

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АТ - 05.00.00.000 ПЗ

Група ЗААГ – 57п

Власенко Ілля

2026

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Міністерство освіти і науки України
Інститут інженерної механіки та робототехніки
Кафедра автомобільного транспорту

Власенко Ілля Максимович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 653.13.07

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Тема: Удосконалення технології відновлення гільз циліндрів автомобільних двигунів з метою підвищення їх зносостійкості в умовах автотранспортного підприємства

(назва роботи)

Автомобільний транспорт

(назва освітньої програми)

274-Автомобільний транспорт

(шифр і назва спеціальності)

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Виноградов Микола Семенович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

М.М. Гнип

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

Рецензент

(посада)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Інститут інженерної механіки
Кафедра автомобільного транспорту
Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр
Спеціальність: „Автомобільний транспорт”

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завкафедрою АТ

_____ М.М. Гнип
„_____” _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ

Бакалавр

Власенко Ілля Максимович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

- Тема проекту:** Удосконалення технології відновлення гільз циліндрів автомобільних двигунів з метою підвищення їх зносостійкості в умовах автотранспортного підприємства затверджена наказом по університету від _____ № _____
- Термін здачі студентом закінченого проекту (роботи) 12.06.2026 р.
- Вихідні дані до проекту: технологія відновлення робочої поверхні гільз циліндрів, розробити заходи щодо підвищення зносостійкості гільз циліндрів, виконати розрахунок оптимальних параметрів режиму хонінгування силікатними брусками.
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)
Вступ. 1. АНАЛІЗ УМОВ ЗНОШУВАННЯ ТА МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ. 2. ТЕХНОЛОГІЯ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ. 3. РОЗРОБКА ЗАХОДУ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ. 4. ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ХОНІНГУВАННЯ СИЛІКАТНИМИ БРУСКАМИ. 5. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ РЕМОНТІ ДВИГУНІВ В УМОВАХ АТП. Висновки. Список використаних джерел.
- Перелік аркушів презентаційного графічного матеріалу:
 - Тема бакалаврської роботи
 - Конструкція гільзи циліндра, типи встановлення та схема дії навантажень
 - Основні види зношування гільз циліндрів, ознаки та причини їх виникнення
 - Порівняльний аналіз методів підвищення зносостійкості гільз циліндрів
 - Технологія відновлення робочої поверхні гільз циліндрів
 - Характеристика хонінгувальних брусків
 - Склад та виготовлення силікатних брусків
 - Механізм хонінгування силікатними брусками
 - Обладнання та зразки для проведення оптимізації параметрів режиму хонінгування силікатними брусками
 - Результати оптимізації параметрів режиму хонінгування силікатними брусками
 - Удосконалена технологія хонінгування гільз циліндрів силікатними брусками
 - Безпека життєдіяльності та охорона праці при ремонті двигунів в умовах АТП
 - Висновки

Керівник	_____	/М. Виноградов /
	Особистий підпис	Розшифровка підпису
Завдання прийняв до виконання	_____	/І. Власенко /
	Особистий підпис	Розшифровка підпису

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер і назва етапів проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту	Примітка
Вступ.	16.04.	
1 Розділ	24.04.	
2 Розділ	01.05.	
3 Розділ	10.05.	
4 Розділ	20.05.	
5 Розділ	31.05.	
Графічна частина (презентація).	10.06.	
Висновки. Список використаних джерел.	12.06.	
Готовність проекту до попереднього захисту	19.06.	

Бакалавр _____ / І. Власенко /
Особистий підпис Розшифровка підпису

Керівник проекту _____ / М. Виноградов /
Особистий підпис Розшифровка підпису

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи на тему: «Удосконалення технології відновлення гільз циліндрів автомобільних двигунів з метою підвищення їх зносостійкості в умовах автотранспортного підприємства» складається із 88 аркушів формату А4, на яких містяться 5 розділів, 14 таблиць, 17 рисунків.

У даній бакалаврській роботі було розглянуто питання підвищення зносостійкості робочої поверхні гільз циліндрів автомобільних двигунів в умовах автотранспортного підприємства. Проведено аналіз причин і характеру зношування гільз циліндрів, а також досліджено основні методи їх відновлення та зміцнення.

У роботі виконано порівняльний аналіз існуючих технологій відновлення робочої поверхні гільз циліндрів і обґрунтовано доцільність застосування удосконаленого технологічного процесу з використанням фінішної хонінгувальної обробки. Удосконалена технологія відновлення робочої поверхні гільз циліндрів з використанням силікатних хонінгувальних брусків.

Виконано розрахунок оптимальних параметрів режиму хонінгування силікатними брусками. Запропоновані технологічні рішення спрямовані на підвищення зносостійкості робочої поверхні гільз циліндрів, покращення якості поверхневого шару та збільшення ресурсу двигунів після ремонту.

У розділі з безпеки життєдіяльності та охорони праці розроблено комплекс організаційних і технічних заходів щодо забезпечення безпечних умов праці на дільниці ремонту двигунів.

Ключові слова: гільза циліндра, силікатний брусок, зносостійкість, хонінгування, автотранспортне підприємство, технологічний процес.

THE ABSTRACT

Explanatory note to the qualification work on the topic: "Improvement of the technology for restoring automotive engine cylinder liners to increase their wear resistance in the conditions of a motor transport enterprise" consists of 88 sheets of A4 format, which contain 5 sections, 14 tables, 17 figures.

This bachelor's thesis examines the issue of improving the wear resistance of the working surface of automotive engine cylinder liners in the context of a motor transport enterprise. An analysis of the causes and nature of cylinder liner wear was conducted, and the main methods for their restoration and strengthening were investigated.

This paper presents a comparative analysis of existing technologies for restoring the working surface of cylinder liners and justifies the feasibility of using an improved process that incorporates a final honing operation. An improved technology for restoring the working surface of cylinder liners using silicate honing bars.

The optimal parameters for the silicate honing process have been calculated. The proposed technological solutions are aimed at increasing the wear resistance of the working surface of cylinder liners, improving the quality of the surface layer, and extending the service life of engines after repair.

The section on life safety and occupational safety has developed a set of organizational and technical measures to ensure safe working conditions in the engine repair shop.

Keywords: cylinder liner, silicate block, wear resistance, honing, trucking company, manufacturing process

ЗМІСТ

	с.
ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ УМОВ ЗНОШУВАННЯ ТА МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ.....	8
2 ТЕХНОЛОГІЯ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ	21
3 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ.....	34
4 ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ХОНІНГУВАННЯ СИЛІКАТНИМИ БРУСКАМИ	48
5 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ РЕМОНТІ ДВИГУНІВ В УМОВАХ АТП	67
ВИСНОВКИ.....	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	82
ПРЕЗЕНТАЦІЯ	89

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ								
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Удосконалення технології відновлення гільз циліндрів автомобільних двигунів з метою підвищення їх зносостійкості в умовах автотранспортного підприємства				Літ.	Арк.	Аркушів		
Розроб.		Власенко І.М.									5	88	
Перевір.		Виноградов М.С.							ІФНТУНГ, ЗААГ-57п				
Реценз.													
Н. контр.		Криштопа С.І.											
Затверд.		Гнип М.М.											

ВСТУП

На теперішній час автомобільний парк України поповнюється автотранспортними засобами нової конструкції, що використовують альтернативні види палива, вдосконалюється структура рухомого складу. Втрати на технічне обслуговування (ТО) та ремонт автомобілів в автотранспортних підприємствах (АТП) залишається ще достатньо високими. У зв'язку з цим назріла потреба подальшого вдосконалення системи ТО та ремонту автомобільної техніки. Найдосконалішою і перспективною системою ТО та ремонту автомобілів слід вважати таку, яка найповніше забезпечує взаємодію процесів технічного стану автомобілів і процесів їх відновлення [1].

Одне з важливих задач ремонтного виробництва – модернізація машин, тобто усунення їх морального зносу використанням технічних досліджень, які мають місце в оновлених машинах, які знаходяться в експлуатації. Як форми технічного процесу, модернізація дозволяє при доволі невеликих витратах удосконалювати конструкції раніш випущених машин, підвищувати їх технічний рівень, тим самим збільшити строки їх служби. Одним з головних напрямки розвитку технології ремонту це підвищення надійності відремонтованої техніки за рахунок вдосконалення методів відновлення деталей [2].

Відновлення деталей є технічно обґрунтованим і економічно виправданим заходом, оскільки дає змогу скорочувати час простою, підвищувати якість технічного обслуговування і ремонту та позитивно впливати на покращення показників надійності машин. Технічна необхідність відновлення полягає у забезпеченні високої якості деталей, необхідної для підвищення показників надійності відремонтованих агрегатів і машин [3].

В сучасних умовах експлуатації автомобільного транспорту значна увага приділяється підвищенню надійності двигунів внутрішнього згоряння [4]. Сучасні автомобільні двигуни працюють в умовах значних механічних, термічних та хімічних навантажень, що зумовлює інтенсивне зношування

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

їх основних деталей. Одним із найбільш навантажених елементів є гільзи циліндрів, які забезпечують герметичність робочого об'єму, напрям руху поршня та ефективну теплопередачу [5]. Від технічного стану гільз циліндрів значною мірою залежать потужність, економічність та ресурс двигуна.

У процесі експлуатації гільзи циліндрів піддаються дії складного комплексу факторів, серед яких визначальними є тертя, високі температури, тиск газів, а також вплив продуктів згоряння палива. Це призводить до появи різних видів зношування, таких як абразивне, адгезійне, корозійно-механічне та втомне руйнування поверхневого шару. У результаті змінюються геометричні параметри гільз, погіршується якість поверхні, що негативно впливає на роботу всього двигуна.

У зв'язку з цим особливої актуальності набуває питання підвищення зносостійкості гільз циліндрів як на етапі їх виготовлення, так і під час ремонту та відновлення. Сучасні методи дозволяють значно продовжити термін служби деталей за рахунок застосування прогресивних технологій обробки, зміцнення поверхневого шару та використання спеціальних матеріалів. Серед таких методів важливе місце займає хонінгування, яке забезпечує формування оптимальної мікрогеометрії поверхні та покращує умови змащування.

Метою роботи є удосконалення технології відновлення гільз циліндрів з метою підвищення ресурсу двигуна та зниження витрат на ремонт.

Об'єкт дослідження: гільзи циліндрів автомобільного двигуна.

Предмет дослідження: технологія відновлення гільз циліндрів в умовах автотранспортного підприємства.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання для підвищення ресурсу двигунів, зниження витрат на технічне обслуговування і ремонт, а також покращення техніко-економічних показників роботи автотранспортних підприємств.

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ УМОВ ЗНОШУВАННЯ ТА МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ

1.1 Аналіз умов та причин зношування гільз циліндрів автомобільних двигунів

Гільзи циліндрів відносяться до головних елементів поршневих двигунів і є найбільш відповідальними деталями циліндропоршневої групи. Гільзи циліндрів встановлюються в блок-картер двигуна для утворення робочої поверхні циліндра та забезпечення необхідної зносостійкості. Залежно від конструкції двигуна та способу контакту з охолоджувальною рідиною розрізняють два основні типи встановлення гільз: «сухі» гільзи та «мокрі» гільзи.

Суха гільза запресовується в отвір блока циліндрів і по всій зовнішній поверхні щільно контактує з металом блока-картера. Охолоджувальна рідина безпосередньо з гільзою не контактує. Особливості сухих гільз: мала товщина стінки; висока жорсткість конструкції; добрий зв'язок із блоком циліндрів; складніший демонтаж та заміна. Переваги: висока міцність блока; менша ймовірність протікання охолоджувальної рідини; простіша конструкція ущільнення; добра точність посадки. Недоліки: складність заміни; гірший тепловідвід; можливість деформації при запресуванні.

Мокра гільза встановлюється в блок-картер таким чином, що її зовнішня поверхня безпосередньо омивається охолоджувальною рідиною. Для герметизації використовують гумові ущільнювальні кільця. Особливості мокрих гільз: збільшена товщина стінки; інтенсивне охолодження; наявність ущільнень; можливість швидкої заміни. Переваги: ефективне охолодження; простота ремонту; зручна заміна гільзи; менші теплові деформації. Недоліки: складність герметизації; ризик кавітаційного руйнування; підвищені вимоги до ущільнень.

Вибір типу встановлення гільзи залежить від конструкції двигуна, умов

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

експлуатації та вимог до ремонту.

Для автотранспортних підприємств мокрі гільзи є більш зручними в ремонті та відновленні, оскільки забезпечують: кращий теплообмін; простішу заміну; можливість багаторазового відновлення.

На рис. 1.1 наведено конструкція гільзи циліндра і типи встановлення її в блок-картер.

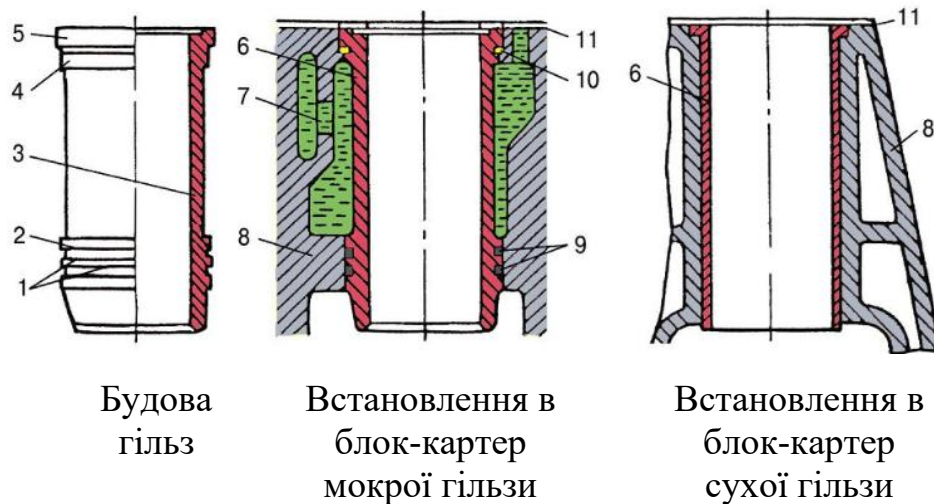


Рис. 1.1. Конструкція гільзи циліндра і типи встановлення її в блок-картер:

1 – канавки для ущільнених кілець; 2, 4 – посадочні пояски; 3 – дзеркало циліндра; 5 – буртик; 6 – гільза циліндрі; 7 – рідинна сорочка охолодження; 8 – блок-картер; 9 – гумові ущільнювальні кільця; 10 – мідне ущільнювальне кільце; 11 – металоазбестова прокладка головки циліндрів

Стінки внутрішньої порожнини гільзи служать направляючими для поршня при його переміщеннях між крайніми положеннями і стикаються із полум'ям і гарячими газами, що досягають температури 1500-2500 С° (Рис. 1.2). Гільза циліндра працює в умовах різко-змінного тиску надпоршневої порожнини. Поршень при переміщенні діє на гільзу з бічною силою N_6 і в кінці кожного ходу, перекладаючись з ударом об стінку гільзи, змінює напрям свого руху, причому в мертвих точках швидкість його дорівнює нулю, а потім зростає до максимуму, що становить в автомобільних двигунах 15 до 25 м/с при номінальній частоті обертання колінчастого валу і

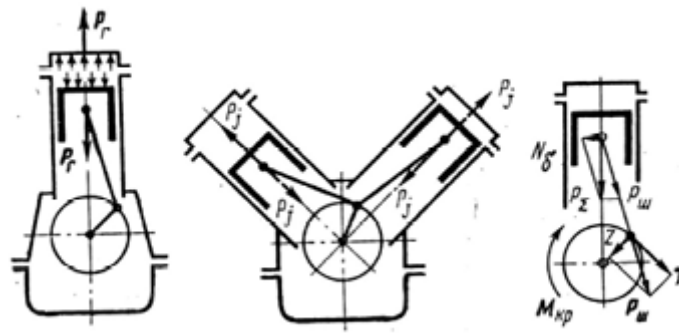


Рис. 1.2. Сили, що діють на деталі циліндропоршневої групи

знову зменшується до нуля в суміжній мертвій точці. Такий нерівномірний рух поршня і пов'язаного з ним комплексу рухомих деталей породжує змінні по величині і напрямку сили інерції P_j поворотно-рухомих мас, осі циліндра, що діють вздовж. Сили тиску газів P_c в надпоршневій порожнині однаково діють як на поршень, так і на головку блоку і стінки циліндра. При цьому завжди, маючи рівну собі величину і напрям, ці сили взаємно врівноважуються всередині системи [6].

При експлуатації автомобільних двигунів відбувається спрацювання їх складових частин і при досягненні граничних значень параметрів технічного стану двигуни виходять з ладу [7].

Спрацювання спряжених поверхонь циліндра, поршня і поршневих кілець є наслідком роботи сили тертя, що виникає при переміщенні поршня і поршневих кілець. Швидкість зношування циліндра, поршня та поршневих кілець залежить від температури та тиску в камері згорання, умов мастила, наявності та кількості абразиву в зоні тертя.

Зношування гільз має складний комплексний характер і проявляється у вигляді абразивного, адгезійного, корозійного та втомного руйнування поверхневого шару.

Робоча поверхня циліндра зношується нерівномірно. У верхній частині циліндра через дію високих температур і тиску газів масляна плівка втрачає свої змащувальні властивості і в деяких випадках може бути повністю зруйнована. Внаслідок гірших умов мастила в цій зоні відбувається інтенсивне

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

зношування циліндра. За нормальних умов найбільше зношування циліндрів спостерігається, як правило, в зоні зупинки верхніх (компресійних) кілець при положенні поршня у верхній мертвій точці (ВМТ). У міру віддалення від ВМТ знижується температура, і покращуються умови мащення, внаслідок чого інтенсивність зношування циліндра знижується. Максимальна величина зносу спостерігається в площині коливання шатуна, що пояснюється дією нормальної складової сили тиску газів [7].

Інтенсивність зношування циліндрів значною мірою залежить від умов експлуатації та технічного обслуговування двигуна. Так, при потраплянні в зону тертя абразиву з повітрям або олією відбувається інтенсивне зношування циліндро-поршневої групи (ЦПГ). У результаті на робочій поверхні циліндра утворюється дуже багато дрібних подряпин (рисок). При цьому циліндр набуває бочкоподібної форми [7].

У поршня зношуються напрямна нижня частина (юбка) та канавки під поршневі кільця. Тільки незначна частина юбки поршня контактує із робочою поверхнею циліндра. При роботі двигуна поршневі кільця здійснюють складні просторові переміщення в осьовому та радіальному напрямках. При русі поршня від ВМТ до НМТ, кільця, притиснуті до стінки циліндра власними силами пружності і силою тиску газів, копіюють нерівності циліндра і здійснюють переміщення відносно канавок поршня. При попаданні абразиву в зону тертя він в'їдається в м'який матеріал поршня, що призводить до прискореного зношування циліндра та поршневих кілець [7].

Зношування деталей ЦПГ призводить до збільшення зазору у спряженні «поршень-циліндр». Внаслідок цього знижуються експлуатаційні та інші показники двигуна. Прорив газів у закільцевий простір призводить до потрапляння в оливи продуктів згоряння та зниження його мастильної здатності, внаслідок чого більш інтенсивно відбуваються процеси зношування деталей ЦПГ. Задири на робочій поверхні циліндра з'являються в результаті загального або місцевого перегріву двигуна. При надмірно високих температурах в зоні тертя олива втрачає свої мастильні властивості і масляна

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

плівка легко розривається. Виникає режим напівсухого тертя з безпосереднім контактом поршня та циліндра. При подальшій роботі двигуна, через додаткове нагрівання в місцях тертя, виникає режим сухого тертя, в результаті чого утворюються задири. Якщо циліндри двигуна оснащені «сухими» гільзами, наявна неоднорідність стінки циліндра та локальні не прилягання гільзи до блоку можуть призводити до перегріву циліндра та утворення задирів [7].

У табл. 1.1 наведено дефекти та наслідки зношування гільз циліндрів.

Таблиця 1.1

Дефекти та наслідки зношування гільз циліндрів

№	Дефект гільзи циліндра	Основні причини виникнення	Наслідки
1	2	3	4
1	Овальність	Боковий тиск поршня, нерівномірне навантаження	Погіршення герметичності, зниження компресії
2	Конусність	Нерівномірне зношування по висоті циліндра	Підвищене споживання мастила
3	Задири та подряпини	Недостатнє мащення, потрапляння абразиву	Прискорене зношування поршневих кілець
4	Збільшення внутрішнього діаметра	Тривала експлуатація, абразивне тертя	Зниження потужності двигуна
5	Тріщини	Перегрів, термічні напруження	Руйнування гільзи
6	Корозійне зношування	Дія вологи та продуктів згоряння	Погіршення стану поверхні
7	Кавітаційні пошкодження	Вібрації та дія охолоджувальної рідини	Руйнування зовнішньої поверхні мокрих гільз
8	Прихоплення поверхні	Перегрів та масляне голодування	Заклинювання поршня

1	2	3	4
9	Підвищена шорсткість	Недостатня якість обробки	Погіршення умов тертя
10	Знос верхньої частини гільзи	Висока температура та тиск газів	Втрата компресії

Таким чином, можна стверджувати, що основними чинниками, які визначають інтенсивність зношування гільз, є високі питомі навантаження в зоні контакту «поршневе кільце – гільза», недостатня ефективність мащення, абразивне забруднення мастила, вплив високих температур і корозійно-кавітаційні процеси.

Вищевказані причини зношування робочої поверхні гільз циліндрів двигунів необхідно враховувати при розробки способу її зміцнення.

1.2 Аналіз методів підвищення зносостійкості гільз циліндрів автомобільних двигунів

Як було відмічено вище, гільзи циліндрів автомобільних двигунів працюють в умовах високих температур, змінних механічних навантажень та інтенсивного тертя. У процесі експлуатації на поверхню гільзи діють тиск газів, сили тертя поршневих кілець, абразивні частинки та температурні навантаження [8].

Унаслідок тривалої роботи виникають: овальність; конусність; задири; збільшення внутрішнього діаметра; підвищена шорсткість поверхні [8].

Моторесурс ДВЗ пов'язаний, в першу чергу, з довговічністю та надійністю деталей циліндропоршнєвої групи, зокрема, гільз циліндрів [9].

Для підвищення ресурсу двигунів застосовують різні методи підвищення зносостійкості гільз циліндрів, основною метою яких є зменшення інтенсивності тертя та підвищення твердості поверхневого шару [10].

