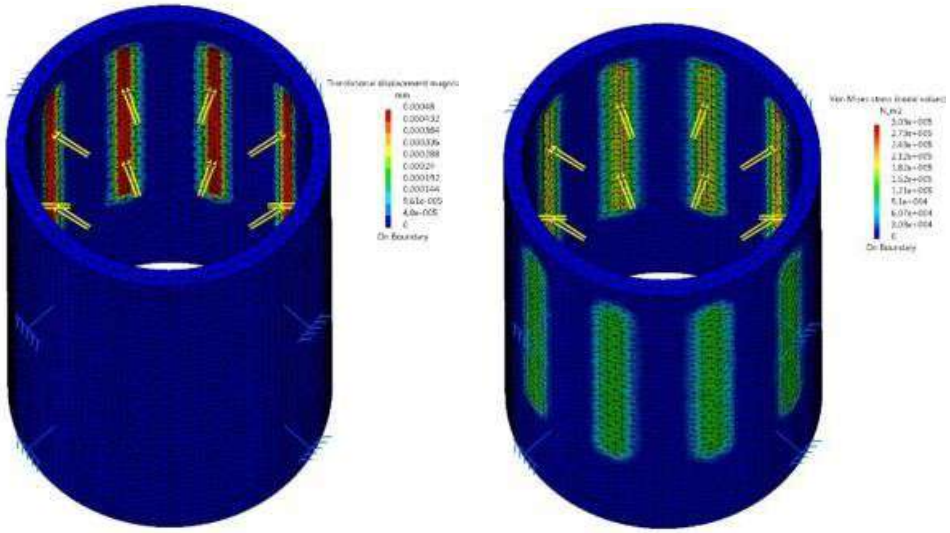


Рисунок 5.5 – Розрахунок переміщення хон брусків у гільзу блоку циліндрів за зусилля P = 1870,35 Н

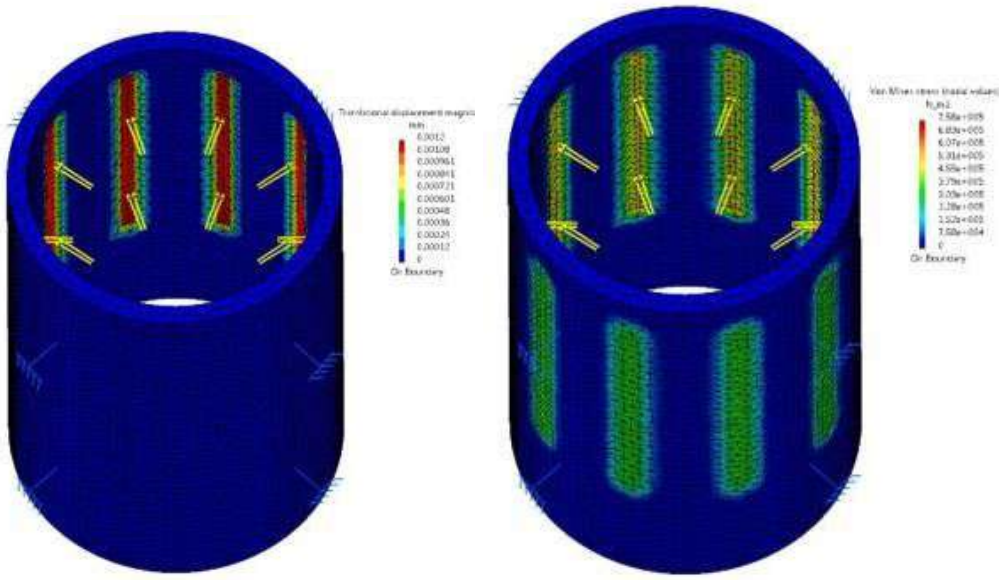


Рисунок 5.6 Розрахунок переміщення хон брусків у гільзу блоку циліндрів при зусилля P = 4675,87 Н

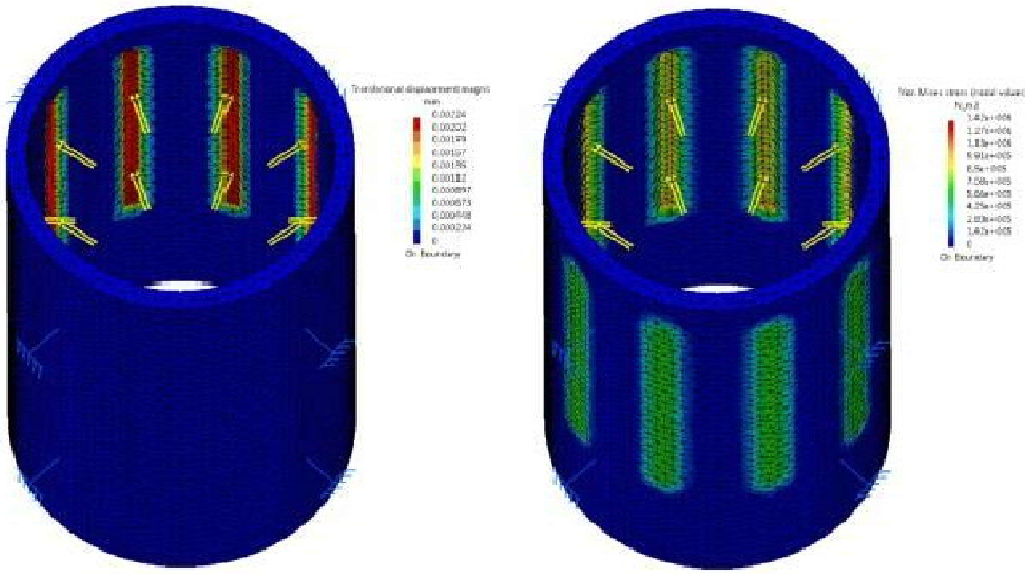


Рисунок 5.7 Розрахунок переміщення хон брусків у гільзу блоку циліндрів при зусилля P = 8728,29 Н