В даний час застосовуються наступні методи зміцнення робочої

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поверхні гільз циліндрів:

- термічна обробка поверхні гільзи [10] до якої належать: загартування; поверхневе гартування струмами високої частоти; цементація; азотування. Термічна обробка дозволяє: підвищити твердість поверхні; збільшити опір зношуванню; покращити механічні властивості матеріалу [10,11]. Недоліками методу є: складність технології; можливість виникнення термічних деформацій; значна енергоємність процесу [11];

- хромування, яке полягає у нанесенні на внутрішню поверхню гільзи шару хрому електролітичним способом [11]. Перевагами хромування є: висока твердість покриття; підвищення корозійної стійкості; збільшення ресурсу деталі [11]. Недоліками методу є: висока вартість; складність технологічного процесу; необхідність використання спеціального обладнання; екологічна небезпека електролітів [8];

- газотермічне та плазмове напилення, яке використовують для створення зносостійких покриттів на поверхні гільз циліндрів [11]. Метод дозволяє: відновлювати значні зношування; підвищувати твердість поверхні; покращувати теплостійкість деталей [12]. Недоліками є: складність обладнання; висока вартість; необхідність подальшої механічної обробки [12];

- лазерне зміцнення, яке забезпечує локальне підвищення твердості поверхні без значного нагрівання всієї деталі [12]. Перевагами методу є: мінімальні деформації; висока точність; підвищення зносостійкості [12]. До недоліків належать: висока вартість обладнання; складність технології; обмежене застосування в умовах ремонтного виробництва;

- легування чавунних гільз циліндрів, яке базується на забезпеченні зміцнення металевої матриці, що відбувається завдяки гальмуванню дислокацій впроваджених атомів. Така методика зміцнення дозволяє підвищити твердість поверхні гільзи при нагріванні і опір деформації [9];

- легування чавунних гільз циліндрів, яке базується на забезпеченні зміцнення металевої матриці, що відбувається завдяки гальмуванню дислокацій впроваджених атомів. Така методика зміцнення дозволяє

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підвищити твердість поверхні гільзи при нагріванні і опір деформації [9]. Основні недоліки легування чавунних гільз: підвищення вартості виготовлення, для чого використовують дорогі добавки – хром, нікель, молібден, ванадій. Це значно збільшує собівартість виготовлення гільз; ускладнення механічної обробки. Після легування твердість матеріалу підвищується, що призводить до: збільшення зношування різального інструменту; ускладнення розточування та хонінгування; підвищення трудомісткості обробки; зниження теплопровідності, що може викликати: локальні перегріви; нерівномірне теплове розширення; додаткові термічні напруження; підвищення крихкості матеріалу, що можливе викликає: зниження пластичності; утворення тріщин; підвищення крихкості гільзи;

- азотування чавуну гільзи циліндрів – засноване на утворенні пластичної карбонітрідної фази, яка підвищує твердість і зносостійкість робочої поверхні чавунної гільзи циліндрів. Недоліком азотування чавуну гільзи циліндрів є погане припрацювання поверхні під час експлуатації, що веде до погіршення шорсткості поверхні гільз. Отже, застосування азотування чавунних гільз циліндрів двигунів, які працюють в запиленому середовищі, не рекомендується [9];

- сульфидування і фосфатування чавуну гільзи циліндрів - утворює на поверхні гільзи циліндрів міцний шар сірчистого заліза, який має гарні характеристики, що забезпечують низький коефіцієнт тертя, високу зносостійкість, гарну роботу. Недоліком сульфидування чавуну гільзи циліндрів є утворення корозії з високою ймовірністю [9];

- поверхневе пластичне деформування чавуну гільзи циліндрів – засноване на застосуванні пластичності матеріалу. Обробка пластичним деформуванням дозволяє підвищити зносостійкість, твердість, корозійну стійкість, втомну міцність матеріалу за рахунок видалення мікротріщин і рисок на поверхні. Недоліки: низька ефективність для крихких чавунів; можливість появи тріщин; обмежена глибина зміцнення; складність обробки внутрішніх поверхонь;

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- загартування гільз циліндрів – заснована на використанні струмів високої частоти і забезпечує зміцнення на глибину до 2,5 мм. Такий спосіб загартування забезпечує хорошу твердість матеріалу в 38-48HRC. Глибина зміцнення при загартуванні гільз циліндрів двигуна дає можливість проводити шліфування гільз під ремонтні розміри, що є безперечною перевагою цього способу, з точки зору продовження робочого ресурсу відновлюваної деталі, що говорить про переваги методики зміцнення загартуванням. Однак використовуване в даний час загартування струмами високої частоти (СВЧ) пов'язано з великою неоднорідністю властивостей і високим відсотком браку внаслідок розтріскування і деформації деталей в процесі обробки. Недоліком загартування гільз циліндрів СВЧ є висока ймовірність виникнення тріщин і геометричної деформації. Для зменшення ймовірності виникнення небажаних дефектів підбирають оптимальні режими нагріву і інтенсивності охолодження деталі. Для усунення недоліків гарту СВЧ в якості джерела тепла застосовують лазер великої потужності [9];

- фінішна абразивна обробка, яке полягає у знятті з внутрішньої поверхні гільзи тонкого поверхневого шару металу (як правило, в межах 0,01-0,05 мм) за допомогою дрібнозернистого абразивного інструменту з одночасним формуванням регулярного мікрорельєфу. У результаті обробки усуваються сліди попередньої механічної обробки, виправляються незначні відхилення форми (овальність, конусність), знижується шорсткість і створюється сітка перехресних рисок, яка необхідна для утримання мастила на поверхні тертя. Хонінгування забезпечує: високу точність обробки; формування оптимального мікрорельєфу; покращення утримання мастила; зменшення шорсткості поверхні [8, 13]. Особливе значення має застосування силікатних хонінгувальних брусків, які дозволяють: зменшити інтенсивність тертя; підвищити ресурс гільзи; покращити припрацювання поршневих кілець.

В табл. 1.2 наведено порівняльний аналіз методів підвищення зносостійкості гільз циліндрів.

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Порівняльний аналіз методів підвищення зносостійкості гільз циліндрів

№	Метод	Переваги	Недоліки
1	2	3	4
1	Термічна обробка	Висока твердість	Термічні деформації
2	Хромування	Корозійна стійкість	Висока вартість
3	Напилення	Висока зносостійкість	Складність обладнання
4	Лазерне зміцнення	Мінімальні деформації	Висока вартість
5	Легування	Підвищення твердості, міцності, теплостійкості, зносостійкості	Збільшення вартості; ускладнення механічної обробки; можливість появи крихкості та термічних деформацій
6	Азотування	Підвищення твердості та зносостійкості	Погане припрацювання поверхні під час експлуатації
7	Сульфідкування і фосфатування	утворення корозії з високою ймовірністю	утворення корозії з високою ймовірністю
8	Поверхнєве пластичне деформування	Підвищення зносостійкості, твердості, корозійної стійкості	Низька ефективність для крихких чавунів; можливість появи тріщин; обмежена глибина зміцнення; складність обробки внутрішніх поверхонь
9	Загартування	Висока твердість	висока ймовірність виникнення тріщин і геометричної деформації
10	Фінішна абразивна обробка	Висока точність обробки; формування оптимального мікрорельєфу; покращення утримання мастила; зменшення шорсткості поверхні	Невеликий припуск на обробку, неможливість усунення значних дефектів

На основі проведеного аналізу встановлено, що найбільш ефективним

та економічно доцільним способом підвищення зносостійкості гільз циліндрів в умовах автотранспортного підприємства є застосування фінішного хонінгування [8, 13].

Тому виникає необхідність у наступному підрозділі розглянути особливості процесу хонінгування.

1.3 Особливості процесу хонінгування

Хонінгування – вид абразивної обробки матеріалів із застосуванням хонінгувальних головок (рис. 1.3). В основному застосовується для обробки внутрішніх циліндричних отворів шляхом поєднання обертального і поступально-поворотного руху хону з закріпленими на ньому розсувними абразивними брусками [14].



Рис. 1.3. Зовнішній вигляд хонінгувальної головки

У ремонтному виробництві застосовують різні схеми хонінгування (рис. 1.4). Гнучке підпружинене кріплення брусків на хонінгувальній головці дає гарну чистоту поверхні, але не виправляє відхилень від циліндричності та не дозволяє знімати великий (більше 0,1 мм) припуск (рис. 3 а). Хонінгувальні головки з жорсткою подачею брусків забезпечує знімання більших шарів металу, кращу якість поверхні і можливість виправлення форми поверхні деталі (рис. 1.4 б) [15].

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

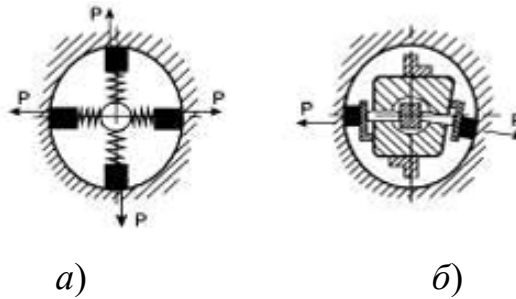


Рис. 1.4. Основні схеми хонінгування [15]: а) – з підпружиненими брусками;
б) – з жорсткою подачею брусків

Поверхня заготовки обробляють хонінгувальному дрібнозернистими брусками, в яких абразивні зерна утримуються зв'язкою, або спеціальними інструментами, в яких зерна нанесені на метал. Бруски закріплюють у хонінгувальній голівці-хоні, що є ріжучим інструментом (рис. 1.3). Схема хонінгування наведена на рис. 1.5 [14].

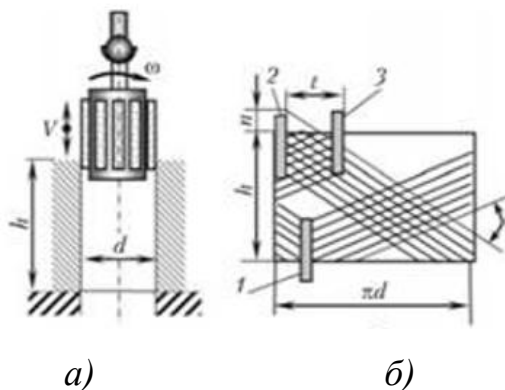


Рис. 1.5. Схема хонінгування [14]:
а) – принципова схема; б) – розгортка внутрішньої циліндричної поверхні заготовки і схема освіти сітки

Інструмент обертається (ω) і одночасно поступально переміщається (V) уздовж осі оброблюваного отвору заввишки h . Співвідношення швидкостей зазначених рухів становить 1,5-10 і визначає умови різання.

Схема обробки в порівнянні з внутрішнім шліфуванням має переваги: відсутня пружний віджим інструменту, рідше спостерігається вібрація, різання відбувається більш плавно. Крайні нижнє 1 і верхнє 2 положення

абразивних брусків (рис. 1.5) встановлюються так, що створюється перебіг n . Він необхідний для того, щоб утворюють отвори виходили прямолінійними при нерівномірному зносі брусків. Здійснюючи обертальний рух, бруски при кожному подвійному ході починають різання з нових положень 3 з урахуванням зміщення t по куту, що виключає накладення траєкторій абразивних зерен. Абразивні бруски завжди контактують з оброблюваної поверхнею, так як можуть розсуватися в радіальних напрямках механічними, гідравлічними або пневматичними пристроями. Їх виготовляють із електрокорунду або карбіду кремнію, як правило, на керамічній зв'язці. Тиск брусків має контролюватися [14].

Під час хонінгування зрізаються гребінці, що залишилися від попередньої обробки і видаляють припуск (0,01...0,12 мм). Головка з брусками обертається, одночасно рухаючись зворотно-поступально вздовж своєї осі. В результаті додавання двох рухів хонінгувальна головка переміщується по гвинтовій лінії і на оброблюваній поверхні утворюється характерна сітка (рис. 1.4 б), що представляє собою сліди абразивних зерен (риски), у заглибинах яких добре тримається масло, для кращого припрацювання деталей, після ремонту. Глибина рисок має складати 10...20 мкм. В деяких випадках необхідно прагнути створювати, під час хонінгування, навіть більш глибокі риси. Тим самим у разі збільшення витрати масла, будуть значно покращені умови змащування. Важливе значення для утримання масла має кут розкриття рисок (заглибина) (рис. 1.6).

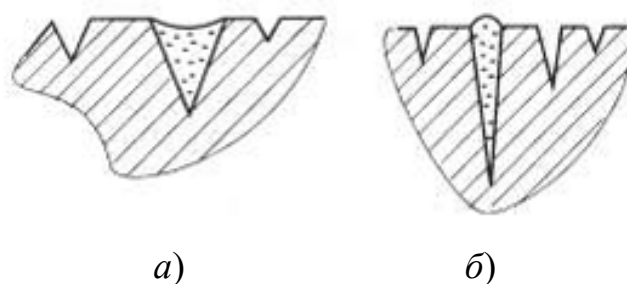


Рис. 1.6. Вплив кута розкриття рисок на змащувальні властивості [15]:

a) – при великому куті розкриття; *б)* – при малому куті

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

При великому куті розкриття рисок масло може відходити або погано втримуватись на поверхні гільзи циліндра, а при малому за рахунок сил поверхневого натягу виступати над поверхнею, тим самим забезпечуючи краще змащування поверхней. Профіль кута розкриття рисок в більшій мірі залежить від характеристик абразивних брусків. Також важливим параметром поверхні гільзи є кут хонінгування, тобто кут між рисками (рис. 1.55 б). Малий кут між рисками збільшує сухе тертя і зношення, а великий кут збільшує витрату масла. Оптимальним кутом хонінгування є $40...60^{\circ}$ [15].

Також експериментальними даними встановлено, що опорна поверхня гільзи циліндра повинна становити $50...70\%$ від площі рисок. У впадинах рисок повинно утримуватись не менше $0,02\text{ мм}^3$ масла на 1 см^2 . Риски на поверхні циліндра отримуються хонінгувальними брусками на етапі початкової та фінішної обробки (рис. 1.7 а). Але така поверхня ще має багато гострих виступів. Тому, щоб зменшити зношення циліндрів та кілець необхідно додатково обробити циліндри дрібнозернистими брусками або спеціальними щітками, при цьому після обробки залишаються опорні плоскі площини (рис. 1.7 б). Такій спосіб хонінгування називається плосковершинним [15].

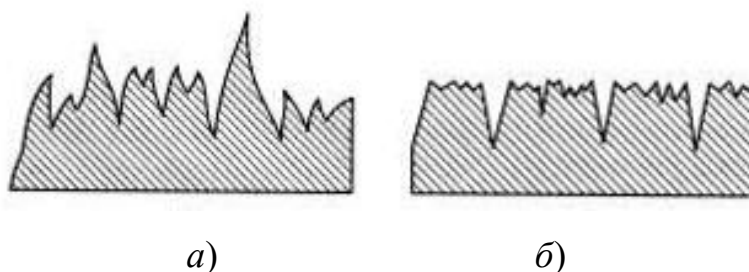


Рис. 1.7. Мікропрофіль поверхні циліндра після хонінгування [15]:

а) – традиційного; б) – плосковершинного

Плосковершинне алмазне хонінгування формує на обробленій поверхні отвору, що хонінгується, мікропрофіль, який є чергуванням глибоких западин (рисок або масляних кишень) і вершин, що зрізуються під час подальшого хонінгування з утворенням площин (плато), тобто плосковершинного

профілю. Це покращує умови змащення і зменшує знос таких деталей, як гільза. Крім цього, такий профіль значно підвищує відносну опорну довжину профілю поверхні деталі, і, отже, збільшує контактну жорсткість сполучення. Процес плосковершинного алмазного хонінгування включає дві операції: попереднє й остаточне хонінгування. Остаточне хонінгування необхідне для видалення виступів, що залишилися після попереднього хонінгування. Для попереднього хонінгування рекомендують бруски марки АРК4 (АС15) зернистістю 125/100...100/80, а для остаточного хонінгування – дрібнозернисті алмазні бруски АСМ зернистістю 40/28...28/20. Застосування брусків більшої зернистості під час попереднього хонінгування обмежується тим, що при більшій зернистості збільшується глибина масляної кишені (риски), що, своєю чергою, підвищує чад мастила, що є неприпустимим під час експлуатації двигунів [16].

Хонінгування менш інтенсивно зменшує похибки розташування осі отвори (наприклад, відхилення від прямолінійності), так як ріжучий інструмент самовстановлюється по отвору [14].

Хонінгування проводять при яасному охолодженні зони різання мастильно-охолоджуючими рідинами – гасом, сумішшю гасу (80-90%) і веретенного масла (10-20%), водно-мільними емульсіями [14].

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

2 ТЕХНОЛОГІЯ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ

2.1 Технологічні операції з відновленню гільз циліндрів

Повний маршрут технологічного процесу з відновленню гільз циліндрів виглядає у наступному: деталь надходить на ділянку ремонту; виконується очищення від забруднень; проводиться дефектація; визначається метод відновлення; виконується механічна обробка; при значному зносі робочої поверхні гільзи обирають один з методів відновлення поверхні; чистова обробка; хонінгування; контроль якості.

У табл. 2.1 наведено маршрутну карту технологічного процесу відновлення гільзи циліндра.

Таблиця 2.1

Маршрутна карта існуючого технологічного процесу відновлення
робочої поверхні гільзи циліндра

№ оп.	Найменування операції	Обладнання	Оснащення	Кваліфікація
001	Приймання та дефектація	Стіл контролю	Нутромір, мікрометр	Контролер
002	Мийка та очищення	Мийна установка	Кошики, щітки	Оператор
003	Дефектація (точна)	Контрольний пост	Індикаторний нутромір	Контролер
004	Розточування	Розточувальний верстат	Різці, оправки	Токар
005	Відновлення робочої поверхні	Необхідне обладнання	Необхідне оснащення	Спеціаліст
006	Чистове розточування	Верстат	Різці	Токар
007	Хонінгування	Хонінгувальний верстат	Хонінгувальні бруски	Оператор
008	Контроль якості	Контрольний пост	Профілометр	Контролер

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Приймання та дефектація гільз виконується згідно з вимогами якості. Під час дефектації деталей зазвичай виконуються такі дії контролю:

- візуальний огляд: проводиться огляд з метою виявлення видимих дефектів, таких як тріщини, пошкодження поверхні, корозія, задирів, раковин. При необхідності при цьому використовують лупу (збільшення 3-5×).

- вимірювання геометричних параметрів (проводиться згідно з ДСТУ на допуски і посадки): контролюються діаметр циліндра; овальність; конусність; знос по висоті; застосовуються вимірювальні інструменти (нутромір індикаторний; мікрометр; калібри) для перевірки розмірів, геометрії та параметрів деталей. Це дозволяє виявити відхилення від заданих специфікацій або норм. Допустимі значення (типово): овальність: не більше 0,03 мм; конусність: не більше 0,03 мм.

При мийки та очищенні використовують попереднє очищення, яке полягає у видаленні нагару та мастильних відкладень і застосуванні лужних розчинів та остаточне миття – миття в мийних установках при температурі 80-90 °С і сушіння гарячим повітрям.

Вибір методу відновлення робочої поверхні залежить від ступеня зносу, який наведено у табл. 2.2

Таблиця 2.2

Методи відновлення робочої поверхні в залежності від ступеня зносу

Знос, мм	Метод відновлення
до 0,1	хонінгування
0,1-0,5	розточування + ремонтний розмір
> 0,5	один з методів відновлення робочої поверхні

У табл. 2.3 наведено порівняльна характеристика методів відновлення гільз циліндрів

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Таблиця 2.3

Порівняльна характеристика методів відновлення робочої поверхні
гільз циліндрів

№	Метод	Суть методу	Товщина шару, мм	Твердість	Зносостійкість
1	2	3	4	5	6
1	Розточування під ремонтний розмір + хонінгування	Збільшення діаметра гільзи з подальшим хонінгуванням	0,25-1,0	Не змінюється	Середня
2	Гільзування (встановлення вставки)	Встановлення нової вставки	до 5	Від матеріалу гільзи	Висока
3	Хромування	Нанесення шару хрому (Cr) електролітичним способом	0,05-0,3	900-1100 HV	Дуже висока
4	Залізнення (електролітичне)	Осадження шару заліза (Fe)	0,1-1,5	200-600 HB	Середня
5	Осталювання (наплавлення сталлю)	Наплавлення сталевих шару	0,5-3,0	200-400 HB	Середня
6	Газотермічне напилення	Напилення металу/сплаву	0,1-2,0	300-800 HV	Висока
7	Плазмове напилення	Напилення порошкових матеріалів плазмою	0,05-1,5	до 1000 HV	Дуже висока
8	Лазерне наплавлення	Локальне лазерне відновлення	0,1-1,0	400-900 HV	Дуже висока
9	Композитні покриття (Ni-SiC)	Нанесення композиційних шарів	0,05-0,3	до 1200 HV	Дуже висока
10	Хонінгування (фінішне)	Фінішна обробка поверхні	—	—	Підвищує

Продовження таблиці 2.3

№	Метод	Точність	Переваги	Недоліки	Область застосування
1	2	7	8	9	10
1	Розточування під ремонтний розмір + хонінгування	Висока	Простота, низька вартість	Обмежена кількість ремонтів	Невеликий та середній знос
2	Гільзування (встановлення вставки)	Висока	Відновлення геометрії, великий ресурс	Висока трудомісткість	Значний знос, тріщини
3	Хромування	Висока	Висока твердість, корозійна стійкість	Дороге, складне обладнання	Середній знос
4	Залізнення (електролітичне)	Висока	Добра оброблюваність	Нижча зносостійкість	Середній знос
5	Осталювання (наплавлення сталлю)	Середня	Велика товщина шару	Деформації, потреба в обробці	Великий знос
6	Газотермічне напилення	Середня	Швидкість процесу	Пористість	Середній знос
7	Плазмове напилення	Висока	Високі властивості покриття	Дороге	Високі вимоги до ресурсу
8	Лазерне наплавлення	Дуже висока	Мінімальні деформації	Дуже дороге	Відповідальні деталі
9	Композитні покриття (Ni-SiC)	Висока	Висока зносостійкість	Складна технологія	Сучасні ДВЗ
10	Хонінгування (фінішне)	Дуже висока	Поліпшення мікрорельєфу	Не є самостійним методом	Завершальний етап

З аналізу табл. 2.3 видно, що всі методи можна умовно поділити на три групи:

1. Механічні методи (розточування, хонінгування) – найпростіші та найдешевші, але мають обмежений ресурс відновлення [17].

2. Електрохімічні та покривні методи (хромування, залізнення, напилення) – забезпечують підвищення зносостійкості та дозволяють багаторазове відновлення [18].

3. Сучасні високотехнологічні методи (лазерне наплавлення, композитні покриття) – дають найкращі експлуатаційні властивості, але є економічно доцільними лише для відповідальних або дорогих двигунів [19].

Найбільш поширеним у практиці автотранспортних підприємств є розточування під ремонтний розмір через його простоту. Водночас, для підвищення ресурсу двигунів доцільно застосовувати покриття на основі твердих матеріалів або композитів.

Таким чином, вибір методу відновлення визначається ступенем зношування гільз та економічною ефективністю. Для невеликого зносу доцільно використовувати механічну обробку. При середньому зносі ефективними є електролітичні та напилювальні методи. При значному зносі застосовують гільзування або наплавлення. Найвищу зносостійкість забезпечують композиційні та лазерні технології.

2.2 Розточування гільз циліндрів

Гільзи циліндрів розточують на вертикальному алмазно-розточувальному верстаті – 278Н розточувальними різцями з пластинками з твердого сплаву ВК2 або ВК3М.

Центрування осі гільзи циліндрів відносно осі шпинделя верстата може здійснюватись індикаторним пристроєм або кульковою оправкою. При centruванні індикаторним пристроєм (рис. 2.1) його встановлюють на шпинделі верстата і, вручну переміщуючи шпиндель, вводять вимірювальний важіль у гільзу циліндрів, заглиблюючи його на 10-15 мм від верхнього торця. Ця поверхня не зношується і може бути прийнята за базу центрування. Потім, повертаючи головку шпинделя з пристроєм і переміщуючи стіл верстата у поперечному і поздовжньому напрямках, досягають того, щоб вимірювальний важіль 6 торкався внутрішньої незношеної поверхні гільзи циліндрів рівномірно на всіх діаметрах (стежать за відхиленням стрілки індикатора годинникового типу 8). Гільза циліндрів вважається зцентрованою із віссю шпинделя, якщо при повертанні шпинделя з пристроєм відхилення у показах

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

індикатора не перевищує ціни поділки [20].

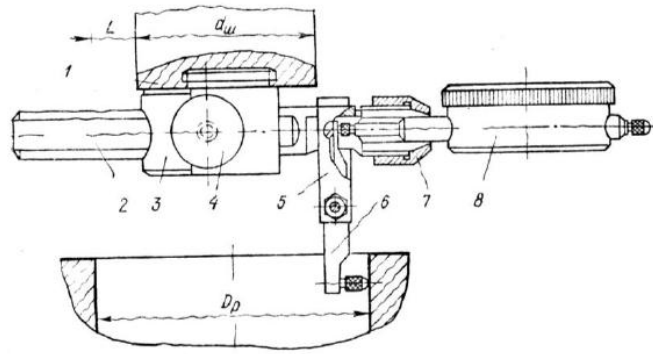


Рис. 2.1. Схема центрування осі гільзи циліндрів з віссю шпинделя за допомогою індикаторного пристрою [20]:

1 – шпиндель верстата; 2 – стержень оправки; 3 – корпус пристрою;
4 – гвинт кріплення стержня оправки; 5 – хомутик; 6 – важіль;
7 – цанговий затискач; 8 – індикатор годинникового типу;
 D_p – діаметр гільзи, яка розточується; $d_{ш}$ – діаметр шпинделя

Після цього необхідно визначити виліт різця (рис. 2.2) за формулою [20]:

$$L = \frac{D_p + d_{ш} - 2b}{2}, \text{ мм} \quad (2.1)$$

де D_p – прийнятий ремонтний розмір гільзи циліндрів, мм;

$d_{ш}$ – діаметр шпинделя, мм;

b – припуск на хонінгування, який дорівнює 0,02-0,05 мм.

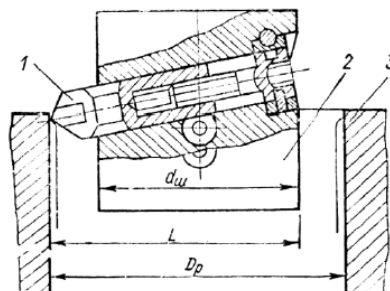


Рис. 2.2. Схема до встановлення вильоту різця за мікрометром [20]:

1 – різець; 2 – шпиндель; 3 – гільза циліндрів; $d_{ш}$ – діаметр шпинделя;
 D_p – діаметр ремонтного розміру гільзи циліндрів; L – виліт різця

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			26

Установлюють різець на заданий розмір за допомогою мікрометра за величиною L .

Рекомендовані режими розточування гільз циліндрів наведено у табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Нормативні режими різання при розточуванні [21]

Оброблюваний матеріал	Глибина різання, мм	Подача, мм/прохід	Швидкість різання, м/хв	Матеріал інструмента
Чавун HB 170-229	0,1-0,15	0,05-0,10	100-120	ВКЗМ
Чавун HB 229-269	0,1-0,15	0,05-0,10	80-100	ВКЗМ

Технологічна операція розточення гільзи виконується наступним чином:

1. Визначається припуск на розточування. Для цього необхідно Замірити максимальний розмір зношеного отвору $D_{\text{ц}}$. Установити діаметр найближчого ремонтного розміру $D_{\text{рр}}$. Розрахувати припуск на розточення за формулою [21]:

$$a_{\text{роз}} = D_{\text{рр}} - D_{\text{ц}} - a_{\text{х}}, \text{ мм} \quad (2.2)$$

де $D_{\text{рр}}$ – нижнє відхилення заданого ремонтного розміру, мм;

$a_{\text{х}}$ – припуск на хонінгування, мм; $a_{\text{х}} = 0,03 \dots 0,05$ мм.

2. Установити та розрахувати режими розточування. Для цього необхідно призначити режими розточування:

а) Визначити глибину різання (t , мм) за формулою:

$$t = \frac{a_{\text{роз}}}{2}, \text{ мм} \quad (2.3)$$

б) Вибрати нормативну подачу $S_{\text{н}}$, мм/об відповідно табл. 2.4;

в) Уточнити подачу по паспорті верстата $S_{\text{ф}}$, мм/об;

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

г) Вибрати нормативну швидкість різання V_H , м/хв відповідно табл. 2.4;

д) Розрахувати частоту обертання шпинделя верстата, хв^{-1} :

$$n_p = \frac{1000 \cdot V_T}{\pi \cdot D}, \quad (2.4)$$

де D – діаметр отвору, що розточується, мм;

є) Уточнити значення частоти обертання шпинделя по паспорті верстата, n_ϕ , хв^{-1} ;

ж) Знайти довжину робочого ходу шпиндельної бабки, мм:

$$L_{p.x.} = l + l_1 + l_2, \quad (2.5)$$

де l – довжина отвору по кресленню, мм;

l_1 і l_2 – довжина врізання і переходу різця відповідно, мм;

Приймаємо $l_1 + l_2 = 5 \dots 6$ мм;

з) Розрахувати машинний час, хв:

$$t_m = \frac{L_{p.x.}}{n_\phi \cdot S_\phi}. \quad (2.6)$$

3. Установити гільзу циліндра на столі верстата, закріплюючи гільзу в пристосуванні.

4. Налагодити станок. Для цього необхідно установити кулачок включення верхнього кінцевого перемикача в положення, що відповідає довжині робочого ходу ($L_{p.x.}$). Виставити різець на встановлену глибину різання. Увімкнути необхідні подачу і частоту обертання шпинделя. Увімкнути кулачкову муфту шпинделя. Докласти викладачу про готовність до виконання операції.

5. Розточити гільзу циліндра.

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Хонінгування гільз циліндрів

Хонінгування гільз циліндрів виконують на вертикальному одношпиндельному хонінгувальному верстаті моделі 3Г833. Хонінгування ведеться при подачі мастильно-охолодної рідини (МОР) у зону різання для видалення стружки і продуктів зносу з поверхні брусків і з оброблюваної поверхні. Крім того, МОР відводить частину тепла, що виділяється при різанні, обумовлює змащування поверхонь тертя, сприяє поліпшенню умов різання. Для хонінгування чавуну в якості МОР застосовують гас з додаванням 10...20% оливи індустріальної І-20А [21].

Метою обробки є забезпечення точності розмірів, правильної геометрії, необхідної шорсткості і формування сітки хонінгування.

Технологічний процес хонінгування виконується хонінгувальною головкою і брусками, які кріпляться до неї. Хонінгувальній головці надається обертовий і зворотно-поступальний рух, після хонінгування на поверхні утворюються риски, які розміщуються під певним кутом в залежності від швидкості обертання і швидкості зворотно-поступального руху хонінгувальної головки [22].

Для відновлення гільз циліндрів широке застосування отримали алмазні хонінгувальні бруски. Правильний вибір інструменту та розуміння його маркування є важливою умовою підвищення зносостійкості спряження «гільза-поршневе кільце».

Позначення алмазних брусків регламентується нормативними документами, зокрема ДСТУ ISO 6106 та ДСТУ 3292-95, які встановлюють вимоги до зернистості, складу та маркування алмазного інструменту.

Типове умовне позначення алмазного хонінгувального бруска має вигляд (рис. 2.3): АС6 160/125 М2-01 100% П 125×12×6 ДСТУ 3292-95. АС6 – марка синтетичного алмазу, що характеризує його міцність і зносостійкість; 125/100 – зернистість алмазного порошку, мкм; М2-01 – тип зв'язки (металева) та її склад; 100% – концентрація алмазів у зв'язці; П – форма бруска (прямий); 125×12×6 – геометричні розміри бруска (довжина, ширина,

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 2.3. Брусок алмазний хонінгувальний
АБХ АС6 160/125 М2-01 100% П 125×12×6 ДСТУ 3292-95

товщина), мм. Рекомендації з підбору хонінгувальних брусків для різних типів двигунів наведено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5

Рекомендації з підбору хонінгувальних брусків для різних типів двигунів

Тип двигуна	Діаметр гільзи, мм	Етап обробки	Позначення бруска	Зернистість, мкм	Концентрація	Шорсткість Ra, мкм
Легкові авто	70-90	Чорнове	АС6 125/100 М2 100%	125/100	100%	1,6-2,5
		Чистове	АС6 80/63 М1 75%	80/63	75%	0,4-0,8
Вантажні	100-130	Чорнове	АС6 160/125 М2 100%	160/125	100%	2,0-3,2
		Чистове	АС6 100/80 М1 75%	100/80	75%	0,6-1,0
Високонавантажені дизелі	130-160	Чорнове	АС6 200/160 М2 100%	200/160	100%	2,5-3,5
		Чистове	АС6 125/100 М1 75%	125/100	75%	0,8-1,2

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рекомендовані режими хонінгування гільз циліндрів наведено в табл. 2.6.

Таблиця 2.6

Рекомендовані режими хонінгування гільз циліндрів [20]

Параметри хонінгування	Матеріал брусків	
	АС6 125/100 М2 100%	АС6 50/40 М1 75%
	чорнове	чистове
Колова швидкість, м/хв	60-80	
Швидкість зворотно-поступального руху, м/хв	7,5-15	
Радіальна подача при хонінгування, мм/об	0,001-0,002	0,0005-0,001
Тиск брусків при хонінгуванні, МПа	0,2-0,3	

Для виконання обробки гільзи необхідно розрахувати режим хонінгування [21]:

а) вибрати тип, розміри і характеристику хонінгувальних брусків, довжина бруска визначається за формулою:

$$l_{бр} = \left(\frac{1}{3} \div \frac{1}{4} \right) \cdot l_{отв}, \quad (2.7)$$

де $l_{отв}$ – довжина хонінгованого отвору, мм;

б) вибрати по таблиці режимів різання (табл. 2.6) швидкості різання, що рекомендуються, зворотно-поступального $V_{з-п}$ і колового $V_{кол}$ рухів хонінгувальної головки;

в) розрахувати частоту обертання шпинделя за формулою:

$$n_p = \frac{1000 \cdot V_{кол}}{\pi \cdot D}, \quad (2.8)$$

г) нормативну швидкість зворотно-поступального руху $V_{з-п}$ і розрахункову частоту обертання шпинделя n_p уточнити за паспортом верстата і прийняти їхнє фактичне значення ($V_{з-п.ф}$, $n_{ф}$);

д) по таблиці режимів різання прийняти нормативний питомий тиск брусків;

ж) визначити машинний час хонінгування за формулою:

$$t_m = \frac{n_1}{n_2}, \quad (2.9)$$

де n_1 – число подвійних ходів, необхідне для зняття припуску. Розраховує за формулою:

$$n_1 = \frac{a_x}{b}, \quad (2.10)$$

де a_x – припуск на хонінгування, мм;

b – шар металу, що знімається за один подвійний хід, мм.

$b = 0,002$ мм (для чавуна).

n_2 – число подвійних ходів шпиндельної бабки в одну хв розраховуємо за формулою:

$$n_2 = \frac{1000 \cdot V_{з-п.ф}}{2L}, \quad (2.11)$$

де L – довжина робочого ходу хонінгувальної головки, мм;

$$L = l_{отв} + 2l_{пер} - l_{бр}, \quad (2.12)$$

де $l_{отв}$ – довжина хонінгованого отвору, мм;

$l_{пер}$ – перебіг бруска за межі отвору, мм; $l_{пер}=0,33$ мм;

$l_{бр}$ – довжина хонінгувального бруска, мм.

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технологічна операція хонінгування гільзи виконується наступним чином [21]:

1. Встановити гільзу циліндра на столі верстата в пристосуванні посадковою поверхнею, візуально відцентрувати із хонінгувальною головкою і закріпити затискачами.

2. Налагодити верстат. Для цього приєднати голівку до шпинделя верстата, застопорити запобіжне кільце. Закріпити алмазні бруски. Встановити частоту обертання, швидкість зворотно-поступального руху і тиск брусків. Перевірити наявність змащення і МОР.

3. Хонінгувати гільзу циліндра. Спочатку виконати чорнове хонінгування. При цьому знімається припуск 0,015-0,03 мм. Проконтролювати рівномірність обробки. Потім виконати чистове хонінгування, змінивши бруски на дрібнозернисті, тиск і подачу. Виконати хонінгування до заданого розміру. Сформувати сітку (кут 40-60°). Досягти необхідної шорсткості.

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

3 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ

3.1 Аналіз останніх досліджень з підвищенню зносостійкості гільзи циліндрів за рахунок використання силікатних брусків

Підвищення надійності машин і збільшення їхнього ресурсу мають велике значення в сучасних економічних умовах. Ефективні показники роботи двигуна тим вищі, чим нижчі механічні втрати і, зокрема, втрати на тертя. Що менші втрати на тертя, то менший знос основних пар, що труться, більший термін служби і менша кількість несправностей двигунів в умовах експлуатації. Найбільші механічні втрати спричиняються тертям між поршнем з кільцями і дзеркалом гільзи циліндра. Отже, однією з ланок, які найбільше лімітують показники надійності роботи двигуна, є гільзи циліндрів, які працюють спільно з поршнями і кільцями [23].

У практиці автотранспортних підприємств найбільш поширеним способом відновлення гільз циліндрів є розточування під ремонтний розмір. Це пояснюється простотою технології, доступністю обладнання та відносно низькою собівартістю виконання робіт. Однак даний метод має суттєві недоліки: зменшення товщини стінки гільзи; зниження жорсткості та тепловідведення; обмежена кількість ремонтних розмірів; відсутність впливу на мікроструктуру поверхні.

У зв'язку з цим виникає необхідність застосування додаткових технологічних заходів, спрямованих на підвищення зносостійкості поверхні гільз після розточування.

В роботі [23] відзначено, що зносостійкість залежить від остаточної (фінішної) обробки поверхонь деталей. Одним із таких способів є хонінгування, під час якого використовують алмазні та абразивні бруски. Запропоновано виконувати чистове хонінгування з використанням силікатних брусків.

В роботі [23] наведено результати дослідження зносостійкості

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

поверхонь оброблених силікатними брусками. Спочатку гільзи були розточені, а потім для усіх гільзи виконували чорнове хонінгування алмазними брусками і чистове силікатними, алмазними та абразивними брусками.

Встановлено, що застосування силікатних брусків для хонінгування робочих поверхонь дозволить змінити структуру поверхневого шару після обробки та скоротити час припрацювання поверхней на 30 % у порівнянні з поверхнями, які оброблені алмазними та абразивними брусками [23].

Показано, що у поверхні тертя, яка оброблена силікатними брусками інтенсивність зношування на 20-25 % менше ніж у поверхонь оброблених алмазними та абразивними брусками [23].

Підтверджено, що найкращі антифрикційні властивості має поверхонь тертя, яка оброблена силікатними брусками, що дозволить підвищити довговічність з'єднання «гільза – поршневе кільце» на 25-30% [23].

В роботі [24] наведено результати дослідження впливу твердості абразиву силікатних хонінгувальних брусків на якість поверхонь тертя. Для цього були виготовлені силікатні бруски з абразивом різної твердості: електрокорунду, карбіду кремнію зеленого, карбіду титану, карбіду бору. Для порівняння працездатності силікатних брусків використали алмазні бруски, які виготовлені на полімерній зв'язці В2-04 з мікропорошків синтетичного алмазу марки АСМ.

Виявлено, що при обробці сталевих та чавунних поверхонь силікатними хонінгувальними брусками знімання металу в 1,5 рази менше, ніж при обробці алмазними брусками. Запропоновано призначати припуск на попереднє хонінгування силікатними брусками для чавунних та сталевих від 0,07 мм до 0,1 мм. На остаточне хонінгування силікатними брусками для чавунних поверхонь від 0,01 мм до 0,02 мм, для сталевих – від 0,007 мм до 0,01 мм.

В роботі [25] відзначено, що у теперішній час продовжується розробка нових, більш досконалих конструкцій інструментів (хонінгувальних головок, абразивних брусків, з більш привабливими характеристиками), що дозволить

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

значно покращити якість поверхонь деталей і підвищити їх ресурс та експлуатаційні характеристики. Використання новітніх абразивних матеріалів робить хонінгування незмінним процесом у машинобудуванні, особливо у виробництві автомобільних двигунів. Тому автори роботи [24] пропонують для підвищення зносостійкості гільз циліндрів при їх відновленні використовувати силікатні бруски при виконанні завершальної операції процесу відновлення – хонінгуванні.

В роботі [25] наведено результати дослідження впливу тривалості процесу хонінгування, твердості і зернистості абразиву на параметр шорсткості поверхні гільзи циліндрів автомобільного двигуна.

Встановлено, що при збільшенні часу хонінгування якість поверхні (R_a) покращується як після обробки алмазними, абразивними так і силікатними брусками. Стабілізація формування остаточної шорсткості поверхні гільзи циліндрів відбувається при хонінгуванні на протязі 2,0 хв. Збільшення часу хонінгування силікатними брусками не впливає на якість поверхні і складає $R_a = 0,12$ мкм [25].

Відзначено, що висока якість поверхні після обробки силікатними брусками обумовлена утворенням в процесі хонінгування аморфного кремнезему (SiO_2), який під дією абразивних зерен потрапляє у западини оброблюваної поверхні та зчіпляється з поверхнею і таким чином оброблювана поверхня насичується оксидом кремнію [25].

Встановлено, що при збільшенні часу хонінгування як алмазними, абразивними так і силікатними брусками знімання металу збільшується [25]. Встановлено, що знімання металу після обробки силікатними брусками в 1,7-2 рази менше ніж після хонінгування алмазними та абразивними брусками [25].

Запропоновано для чистового хонінгування гільз циліндрів автомобільних двигунів використовувати силікатні бруски з абразивом карбіду кремнію зеленого зернистістю 40/28 [25].

Запропоновано призначати припуск на діаметр при чистовому

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

хонінгуванні силікатними хонінгувальними брусками з абразивом карбиду кремнію зеленого зернистістю 40/28 у межах 0,01-0,015 мм [24].

Отримані результати дослідження можуть сприятимуть удосконаленню технологічних процесів відновлення та покращення фізико-механічних властивостей робочих поверхонь деталей автомобільного двигуна [24].

3.2 Склад і технологія виготовлення силікатних хонінгувальних брусків

Технологічний процес хонінгування виконується хонінгувальною головкою і брусками, які кріпляться до неї, як це було відзначено у підрозділу 2.3. Для хонінгування гільз циліндрів застосовують абразивні і алмазні бруски.

Абразивний хонінгувальний брусок являє собою пористе тіло, що складається з абразивних ріжучих зерен і зв'язки. Кожен брусок має сукупність ознак, що становлять його характеристику і що враховуються під час вибору бруска для заданих умов хонінгування. Характеристика бруска включає такі основні ознаки (рис. 3.1): вид абразивного матеріалу, зернистість, вид зв'язки, твердість, структуру, тип і габаритні розміри [26].

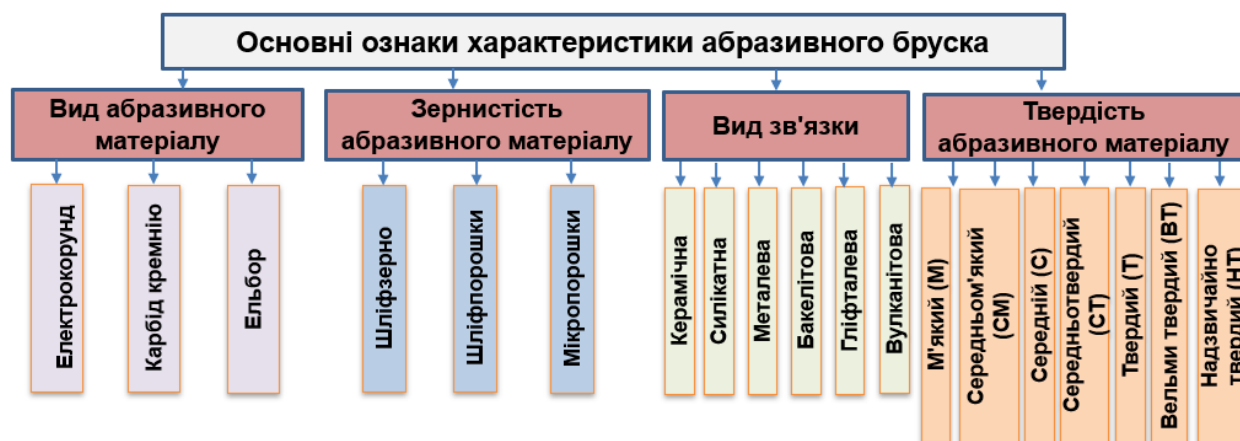


Рис. 3.1. Основні ознаки характеристики абразивного бруска

Головними параметрами брусків для хонінгування вважаються їхня твердість і зернистість. Залежно від номера зернистості абразивні зерна ділять від 12 до 3) і мікропорошки (зернистість від М40 до М5). Що більший розмір абразиву, то менше часу знадобиться для зняття шару металу, але й шорсткість

обробленої поверхні зросте [26].

Твердість інструменту впливає на його зносостійкість і схильність до самозаточування. А збільшення цього параметра сприяє зниженню пористості. У результаті погіршуються умови для виведення стружки, що сприяє небажаному налипанню металу. Ця характеристика підбирається залежно від якості та властивостей оброблюваного матеріалу. Чим більша твердість робочого інструмента, тим більший тиск можна прикладати під час обробки. Для фінішної стадії хонінгування зазвичай беруться більш еластичні інструменти [26].

Якість і властивості брусків залежать від виду зв'язки. Здебільшого використовується керамічна. Їй властиві пористість і крихкість, завдяки яким забезпечується самозаточування інструменту. Однак вона має і негативні сторони. Так, через підвищену крихкість на крайках брусків з'являються відколи. А уламки, що утворилися, потрапляють між поверхнями і дряпають оброблювану деталь. Крім цього, негативний вплив має і нерівномірна твердість, що сприяє налипанню металу і, як наслідок, подряпинам. У свою чергу пористість робить відведення відпрацьованого матеріалу більш ефективним [26].

Твердість інструменту впливає на його зносостійкість і схильність до самозаточування. А збільшення цього параметра сприяє зниженню пористості. У результаті погіршуються умови для виведення стружки, що сприяє небажаному налипанню металу. Ця характеристика підбирається залежно від якості та властивостей оброблюваного матеріалу. Чим більша твердість робочого інструмента, тим більший тиск можна прикладати під час обробки. Для фінішної стадії хонінгування зазвичай беруться більш еластичні інструменти [26].

Характеристика алмазного бруска включає такі основні параметри: вид алмазних зерен, зернистість, концентрація алмазів, алмазного шару, зв'язка, форми і габаритні розміри. Твердість алмазних брусків до характеристики зазвичай не включається [29].

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для виготовлення алмазних брусків застосовуються зерна природних А і синтетичних АС (штучних) алмазів. Поверхня зерен синтетичних алмазів шорстка, що забезпечує краще утримання зерен у зв'язці і є однією з причин підвищеної ріжучої здатності брусків і зниження питомої витрати алмазів порівняно з брусками з природних алмазів.

Залежно від алмазних зерен алмазні порошки ділять на дві групи: шліфпорошки, отримані шляхом розсіву на ситах і мікропорошки, що класифікуються з використанням рідини.

В алмазних хонінгувальних брусках зерна містяться лише у верхньому робочому шарі, званому алмазносним шаром. Товщину його приймають від 1 до 5 мм, залежно від розмірів, призначення і способу виготовлення брусків. Концентрація алмазів визначається їхнім вмістом в робочому шарі бруска за вагою в одиниці об'єму або відсотковим об'ємним співвідношенням зерна і зв'язки [29].

Алмазні бруски найчастіше виготовляють з металевими зв'язками. Бруски з бакелітовою (органічною) зв'язкою, застосовують рідше. Знос алмазних брусків на металевих зв'язках відбувається в 100-400 разів повільніше, ніж абразивних, що пояснюється виключно високою міцністю і зносостійкістю алмазних зерен, а також силами їхнього утримання в зв'язці. Характер зносу алмазних брусків на металевій зв'язці значною мірою залежить від їхньої зернистості. Знос грубозернистих брусків йде за рахунок їх механічного зносу і руйнування алмазних зерен, тому питома витрата алмазів знижується. Зі зменшенням зернистості і підвищенням концентрації алмазів посилюється процес самозаточування і знос брусків, що веде до зростання питомої витрати алмазів [29].

Виготовляють абразивні бруски методом пресування. За допомогою додаткових операцій можна регулювати крихкість виробу. Так, просочивши брусок на керамічній основі бакелітом, можна знизити його крихкість і збільшити твердість [26]. Приймаючи до уваги вище наведене та попередні дослідження, автори роботи [26] пропонують склад силікатного абразивного

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

матеріал, силікатна композиція та зв'язка (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Склад силікатного хонінгувального бруска

У якості абразивного матеріалу пропонується використовувати карбід кремнію зелений марки 63С.

Силікатну композицію отримано шляхом змішування рідкого натрієвого скла з трихлористим залізом, який використовується як згущувач. Перемішування здійснюється до переходу рідкої фази натрієвого скла у твердий стан. В результаті цих дій утворюється тверда маса коричневого кольору, яка подрібнюється до необхідної зернистості. Подрібнену тверду масу використовують як силікатну композицію для приготування хонінгувального бруска. Таким чином, абразивний матеріал і силікатну композицію використовуються у якості ріжучого інструменту [26].