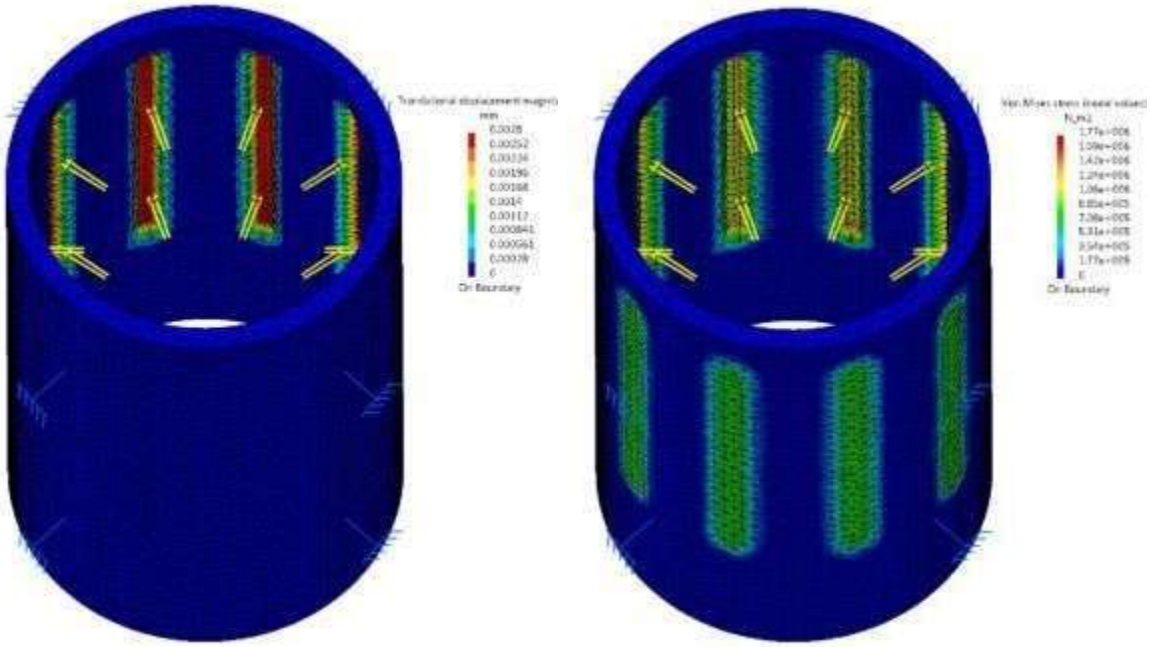


Рисунок 5.8 Ілюструє розрахунок зусилля P = 10910,36 Н для переміщення хон брусків у гільзу блоку циліндрів.

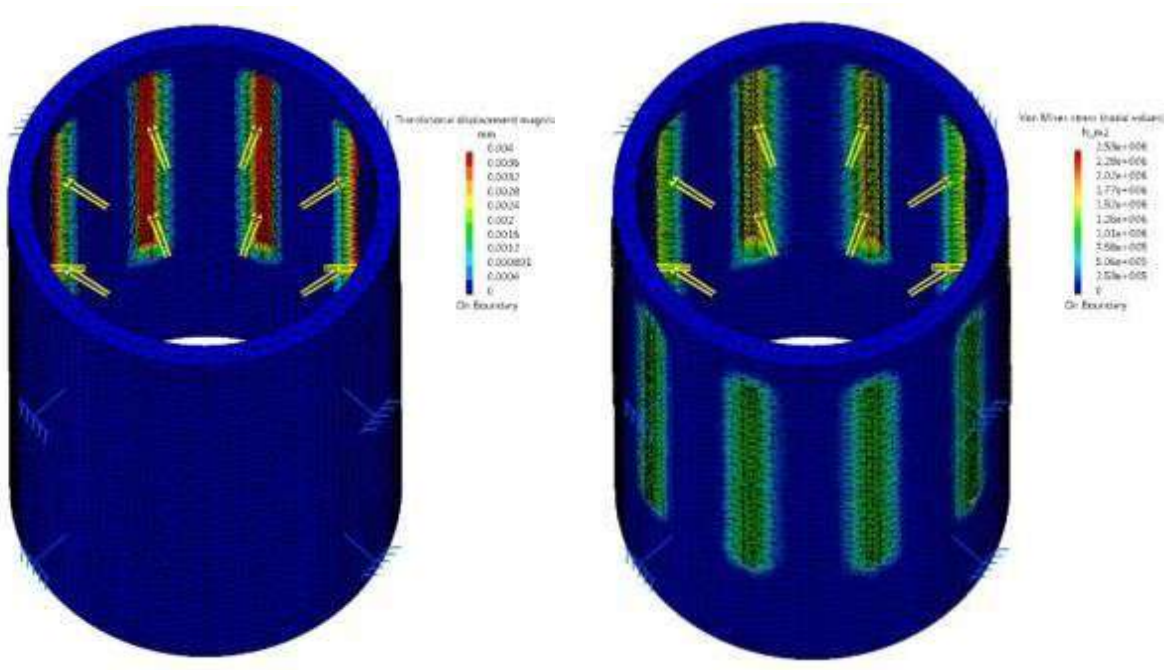


Рисунок 5.9 Ілюструє швидкість переміщення хон брусків у гільзу блоку циліндрів при зусиллі Р = 15586,22 Н.

В таблиці 5.2 наведено результати переміщення хон брусків в гільзу блоку циліндрів при різному зусиллі Н на штоку. Також наведено розрахунок напруги в місці тиску МПа.

Таблиця 5.2 містить розрахунок напруги в місці тиску в мегапаскальах.

| Зусилля на штоку, Н | Переміщення хон-брусків, мм | Напруга в місці тиск хон-брусків, МПа |
|---|---|---|
| 1870,35 | 0,00048 | 0,303 |
| 4675,87 | 0,0012 | 0,758 |
| 8728,29 | 0,00224 | 1,42 |
| 10910,36 | 0,0028 | 1,77 |
| 15586,22 | 0,004 | 2,53 |

Побудовано графік залежності (рис. 5.10) переміщення хон-брусків від зусилля, прикладеного до штока.

Рисунок 5.10 Показує, як переміщення хон-брусків залежить від зусилля, прикладеного до штока

На рис. 5.11 показано графік залежності напруги у місці тиску хон-брусків від зусилля, прикладеного до штока.

Рисунок 5.11 Показує, як напруга в місці тиску хон-брусків залежить від зусилля, прикладеного до штока

Висновки:

Розрахунки, виконані в програмі CATIA, показали, що збільшення зусилля, прикладеного до штока, призводить до збільшення напруги та переміщення хон брусків, що наближається до лінійного закону.

# 6 Дослідження мікрогеометрії поверхні дзеркала циліндра ДВЗ, аналіз впливу зносу інструменту на параметри шорсткості

## 6.1 Матеріали та методи

Рисунок 6.1 показує, що блоки циліндрів, які використовуються в цьому дослідженні, взяті з виробничої лінії бензинового двигуна об’ємом 1.6 літра з 4 циліндрами. Внутрішній діаметр циліндрів становить 78 мм. Фінішне плато-хонінгування — це процес, який вивчається за допомогою брусків, які містять керамічні абразиви.

Рисунок 6.1 – Блок циліндрів ДВЗ

Кожен блок циліндрів був відібраний з ідентичної виробничої лінії у, яка мала різні дні та час роботи. Зараз було відібрано вісімнадцять блоків циліндрів. Протягом усього терміну служби інструментів хонінгу інтервал відбору блоків забезпечує повне сканування. Таким чином, можна отримати точне картування розподілу шорсткості поверхні.

Параметри шорсткості Ra, Rz, Rk, Rpk, Rvk і Mr2 будуть отримані та проаналізовані за допомогою профілактографа.

Графіки з фактичними результатами з прив’язкою до дати заміни

інструменту показують мікрогеометрію хонігованої поверхні дзеркала циліндра ДВС у трьох координатах (рис. 6.2).

Крім того, було проведено дослідження впливу зносу керамічних брусків на параметри шорсткості, використовуючи стійкість 300 деталей і 2000 деталей.

Розрахований економічний ефект у порівнянні з керамічними брусками стійкістю 300 і 2000 деталей

Фактичний розмір поля допуску показаний у відсотках; 0 є нижньою межею поля допуску, а 100% є верхньою межею поля допуску.