У якості зв'язки використовується епоксидна смола. Епоксидна смола, з точки зору хімічної будови, являє собою синтетичну олігомерну сполуку, яку використовують у комплексі з затверджувачами, що сприяють завершенню процесів полімеризації. Саме ці процеси, після завершення яких епоксидна смола готова до використання, визначають її технічні та експлуатаційні

характеристики. З огляду на це, можна дійти висновку, що епоксидна смола не може використовуватися в чистому вигляді [26].

У процесі комбінації різних видів епоксидних смол і затверджувачів утворюються різноманітні речовини, що мають часом протилежні властивості. Одні з них можуть бути твердими і жорсткими, міцність яких перевищує міцність сталі, а інші, навпаки, будуть м'якими, за консистенцією нагадують гуму. У нашому випадку при додаванні до смоли абразивного матеріалу та силікатної композиції отримуємо твердий і жорсткий виріб [26].

Залежно від вихідних компонентів епоксидної суміші, затвердіння епоксидної смоли може відбуватися в умовах великого температурного діапазону: від -10 до +200 градусів. Враховуючи лабораторні умови виготовлення хонінгувальних брусків, використовується смола холодного затвердіння, що визначається, в основному, видом використовуваного затверджувача. Затверджувач для епоксидної смоли виконує функцію полімеризуючого компонента. Як затверджувач можуть використовуватися третинні аміни та їхні аналоги і феноли. Співвідношення епоксидної смоли і затверджувача може бути залишково варіабельним і безпосередньо визначається складом вихідних компонентів. Будучи реактопластом, епоксидна смола вступає в необоротну реакцію полімеризації з затверджувачем, що сприяє отриманню міцної речовини, яка не розчиняється у воді та під дією високих температур [26].

Розрізняють кілька видів смол епоксидної природи, кожен з яких містить у собі кілька підвидів. Епоксидно-діанові смоли включають кілька підвидів смол епоксидної природи – матеріали з маркуванням ЕД-22, ЕД-20, ЕД-16, ЕД-10, ЕД-8. Враховуючи властивості кожного підвиду, пропонуємо застосовувати, в нашому випадку, епоксидну смолу ЕД-20. Вона найбільш часто використовуваній різновид рідких смол, що має універсальні експлуатаційні характеристики. З точки зору хімічної будови, епоксидна смола ЕД-20 являє собою олігомерну сполуку, основу якої становить дигліцидиловий ефір дифенілолпропану. Як затверджувач для епоксидно-

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

діанової смоли цієї марки можуть використовуватися різноманітні біоорганічні речовини – фенолформальдегідні смоли, ангідриди полікарбонових кислот, ароматичні та аліфатичні аміни, поліаміди та інші речовини [26].

Затверджувачів для епоксидної смоли є багато: ПЕПА; ТЕТА; ЕТАЛ45; ДЕТА і т. п. Відмінності затверджувачів полягають у кольорі, часі їх полімеризації, процентному співвідношенні зі смолою, температурних умовах, за яких вони полімеризують смолу, в'язкості та багатьох інших технічних аспектах [26]. Для приготування силікатних хонінгувальних брусків пропонується використовувати затверджувач – поліетиленполіамін (ПЕПА). Це класичний затверджувач від світло-жовтого до темно-бурого кольору без механічних включень, призначений для смоли ЕД-20 та її аналогів. Перевагою даного затверджувача є високі фізико-механічні властивості: покриття стають стійкими до відшаровування та витримують великі навантаження. Помірна реакційна здатність дозволяє заливати більші обсяги [26]. Особливості затверджувача – швидка полімеризація складу при температурі не нижче +20°C.

Швидкість полімеризації суміші епоксидної смоли з затверджувачем хоч і залежить від первісної температури – сам механізм полімеризації від неї не залежить. Реакція епоксидної смоли з затверджувачем необоротна. По ходу полімеризації смола змінює свій стан з рідкого на липкий, в'язко-гелеподібний. У міру наростання твердості швидкість реакції уповільнюється, поступово втрачається липкість. Згодом липкість зникне, але смола продовжить набирати свою твердість та міцність. Вважається, що остаточне затвердіння досягається через 24 години за температури 22-24°C [27]. Технологія виготовлення силікатних хонінгувальних брусків наведено на рис. 3.3 [26].

Підбирається необхідний абразивний матеріал та приготуємо силікатну композицію. Дані компоненти змішуються у необхідних пропорціях. Потім приготується суміш епоксидна смола і затверджувач.

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

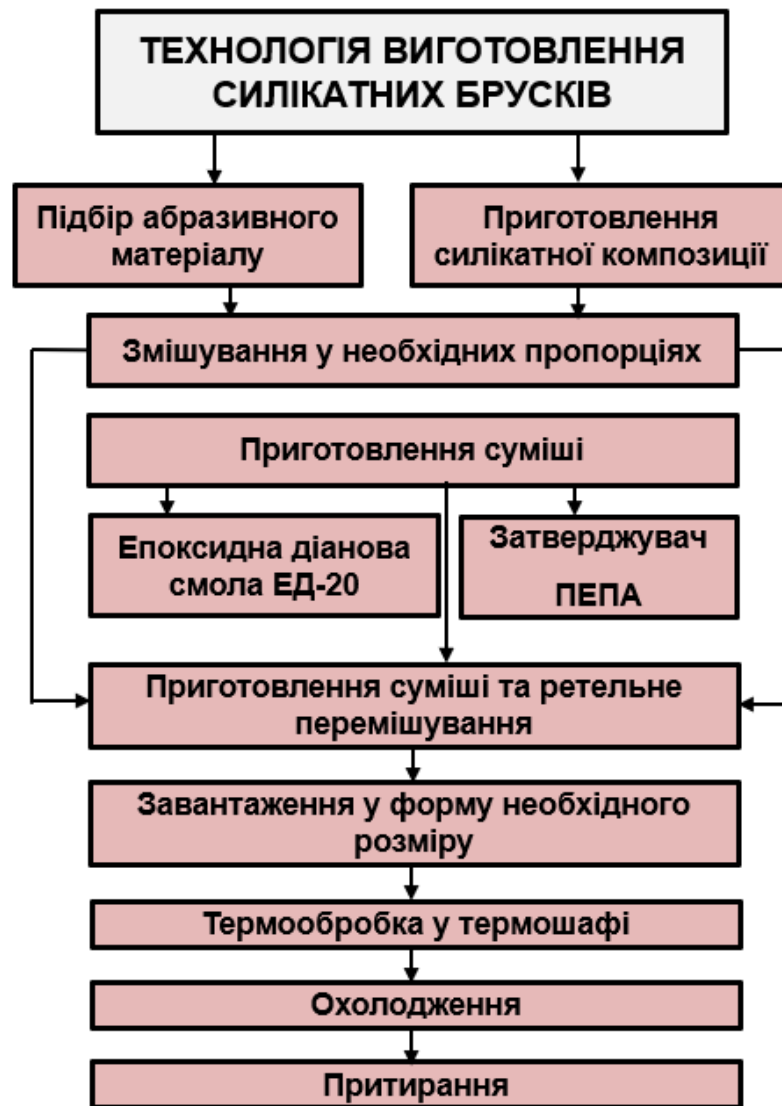


Рис. 3.3. Технологія виготовлення силікатних хонінгувальних брусків

Затверджувач необхідно лити в епоксидну смолу дуже повільно, ретельно і постійно перемішуючи, так щоб в результаті затверджувач поступово був присутній у всьому об'ємі смоли. При роботі з епоксидною смолою ЕД-20 у температурному режимі від +18-30°C з використанням ПЕПА (класичний затверджувач від світло-жовтого до темно-бурого кольору без механічних включень, призначений для смоли ЕД-20 та її аналогів, його особливість – швидка полімеризація складу), затверджувача необхідно від 9-10% від маси смоли [28]. Сильне передозування затверджувача навіть тимчасово в частині ємності може призвести до «закипання» смоли (смола стане матово-білою і покриється піною), в цьому випадку вся смола буде зіпсована. Необхідно мати

на увазі, що процес змішування смоли з екзотермічний затверджувачем (виділяється тепло), смола буде нагріватися. Іноді в процесі додавання затверджувача або відразу після змішування виникає лавиноподібний процес – смола дуже швидко сильно нагрівається і практично миттєво «встає» (затвердіває). Це пов'язано з передозуванням затверджувача або з високою температурою температури смоли [28].

Приготовлену епоксидну смолу змішуємо з попередньо підготовленою сумішшю абразивного матеріалу і силікатної композиції та ретельно перемішуємо. Отриману абразивну масу завантажуюмо у форму необхідного розміру. Щоб після полімеризації смоли готовий виріб можна було легко витягти з форми, її змащуємо технічним вазеліном. Після закінчення 2-3 годин після первинної полімеризації для підвищення міцності (з використанням ПЕПА) проводимо термообробку брусків у термошафі при 60 °С протягом двох годин. Після охолодження виріб необхідно підготувати до проведення дослідів. Підготовка полягає у притиранні брусків для повного контактування з поверхнею, яка обробляються.

Враховуючи вище наведено, пропонуємо для чорнового хонінгування застосовувати силікатні хонінгувальні бруски з абразивом карбіду бора з наступними параметрами: СБХ КБ F100 С Б №1 100×8×7. СБХ – силікатний брусок хонінгувальний; КБ – карбід бору; F100 – зернистість; С – середня твердість бруска; Б – бакелітова зв'язки; №1 – структура бруска, яка характеризується щільністю розміщення зерен; 100×8×7 – геометричні розміри бруска (довжина, ширина, товщина), мм.

Для чистового хонінгування пропонуємо застосовувати силікатні хонінгувальні бруски з абразивом карбіду кремнію зеленого з наступними параметрами: СБХ 100×8×7 63С М40 С1 Б. СБХ – силікатний брусок хонінгувальний; 100×8×7 – геометричні розміри бруска (довжина, ширина, товщина), мм; 63С – зелений карбід кремнію; М40 – зернистість абразиву, мкм; С1 – середня твердість; Б – тип зв'язки (бакелітова).

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3 Механізм хонінгування силікатними брусками

Розглянемо механізм явищ, які можуть виникати, на думку автора роботи [29], при обробці поверхонь силікатними хонінгувальними брусками. Пропонується механізм хонінгування умовно поділити на три частини.

Розглядаючи першу частину механізму, відмічено, що на початку хонінгування з металом деталі контактує зв'язка хонінгувального бруска. Цей контакт відбувається в окремих крапках, де зустрічається висока шорсткість поверхні і зв'язка. Далі в роботу вступають абразивні зерна, які створюють великі локальні тиски на поверхню, що обробляється. Це призводить до проривання значної частини абразивними зернами вихідного мономолекулярного шару змащення, розташованого на поверхні металу. В результаті цього виникають ювенільні поверхні металу, які контактують з зернин бруска, що збільшує тангенціальну складову сили хонінгування. Коефіцієнт тертя при контакті ювенільних поверхонь у кілька разів вищий, ніж при їх контакті через буферний шар змащування. Через значний тиск на окремому зерні, що перевищує межу пластичності матеріалу, з'являються мостики зварювання, які збільшують тангенціальну складову сили хонінгування. За такими умовами відбувається найбільш інтенсивне зношування брусків. Додатково зношування збільшується безпосередньо механічним зчіплюванням частиною виступаючих зерен бруска із вершинами шорсткості поверхні деталі [29]. Крім цього до складу бруска входить силікатна композиція, основним елементом якої є SiO_2 . При взаємодії МОР на водній основі з силікатною композицією відбуваються хімічні зміни в результаті яких утворюється оксид кремнію (SiO_2). За рахунок колового і осьового руху хонінгувальної головки та контактного тиску брусків на поверхню гільзи циліндрів відбувається різання-дряпання абразивними зернами найвищих вершин нерівностей. У точках зіткнення абразивних зерен відбувається підвищення температури, а оскільки навколо абразиву знаходиться SiO_2 , то при попаданні останнього в зону зіткнення відбувається утворення аморфного кремнезему (SiO_2) [30] (рис. 3.4).

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

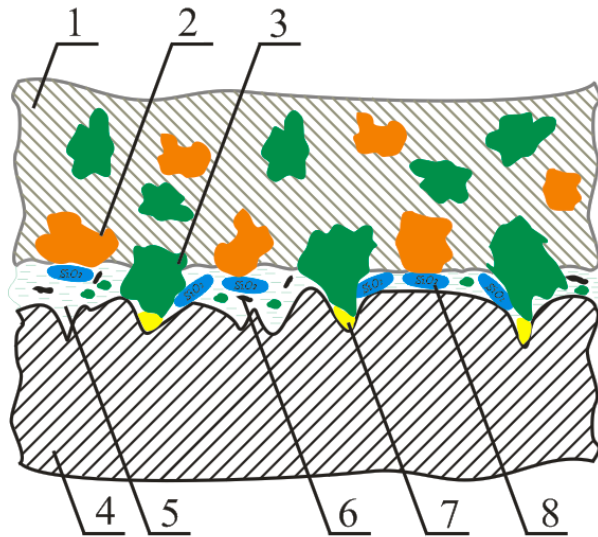


Рис. 3.4. Схема механізму хонінгування силікатними брусками:

1 – зв'язка хонінгувального бруска; 2 – силікатна композиція;
3 – абразивне зерно; 4 – поверхня, яка обробляється; 5 – змащувально-охолоджувальна рідина; 6 – металева стружка; 7 – зона «упаковки» аморфним кремнеземом; 8 – оксид кремнію

Під дією абразивних частинок SiO_2 потрапляє у западини оброблюваної поверхні та зчіпляється з поверхнею. При багаторазовому впливі абразиву відбувається щільна «упаковка» SiO_2 глибоких западин нерівностей і поверхня насичується оксидом кремнію, що дозволяє отримати високу якість поверхні [29].

У другій частині механізму процес хонінгування стабілізується. Безпосередній контакт зв'язки бруска і металу стає неможливим. Зношення зв'язки відбувається за її контактом із шламом, який має металеву стружку і уламки зерен (рис. 3.4). Після 10-20 с обробки шорсткість і похибка форми суттєво зменшуються. В обробці знаходиться значна більшість абразивних зерен бруска, а кількість зерен, які контактують із ювенільною поверхнею металу, значно зменшується. Це призводить до зниженню тиску на зерна та тангенціальну складову силу хонінгування, що у порівнянні з першим циклом, зменшує знімання металу і знос брусків. Металева стружка і уламки абразиву мають твердість у декілька разів більше, ніж зв'язка. Їх дія при хонінгуванні подібна дії вільного абразиву при притиранні. Не видалений із зони різання

шлам зменшує різальну спроможність брусків, тому що енергія витрачається на дробіння часток шламу і зношення абразиву хонінгувальних брусків [29]. Таким чином, збільшення швидкості прокачування МОР поліпшує умови хонінгування, тому що очищується зона контакту бруска і деталі від шламу.

У останній, третій частині, шорсткість поверхні незначно зменшується. Знімання металу мінімальне і його інтенсивність практично не змінюється у часі. При цьому знижується шорсткість поверхні за рахунок пластичних деформацій і незначних хіміко-механічних та адгезійних явищ. В зоні обробки граничний шар перешкоджає безпосередньому контакту зерен з металом. На знімання металу хонінгуванням значно впливає застосування МОР. Видалення металу при обробці деталі із застосуванням охолодженої рідини у три рази більше, ніж без охолодження, а знос зерен інструмента збільшився у два рази. Це пояснюється підвищеним контактом ювенільних поверхонь і «адгезійним схоплюванням». Встановлено, що МОР при абразивному хонінгуванні спричиняє перерозподіл витрат енергії. За подачею ЗОР на водній основі значна частина енергії витрачається на знімання металу, але кількість зерен, що знаходяться у контакті із ювенільною поверхнею, дуже мала і різання виконується через буферний шар змащення. Хонінгування без охолодження значно підвищує долю енергії, яка витрачається на руйнування брусків, пластичне деформування металу і роздроблювання зерен, що викришилися і знаходяться між брусками і деталлю. В цьому випадку виникає контакт ювенільних поверхонь, що спричиняє адгезію схоплювання абразивних зерен із металом. Міцний адгезійний зв'язок і великий коефіцієнт тертя разом із тангенціальним рухом брусків, призводить до крихкого руйнування зерен абразиву, тоді як крихка міцність абразивних зерен невелика [29].

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

4 ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМІВ ХОНІНГУВАННЯ СИЛІКАТНИМИ БРУСКАМИ

4.1 Вплив основних параметрів процесу хонінгування силікатними брусками на якість обробленої поверхні

Аналіз останніх досліджень показав, що режими різання при хонінгуванні суттєво впливають як на параметр шорсткості поверхні R_a , так і на продуктивність процесу абразивного хонінгування [31]. За допомогою статистичних методів аналізу доведено [31], що найбільший вплив на параметр R_a мають (у порядку ранжування) колова (V_k) і осьова (V_o) швидкості руху головки і питомий тиск брусків на поверхню оброблення (q). Інші технологічні фактори (кількість брусків у хоні, густина та склад мастильно-охолоджуючої рідини (МОР)) також мають вплив на процес абразивного хонінгування, але їх значення невисокі ($\sim 3-5\%$) у порівнянні з наведеними основними режимами різання [31, 32].

Під час попереднього хонінгування, коли не потрібна висока чистота обробки, але бажана більш висока продуктивність рекомендується працювати з більш високими швидкостями зворотно-поступального руху головки. Найбільше значення цієї швидкості обмежується умовою плавного реверсу шпиндельної бабки і граничним значенням швидкості по верстату [32].

Умова плавного реверсу виконується при обмеженні числа подвійних ходів шпиндельної бабки за хвилину. Для цього при зменшенні довжини хонінгування слід знижувати швидкість осьового руху. Відношення цих швидкостей ведуть до поняття безрозмірної величини, яка називається кутом хонінгування [32].

Дотримання кута хонінгування під час обробки поверхні деталі має дуже важливе значення для подальшої її роботи. Відповідно до різних методик оцінками якості кут може варіюватися від 40 до 60 градусів. Занадто великий кут понад 60° виникає при неправильному співвідношенні між швидкістю поступального руху уздовж осі та кутовою швидкістю обертання, брусок

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

рухається занадто швидко, шпиндель обертається занадто повільно, внаслідок чого погіршуються експлуатаційні властивості деталі. Занадто малий кут, менше 40° буде спостерігатися в тому випадку якщо брусок рухається занадто повільно, а шпиндель обертається занадто швидко. Наслідком цього під час роботи деталі спостерігається швидке зношування її поверхні [32].

Дослідженнями встановлено, що на параметри макро- і мікрорельєфу великий вплив має кінематика процесу хонінгування. Кінематику процесу різання при хонінгуванні отворів необхідно розділити на два етапи: утворення макрорельєфу оброблюваної поверхні (метод утворення геометричних виробних ліній) та утворення мікрорельєфу оброблюваної поверхні (метод утворення сітки слідів) [33]. Складний робочий рух під час хонінгування отворів створює сприятливі умови для повнішого використання ріжучої здатності брусків і рівномірного зносу інструменту, що позитивно впливає на продуктивність обробки та точність геометричної форми поверхні. У зв'язку з цим в робот [32] виконано дослідження впливу параметрів процесу хонінгування силікатними брусками на шорсткість обробленої поверхні. На підставі отриманих результатів встановлено, що при збільшенні колової швидкості якість поверхні покращується, а при збільшенні осьової швидкості – погіршується як після обробки алмазними, абразивними так і силікатними брусками. При збільшенні контактного тиску брусків якість поверхні погіршується після обробки алмазними брусками і покращується після обробки абразивними та силікатними брусками.

Встановлено, що при збільшенні осьової швидкості брусків знімання металу збільшується, а при збільшенні колової швидкості – зменшується як після обробки алмазними, абразивними так і силікатними брусками. При збільшенні контактного тиску брусків знімання металу збільшується після обробки алмазними брусками і плавно зменшується після хонінгування абразивними та силікатними брусками [32].

Встановлено, що знімання металу після обробки силікатними брусками в 2 рази менше ніж після хонінгування алмазними брусками.

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Запропоновано призначати припуск на чистове хонінгування силікатними брусками для гільз циліндрів з чавуну легованого (НВ 240) в межах 0,01-0,02 мм [32].

4.2 Обладнання та зразки для проведення оптимізації

Для оптимізації параметрів режиму хонінгування силікатними брусками виконували на вертикальному одношпиндельному хонінгувальному верстаті моделі 3Г833 призначений для хонінгування отворів гільз і блоків автомобільних двигунів внутрішнього згоряння та інших аналогічних деталей з діаметром отворів до 165 мм, габарити яких дозволяють встановлювати їх на столі верстата.

Верстат складається з основи 1 (рис. 4.1), на якій кріпиться колона 7, електронасос охолодження 18 і пристосування для встановлення деталей. На колоні розташовані: привід 10 редуктора 10 обертання шпинделя, привід 8 коробки передач, пульт керування 16 і електрошафа (на малюнку не показана). На циліндричних напрямних 11, закріплених вгорі в корпусі редуктора 15, здійснює поступально-поворотний рух повзун 13, який з'єднаний повідцем 14 з хонінгувальною головкою 2 [29].

Зворотно-поступальний рух повзуна здійснюється за допомогою рейки 5, закріпленої в ньому від коробки передач 6. Обертальний рух повідомляється хонінгувальної голівці редуктора 15 на приймальну шестерню повзуна через шліцьовий вал 3.

Хід повзуна регулюється рукояткою 12 механізму регулювання. Розтискання брусків хонінгувальної головки здійснюється вручну маховиком 4 механізму, а ручне введення її в оброблюваний отвір – маховиком 9 механізму введення.

Розточену гільзу зі спеціальним пристосуванням встановлювали на стіл верстата. Пересуваючи пристосування з гільзою, домагалися, щоб вісь шпинделя верстата або сама головка приблизно збігалася з віссю гільзи, після чого о пристосування закріплювали.