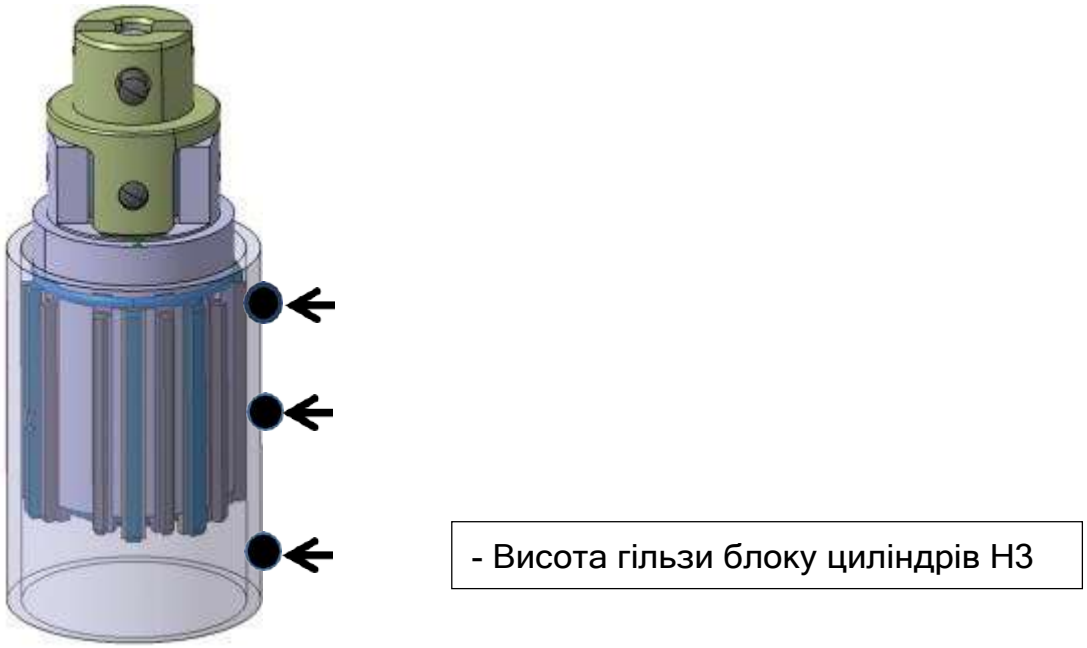



Рисунок 6.2 – Координати вимірювання параметрів шорсткості кожного циліндра за висотою Н1, Н2, Н3

## 6.2 Вплив зносостійкості інструменту на стандартні параметри шорсткості

Параметри шорсткості, представлені в цьому розділі, є стандартним відхиленням від середнього значення. Відсотки середнього значення кожного вимірювання є показником шорсткості.

Надано статистично значущі результати для всього 72 вимірів (18 блоків і 4 циліндрів). Вивчалися шість параметрів шорсткості. На графіках показано результати кореляції між різними параметрами шорсткості. У презентації показано кожен із шести параметрів. З шести параметрів шорсткості не було виявлено значної кореляції між зносом хонінгувальних інструментів різних виробників.

Усі вимірювання показують, що процес постійно перебуває в одних і тих самих межах поля допуску мінімального та максимального граничних значень. Жодна чітка залежність між усіма вимірами та зносом керамічного хонінгувального інструменту не виявлено з моменту початку обробки першої деталі різними виробниками.

### 6.3 Заміри шорсткості та аналіз мікрогеометрії у трьох точках висоти H1, H2, H3

У трьох точках N1, N2, N3, 1-му, 2-му, 3-му та 4-му циліндрах були виміряні параметри шорсткості Ra, Rz, Rk, Rpk, Rvk і Mr2 кожного циліндра за допомогою профілактографа. Вимірювання для аналізу були взяті з різною періодичністю під час програми виробництва 350 блоків циліндрів на добу, як показано на рис. 6.3-6.4.

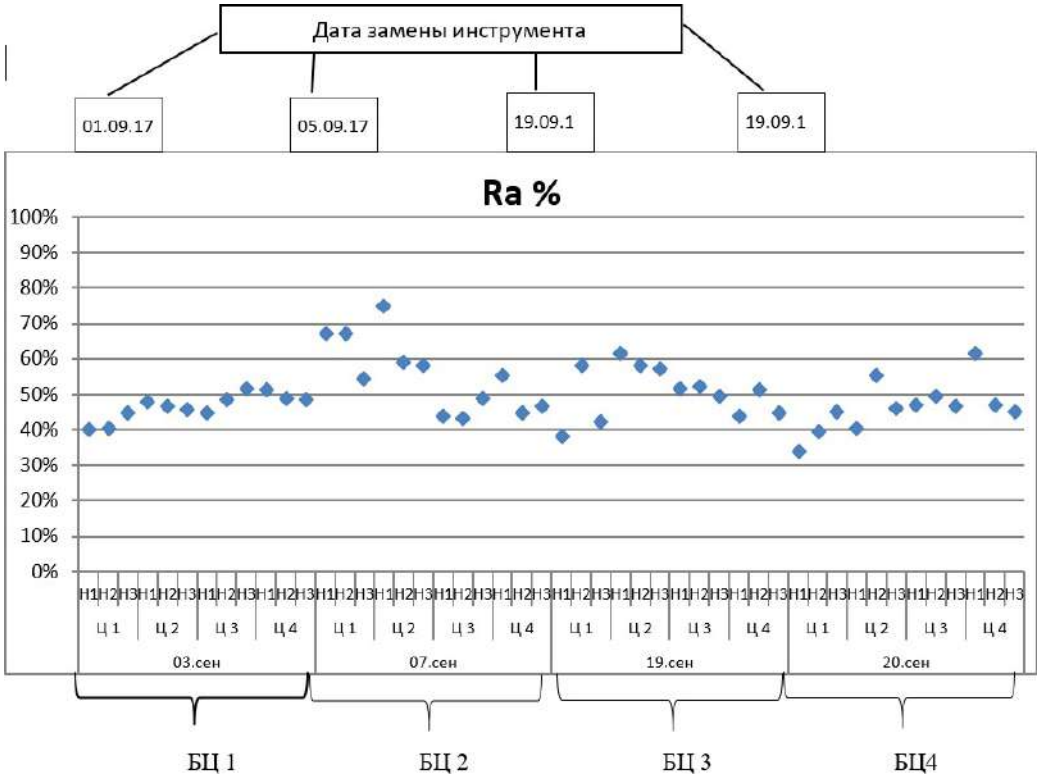



Рисунок 6.3 – Результати вимірювання Ra- з прив'язкою до дати заміни інструмента у трьох точках Н1, Н2, Н3

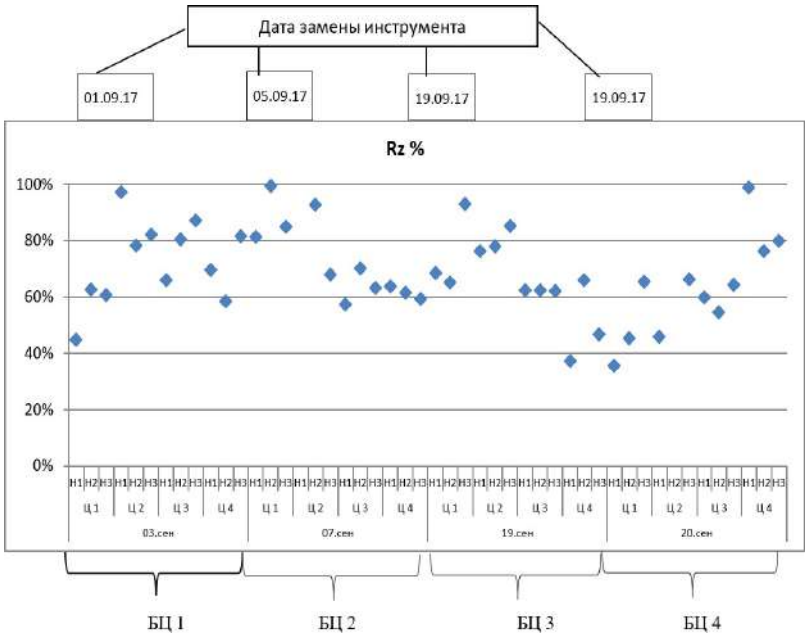



Рисунок 6.4 – Результати вимірювання Rz- з прив'язкою до дати заміни інструмента у трьох точках Н1, Н2, Н3

Висновки:

Згідно з результатами аналізу параметрів шорсткості, у трьох точках висоти циліндра H1, H2 і H3 було виявлено незначне відхилення шорсткості.

Можливі причини, чому при роздільному аналізі кожного циліндра можна виявити різницю в шорсткості висоти H1, H2 і H3, такі: пропоноване визначення зносу хонінгувального інструменту (діаметр інструменту) недостатньо точне і не є абсолютним значенням; процес хонінгування кожного циліндра складний і залежить від великої кількості змінних (мастило, форма та нагрівання), що ускладнює отримання загальної модел

Усі вимірювання показують, що процес постійно перебуває в одних і тих самих межах поля допуску мінімального та максимального граничних значень.

## 6.4 Аналіз впливу зносостійкості керамічного інструменту з характеристиками SCG 320 20 Ke 6268/F=03 на стандартні параметри шорсткості.

У період з 1 березня 2018 року по 13 березня 2018 року завершена операція платовершинного хонінгування проводилася за допомогою керамічних брусків з характеристиками SCG 320 20 Ke 6268/F=03, а дата заміни інструментів була зареєстрована.a, Rz, Rk, Rpk, Rvk і Mr2 були виміряні для кожного циліндра в трьох точках N1, N2, N3, 1, 2, 3 і 4 циліндрів відповідно. Вимірювання шорсткості були взяті з різною періодичністю в програмі виробництва 350 блоків циліндрів на добу, а середнє значення шорсткості кожного циліндра показано на малюнку 6.5. На графіках видно, що фактичні значення параметрів шорсткості знаходяться в одних і тих самих діапазонах усередині поля допуску мінімального та максимального граничних значень, що свідчить про те, що процес продовжує працювати безперервно.

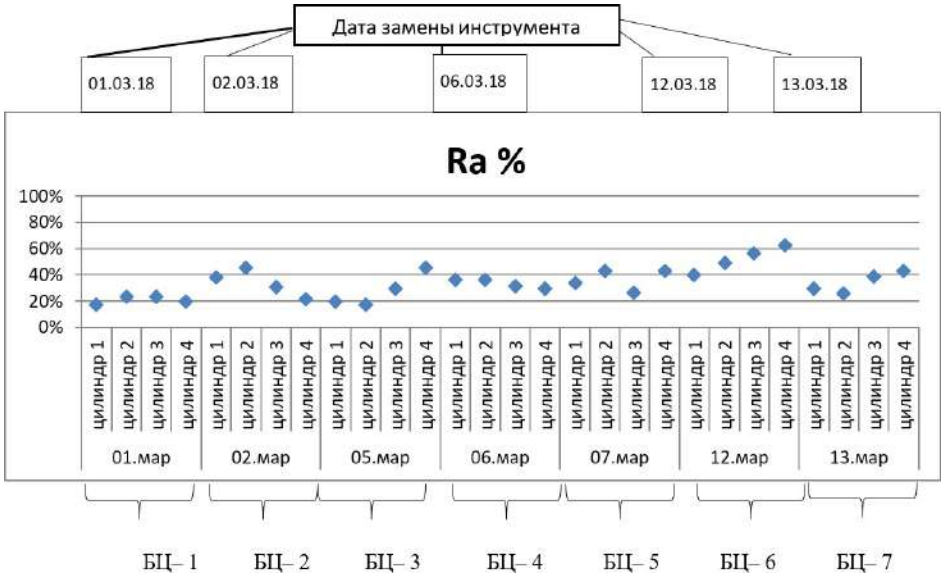



Рисунок 6.5 – Результати вимірювання параметра шорсткості Ra- З прив'язкою до дати заміни інструменту

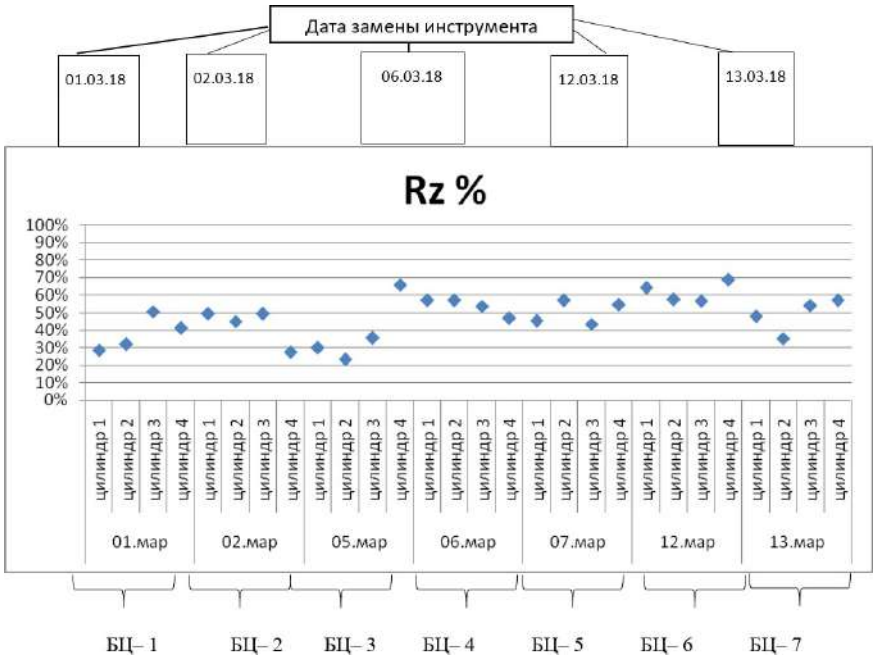



Рисунок 6.6 – Результати вимірювання параметра шорсткості Rz- З прив'язкою до дати заміни інструменту.

Маркування брусків SCG: 320 20 Ke 6268/F=03: SCG - це карбід кремнію зелений, 320 - розмір абразивного зерна за стандартом FEPA 40-28 мкм, Ke - керамічна зв'язка, 6268 - внутрішній номер виробника, F - твердість, 03 - форма брусків прямокутна.

6.5 Аналіз впливу зносостійкості керамічного інструменту з характеристиками 63CM28 M9 V на стандартні параметри шорсткості.

У період з 28.08.2025 по 05.09.2025 завершена операція платовершинного хонінгування з використанням керамічних брусків з характеристиками 63CM28 M9 V; дата заміни інструменту була зареєстрована. За допомогою профілактора були виміряні параметри шероа, Rz, Rk, Rpk, Rvk і Mr2 для кожного циліндра в трьох точках N1, N2, N3, 1, 2, 3 і 4 циліндрів відповідно. Вимірювання для аналізу були зроблені з різною періодичністю в програмі виробництва 350 блоків циліндрів на добу. Середні значення шорсткості кожного циліндра показано на малю На графіках видно, що фактичні значення параметрів шорсткості знаходяться в одних і тих самих діапазонах усередині поля допуску мінімального та максимального граничних значень, що свідчить про те, що процес продовжує працювати безперервно.