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

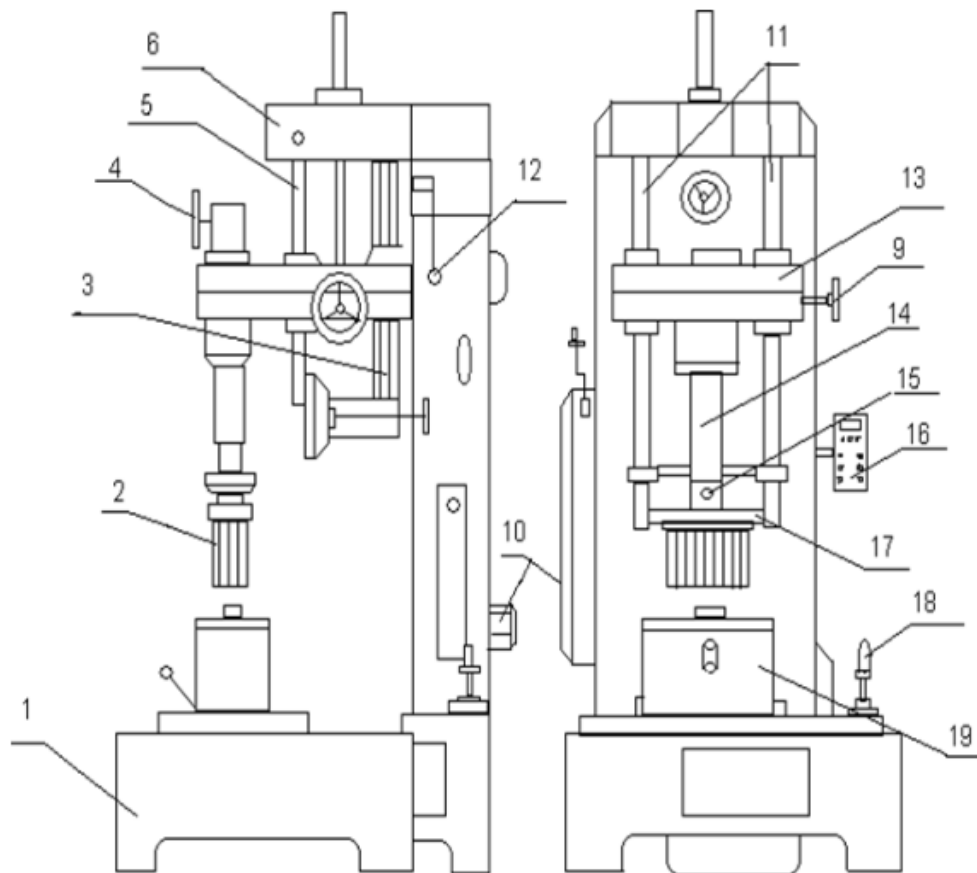


Рис. 4.1. Вертикально-хонінгувальний верстат 3Г 833:

1 – основа; 2 – хонінгувальна головка; 3 – шліцьовий вал; 4 – маховик;
5 – рейка; 6 – коробка передач; 9 – маховик ручного вводу; 10 – привід
редуктора; 11 – циліндричні напрямні; 12 – рукоятка механізму
реверсування; 13 – повзун; 14 – поводок; 15 – редуктор; 16 – пульт
керування; 17 – пристосування для охолодження хона; 18 – електронасос
охолодження; 19 – пристосування для кріплення деталей

Конструкція хонінгувальної головки наведено на рис. 4.2 [29]. Основною деталлю є корпус 2, у шести пазах якого розміщені колодки 5. У канавках колодок розташовуються пластини 7 з наклеєними силікатними брусками 4, тобто ті бруски, які підлягали досліді. Колодки постійно стягуються до осі головки кільцевими пружинами 3. У центральному отворі головки розміщується шток 8 із двома розтискними конусами 6. Під час руху штока вниз конуси, долаючи опір пружини, розсовують колодки. Осьове переміщення шток по отримує від гідромеханізму верстата, що

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			51

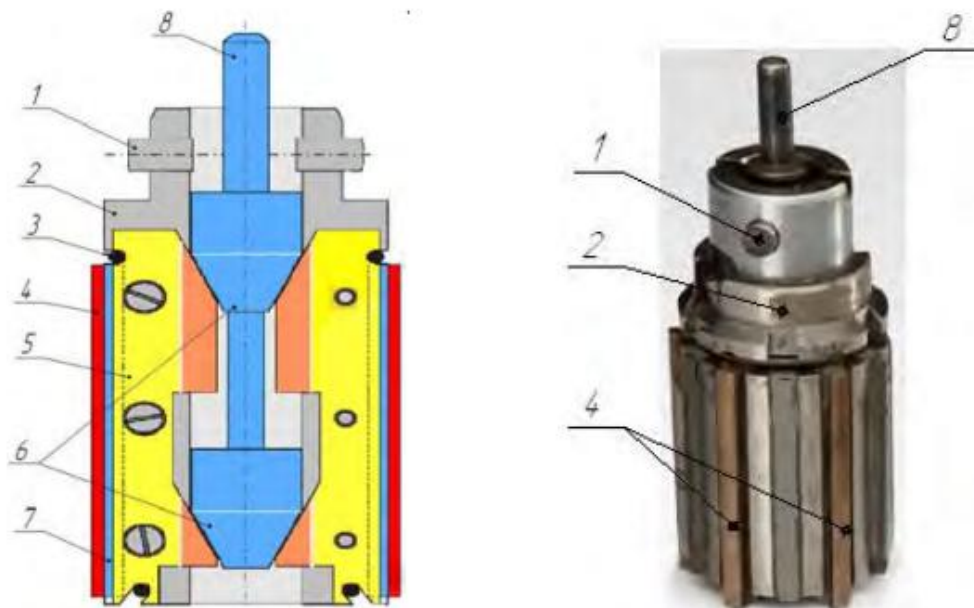


Рис. 4.2. Конструкція хонінгувальної головки:

а) – схема; б) – загальний вигляд

1 – поводок; 2 – корпус; 3 – кільцева пружина; 4 – силікатний брусок;
5 – колодка; 6 – конуси; 7 – пластина; 8 – шток

перетворюється за допомогою конусів у радіальний робочий рух колодок з абразивними брусками. Шток 8 із конусами 6 після закінчення обробки повертається у верхнє вихідне положення за допомогою притискної пружини, а колодки з абразивними брусками при цьому втоплюються в гніздах кільцевими пружинами. Корпус 2 через поводок 1 з'єднується шарнірним пристроєм з вузлом компенсації зносу брусків і з допомогою патрона кріпиться до шпинделя хонінгувального верстата [29].

Хонінгувальну головку з'єднували зі шпинделем верстата. Перемикач режимів керування на пульті встановлювали у положення «Ручний» (при цьому сигнальна лампа горіла) і маховиком ручного введення плавно вводили хонінгувальну головку в гільзу. Перевіряли правильність налаштування ходу повзуна, який здійснювали регулюванням повзуна кулачками.

Налаштувати верстат на заданий режим і проведення хонінгування гільзи проводили наступним чином. Обертанням маховика 4 (рис. 4.1), розташованого у верхній частині повзуна, здійснювали підведення брусків

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

хонінгувальної головки до легкого торкання дзеркала гільзи. Перемикач режимів управління встановлювали у положення «Введення хона», натискали кнопку «Шпindel пуск» і відкривали кран охолодження, водночас вмикаються приводи зворотно-поступального руху шпинделя. Далі проводили остаточний режим брусків. Питомий тиск абразивних брусків на абразивну поверхню циліндра фіксується показчиком навантаження 6. Охолоджувальна рідина підводиться сильним струменем і, крім охолодження, змиває найдрібніші частинки абразивної речовини з брусків і дзеркала циліндрів.

Після того, як зусилля подачі значно зменшувалося, обертанням маховика проводили розтиск брусків хонінгувальної головки до потрібних меж. Хонінгування циліндра вважається закінченим тоді, коли припуск буде знято повністю, тому в процесі роботи час від часу заміряли діаметр гільзи. Далі натискували кнопку «Шпindel стоп» і слідом за цим кнопку «Кінець циклу».

При цьому обертання шпинделя припинялось, а повзун із хонінгувальною головкою займав крайнє верхнє положення. Операція з хонінгування гільзи на цьому закінчувався.

Дослідження шорсткості поверхні здійснювалося за допомогою профілографа-профілометра моделі 201 (рис. 4.3) [34].

Прилад складається з самостійно виконаних блоків *I, II, III* (рис. 4.7) [34].

На столі стійки 2 кріпиться столик 6, що дає змогу переміщати випробовувану деталь у двох взаємоперпендикулярних напрямках і здійснювати поворот її. Мотопривод 3 з жорстко закріпленим на ньому датчиком 4 переміщається по стійці за допомогою рейки і шестерні. Крім того, до складу приладу входять електронний блок із показуючим приладом 7 і записуючим приладом 1. Основою датчика 4 є алмазна голка, розташована на кінці коромисла, що хитається на ножовій опорі, що створює дисбаланс мостової схеми. Отриманий електричний сигнал проходить через підсилювач електронного блока 7 і подається на показувальний або записувальний пристрій. Привід 3 призначений для переміщення датчика 4 за зразком 5.

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

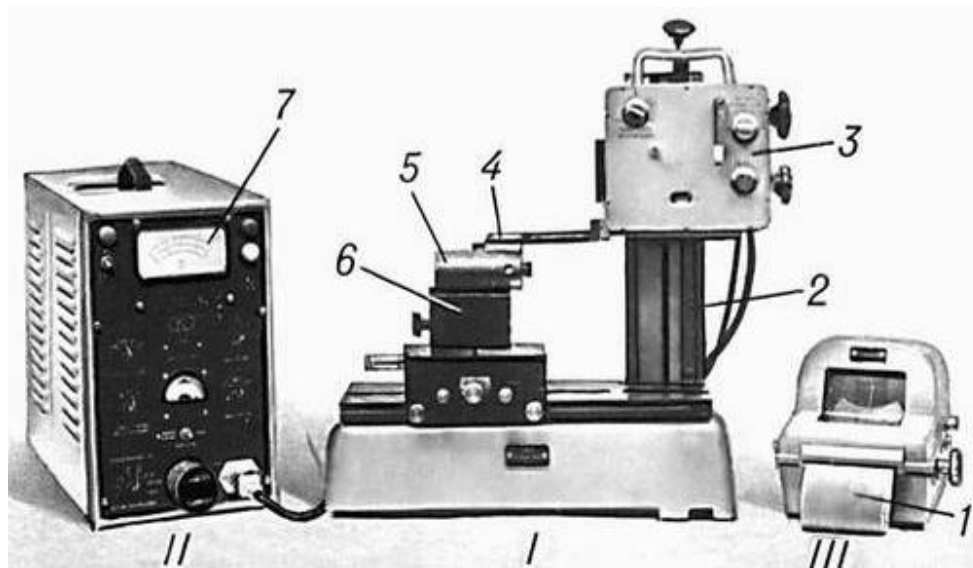


Рис. 4.3. Загальний вигляд профілографа-профілометра моделі 201 [34]:

1 – профілограма; 2 – стійка; 3 – привід; 4 – датчик; 5 – деталь;
6 – вимірювальний столик; 7 – показувальний пристрій електронного блока

Залежно від роду роботи приладу і досліджуваного зразка використовують одну з чотирьох швидкостей переміщення датчика (0,2; 1,0; 10 і 0,7 мм/с) і одну з трьох довжин ділянок вимірювання (6; 3,2; 1,6 мм) [34].

Як показувальний прилад використовували мікроамперметр постійного струму. Відлік показань приладу здійснювали за нерухомою стрілкою, яка зупиняється автоматично наприкінці ходу датчика. Записувальний прилад являє собою магнітоелектричний міліамперметр постійного струму, який самописний. Запис здійснювали електротермічним способом на спеціальному діаграмному папері в прямо вугільній системі координат із вісьмома ступенями збільшення по вертикалі (від 1000 до 200000 разів), за 18 горизонтальних збільшень (від 2 до 4000 разів) [34].

4.3 Розрахунок оптимальних параметрів режиму хонінгування силікатними брусками

З метою визначення оптимальних параметрів режиму хонінгування силікатними брусками, що забезпечує найменшу шорсткість поверхні після

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ		Арк.
							54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

обробки було розроблено та реалізовано план повного факторного експерименту типу $N = 2^3 = 8$.

Граничні значення незалежних чинників (параметрів режиму хонінгування) вибирали з результатів попередніх експериментів (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Незалежні фактори та рівні їх варіювання

Рівень змінних факторів	Позначення кодове	Тиск хон-бруска на оброблювану заготовку, МПа (P_6)	Колова швидкість хон-головки, м/с (V_k)	Осьова швидкість хон-головки, м/с (V_o)
		x_1	x_2	x_3
Основний рівень	0	1,125	1,5	0,3
Інтервал варіювання	Δx_i	0,875	1,0	0,2
Верхній рівень	+1	2,0	2,5	0,5
Нижній рівень	-1	0,25	0,5	0,1

Граничні значення незалежних чинників (концентрація компонентів силікатного складу) вибирали, з результатів попередніх експериментів. Дослідження виконували на вертикальному одношпиндельному хонінгувальному верстаті моделі 3Г833. У якості зразків використовували гільзи циліндрів двигуна внутрішнього згоряння виготовлених із сірого легованого чавуну ІЧГ-33М твердістю 217-250 НВ [35].

Час обробки у всіх дослідах складав 120 сек. По закінченню хонінгування визначали шорсткість поверхні після обробки.

Середнє значення випробувань визначалося як середнє арифметичне п'ятих дослідів з похибкою $\pm 5\%$.

Отримані значення параметра оптимізації – шорсткості поверхні зразків (Ra , мкм) та значення незалежних факторів наведено у табл. 4.2.

Проводився експеримент типу 2^3 , де число факторів $k=3$, кількість рівнів

Значення незалежних факторів та параметра оптимізації

Номер досліджу	Значення незалежних факторів			Шорсткість поверхні зразків, R_a , мкм.
	Тиск хон-бруска на оброблювану поверхню, МПа x_1	Колова швидкість хон-головки, м/с, x_2	Осьова швидкість хон-головки, м/с, x_3	
1	2	3	4	5
1	0,25	0,5	0,1	0,088
2	0,25	0,5	0,5	0,168
3	0,25	2,5	0,1	0,148
4	0,25	2,5	0,5	0,198
5	2,0	0,5	0,1	0,118
6	2,0	0,5	0,5	0,178
7	2,0	2,5	0,1	0,158
8	2,0	2,5	0,5	0,218

$p=2$, число дослідів $N=8$, повторних дослідів $n=5$.

Матриця планування наведена у табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Матриця планування

Номер досліджу	Матриця планування								Робоча матриця			Результати паралельних експериментів y_i мкм	Середнє значення, $\bar{y}_i$, мкм
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_{12}	x_{13}	x_{23}	x_{123}	Тиск хон-бруска, x_1	Колова швидкість, x_2	Осьова швидкість, x_3		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	0,25	0,5	0,1	0,09 0,09 0,09 0,08 0,09	0,088
2	1	-1	-1	1	1	-1	1	1	0,25	0,5	0,5	0,17 0,16 0,17 0,17 0,17	0,168

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
3	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	0,25	2,5	0,1	0,15 0,15 0,15 0,14 0,15	0,148
4	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	0,25	2,5	0,5	0,20 0,20 0,20 0,20 0,19	0,198
5	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	2,0	0,5	0,1	0,12 0,12 0,12 0,11 0,12	0,118
6	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	2,0	0,5	0,5	0,18 0,17 0,18 0,18 0,18	0,178
7	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	2,0	2,5	0,1	0,16 0,16 0,16 0,16 0,15	0,158
8	1	1	1	1	1	1	1	1	2,0	2,5	0,5	0,21 0,22 0,22 0,22 0,22	0,218

Після проведення дослідів виконано статистичну обробку результатів.

Спочатку визначали помилки повторних (паралельних) дослідів.

Середньоквадратичне відхилення визначаємо за формулою:

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y})^2}{n-1}, \quad (4.1)$$

де $\bar{y}$ – середнє арифметичне значення параметра оптимізації з п'яти

повторних дослідів (значення наведено у табл. 4.4).

Результати розрахунків зведено до табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Результати розрахунків

Номер дослідів	1	2	3	4	5	6	7	8	Сума
S_i^2	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00016
S_i	0,00447	0,00447	0,00447	0,00447	0,00447	0,00447	0,00447	0,00447	
$\frac{y_{max} - \bar{y}}{S}$	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	
$\frac{\hat{y} - y_{min}}{S}$	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	

Для визначення браку використовуємо критерій Стюдента:

$$\frac{y - \bar{y}}{S} \geq t, \text{ або } t_{\text{роз}} \geq t_{\text{табл.}} \quad (4.2)$$

де t – критерій Стюдента, його значення для 5 повторних дослідів і довірчої ймовірності 0,95 дорівнює 2,78 [36].

Для всіх дослідів $t_{\text{роз}} = 1,79$ умова $t_{\text{роз}} \geq t_{\text{табл.}}$ не виконується, отже, результати повторних дослідів не можемо вважати помилковими.

Для проведення регресійного аналізу розраховували однорідності дисперсії паралельних дослідів за критерієм Кохрена:

$$G_{\text{роз.}} = \frac{S_{\text{max}}^2}{\sum_1^N S_i^2} = \frac{0,00002}{0,0016} = 0,125. \quad (4.3)$$

Розрахункове значення критерію порівнювали з табличним для ступенів свободи: $f_1 = r - 1$; знаменника $f_2 = N$ за обраного рівня значущості $\alpha = 0,05$; $G_{\text{табл.}}$ – табличне значення критерію Кохрена – 0,5157 [37].

$$G_{\text{табл.}} = 0,5157 > G_{\text{роз.}} = 0,125. \quad (4.4)$$

Отже, гіпотеза про однорідність дисперсії паралельних дослідів приймається. Звідси дисперсія відтворюваності склала $S_i^2 = 0,00002$. Помилка експерименту склала $S_i = 0,00447$.

Рівняння математичної моделі з урахуванням парних взаємодій має вигляд [35]:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 \quad (4.5)$$

Коефіцієнти регресії за повного факторного експерименту визначають за формулами:

$$b_0 = \frac{\sum_1^N \hat{y}_u}{N}; \quad (4.6)$$

$$b_i = \frac{\sum_1^N x_{iu} \hat{y}_u}{N}; \quad (4.7)$$

$$b_{ij} = \frac{\sum_1^N x_{iu} x_{ju} \hat{y}_u}{N}; i \neq j; \quad (4.8)$$

$$b_{ijk} = \frac{\sum_1^N x_{iu} x_{ju} x_{ku} \hat{y}_u}{N}; i \neq j \neq k. \quad (4.9)$$

Коефіцієнти регресії, розраховані за наведеними вище виразами, дорівнюють: $b_0 = 0,15925$; $b_1 = 0,00875$; $b_2 = 0,02125$; $b_3 = 0,03125$.

З урахуванням значення дисперсії відтворюваності $S_i^2 = 0,00002$ довірчою ймовірністю $\alpha = 0,95$ знаходимо межі довірчих інтервалів для коефіцієнтів регресії [35]:

$$\Delta b_i = \pm \frac{t \cdot S_i}{\sqrt{N}} = \pm \frac{2,78 \cdot 0,00447}{\sqrt{8}} = \pm 0,004. \quad (4.10)$$

Порівнюючи значення коефіцієнтів регресії з межами довірчих інтервалів бачимо, що коефіцієнти b_{12} , b_{13} і b_{123} незначні. Тепер рівняння математичної моделі має вигляд:

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\hat{y} = 0,15925 + 0,00875x_1 + 0,02125x_2 + 0,03125x_3. \quad (4.11)$$

Перевіряємо адекватність отриманого рівняння.

Обчислюємо теоретичні значення параметра оптимізації $\hat{y}$, величину похибки $\Delta y = y - \hat{y}$, результати занесені в табл. 4.5.

Таблиця 4.5

Результати розрахунків

Номер досліджу	1	2	3	4	5	6	7	8
$\hat{y}$	0,098	0,16	0,14	0,202	0,116	0,178	0,158	0,22
Δy	-0,01	0,008	0,008	-0,004	0,002	0	0	-0,002
Δy^2	0,0001	0,000064	0,000064	0,000016	0,000004	0	0	0,000004

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_1^N \Delta y_i^2}{f}, \quad (4.12)$$

де $f = N - (k + 1)$ – число ступенів свободи.

$$S_{ад}^2 = \frac{0,000252}{4} = 0,000063.$$

де $f = N - (k + 1) = 8 - (3 + 1) = 4$ – число ступенів свободи.

Адекватність математичної моделі визначаємо за критерієм Фішера:

$$F_{роз.} = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2} = \frac{0,000063}{0,00002} = 3,15. \quad (4.13)$$

$F_{табл.} = 6,39$ [35]. $F_{роз.} \leq F_{табл.}$, отже, модель адекватна.

Аналізуючи рівняння (4.11) математичної моделі можна відмітити, що на параметр оптимізації впливають незалежні фактори. Кожен коефіцієнт характеризує роль відповідної змінної у процесі чи силу впливу факторів. Чим більша чисельна величина коефіцієнта, тим більше впливає фактор. Якщо коефіцієнт має знак «+», то зі збільшенням значення чинника параметр відгуку (оптимізації) збільшується, і якщо «-» зменшується. Величина коефіцієнта відповідає вкладу даного фактора величину параметра оптимізації при

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ		Арк.
							60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

переході фактора з нульового рівня на верхній або нижній [35].

Якісний аналіз отриманого рівняння (4.11) дозволяє зробити такі висновки щодо впливу незалежних факторів при хонінгуванні силікатними брусками на шорсткість обробленої поверхні (R_a). Найбільший вплив на шорсткість обробленої поверхні має осьова та колова швидкості хонінгувальної головки. Про це свідчить значення коефіцієнтів регресії b_2 та b_3 у рівнянні (4.11). При мінімальних значеннях незалежних факторів шорсткість поверхні, яка оброблена силікатними брусками є мінімальною і складає $R_a = 0,088$ мкм [35].

З метою визначення оптимальних значень режиму хонінгування силікатними брусками. Під час руху в факторному просторі незалежні змінні змінювали пропорційно до величин коефіцієнтів регресії з урахуванням їх знаків. Для цього визначали крок руху по кожному фактору і проводили «уявні» дослід, які полягали у обчисленні значень функції відгуку в точках факторного простору, що лежать на шляху до оптимуму. Здійснювали уявний рух до оптимуму. Для зручності розрахунків кодові значення факторів були переведені у натуральні шляхом декодування за формулами 4.14 та 4.15 [35]:

$$C_i = \frac{x_i - x_{i_0}}{\Delta x_i}, \quad (4.14)$$

де C_i – кодове значення i -го фактору;

x_i – натуральне поточне значення i -го фактору;

x_{i_0} – початковий (нульовий) рівень фактора;

Δx_i – інтервал варіювання i -го фактору:

$$\Delta x_i = \frac{x_{i_{max}} - x_{i_{min}}}{2}. \quad (4.15)$$

Отримані значення наведено у табл. 4.6.

У таблиці 4.7 представлені результати здійснених та «уявних» дослідів руху по лінії «крутого сходження».

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.6

Стандартна матриця експерименту

Фактори	Верхній рівень, C_i^+	Нижній рівень, C_i^-	Основний рівень, C_i^0	Інтервал варіювання, Δx_i	Залежність кодованої змінної від натуральної
1	2	3	4	5	6
C_1	2,0	0,25	1,125	0,875	$x_1 = \frac{C_1 - 0,125}{0,875}$
C_2	2,5	0,5	1,5	1,0	$x_2 = \frac{C_2 - 1,5}{1,0}$
C_3	0,5	0,1	0,3	0,2	$x_3 = \frac{C_3 - 0,3}{0,2}$

Таблиця 4.7

Результати здійснених та «уявних» дослідів [35]

Досліди	Незалежні фактори			Параметр оптимізації R_a , мкм
	C_1 Тиск хон-бруска на оброблювану заготовку, МПа (P_6)	C_2 Колова швидкість хон-головки, м/с (V_k)	C_3 Осьова швидкість хон-головки, м/с (V_o)	
1) Уявний	2,0	2,5	0,5	0,229
2) Здійснений	2,0	2,5	0,5	0,218
3) Уявний	2,0	0,5	0,5	0,187
4) Здійснений	2,0	0,5	0,5	0,178
5) Уявний	0,25	2,5	0,1	0,150
6) Здійснений	0,25	2,5	0,1	0,148
7) Уявний	0,25	0,5	0,1	0,108
8) Здійснений	0,25	0,5	0,1	0,088
9) Уявний	0,25	0,5	0,3	0,139
10) Здійснений	0,25	0,5	0,3	0,135
11) Уявний	0,25	0,5	0,5	0,170
12) Здійснений	0,25	0,5	0,5	0,168
13) Уявний	1,125	0,5	0,5	0,178
14) Здійснений	1,125	0,5	0,5	0,172
15) Уявний	1,125	2,5	0,3	0,189
16) Уявний	0,25	2,5	0,5	0,212

Значення параметра оптимізації у «уявних» дослідах, на підставі значень табл. 4.6 визначали за такою формулою [35]:

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

$$R_a = 0,15925 + 0,00875 \cdot \left(\frac{C_1 - 0,125}{0,875} \right) + 0,02125 \cdot \left(\frac{C_2 - 1,5}{1,0} \right) + 0,03125 \cdot \left(\frac{C_3 - 0,3}{0,2} \right), \text{ мкм};$$

$$R_a = 0,079 + 0,01C_1 + 0,021C_2 + 0,155C_3, \text{ мкм.} \quad (4.16)$$

де C_1 – тиск хон-бруска на оброблювану заготовку (P_6), МПа;

C_2 – колова швидкість хон-головки (V_k), м/с;

C_3 – осьова швидкість хон-головки (V_o), м/с.

Уявні досліди були припинені в досліді 16. Подальше дослідження було припинено, оскільки, як видно з таблиці, параметр оптимізації (R_a) починає зростати. Це дає підставу вважати, що область оптимуму досягнуто.

При визначенні оптимального режиму хонінгуванні силікатними брусками враховували співвідношення колової та осьової швидкості хонінгувальної головки, яке впливає на величину кута пересічення маслоутримуючих рисок [35].

Аналіз результатів таблиці 4.7 показав, що найменша шорсткість (R_a) обробленої поверхні досягається у 7 (уявний) та 8 (здійснений) дослідів і складає 0,108 мкм та 0,088 мкм, відповідно. Колова швидкість хонінгувальної головки (V_k) складає 0,5 м/с, осьова – 0,1 м/с. Тоді співвідношення колової та осьової швидкості хонінгувальної головки дорівнює 5, що відповідає куту пересічення рисок близько 260° . Таке співвідношення швидкості не задовольняє якості поверхні з таким кутом. Тому пропонуємо прийняти до уваги досліди 9 та 10, де шорсткість обробленої поверхні складає 0,139 мкм та 0,135 мкм, відповідно. Співвідношення колової та осьової швидкості хонінгувальної головки, у цьому випадку, дорівнює 1,67, що відповідає куту пересічення рисок близько 60° [35].

Отже, для досягнення мінімального значення параметра оптимізації (R_a) при хонінгуванні силікатними брусками оптимальний режим складає: тиск хонінгувального бруска на оброблювану поверхню 0,25 МПа, колова швидкість хонінгувальної головки – 0,5 м/с (30 м/хв), осьова швидкість хонінгувальної головки – 0,3 м/с (18 м/хв) [35].

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.4 Удосконалена технології хонінгування гільз циліндрів силікатними брусками

На підставі вище наведеного пропонуємо наступну технологію хонінгування гільз циліндрів хонінгувальними брусками.

Операція 005 – Підготовка гільзи

Переходи:

005-1 Очищення гільзи від забруднень.

005-2 Візуальний контроль (тріщини, дефекти).

005-3 Вимірювання діаметра, овальності, конусності.

005-4 Визначення припуску на хонінгування (0,05-0,08 мм).

Операція 010 – Установлення гільзи

Переходи:

010-1 Установити гільзу у пристосування.

010-2 Виконати базування по зовнішній поверхні.

010-3 Відцентрувати відносно осі шпинделя.

010-4 Закріпити гільзу без деформації.

010-5 Перевірити співвісність ($\leq 0,01$ мм).

Операція 015 – Налагодження інструменту

Переходи:

15-1 Встановити хонінгувальну головку.

15-2 Закріпити силікатні хонінгувальні бруски з абразивом карбіду бора для чорнової обробки: СБХ КБ F100 С Б №1 П 100×8×7.

15-3 Встановити режим:

- колова швидкість хонінгувальної головки: 150 об/хв;
- осьова швидкість хонінгувальної головки: 18 м/хв;
- тиск хонінгувального бруска на оброблювану поверхню: 0,4 МПа.

Операція 020 – Чорнове хонінгування

Переходи:

020-1 Увімкнути подачу МОР. У якості МОР необхідно використовувати синтетичні водорозчинні рідини з концентрацією 3-10%.

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

020-2 Запустити обертання головки.

020-3 Увімкнути зворотно-поступальний рух.

020-4 Виконати розтискання брусків.

020-5 Зняти припуск (0,04-0,065 мм).

020-6 Контролювати рівномірність обробки. Час хонінгування: 120 с.

Операція 025 – Проміжний контроль

Переходи:

025-1 Зупинити верстат.

025-2 Промити гільзу.

025-3 Виконати вимірювання: діаметр, овальність, шорсткість: $R_a = 0,22$ мкм.

025-4 Внести коригування режимів (за потреби).

Операція 030 – Чистове хонінгування

Переходи:

030-1 Замінити бруски для чорнового хонінгування на силікатні бруски для чистової обробки з наступними параметрами: СБХ 100×8×7 63С М40 С1 Б.

030-2 Встановити режим:

- колова швидкість хонінгувальної головки: 120 об/хв;
- осьова швидкість хонінгувальної головки: 18 м/хв;
- тиск хонінгувального бруска на оброблювану поверхню: 0,25 МПа.

030-3 Виконати хонінгування до заданого розміру, знявши припуск на обробку 0,01-0,015 мм. Час хонінгування: 120 с.

030-4 Сформувати сітку (кут 50-60°).

030-5 Контролювати якість обробленої поверхні. Шорсткість поверхні:
 $R_a = 0,14$ мкм.

Операція 035 – Заключна обробка

Переходи:

035-1 Промити гільзу.

035-2 Виконати сушіння.

035-3 Провести остаточний контроль: діаметр, геометрія
(овальність: $\leq 0,01$ мм, конусність: $\leq 0,01$ мм),

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

шорсткість: $R_a = 0,14$ мкм, кут сітки: 50-60°.

Запропонована технологічна послідовність забезпечить відновлення геометричної точності та необхідних експлуатаційних властивостей поверхні тертя.

Таким чином відмічаємо, що впровадження удосконаленої технології відновлення робочої поверхні гільз циліндрів у виробничих умовах автотранспортного підприємства дозволить підвищити ресурс відновлених деталей, зменшити витрати на ремонт двигунів, скоротити потребу в заміні дороговартісних комплектуючих та підвищити економічну ефективність ремонтного виробництва.

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

5 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ РЕМОНТІ ДВИГУНІВ В УМОВАХ АТП

5.1 Загальні положення з охорони праці на автотранспортному підприємстві

Розглядаємий розділ розроблено з метою забезпечення безпечних і здорових умов праці під час виконання робіт з ремонту автомобільних двигунів в умовах автотранспортного підприємства (АТП). Питання охорони праці при ремонті двигунів мають особливе значення, оскільки технологічний процес пов'язаний із впливом на працівників небезпечних і шкідливих виробничих факторів: рухомих частин обладнання, підйомно-транспортних механізмів, підвищеної температури, шуму, вібрації, шкідливих випарів, паливно-мастильних матеріалів, електричного струму [38].

Охорона праці на автотранспортному підприємстві є системою правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я та працездатності працівників у процесі трудової діяльності [38]. В умовах автотранспортного підприємства питання охорони праці мають особливе значення, оскільки виробничі процеси пов'язані з експлуатацією транспортних засобів, технічним обслуговуванням, ремонтом, переміщенням вантажів, використанням підйомно-транспортного обладнання, електроустановок, паливно-мастильних матеріалів та інших джерел підвищеної небезпеки [39].

Основним нормативним документом, який регламентує вимоги охорони праці на автотранспортному підприємстві, є НПАОП 0.00-1.62-12 «Правила охорони праці на автомобільному транспорті», затверджені наказом МНС України від 09.07.2012 № 964 [38]. Ці Правила встановлюють єдині вимоги безпеки для всіх суб'єктів господарювання, які організовують або здійснюють роботи на автомобільному транспорті, незалежно від форми власності підприємства [38]. Відповідно до п. 1.1 НПАОП 0.00-1.62-12, дія Правил

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поширюється на автотранспортні підприємства, автопарки, станції технічного обслуговування та інші підприємства, діяльність яких пов'язана з експлуатацією, зберіганням, технічним обслуговуванням і ремонтом транспортних засобів [39].

Організація охорони праці на АТП базується на вимогах Закону України «Про охорону праці», відповідно до якого роботодавець зобов'язаний створити на кожному робочому місці безпечні та нешкідливі умови праці, забезпечити дотримання вимог законодавства, організувати належний рівень виробничої санітарії, техніки безпеки, пожежної безпеки та виробничої гігієни [38]. На автотранспортному підприємстві роботодавець несе безпосередню відповідальність за стан охорони праці, забезпечення працівників засобами індивідуального захисту, проведення навчання, інструктажів та перевірки знань з охорони праці [38, 39].

На кожному автотранспортному підприємстві повинна функціонувати система управління охороною праці, яка включає комплекс взаємопов'язаних організаційних і технічних заходів, спрямованих на попередження виробничого травматизму, професійних захворювань, аварій та пожеж [40]. Для цього на підприємстві створюється служба охорони праці або призначається відповідальна особа, яка організовує роботу з охорони праці, здійснює контроль за дотриманням нормативних вимог, проводить аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, бере участь у розслідуванні нещасних випадків та розробляє профілактичні заходи [38, 40].

Важливою складовою системи охорони праці на АТП є розроблення локальної нормативної документації. На підприємстві повинні бути розроблені та затверджені інструкції з охорони праці за професіями і видами робіт, положення про навчання з питань охорони праці, журнали реєстрації інструктажів, перелік робіт з підвищеною небезпекою, графіки перевірки технічного стану обладнання, плани евакуації та інші документи, що регламентують безпечне виконання робіт [40]. Відповідно до п. 1.2 НПАОП 0.00-1.62-12, на кожному підприємстві обов'язково розробляються інструкції

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

з охорони праці згідно з чинними нормативними вимогами [40].

До виконання робіт на автотранспортному підприємстві допускаються лише особи, які пройшли вступний інструктаж, первинний інструктаж на робочому місці, навчання безпечним методам праці, перевірку знань з охорони праці, а також попередній медичний огляд [38, 39]. Працівники, зайняті на роботах з підвищеною небезпекою, повинні проходити спеціальне навчання і щорічну перевірку знань з охорони праці [37]. Особи, які не пройшли навчання, інструктаж або медичний огляд, до роботи не допускаються [39].

Територія автотранспортного підприємства повинна відповідати вимогам безпеки праці, виробничої санітарії та пожежної безпеки [39]. Проїзди, проходи, місця стоянки транспортних засобів мають бути рівними, освітленими, очищеними від бруду, льоду та сторонніх предметів [39]. На території повинні бути організовані безпечні маршрути руху транспортних засобів і працівників, встановлені дорожні знаки, попереджувальні написи, розмітка та засоби пожежогасіння [39].

Виробничі приміщення автотранспортного підприємства повинні відповідати вимогам чинних будівельних, санітарних та протипожежних норм [39]. Зони технічного обслуговування і ремонту, діагностичні дільниці, мийні відділення, акумуляторні, шиномонтажні, зварювальні та інші виробничі приміщення повинні бути обладнані справною вентиляцією, достатнім освітленням, системами опалення, засобами пожежогасіння, аварійними виходами та справним електрообладнанням [38, 40]. Розміщення обладнання повинно забезпечувати безпечне виконання робіт і вільне пересування працівників [39].

Під час технічного обслуговування і ремонту транспортних засобів особлива увага приділяється безпеці виконання робіт [39]. Автомобілі, що надходять на технічне обслуговування чи ремонт, повинні бути надійно загальмовані, двигун вимкнений, а за потреби — встановлені на упори або підйомники [40]. Забороняється виконувати роботи під автомобілем, який утримується лише домкратом без застосування страхувальних підставок [39].

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Під час демонтажу, монтажу та ремонту агрегатів необхідно застосовувати справний інструмент, вантажопідіймальні механізми та спеціальні пристосування [39].

Працівники автотранспортного підприємства повинні бути забезпечені спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту відповідно до характеру виконуваних робіт [38, 39]. Під час виконання зварювальних, акумуляторних, фарбувальних, слюсарних та мийних робіт працівники зобов'язані використовувати захисні окуляри, рукавиці, щитки, респіратори, захисні костюми та інші засоби індивідуального захисту [39].

На автотранспортному підприємстві повинні бути створені належні санітарно-побутові умови для працівників: гардеробні, душові, умивальні, кімнати відпочинку, приміщення для приймання їжі, аптечки першої допомоги [39]. Роботодавець зобов'язаний забезпечити працівників питною водою, належними санітарними умовами та організувати проведення періодичних медичних оглядів [38].

Отже, загальні положення охорони праці на автотранспортному підприємстві спрямовані на створення безпечних і здорових умов праці, запобігання виробничому травматизму, аваріям, пожежам та професійним захворюванням [38, 39]. Дотримання вимог охорони праці є обов'язковою умовою ефективної, безпечної та безперебійної діяльності автотранспортного підприємства [39].

5.2 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Дільниця ремонту двигунів автотранспортного підприємства належить до виробничих зон підвищеної небезпеки, оскільки під час виконання розбірно-складальних, слюсарно-механічних, мийних, дефектувальних та регулювальних робіт на працівників діє комплекс небезпечних і шкідливих виробничих факторів [38, 40]. Їх наявність зумовлена застосуванням вантажопідіймального обладнання, ручного та механізованого інструменту, мийних розчинів, паливно-мастильних матеріалів, електрообладнання, а

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

також значною масою вузлів і деталей двигуна [40].

Відповідно до НПАОП 0.00-1.62-12, у місцях виконання робіт з технічного обслуговування та ремонту транспортних засобів можуть мати місце небезпечні та шкідливі виробничі фактори, пов'язані з падінням деталей, вузлів, агрегатів, інструменту, дією рухомих машин і механізмів, підвищеним рівнем шуму, вібрації, загазованістю, запиленістю повітря робочої зони та небезпекою ураження електричним струмом [40]. Для ділянки ремонту двигунів ці фактори мають найбільш виражений характер, оскільки технологічний процес включає демонтаж двигуна, його розбирання, очищення, дефектування, відновлення деталей, складання та випробування [38, 40].

Найбільш характерними для ділянки ремонту двигунів є механічні небезпечні фактори, пов'язані з переміщенням, розбиранням і складанням важких вузлів та деталей двигуна [40]. До них належать падіння двигуна або його окремих елементів (блока циліндрів, головки блока, колінчастого вала, маховика), падіння інструменту, можливість затягування одягу або рук у рухомі частини обладнання, травмування гострими кромками деталей, а також удари при зриві різьбових з'єднань [40].

Особливу небезпеку становлять роботи з демонтажу та монтажу двигуна, під час яких використовують кран-балки, талі, домкрати та інші вантажопідіймальні механізми. Порушення правил стропування, несправність вантажозахоплювальних пристроїв або перевищення допустимого навантаження можуть призвести до падіння двигуна та тяжких травм працівника [40]. Під час розбирання двигуна небезпеку становить також можливий зрив знімачів, ключів, оправок та інших пристосувань [40].

На ділянці ремонту двигунів також існує ризик травмування при роботі на свердлильних, шліфувальних, хонінгувальних та заточувальних верстатах. У цьому випадку небезпеку створюють обертові частини обладнання, можливийвиліт стружки, абразивних частинок або уламків інструменту [40].

На ділянці ремонту двигунів широко застосовується електрифіковане

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обладнання: переносні світильники, електроінструмент, стенди для випробування двигунів, мийні установки, компресори, верстати [40]. Це створює небезпеку ураження працівників електричним струмом у разі пошкодження ізоляції, порушення заземлення, несправності пускової апаратури або використання несправного електроінструменту [40].

Особливо небезпечним є використання переносного електроінструменту в умовах підвищеної вологості або забруднення мастилом, що підвищує ризик пробою ізоляції та ураження струмом [39]. Значну небезпеку також становить використання переносних ламп без захисної сітки або з напругою, що перевищує допустиму для ремонтних робіт [40].

На дільниці ремонту двигунів працівники постійно контактують із паливно-мастильними матеріалами, мийними рідинами, розчинниками, герметиками, антикорозійними складами, продуктами згоряння та нагаром [38, 40]. У процесі миття деталей двигуна, очищення від нагару, знежирення поверхонь та промивання каналів у повітря робочої зони виділяються пари бензину, дизельного палива, гасу, ацетону, лугів та інших хімічних речовин [40].

Ці речовини можуть чинити токсичний, подразнювальний і загальноотруйний вплив на організм працівника, викликаючи подразнення слизових оболонок, захворювання органів дихання, шкіри, центральної нервової системи та хронічні інтоксикації [38]. Особливо шкідливими є відпрацьовані моторні оливи, які містять продукти термічного розкладання, металевий пил і канцерогенні домішки [40].

На дільниці ремонту двигунів значним шкідливим фактором є забруднення повітря робочої зони пилом, парами та газами [40]. Під час очищення деталей, шліфування клапанів, зачистки поверхонь, видалення нагару, продування каналів стисненим повітрям утворюється металевий, абразивний та мінеральний пил [40].

Під час обкатки та випробування двигунів у повітря виділяються

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відпрацьовані гази, що містять оксид вуглецю, оксиди азоту, вуглеводні, сажу та альдегіди [40]. Відповідно до НПАОП 0.00-1.62-12, концентрація шкідливих речовин у повітрі робочої зони не повинна перевищувати гранично допустимих концентрацій, а приміщення мають бути обладнані припливно-витяжною вентиляцією [40].

Під час ремонту двигунів джерелами підвищеного шуму є компресори, пневматичний інструмент, стенди обкатки двигунів, шліфувальні та заточувальні верстати, мийні машини [40]. Тривалий вплив шуму спричиняє зниження слуху, підвищену втому, зниження концентрації уваги та продуктивності праці [38].

Підвищена вібрація виникає під час роботи з пневматичним і електрифікованим ручним інструментом, шліфувальними машинами та стендами [39]. Її тривалий вплив може призводити до розвитку вібраційної хвороби, порушення кровообігу та захворювань опорно-рухового апарату [38].

На ділянці ремонту двигунів на працівників впливають підвищена температура повітря, теплове випромінювання та несприятливий мікроклімат [40]. Джерелами тепла є мийні ванни, сушильні шафи, нагріті деталі двигуна після випробувань, системи підігріву мастила, зварювальне обладнання [40].

У холодний період року небезпеку становить знижена температура повітря, особливо в недостатньо опалюваних ремонтних приміщеннях, що може призвести до переохолодження працівників і зниження їх працездатності [40].

Дільниця ремонту двигунів належить до пожежонебезпечних виробничих зон через наявність легкозаймистих і горючих речовин: бензину, дизельного палива, мастил, розчинників, ганчір'я, просоченого нафтопродуктами [38, 40]. Небезпеку становлять іскри при роботі електроінструменту, короткі замикання, перегрів електрообладнання, порушення правил зберігання ПММ [40].

Під час промивання деталей бензином або гасом утворюються

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вибухонебезпечні пароповітряні суміші, які при наявності джерела займання можуть спричинити пожежу або вибух [40]. Під час ремонту двигунів працівники зазнають значних фізичних і нервово-психічних навантажень [38]. Це пов'язано з підніманням і переміщенням важких деталей, роботою в незручних позах, високою точністю складальних операцій, необхідністю постійного контролю технічних параметрів, а також високою відповідальністю за якість ремонту [40].

Тривале статичне навантаження, перенапруження зору, монотонність окремих операцій та нервові напруження можуть спричиняти швидку втому, зниження уваги, підвищення ризику помилок і травматизму [38].

Отже, на ділянці ремонту двигунів автотранспортного підприємства на працівників діє широкий спектр небезпечних і шкідливих виробничих факторів: механічних, електричних, хімічних, фізичних, пожежо- та вибухонебезпечних, а також психофізіологічних [38, 40]. Їх комплексний вплив зумовлює підвищений рівень професійного ризику, що вимагає обов'язкового впровадження технічних, санітарно-гігієнічних та організаційних заходів безпеки, застосування засобів індивідуального захисту та постійного контролю умов праці [40].

5.3 Вимоги безпеки при хонінгуванні

Хонінгування належить до операцій підвищеної небезпеки, оскільки під час обробки деталі одночасно виконуються обертальний і зворотно-поступальний рухи інструмента, використовується абразивний інструмент, мастильно-охолоджувальна рідина, а також утворюються металева стружка й абразивний пил [38, 41]. У зв'язку з цим дотримання вимог охорони праці під час хонінгування є обов'язковою умовою безпечного виконання робіт.

До виконання хонінгувальних робіт допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли медичний огляд, вступний та первинний інструктаж з охорони праці, навчання і перевірку знань з питань охорони праці, а також ознайомлені з будовою, принципом дії та правилами безпечної експлуатації

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

хонінгувального обладнання [38]. Працівник повинен мати відповідну кваліфікацію, знати вимоги виробничої санітарії, електробезпеки та пожежної безпеки.

Робоче місце хонінгувальника повинно бути організоване відповідно до вимог безпеки праці та виробничої санітарії. Хонінгувальний верстат має бути надійно заземлений, а його струмопровідні частини — захищені від випадкового дотику [49, 51]. Робоча зона повинна мати достатнє освітлення, бути обладнаною місцевою вентиляцією для видалення аерозолів МОР, абразивного пилю та продуктів зношування [38, 49]. Підлога біля верстата повинна бути сухою, рівною та неслизькою, а проходи не захлабленими сторонніми предметами.

Під час виконання хонінгувальних робіт працівник зобов'язаний використовувати справний спецодяг, щільно застібнутий, захисні окуляри або лицевий щиток, захисне взуття та, за потреби, респіратор і протишумові навушники [39, 42]. Волосся повинно бути прибрано під головний убір. Забороняється працювати в одязі з вільними кінцями, у рукавицях під час обертання шпинделя, а також у прикрасах, які можуть бути захоплені рухомими частинами верстата [41, 42].

Перед початком роботи необхідно перевірити технічний стан хонінгувального верстата, справність електрообладнання, заземлення, пускових пристроїв, системи подачі МОР та наявність захисних кожухів [41, 42]. Особливу увагу слід приділити стану хонінгувальної головки, надійності закріплення абразивних брусків та відсутності на них тріщин, сколів і надмірного зношування [44, 45]. Перед початком обробки верстат необхідно перевірити на холостому ходу.

Під час хонінгування деталей повинна бути надійно закріплена, а подача мастильно-охолоджувальної рідини – безперервною та достатньою для охолодження зони обробки й видалення продуктів зношування [41, 44]. Забороняється працювати при несправній подачі МОР, оскільки це призводить до перегріву інструмента, інтенсивного зношування брусків і погіршення умов

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

праці [41, 43].

Під час роботи забороняється торкатися рухомих частин верстата, виконувати вимірювання деталі до повної зупинки шпинделя, підтягувати кріплення, змінювати положення деталі або інструмента під час обертання [42, 44]. Не допускається гальмування рухомих частин рукою, а також видалення стружки руками; для цього необхідно застосовувати щітки, гачки або спеціальні пристрої [41, 42].

При появі стороннього шуму, підвищеної вібрації, перегріву інструмента, припиненні подачі МОР, пошкодженні абразивних брусків або несправності електрообладнання верстат необхідно негайно зупинити та відключити від електромережі [43, 44]. Повторний пуск дозволяється лише після повного усунення несправностей.

Після завершення роботи необхідно вимкнути верстат, дочекатися повної зупинки шпинделя, перекрити подачу МОР, очистити верстат від шламу та стружки, прибрати робоче місце й повідомити керівника про виявлені несправності [38, 42]. Очищення обладнання стисненим повітрям без засобів захисту не допускається, оскільки це сприяє поширенню абразивного пилу в робочій зоні [41].

5.4 Комплекс заходів з безпеки життєдіяльності та охорони праці на дільниці ремонту двигунів

Пропонуємо наступний комплекс заходів з безпеки життєдіяльності та охорони праці на дільниці ремонту двигунів:

1. Організаційні заходи. Проведення вступного, первинного, повторного та позапланового інструктажів з охорони праці для працівників дільниці [38]. До виконання ремонтних робіт допускаються лише працівники, які пройшли медичний огляд, навчання та перевірку знань з охорони праці [38, 46]. На робочих місцях необхідно розробити та розмістити інструкції з безпечного виконання робіт при розбиранні, дефектації, розточуванні та хонінгуванні гільз циліндрів [42]. Важливим заходом є організація раціонального режиму

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

праці та відпочинку для зниження втомлюваності працівників [46]. Необхідно здійснювати постійний контроль технічного стану обладнання, вантажопідіймальних механізмів та електроінструменту [40]. Також слід проводити періодичні перевірки стану охорони праці та аналіз причин виробничого травматизму [38]. Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту відповідно до характеру виконуваних робіт [47].

2. Технічні заходи.