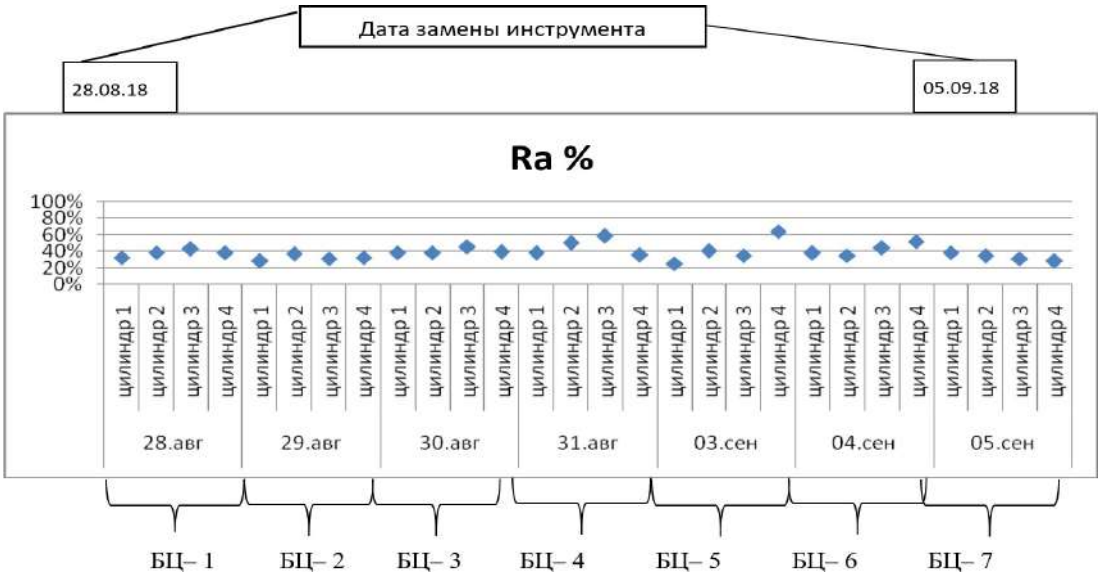



Рисунок 6.7 – Результати вимірювання параметра шорсткості Ra- з прив'язкою до дати заміни інструменту

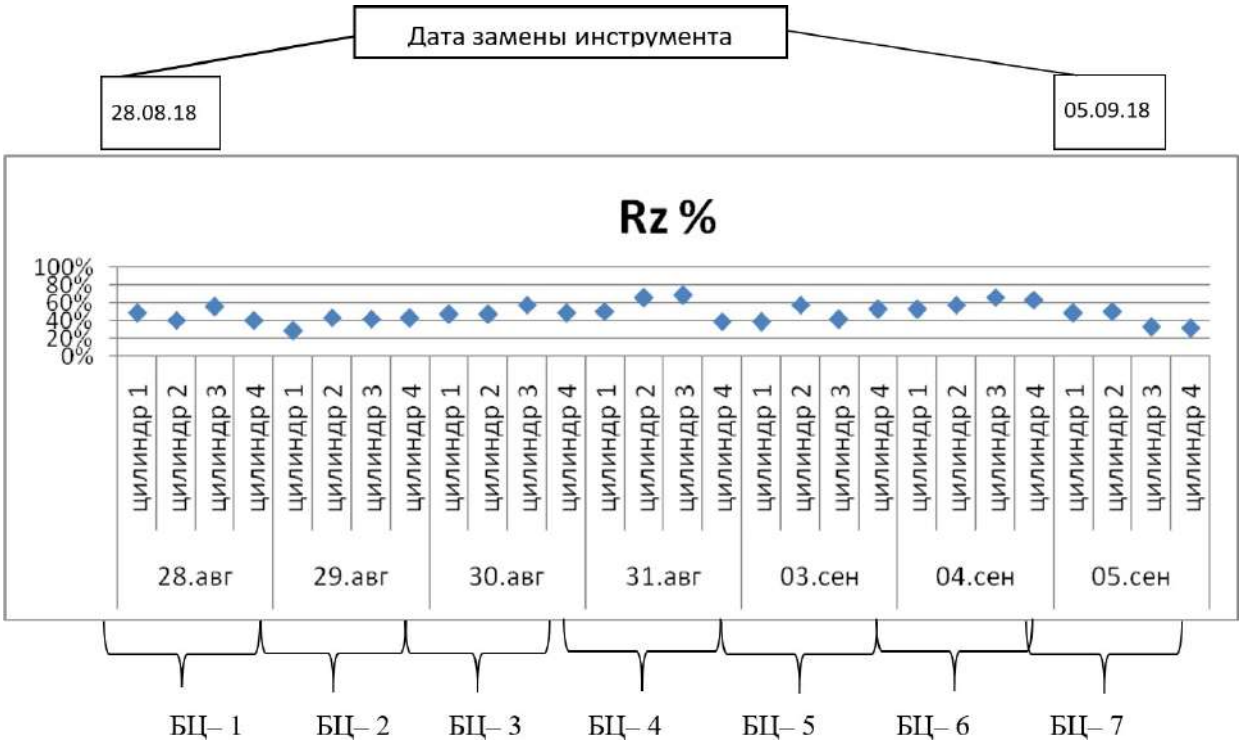



Рисунок 6.8 демонструє результати вимірювання параметра шорсткості Rz з прив’язкою до дати заміни інструменту.

Маркування брусків 63СМ28 М9 V розшифровується так: М28 означає карбід кремнію зелений М28 означає розмір зернистості абразивного зерна 28 мікрометрів М означає твердість 9 означає номер відкритої структури V означає керамічну зв'язку

## 6.6 Методика оцінки та застосовуване обладнання

В умовах серійного виробництва (застосовуються в умовах підприємства) стаціонарний профілограф фірми «JENOPTIK» використовується для контролю мікрогеометрії дзеркала циліндра, вимірювання профілю поверхні та реєстрацію.

Для професійного використання в умовах серійного виробництва «JENOPTIK» є компактним, стаціонарним вимірювальним приладом для вимірювання шорсткості поверхні. Він був атестований відповідно до графіка атестації контрольних засобів вимірювань.

Поверхнева профілограма використовується для реєстрації мікропрофілю, що дає точні характеристики платохонінгованої структури поверхні. Для ефективного платохонінгування, контролю результатів обробки у виробництві та ремонтних технологіях необхідні дані за параметрами допуску виробника ДВЗ (тримаються в секреті).

Рис. 6.9 показує тип приладу, а таблиця 6.1 містить основні технічні характеристики.

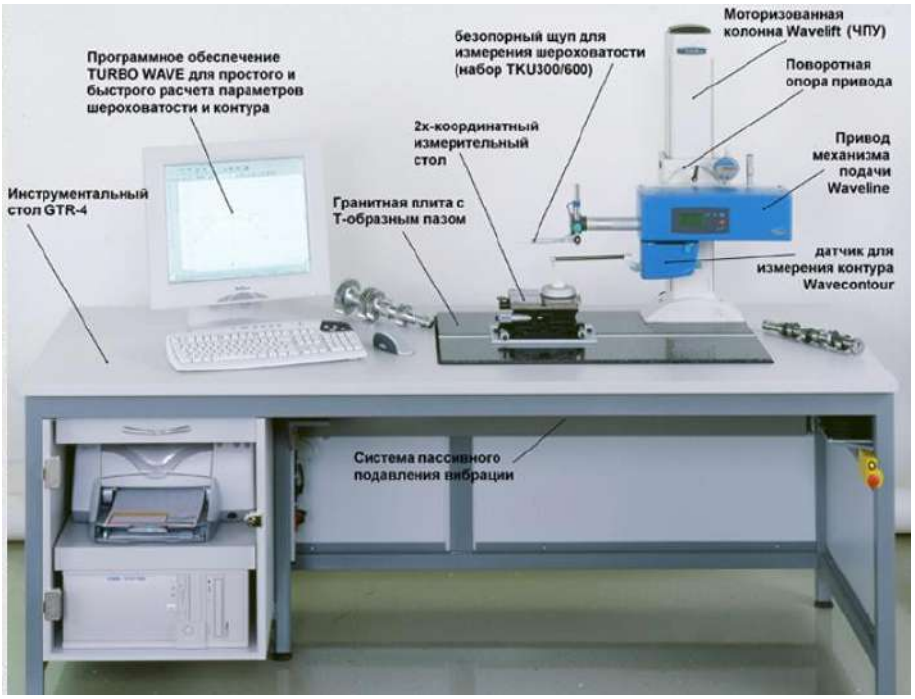



Рисунок 6.9 - JENOPTIK Hommel-Etamic T8000

Таблиця 6.1 – Основні характеристики приладу JENOPTIK Hommel-Etamic T8000

| | |
|---|---|
| Принцип виміру | контактний, із застосуванням опорних та безопорних щупів. |
| Клас точності DIN4772 | Клас 1 (3%) |
| Діапазон виміру/дозвіл | ±8 мкм/1 нм |
| | ± 80 мкм/10 нм |
| | ± 800 мкм/100 нм |
| | ±8000 мкм/1000 нм |
| Одиниці виміру | Мкм/мкдюйм, що перемикаються |
| Фільтри, що застосовуються: | |
| відсікання кроку | 0,025; 0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8 (мм), |
| | обирається |
| DIN 4768 | RC дискретно обчислюваний (мм), |
| | гранична довжина хвиль 0,025; 0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8 |
| DIN EN ISO 11562, частина 1, (50% Гаус) | Гаус (М1) цифровий фільтр (мм), |

Продовження таблиці 6.1

| | |
|---|---|
| | гранична довжина хвиль 0,025; 0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8 |
| DIN EN ISO 13565-1 | Подвійний Гаус (M2), Rk-параметри |
| | гранична довжина хвиль 0,025; 0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8 |
| ISO 3274/11562 | Гранична довжина коротких хвиль ls |
| | вибір ступенями λc / λs 30; 100; 300 |
| Швидкість трасування vt | lt - задана 0,05; 0,15; 0,5 мм/с |
| | або змінна 0,01 - 2,0 мм/с на 0,01 ступені |
| Довжина трасування lt | 0,48; 1,5; 4,8; 15; 48 мм або змінна від 0,1 до 200 мм |
| Довжина оцінки lm | 0,40; 1,25; 4,0; 12,5; 40 мм або змінне відсічення граничної довжини хвиль |
| Відсікання кроку λ [мм] | 0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8 |
| Вимірювані параметри шорсткості | |
| DIN EN ISO 4287 | Ra; Rz; Rmax; Rt; Rq; Rsk; lmo; lo; Rdq; da; ln; La; Lq; Rz-ISO; R3z; RPM; Rp3z; R3zm; Rp; D; RPc; RSm; Rpm/R3z; lr; Rku; tpif; Rdc; tpia; tpip; tpic; Rt/Ra; Rz1; Rz2; Rz3; Rz4; Rz5; RMR; Rmr%; Api |
| згідно DIN EN ISO 13565 | Rk parameters Rpk*; Rpk; Rk; Rvk *; Rvk; Mr1; Mr 2; A1; A2; Vo (70%) 0.01 * Rv / Rk |
| Профільні параметри згідно DIN EN ISO 4287 | Pt.; Pp; Pz; Pa; Pq; Psk; PSm; Pdq; lp; Pku; tpaf; tpaa; tpab; tpac; Pmr0; APa; APa%; Pmr; Pmr%; Pdc |

| | |
|---|---|
| Параметри хвилястості згідно DIN EN ISO 4287 | Wt.; Wp; Wz; Wa; Wq; Wsk; WSm; Wdq; lw; Wku; Wdc |
| Параметри хвилястості за VDA 2007 | WD1c; WD1t; WD1sm; WD2c; WD2t; WD2sm |
| Параметри Motif за DIN EN ISO 12085 | R; Rx; AR; Nr; W; Wx; AW; Nw; Wte; P$\delta$c (CR, CL, CF) |
| Статистика | від 1 до 999 вимірювань, діапазон, макс., хв., відхилення |
| Режими роботи | Вимірювання шорсткості, проведення вимірювань, дистанційне керування, юстування, розробка програм, топографія |

Продовження таблиці 6.1

| | |
|---|---|
| Вирівнювання профілю | інверсія, груба. точне, часткове |
| Підключаються периферійні пристрої: | Механізми подачі wavelineTM20/60/120/200 |
| | Моторизовані колони wavelift 400/wavelift 800 |
| | Поворотна опора wavetilt 60/120/200 |
| | Датчики вимірювання контуру: індуктивний, цифровий, скануючий |
| | топографія поверхні: пристрій позиціонування по осі Y |
| | поворотний модуль waverotor RV150 для трасування кілець уздовж утворює |
| Електроживлення | 100 В - 120 В / 200 В - 240 В, що перемикається, 50 - 60 Гц, |

| | |
|---|---|
| | 235 ВА |
| Робоча температура | + 5 °С Від +40 °С, відносна вологість повітря макс. 85% без конденсату (ΔТ=2ºС/год) |
| Температура зберігання | - 20 °С Від +50 °С |

6.7 Оцінка параметрів шорсткості дзеркала циліндрів з використанням керамічних брусків різних виробників

Параметри шорсткості Ra, Rz, Rvk, Rpk і Mr2 використовувалися для оцінки параметрів шорсткості дзеркал циліндрів ДВС після обробки керамічних брусків різних виробників.

Всі вимірювання були в межах максимальної та мінімальної меж допустимих значень мікронерівності, згідно з результатами, отриманими для кожного виробника (рис. 6.10). Як зазначалося раніше, дані параметри були виміряні в трьох точках висоти Н1, Н2 і Н3, тобто по всій висоті гільзи блоку циліндрів.