Дільниця ремонту двигунів повинна бути оснащена ефективною припливно-витяжною вентиляцією для видалення пилу, парів мастильно-охолоджувальних рідин та відпрацьованих газів [48]. Освітлення робочих місць має відповідати нормативним вимогам ДБН та ДСТУ [49]. Рухомі частини верстатів і механізмів необхідно обладнати захисними огороженнями [40]. Електрообладнання повинно мати захисне заземлення та автоматичні засоби відключення при короткому замиканні [50]. Для переміщення важких деталей двигунів слід використовувати справні підйомно-транспортні пристрої [40]. З метою зниження рівня шуму та вібрації рекомендується застосовувати малошумне обладнання та антивібраційні пристрої [50]. Робочі місця повинні бути обладнані неслизьким покриттям підлоги та системою збору відпрацьованих рідин [42].

3. Санітарно-гігієнічні заходи:

На дільниці необхідно контролювати температуру, вологість та швидкість руху повітря у виробничому приміщенні [48]. Слід регулярно очищати приміщення від металевого пилу, абразивних частинок та мастильних матеріалів [52]. Для працівників необхідно облаштувати гардеробні, душові, місця для відпочинку та прийому їжі [46]. Працівники повинні бути забезпечені мийними та знешкоджувальними засобами для очищення шкіри від мастил і технічних рідин [47].

4. Протипожежні заходи. Дільниця повинна бути оснащена первинними засобами пожежогасіння: вогнегасниками, пожежними щитами та ящиками з

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

піском [53]. Забороняється зберігання легкозаймистих матеріалів поблизу джерел нагрівання [53]. Необхідно проводити регулярні інструктажі з пожежної безпеки [53]. Евакуаційні виходи та засоби пожежогасіння повинні залишатися вільнодоступними [53]. Також необхідно передбачити систему аварійного відключення електроживлення [50].

5. Заходи електробезпеки. Потрібно здійснювати періодичну перевірку ізоляції електропроводки та справності електроінструменту [50]. У місцях з підвищеною небезпекою слід використовувати переносні світильники напругою не вище 36 В [50]. Працівники повинні бути забезпечені діелектричними рукавицями та килимками при роботі з електрообладнанням [47]. Біля електроцитів та електроустановок необхідно розмістити попереджувальні знаки безпеки [38].

6. Екологічні заходи. Необхідно організувати збір та утилізацію відпрацьованих мастил, охолоджувальних рідин та металевих відходів [54]. Для зберігання технічних рідин слід використовувати герметичні ємності [54]. Зменшення викидів пилу досягається застосуванням місцевих відсмоктувачів [48]. Не допускається потрапляння нафтопродуктів у каналізацію та ґрунт [54].

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання, що полягає в підвищенні ресурсу гільз циліндрів автомобільних двигунів шляхом удосконалення технології відновлення їх робочої поверхні в умовах автотранспортного підприємства.

У процесі виконання роботи отримано такі основні результати:

1. Проведено аналіз умов та причин зношування гільз циліндрів автомобільних двигунів. Встановлено, що основними чинниками, які визначають інтенсивність зношування гільз, є високі питомі навантаження в зоні контакту «поршневе кільце – гільза», недостатня ефективність мащення, абразивне забруднення мастила, вплив високих температур і корозійно-кавітаційні процеси. Показано, що зношування гільз має складний комплексний характер і проявляється у вигляді абразивного, адгезійного, корозійного та втомного руйнування поверхневого шару.

2. Виконано аналіз існуючих способів підвищення зносостійкості гільз циліндрів автомобільних двигунів. Встановлено, що найбільш поширеними в умовах ремонтного виробництва є розточування під ремонтний розмір, встановлення ремонтних вставок, нанесення гальванічних покриттів, наплавлення та фінішна абразивна обробка. Визначено, що традиційні методи відновлення не завжди забезпечують достатню довговічність відновлених поверхонь, а в ряді випадків супроводжуються значною трудомісткістю та підвищеними витратами.

3. Наведено існуюча технологія відновлення робочої поверхні гільз циліндрів, яка представлена у вигляді маршрутної карти технологічного процесу. Виконано порівняльна характеристика методів відновлення робочої поверхні гільз циліндрів і відмічено, що застосування хонінгування при фінішної обробки поверхні поліпшує мікрорельєф і зносостійкість поверхні. Наведено технологія розточування та хонінгування гільз циліндрів.

4. Виконано аналіз останніх досліджень з підвищенню зносостійкості

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

гільзи циліндрів за рахунок використання силікатних брусків, який показав, що:

- застосування силікатних брусків для хонінгування робочих поверхонь дозволить змінити структуру поверхневого шару після обробки та скоротити час припрацювання поверхней на 30 % у порівнянні з поверхнями, які оброблені алмазними та абразивними брусками;

- у поверхні тертя, яка оброблена силікатними брусками інтенсивність зношування на 20-25 % менше ніж у поверхонь оброблених алмазними та абразивними брусками;

- найкращі антифрикційні властивості має поверхонь тертя, яка оброблена силікатними брусками, що дозволить підвищити довговічність з'єднання «гільза – поршневе кільце» на 25-30%.

5. Наведено склад і технологія виготовлення силікатних хонінгувальних брусків. Розглянуто три частини механізму хонінгування силікатними брусками. Показано, що основна робота силікатних брусків виконується в першій частині механізму. Відмічено, що при багаторазовому впливі абразиву відбувається щільна «упаковка» SiO_2 глибоких западин нерівностей і поверхня насичується оксидом кремнію, що дозволяє отримати високу якість поверхні.

6. Розроблено захід щодо підвищення зносостійкості гільз циліндрів, який полягає в удосконаленні фінішної обробки шляхом застосування силікатних хонінгувальних брусків. На відміну від традиційної фінішної обробки, запропонований підхід забезпечує формування зміцненого поверхневого шару, за рахунок насичення оксидом кремнію, з покращеними антифрикційними властивостями, що сприяє зниженню інтенсивності зношування та збільшенню моторесурсу деталей циліндро-поршневої групи.

7. Виконано розрахунок оптимальних параметрів режиму хонінгування силікатними брусками. Визначено раціональні значення швидкості обертання хонінгувальної головки, швидкості зворотно-поступального руху, питомого тиску брусків на оброблювану поверхню та тривалості обробки. Встановлено, що оптимізація параметрів процесу забезпечує зменшення параметра

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

шорсткості, підвищення точності обробки та формування рівномірного мікропрофілю поверхні, що безпосередньо впливає на підвищення зносостійкості гільз.

8. Розроблено технологію відновлення робочої поверхні гільз циліндрів за рахунок використання силікатних хонінгувальних брусків. Запропонована технологічна послідовність забезпечить відновлення геометричної точності та необхідних експлуатаційних властивостей поверхні тертя.

9. У розділі з безпеки життєдіяльності та охорони праці проаналізовано основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори при ремонті двигунів в умовах АТП. Встановлено, що найбільшу небезпеку становлять рухомі частини обладнання, підвищений рівень шуму і вібрації, запиленість повітря, контакт з мастильними матеріалами, мийними рідинами та абразивними частинками. Розроблено комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпечних умов праці, зниження виробничого травматизму та підвищення рівня охорони праці на дільниці ремонту двигунів.

Отже, поставлена в бакалаврській роботі мета досягнута, а поставлені завдання виконані в повному обсязі. Розроблена технологія може бути рекомендована до впровадження на ремонтних дільницях автотранспортних підприємств для підвищення довговічності гільз циліндрів автомобільних двигунів та загальної ефективності їх експлуатації.

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ремонт автомобілів: Навчальний посібник/ Упор. В.Я. Чабанний. – Кіровоград: Кіровоградська районна друкарня, 2007. – 720 с.
2. Основи технології ремонту автомобілів: конспект лекцій для здобувачів освітньо-кваліфікаційного рівня молодший спеціаліст 274 Автомобільний транспорт денної форми навчання / уклад. Р. В. Гунчик. – Любешів : ВСП «Любешівський ТФК Луцького НТУ», 2023. – 47 с
3. Черновол М.І., Шепеленко І.В., Василенко І.Ф., Красота М.В., Тіхонов О.В., Науменко О.А., Рибалко І.М. Теоретичні основи та технологічні процеси відновлення деталей машин. Навчальний посібник. – Харків: «Діса плюс», 2025. 347 с.
4. Кузьменко О. М. Ремонт автомобілів : підручник / О. М. Кузьменко. – Київ : Техніка, 2018. – 320 с.
5. Белкін А. В. Двигуни внутрішнього згоряння: конструкція та ремонт. – К.: Техніка, 2018.
6. Мордванюк С.А. «Удосконалення технології ремонту гільз циліндрів автомобільних двигунів високотемпературним зміцненням». Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр» за спеціальністю 208 Агроінженерія, Вінниц. нац. агр. унів., Вінниця, 2018. ». [Електронний ресурс] Режим доступу : [Microsoft Word - Записка1.docx](#)
7. Шевченко В. В., Балюк Б. А., Ревенко Ю. І., «Аналіз причин відмов циліндро-поршневої групи». [Електронний ресурс] Режим доступу : [Аналіз причин відмов циліндро-поршневої групи \(nubip.edu.ua\)](#)
8. Технологія ремонту автомобілів / Ю. М. Пиндус, В. П. Волков. – Київ : Каравела, 2018. – 368 с.
9. Мартиненко О. Д., Скобло Т. С., Сайчук О. В., Гончаренко О.О., Мартиненко В.О. Зміцнення робочої поверхні гільз циліндрів лазерною обробкою. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [СЕКЦИОННЫЕ ЗАСЕДАНИЯ](#)
10. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство / В. О.

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Степаненко. – Київ : Центр учбової літератури, 2020. – 400 с.

11. Відновлення деталей машин / В. І. Дяченко, П. М. Коваленко. – Дніпро : Пороги, 2019. – 420 с.

12. Сучасні технології зміцнення деталей машин / І. М. Кравченко. – Львів : Сполом, 2021. – 286 с.

13. Ремонт автомобільних двигунів / О. П. Марченко. – Харків : ХНАДУ, 2017. – 312 с.

14. Хонінгування. Теорія та технологія. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [Хонінгування. Теорія та технологія](#)

15. Тонка остаточна обробка. Хонінгування. [Електронний ресурс]. Режим доступу:

https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/11/other/5_6_6_1_.pdf

16. Боровський В.М., Лісовський К.Р., Куят В.В. Технологія плосковершинного хонінгування при ремонті ДВЗ. Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 117-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 22-23 лют. 2024 р., м. Київ / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2024. 505 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу:

[Технологія плосковершинного хонінгування при ремонті ДВЗ](#)

17. Кузьменко В. П. *Двигуни внутрішнього згоряння: конструкція та експлуатація*. – Київ: Техніка, 2021. – 320 с.

18. Петренко С. І. *Газорозподільні механізми автомобільних двигунів*. – Львів: Видавництво ЛНУ, 2020. – 245 с.

19. Бажинов О. В., Смирнов В. М. *Ремонт автомобільних двигунів*. – Харків: ХНАДУ, 2019. – 280 с.

20. Технологія ремонту машин: Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт для студентів денної форми навчання за спеціальностями 7.10010203, 8.10010203 «Механізація сільського господарства», 7.01010401

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

«Професійна освіта. Технологія виробництва і переробка продукції сільського господарства» / Уклад.: [Д.Д. Марченко] – Миколаїв: МНАУ, 2013. [Електронний ресурс]. Режим доступу:

<http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/5203/1/%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%20%D1%80%D0%B5%D0%BC%20%D0%BC%D0%B0%D1%88%202013.pdf>

21. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Основи технічного обслуговування та ремонт автомобілів» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня очної та заочної форм навчання спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» за освітньо-професійною програмою «Автомобільний транспорт»/Укладач.: Олександр САСОВ – Кам'янське: ДДТУ, 2025 - 43 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу:

<https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/1/4/1-4-18.pdf>

22. Проєктування дільниці з ремонту двигунів і розробка технології відновлення гільз циліндрів / Design of the engine repair station and development of cylinder liner restoration technology. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [випускна-робота-Гнєвний-В.О.pdf](#)

23. Виноградов М.С., Височин Т.О. Експериментальне дослідження зносостійкості поверхонь оброблених силікатними брусками. *Збірник наукових праць Донбаської національної академії будівництва і архітектури*, №4 (31), С. 9-15. 2023.

24. Виноградов М. С., Тесса Д. І. «Експериментальне дослідження впливу твердості абразиву силікатних хонінгувальних брусків на якість поверхонь тертя», *Збірник наукових праць Донбаської національної академії будівництва і архітектури*, №1 (28), с. 70-76. 2023.

25. Виноградов М. С., Макарова Т. В., Мастепан М. А., Савенок Д. В. «Дослідження впливу технологічних факторів хонінгування силікатними брусками на якість обробленої поверхні», *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал.* – Луцьк: ЛНТУ, 2025.– №1(24). с. 147-156.

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

26. Виноградов М. С., Переверзєв Є. А. «Розробка складу та виготовлення силікатних хонінгувальних брусків», *Збірник наукових праць Донбаської національної академії будівництва і архітектури*, №2 (33), с. 84-91. 2024.

27. Затверджувач ПЕПА та її аналог у сумісності з епоксидною смолою ЕД-20. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [Затверджувач Пепа та її аналог у сумісності з епоксидною смолою ЕД-20. Статті коМПанії «ТОВ 300 МІКРОН» \(300mkm.com.ua\)](https://300mkm.com.ua)

28. Поради щодо роботи з епоксидними смолами. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [Робота з епоксидними смолами, поради та рекомендації \(dafna.com.ua\)](https://dafna.com.ua)

29. Захаров В.О. «Розробка силікатних хонінгувальних брусків з метою підвищення якості оброблених поверхонь». Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістра, Донб. нац. акад. буд. і арх., Івано-Франківськ, 2024.

30. Виноградов Н. С. «Исследование возможности использования силикатной пасты для притирки сопряженных деталей», *Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: Науково-виробничий збірник*, № 1, с. 70-74. 2006.

31. Гавриш А. П., Киричок П. О., Роїк Т.А., Віцюк Ю.Ю. «Вплив технологічних факторів хонінгування на параметри шорсткості і точності поверхонь композитних підшипників ковзання поліграфічних машин». *Прогресивні технології і системи машинобудування*. Вип. 1, 2 (46), с. 56-64. 2013.

32. Виноградов М. С., Макарова Т. В., Мастепан М. А., Савенок Д. В. «Дослідження впливу параметрів процесу хонінгування силікатними брусками на якість обробленої поверхні», *Вісник машинобудування та транспорту*, №1(19), с. 3-10. 2024

33. Підгаєцький М. М., Щербина К. К. «Кінематика процесу різання при хонінгуванні отворів пружно-гвинтовим хоном». [Електронний ресурс]. Режим доступу: [C7E1B3F0EDE8EA5F32382E706466> \(kntu.kr.ua\)](https://kntu.kr.ua)

34. Івасюк М. І. «Підвищення зносостійкості поверхонь клапанного

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

спряження при їх відновленні та використанні силікатної пасти». Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістра, Донб. нац. акад. буд. і арх., Івано-Франківськ, 2024.

35. Височин Т.О. «Підвищення довговічності деталей автомобільних двигунів при їх відновленні за рахунок використання силікатних хонінгувальних брусків». Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістра, Донб. нац. акад. буд. і арх., Івано-Франківськ, 2024.

36. А.М. Плічко, К.С. Акбаш, М. В. Луньова Математична статистика: навчальний посібник. – Кропивницький: «КОД», 2024. – 220 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [Математична статистика: навчальний посібник](#)

37. Руденко В. М. Математична статистика. Навч. посіб. – К.: Центр учбової літератури, 2012. – 304 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [<4D6963726F736F667420576F7264202D20D2E8F2F3EB5FCCE0F2E5ECE0F2E8F7EDE05FF1F2E0F2E8F1F2E8EAE05FD0F3E4E5EDEAE>](#)

38. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>

39. Про затвердження Правил охорони праці на автомобільному транспорті : наказ МНС України від 09.07.2012 № 964 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z1299-12>

40. НПАОП 0.00-1.62-12. Правила охорони праці на автомобільному транспорті. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [: https://dnaop.com/html/56481/doc-НПАОП_0.00-1.62-12](https://dnaop.com/html/56481/doc-НПАОП_0.00-1.62-12)

41. НПАОП 28.0-1.01-13. Правила охорони праці під час роботи з абразивним інструментом. Київ : Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2013. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0051-14>

42. НПАОП 0.00-1.71-13. Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями. Київ : Міністерство енергетики та вугільної

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

промисловості України, 2013.

43. ДСТУ ISO 16089:2019. Верстати. Безпечність стаціонарних шліфувальних машин. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.44. Про затвердження Правил охорони праці під час роботи з абразивним інструментом : наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 19.12.2013 № 966 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. [Електронний ресурс]. Режим доступу:

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0051-14>

45. ДСТУ EN 12413:2019. Засоби абразивні на зв'язці. Вимоги безпеки. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.

46. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці : НПАОП 0.00-4.12-05. Київ : Держгірпромнагляд України, 2005. [Електронний ресурс]. Режим доступу:

[Про затвердження Типового положен... | від 26.01.2005 № 15](#)

47. НПАОП 0.00-3.07-09. Норми безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [Про затвердження Норм безплатної ... | від 16.04.2009 № 62](#)

48. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [Санітарні норми мікроклімату виро... | від 01.12.1999 № 42](#)

49. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. [Електронний ресурс]. Режим доступу:

[ДБН В.2.5-28-2018 "Природне і штучне освітлення" №ДБН В.2.5-28-2018](#)

50. НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів». [Електронний ресурс]. Режим доступу:

[НПАОП 40.1-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів](#)

51. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму.

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[Електронний ресурс]. Режим доступу:

[Санітарні норми виробничого шуму,... | від 01.12.1999 № 37](#)

52. ДСТУ ISO 45001:2019. Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. [Електронний ресурс]. Режим доступу:

[dstu iso 45001 2019.pdf](#)

53. Кодекс цивільного захисту України. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [Кодекс цивільного захисту Ук... | від 02.10.2012 № 5403-VI](#)

54. Закон України «Про управління відходами». [Електронний ресурс]. Режим доступу: [Про управління відходами | від 20.06.2022 № 2320-IX](#)

					БР.АТ-05.00.00.000 ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

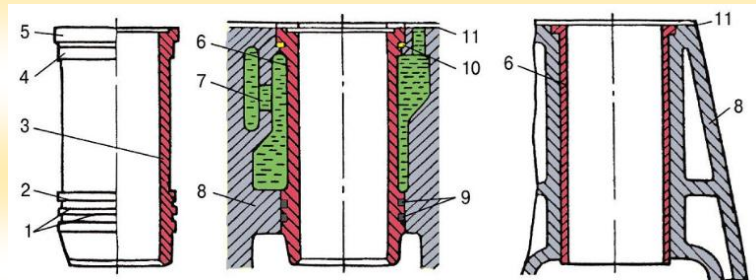
Тема бакалаврської роботи

«Удосконалення технології
відновлення гільз циліндрів
автомобільних двигунів з метою
підвищення їх зносостійкості в умовах
автотранспортного підприємства»

Власенко Ілля Максимович

КОНСТРУКЦІЯ ГІЛЬЗИ ЦИЛІНДРА, ТИПИ ВСТАНОВЛЕННЯ ТА СХЕМА ДІЇ НАВАНТАЖЕНЬ

Таблиця 1.1



Будова гільз
Встановлення в блок-картер мокрої гільзи
Встановлення в блок-картер сухої гільзи

Рис. 1.1. Конструкція гільзи циліндра і типи встановлення її в блок-картер: 1 – канавки для ущільнених кілець; 2, 4 – посадочні пояски; 3 – дзеркало циліндра; 5 – буртик; 6 – гільза циліндра; 7 – рідинна сорочка охолодження; 8 – блок-картер; 9 – гумові ущільнювальні кільця; 10 – мідне ущільнювальне кільце; 11 – металоазбестова прокладка головки циліндрів

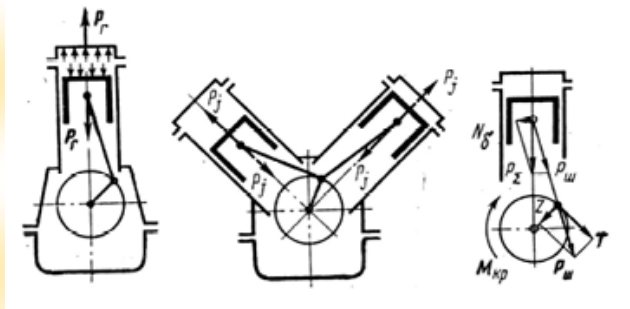


Рис. 1.2. Сили, що діють на деталі циліндропоршневої групи: P_j – сили інерції поворотно-рухомих мас; P_c – сили тиску газів; N_{δ} – бічна сила

Дефекти та наслідки зношування гільз циліндрів

№	Дефект гільзи циліндра	Основні причини виникнення	Наслідки
1	Овальність	Боковий тиск поршня, нерівномірне навантаження	Погіршення герметичності, зниження компресії
2	Конусність	Нерівномірне зношування по висоті циліндра	Підвищене споживання мастила
3	Задири та подряпини	Недостатнє мащення, потрапляння абразиву	Прискорене зношування поршневих кілець
4	Збільшення внутрішнього діаметра	Тривала експлуатація, абразивне тертя	Зниження потужності двигуна
5	Тріщини	Перегрів, термічні напруження	Руйнування гільзи
6	Корозійне зношування	Дія вологи та продуктів згоряння	Погіршення стану поверхні
7	Кавітаційні пошкодження	Вібрації та дія охолоджувальної рідини	Руйнування зовнішньої поверхні мокрих гільз
8	Прихоплення поверхні	Перегрів та масляне голодування	Заклинювання поршня
9	Підвищена шорсткість	Недостатня якість обробки	Погіршення умов тертя
10	Знос верхньої частини гільзи	Висока температура та тиск газів	Втрата компресії

ОСНОВНІ ВИДИ ЗНОШУВАННЯ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ, ОЗНАКИ ТА ПРИЧИНИ ЇХ ВИНИКНЕННЯ



ВИСНОВОК: для зменшення інтенсивності зношування необхідно: підвищувати якість фінішної обробки; забезпечувати ефективне мащення; застосовувати зносостійкі методи хонінгування; контролювати тепловий режим двигуна.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ

Таблиця 1.2

Порівняльний аналіз методів підвищення зносостійкості гільз циліндрів

№	Метод	Переваги	Недоліки
1	Термічна обробка	Висока твердість	Термічні деформації
2	Хромування	Корозійна стійкість	Висока вартість
3	Напилення	Висока зносостійкість	Складність обладнання
4	Лазерне зміцнення	Мінімальні деформації	Висока вартість
5	Легування	підвищення твердості, міцності, теплостійкості, зносостійкості	Збільшення вартості; ускладнення механічної обробки; можливість появи крихкості та термічних деформацій
6	Азотування	Підвищення твердості та зносостійкості	Погане припрацювання поверхні під час експлуатації
7	Сульфідкування і фосфатування	утворення корозії з високою ймовірністю	Утворення корозії з високою ймовірністю
8	Поверхнєве пластичне деформування	Підвищення зносостійкості, твердості, корозійної стійкості	Низька ефективність для крихких чавунів; можливість появи тріщин; обмежена глибина зміцнення; складність обробки внутрішніх поверхонь
9	Загартування	Висока твердість	висока ймовірність виникнення тріщин і геометричної деформації
10	Фінішна абразивна обробка	Висока точність обробки; формування оптимального мікрорельєфу; покращення утримання мастила; зменшення шорсткості поверхні	Невеликий припуск на обробку, неможливість усунення значних дефектів

ВИСНОВОК: найбільш ефективним та економічно доцільним способом підвищення зносостійкості гільз циліндрів в умовах автотранспортного підприємства є застосування фінішного хонінгування.