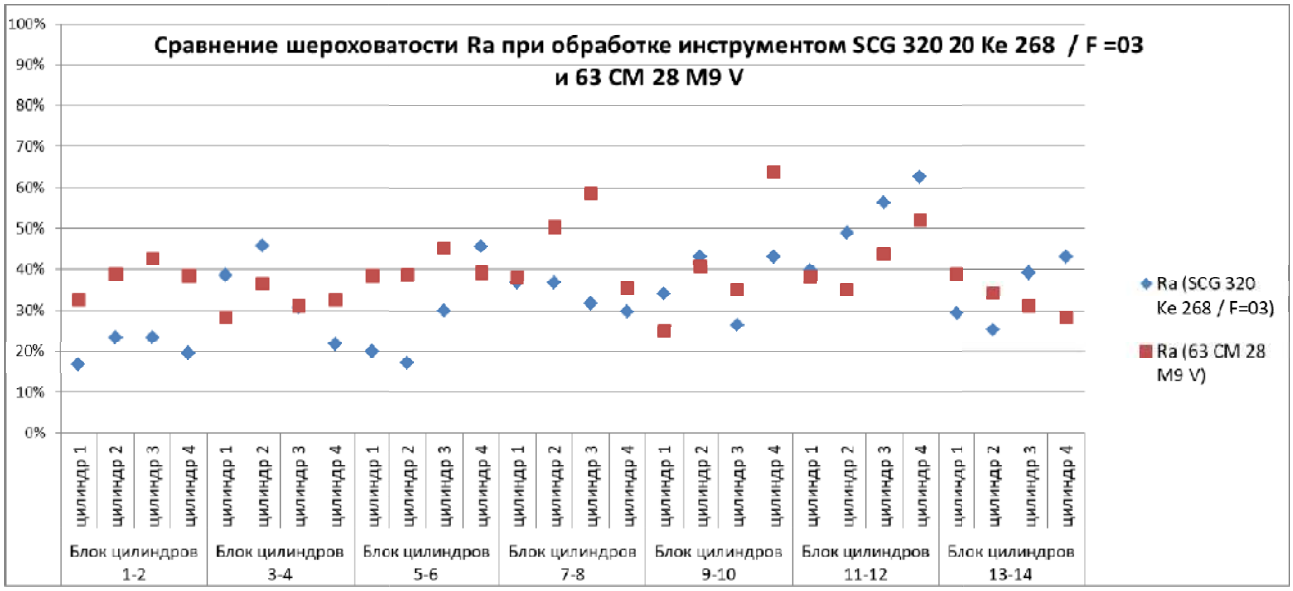



Рисунок 6.10 – Результати вимірювання параметра шорсткості Ra- з прив'язкою до дати заміни інструменту двох виробників

## 6.8 Порівняння характеристик інструменту двох виробників

При порівнянні характеристик інструментів двох виробників можна зробити висновок, що інструменти SCG 320 20 Ke 6268/F=03 і 63CM28 M9 V складаються з зеленого карбіду кремнію, мають керамічну зв'язку та приблизно однакові розміри абразивного зерна. Однак інструмент Ke2 6268/F=03 має м'яку твердість, тому бруски цього виробника менш стійкі.

## 6.9 Економічний ефект

Таблиця 6.2 містить зведені показники застосовності, стійкості, розміру та вартості для розрахунку економичного ефекту.

Аналіз витрат на інструмент для платовершинного хонінгування було проведено для двох різних виробників, характеристики яких наведені в таблиці. Одночасно працюють два кімнати (третій і четвертий), у кожній з яких встановлено по шість керамічних брусків, що складає дванадцять прим.

Таблиця 6.2 показує характеристики інструменту різних виробників щодо застосовності, стійкості, розмірів і вартості.

| Форма, розмір | Характеристика | Стійкість до повного зносу | Якість на відповідність<br><br>вієкреслення. | Комплект брусків шт. на 1 хон | Одночасно але в роботі хонов шт. | Операція | Вартість 1 бруска |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| АБХ 80х6х8 | SCG 320 20 Ke 6268/F=03 | 400 | Так | 6 | 2 | плато | 762гр |
| АБХ 80х6х8 | 63CM28 M9 V | 2000 | Так | 6 | 2 | плато | 397гр. |

Порівняльний аналіз показав, що:

- вартість керамічних брусків 63CM28 M9 V нижче на 48% щодо SCG 320 20 Ke 6268/F=03, показано на рис. 6.11, стійкість
- керамічних брусків 63CM28 M9 V вище в 5 разів відносно SCG 320 20 Ke 6268. витрати керамічних брусків 63CM28 M9 V нижче в 5 разів щодо SCG 320 20 Ke 6268/F=03, показано на рис. 6.13, що в сукупності при використанні брусків 63CM28 M9 V
- дозволяє знизити витрати на операцію фінішного платовер 4 180 з УРАХУВАННЯМ. на 10000 деталей.

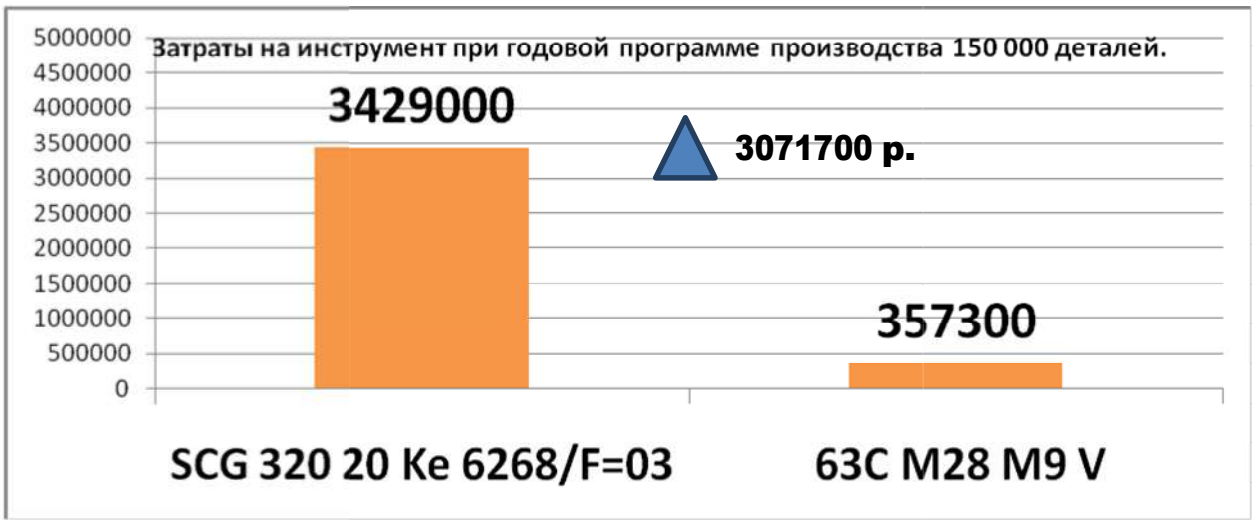



Рисунок 6.14 – Порівняння річних витрат на інструмент керамічних брусків двох виробників

Висновки:

Порівняльний аналіз вимірів параметрів шорсткості показав, що бруски різних виробників з характеристиками SCG 320 20 Ke 6268/F=03 і 63CM28 M9 V мали однакові показники якості та граничного значення поля допуску за виміряними 6 параметрами шорсткості: Ra, Rz, Rk, Rpk, Rvk і Mr2.

Не було виявлено чіткої кореляції між параметрами шорсткості з моменту початку обробки першої та останньої деталі різних виробників із характеристиками SCG 320 20 Ke 6268/F=03 та 63CM28 M9 V.

Інструмент з характеристиками SCG 320 20 Ke 6268/F=03 має меншу твердість ніж інструмент 63CM28 M9 V, як показав порівняльний аналіз інструменту. Отже, бруски цього виробника мають меншу стійкість.

Вартість керамічного бруска з характеристиками SCG 320 20 Ke 6268/F=03 на 48% вища, ніж вартість керамічного бруска з характеристиками 63CM28 M9 V.

# ВИСНОВОК

У цій кваліфікаційній роботі було проведено огляд літератури з метою вивчення контрольованих параметрів мікрогеометрії поверхні дзеркала циліндрів ДВЗ, які використовуються автовиробниками, а також способів отримання цієї поверхні. Вивчалося хонінгове обладнання, контрольно-вимірювальне обладнання та основні постачальники, а також випадки дефектів стінок циліндрів.

За допомогою комп'ютерних технологій зроблених у програмі CATIA було зроблено розрахунок залежності переміщення хон брусків у поверхню гільзи блоку циліндрів, що хонінгується, від зусилля прикладеного до штока.

Під час виконання магістерської роботи було проведено експериментальне дослідження мікрогеометрії поверхні дзеркала циліндра ДВС. Було проведено оцінку параметрів шорсткості після обробки керамічних брусків різних виробників за параметрами шорсткості Ra, Rz, Rk, Rpk, Rvk і Mr2. Було досліджено вплив зносу інструменту на параметри шорсткості протягом періоду його стійкості.

Розраховано економічну ефективність і витрати на керамічний інструмент двох виробників брусків для програми 150 000 деталей на рік в умовах масового виробництва.

Результати експерименту показують, що бруски різних виробників з характеристиками SCG 320 20 Ke 6268/F=03 і 63CM28 M9 V мали однакові якісні показники при однакових режимах обробки, швидкостях різання, кількості ходів, кутах різання та максимально 6 параметрах шорсткості: Ra, Rz, Rk, Rpk, Rvk і Mr2.

Не було виявлено чіткої залежності між параметрами шорсткості з моменту початку обробки першої та останньої деталі різних виробників із характеристиками SCG 320 20 Ke 6268/F=03 та 63CM28 M9 V.

Інструмент із характеристиками SCG 320 20 Ke 6268/F=03 має меншу

твердість, ніж інструмент 63CM28 M9 V, як показав порівняльний аналіз інструменту. Отже, бруски цього виробника мають меншу стійкість.

Вартість одного керамічного бруска з характеристиками SCG 320 20 Ke 6268/F=03 на 48% вища, ніж вартість одного керамічного бруска з характеристиками 63CM28 M9 V. Це значна різниця у витратах.

Застосування підвищеної стійкості керамічних брусків у масовому виробництві зменшує витрати на одиницю продукції, збільшуючи прибутковість і конкурентоспроможність компанії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Прогресивні методи хонінгування/ С.І. Куликов, Ф.Ф. Рівзанів, В.А. Романчук, С.В. Ковалевський. - К.: Машинобудування, 1983. -135 с.

2. Дегтярьов, В.В. Курс Лекцій з технології автомобілебудування / В.В. Дегтярьов. - К.: Машинобудування, 2003. - 102 с.

3. Cabanettes, F. //Roughness variations in cylinder liners in dused by honingtools' wear / F. Cabanettes, Z. Dimkovski, B.-G. Rosén // Precision Engineering - 2015. - № 41 - P. 40-46.

4. Yousfi, M. // Tribological performance of elliptic and circular texture patterns produced innovative honing process/ M. Yousfi, S. Mezghani, I. Demirci, M. El Mansori // Trobology International [Електронний ресурс]. – URL: www://elsevier.com/locate/triboint. - Загл. з екрану. (Дата звернення: 15.05.2019).

5. Mahle Group. [Електронний ресурс]. - URL:www.mahle.ru (дата звернення: 14.05.2026).

6. Критерії якості процесу хонінгування. [Електронний ресурс]. - URL: www.sp-vms.com (дата звернення: 20.04.2026).

7. ДСТУ 2.309 - 73. Позначення шорсткості поверхонь. Введ. 1973-11-09. - К.: Вид-во стандартів, 2002. - 14 с.

8. ДСТУ 24773 - 81. Поверхні з регулярним мікрорельєфом. Введ. 1981-10-06. - К.: Вид-во стандартів, 1981. - 9 с.

9. Demirci, I. // Impact of superficial surface texture anisotropy in helical slide and plateau honing on ring-pack performance / I. Demirci, S. Mezghani, M. Yousfi, EI. Mansori // Institution Mechanical Engineers, Engineering Trobology - 2015. - № 5 - P. 1-8.

10. Wieslaw Grabon// Pawel Pawlus//, Slawomir Wos //, Waldemar Koszela//, Michal Wieczorowski// Eff ects honed cylinder liner surface texture on tribological properties of piston ring-liner assembly in short time tests //

Trobology International [Електронний ресурс]. — URL: www://elsevier.com/locate/triboint. - Загл. з екрану. (Дата звернення: 12.03.2026).

11. Радкевич, Я.М. Метрологія, стандартизація та сертифікація У 3ч. Частина 2 Стандартизація: підручник для СПО // Я.М. Радкевич, А.Г. Схіртладзе - Х: Видавництво Юрайт. – 2018. – 481 с.

12. Технічні характеристики алюмінієвого блоку. [Електронний ресурс]. – URL: //http://wikimotors. (дата звернення: 20.04.2026).

13. Технічні характеристики чавунного блоку [Електронний ресурс]. – URL: //http://www.motors-vaz.ru/vaz21124.html (дата звернення: 20.04.2026).

14. Hwa, K. Методи приготування міжнародної композиції Engine Cylinder Bore surfaces for frictional improvement // Kong Chung Hwa, D. Ramasamy, K. Kadirgama, MM Noor, MM Rahman, M. Samykano // International Journal of Surface Science and Engineering. - 2013. - P. 131-151.

15. Бабаєв, С.Г. Алмазне хонінгування глибоких та точних отворів / С.Г. Бабаєв, Н.К. Мамедханов, Р.Ф. Гасанів. - Київ: Машинобудування, 1978. - 103 с.

16. Степанов, С.М. Метрологічне забезпечення виробництва/С.М. Степанов, О.М. Табенкін, С.Б. Тарасів. - Л.: Машинобудування, 2012. - 147 с.

17. Grzesik, W. Characterization of surface textures generated on hardened steel parts в high-precision machining operations / W. Grzesik, J. Rech, K. Żak // Journal of Materials. 2015. - P. 238-246.

18. Hu, Y. Mutual influence of plateau roughness and groove texture of honed surface on frictional performance of piston ring-liner system / Yang Hu, Xianghui Meng, Youbai Xie, Jiazheng Fan // Applied Surface Science. T. 316. 2014. №1 - P. 102-107.

19. Новіков Ф.В. Дослідження шорсткості поверхні при алмазно-абразивної обробки методами теорії ймовірності / Ф.В. Новіков, В.Г. Шкурупій // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2004. – № 44. – С. 135-

146.

20. ДСТУ 2789-2017. Шорсткість поверхні. Параметри та Показники. - Замість ДСТУ 2789-73; -Введ. 2017-07-13. - М.: Вид-во стандартів, 2017. - 8 с.

21. ДСТУ 19300-2017. Засоби вимірювань шорсткості поверхні профільним способом. Профілографи-профілометри контактні. Типи та основні параметри. - Замість ДСТУ 19300-86; - Введ. 2017-07-13. - М.: Вид-во стандартів, 2017. - 11 с.

22. Чеповецький, І.Х. Методичні вказівки з антифрикційного плосковершинному хонінгуванню гільз циліндрів двигунів внутрішнього згоряння / І.Х. Чеповецький, В.Л. Стрижаков, А.В. Бараболя. - Київ, ІСМ АНУРСР, 1986. - 11 с.

# ДОДАТКИ