си ТЕХНОЛОГІЯ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ

Таблиця 2.1

Маршрутна карта існуючого технологічного процесу
відновлення
робочої поверхні гільзи циліндра

№ оп.	Найменування операції	Обладнання	Оснащення	Кваліфікація
001	Приймання та дефектація	Стіл контролю	Нутромір, мікрометр	Контролер
002	Мийка та очищення	Мийна установка	Кошики, щітки	Оператор
003	Дефектація (точна)	Контрольний пост	Індикаторний нутромір	Контролер
004	Розточування	Розточувальний верстат	Різці, оправки	Токар
005	Відновлення робочої поверхні	Необхідне обладнання	Необхідне оснащення	Спеціаліст
006	Чистове розточування	Верстат	Різці	Токар
007	Хонінгування	Хонінгувальний верстат	Хонінгувальні бруски	Оператор
008	Контроль якості	Контрольний пост	Профілометр	Контролер

Таблиця 2.4

Нормативні режими різання при розточуванні

Оброблюваний матеріал	Глибина різання, мм	Подача, мм/прохід	Швидкість різання, м/хв	Матеріал інструмента
Чавун НВ 170-29	0,1-0,15	0,05-0,10	100-120	ВКЗМ
Чавун НВ 229-69	0,1-0,15	0,05-0,10	80-100	ВКЗМ

Таблиця 2.6

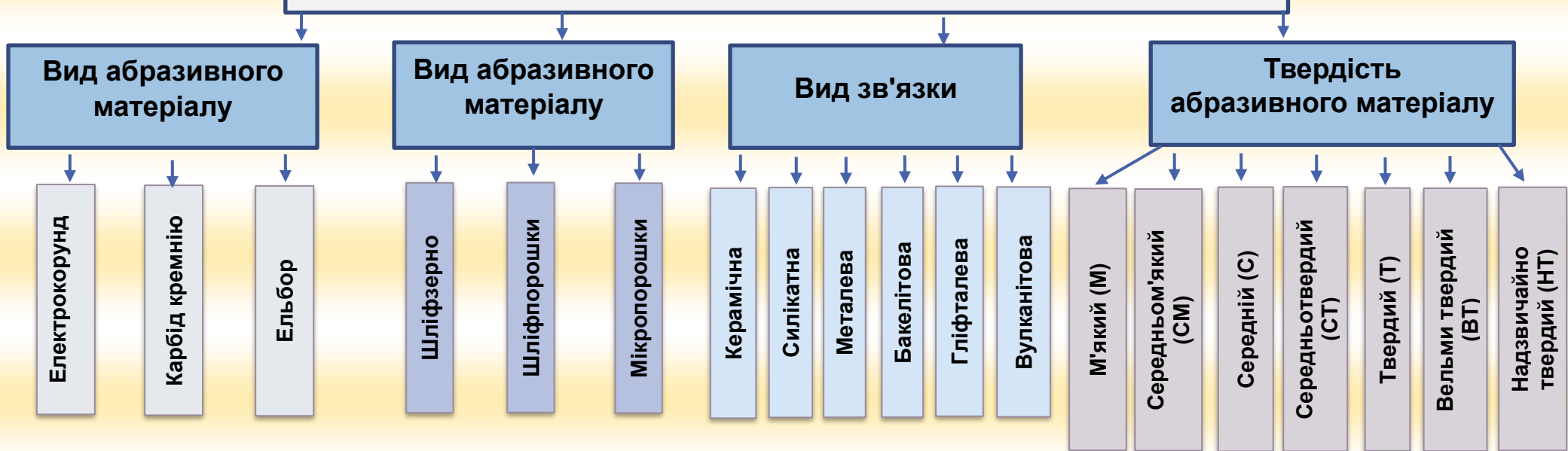
Рекомендовані режими хонінгування гільз циліндрів

Параметри хонінгування	Матеріал брусків	
	АС6 125/100 М2 100%	АС6 50/40 М1 75%
	чорнове	чистове
Колова швидкість, м/хв	60-80	
Швидкість зворотно-поступального руху, м/хв	7,5-15	
Радіальна подача при хонінгування, мм/об	0,001-0,002	0,0005-0,001
Тиск брусків при хонінгуванні, МПа	0,2-0,3	

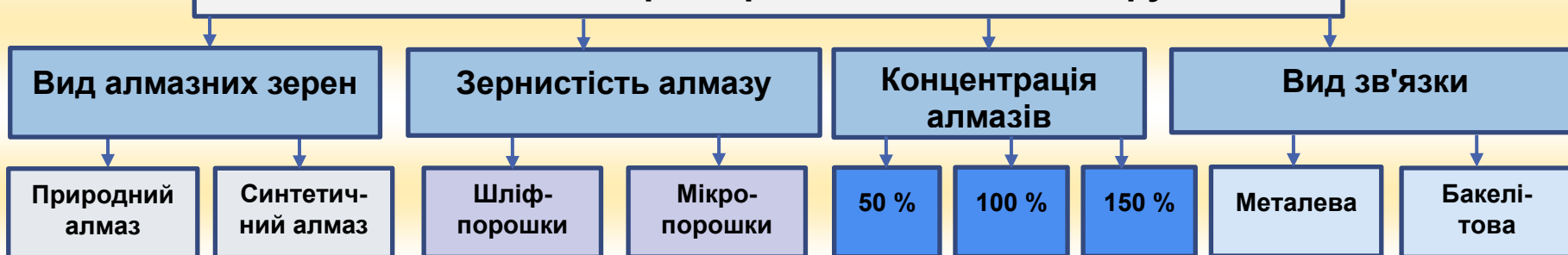
ХАРАКТЕРИСТИКА ХОНІНГУВАЛЬНИХ БРУСКІВ

АБРАЗИВНИЙ ХОНІНГУВАЛЬНИЙ БРУСОК являє собою пористе тіло, що складається з абразивних ріжучих зерен і зв'язки. Кожен брусок має сукупність ознак, що становлять його характеристику і що враховуються під час вибору бруска для заданих умов хонінгування.

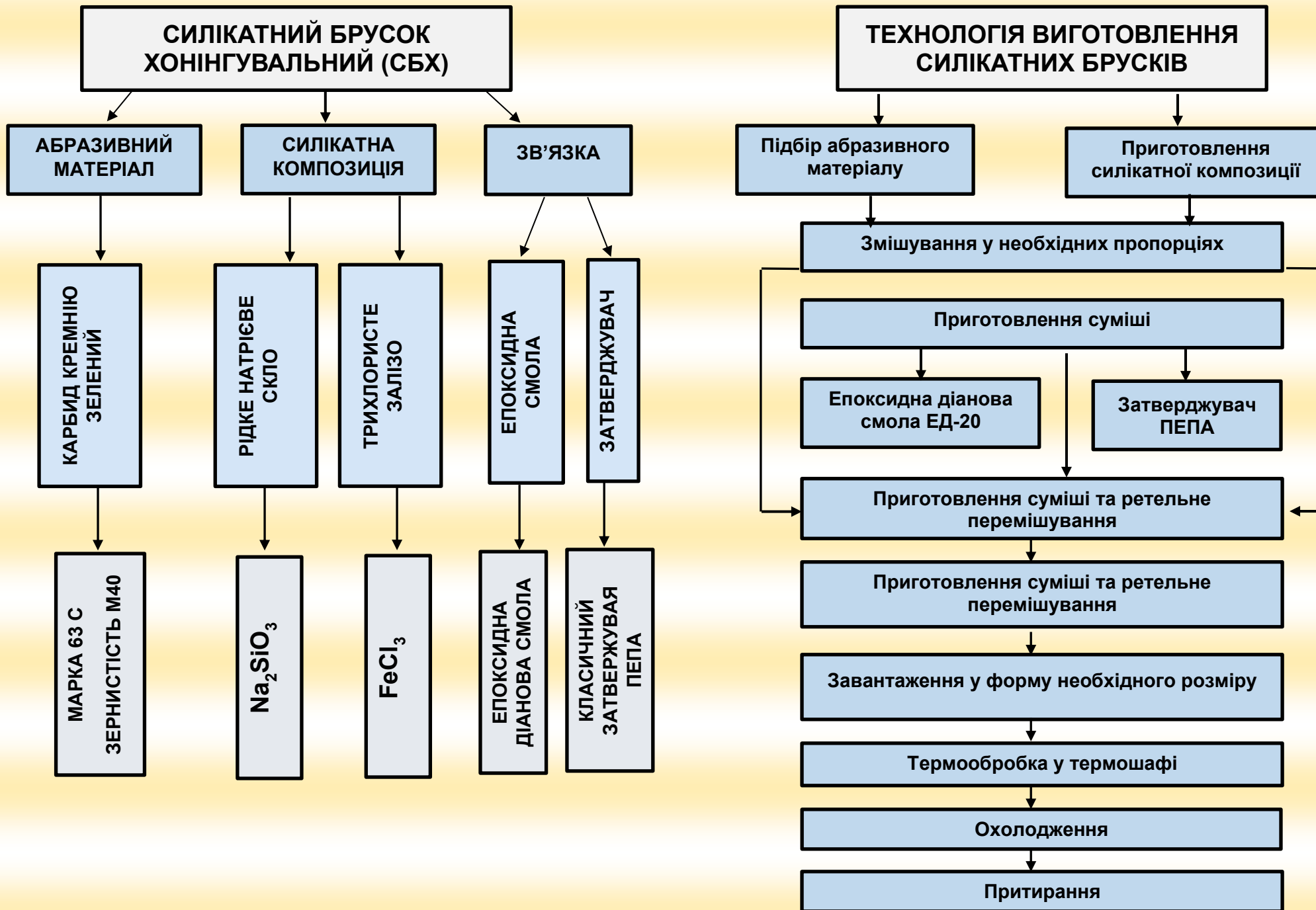
Основні ознаки характеристики абразивного бруска



Основні ознаки характеристики алмазного бруска



СКЛАД ТА ВИГОТОВЛЕННЯ СИЛІКАТНИХ БРУСКІВ



МЕХАНІЗМ ХОНІНГУВАННЯ СИЛІКАТНИМИ БРУСКАМИ

I етап. Метал деталі контактує зі зв'язкою бруска. Цей контакт відбувається в окремих крапках, де зустрічається висока шорсткість поверхні і зв'язка. Далі в роботу вступають абразивні зерна, що призводить до проривання мономолекулярного шару змащення. До складу бруска входить силікатна композиція. При взаємодії ЗОР на водній основі з силікатною композицією відбуваються хімічні зміни в результаті яких утворюється оксид кремнію. При переміщенні бруска по поверхні, яка обробляється відбувається різання-дряпання абразивними зернами найвищих вершин нерівностей. У точках зіткнення абразивних зерен відбувається підвищення температури, а оскільки навколо абразиву знаходиться SiO_2 , то при попаданні останнього в зону зіткнення відбувається утворення аморфного кремнезему (SiO_2) (рис. 3). Під дією абразивних частинок SiO_2 потрапляє у западини оброблюваної поверхні та зчіпляється з поверхнею. При багаторазовому впливі абразиву відбувається щільна «упаковка» SiO_2 глибоких западин нерівностей і поверхня насичується оксидом кремнію, що дозволяє отримати високу якість поверхні.

II етап. Механізм процес хонінгування стабілізується. Безпосередній контакт зв'язки бруска і металу стає неможливим. Зношення зв'язки відбувається за її контактом із шламом, який має металеву стружку і уламки зерен (рис. 3). Після 10-20 с обробки шорсткість і похибка форми суттєво зменшуються. В обробці знаходиться значна більшість абразивних зерен бруска. Це призводить до зниженню тиску на зерна, що зменшує знімання металу і знос брусків. Металева стружка і уламки абразиву мають твердість у декілька разів більше, ніж зв'язка. Їх дія при хонінгуванні подібна дії вільного абразиву при притиранні. Не видалений із зони різання шлам зменшує різальну спроможність брусків. Таким чином, збільшення швидкості прокачування МОР поліпшує умови хонінгування.

III етап. Шорсткість поверхні незначно зменшується. Знімання металу мінімальне і його інтенсивність практично не змінюється у часі. Шорсткість поверхні знижується за рахунок пластичних деформацій і незначних хіміко-механічних та адгезійних явищ. В зоні обробки граничний шар перешкоджає безпосередньому контакту зерен з металом. На знімання металу хонінгуванням значно впливає застосування МОР. За подачею МОР на водній основі значна частина енергії витрачається на знімання металу.

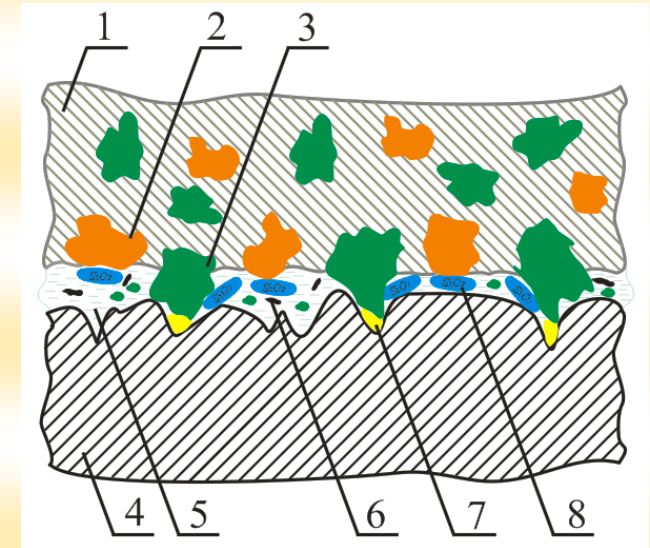


Рис. 3.4. Схема механізму хонінгування силікатними брусками:

- 1 – зв'язка хонінгуючого бруска;
- 2 – силікатна композиція;
- 3 – абразивне зерно;
- 4 – поверхня, яка обробляється;
- 5 – МОР;
- 6 – металева стружка;
- 7 – зона «упаковки» аморфним кремнеземом;
- 8 – оксид кремнію

ОБЛАДНАННЯ ТА ЗРАЗКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ХОНІНГУВАННЯ СИЛІКАТНИМИ БРУСКАМИ

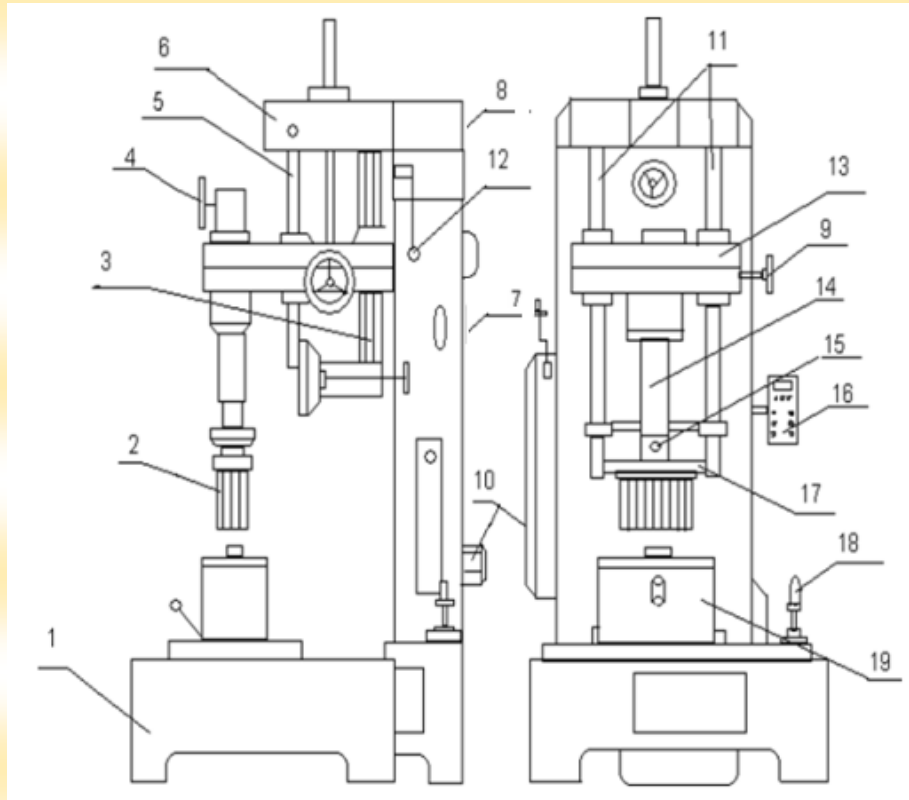


Рис. 4.1. Конструкція вертикально-хонінгувального верстату 3Г833 :

1 – основа; 2 – хонінгувальна головка; 3 – шліцьовий вал; 4 – маховик; 5 – рейка; 6 – коробка передач; 7 – колона; 8 – привід 8 коробки передач; 9 – маховик ручного вводу; 10 – привід редуктора; 11 – циліндричні напрямні; 12 – рукоятка механізму реверсування; 13 – повзун; 14 – поводок; 15 – редуктор; 16 – пульт керування; 17 – пристосування для охолодження хона; 18 – електронасос охолодження; 19 – пристосування для кріплення деталей

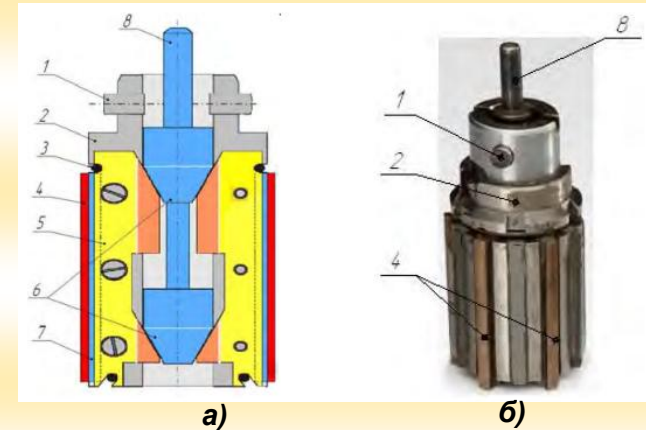


Рис. 4.2. Конструкція хонінгувальної головки:

а) – схема; б) – загальний вигляд

1 – поводок; 2 – корпус; 3 – кільцева пружина; 4 – силікатний брусок; 5 – колодка; 6 – конуси; 7 – пластина; 8 – шток

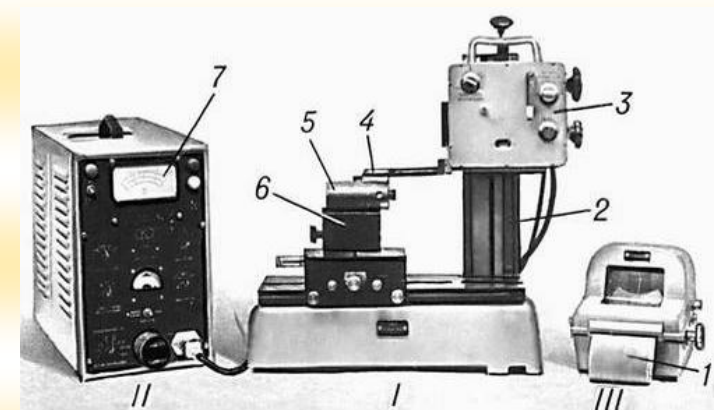


Рис. 4.3. Загальний вигляд профілографа-профілометра моделі 201:

1 – профілограма; 2 – стійка; 3 – привід; 4 – датчик; 5 – деталь; 6 – вимірювальний столик; 7 – показувальний пристрій електронного блока

РЕЗУЛЬТАТИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ХОНІНГУВАННЯ СИЛІКАТНИМИ БРУСКАМИ

Таблиця 4.2

Значення незалежних факторів та параметра оптимізації

Номер дослідів	Значення незалежних факторів			Шорсткість поверхні зразків, Ra, мкм.
	Тиск хон-бруска на оброблювану поверхню, МПа, x_1	Колова швидкість хон-головки, м/с, x_2	Осьова швидкість хон-головки, м/с, x_3	
1	0,25	0,5	0,1	0,088
2	0,25	0,5	0,5	0,168
3	0,25	2,5	0,1	0,148
4	0,25	2,5	0,5	0,198
5	2,0	0,5	0,1	0,118
6	2,0	0,5	0,5	0,178
7	2,0	2,5	0,1	0,158
8	2,0	2,5	0,5	0,218

Рівняння математичної моделі режиму хонінгування силікатними брусками

$$\hat{y} = 0,15925 + 0,00875x_1 + 0,02125x_2 + 0,03125x_3 \quad (4.11)$$

Для досягнення мінімального значення параметра оптимізації (Ra) при хонінгуванні силікатними брусками оптимальний режим складає:

- тиск хон-бруска (P) – 0,25 МПа;
- колова швидкість хон-головки (V_k) – 30 м/хв;
- осьова швидкість хон-головки (V_o) – 18 м/хв.

Таблиця 4.3

Матриця планування

Номер	Матриця планування								Робоча матриця			Результати паралельних експериментів y_i мкм	Середнє значення, $\bar{y}_i$ мкм
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_{12}	x_{13}	x_{23}	x_{123}	Тиск хон-бруска, x_1	Колова швидкість, x_2	Осьова швидкість x_3		
1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	0,25	0,5	0,1	0,09 0,09 0,09 0,08 0,09	0,088
2	1	-1	-1	1	1	-1	1	1	0,25	0,5	0,5	0,17 0,16 0,17 0,17 0,17	0,168
3	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	0,25	2,5	0,1	0,15 0,15 0,15 0,14 0,15	0,148
4	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	0,25	2,50	0,5	0,20 0,20 0,20 0,20 0,19	0,198
5	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	2,0	0,5	0,1	0,12 0,12 0,12 0,11 0,12	0,118
6	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	2,0	0,5	0,5	0,18 0,17 0,18 0,18 0,18	0,178
7	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	2,0	2,5	0,1	0,15 0,15 0,15 0,15 0,15	0,158
8	1	1	1	1	1	1	1	1	2,0	2,5	0,5	0,21 0,22 0,22 0,22 0,22	0,218

УДОСКОНАЛЕНА ТЕХНОЛОГІЯ ХОНІНГУВАННЯ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ СИЛІКАТНИМИ БРУСКАМИ

Операція 005 – ПІДГОТОВКА ГІЛЬЗИ

005-1 Очищення гільзи від забруднень. 005-2 Візуальний контроль (тріщини, дефекти). 005-3 Вимірювання діаметра, овальності, конусності. 005-4 Визначення припуску на хонінгування (0,05-0,08 мм).

Мета: перевірка стану гільзи та підготовка до обробки



Операція 010 – УСТАНОВЛЕННЯ ГІЛЬЗИ

010-1 Установити гільзу у пристосування. 010-2 Виконати базування по зовнішній поверхні. 010-3 Відцентрувати відносно осі шпинделя. 010-4 Закріпити гільзу без деформації. 010-5 Перевірити співвісність.

Мета: перевірка стану гільзи та підготовка до обробки



Операція 015 – НАЛАГОДЖЕННЯ ІНСТРУМЕНТУ

15-1 Встановити хонінгувальну головку. 15-2 Закріпити силікатні хонінгувальні бруски. 15-3 Встановити режим.

Мета: підготовка інструменту до режимів різання



Операція 020 – ЧОРНОВЕ ХОНІНГУВАННЯ

020-1 Увімкнути подачу МОР. 020-2 Запустити обертання головки. 020-3 Увімкнути зворотно-поступальний рух. 020-4 Виконати розтискання брусків. 020-5 Зняти припуск (0,04-0,065 мм).

Мета: видалення припуску та виправлення геометрії



Операція 025 – ПРОМІЖНИЙ КОНТРОЛЬ

025-1 Зупинити верстат. 025-2 Промити гільзу. 025-3 Виконати вимірювання: діаметр, овальність, шорсткість: $R_a = 1,25$ мкм. 025-4 Внести коригування режимів (за потреби).

Мета: контроль точності та корекція процесу



Операція 030 – ЧИСТОВЕ ХОНІНГУВАННЯ

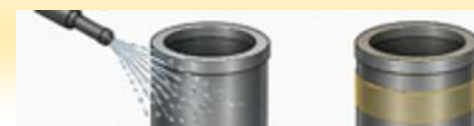
030-1 Замінити бруски. 030-2 Встановити режим. 030-3 Виконати хонінгування до заданого розміру. 030-4 Сформувати сітку. 030-5 Контролювати якість обробленої поверхні.

Мета: формування мікрогеометрії та

Операція 035 – ЗАКЛЮЧНА ОБРОБКА

035-1 Промити гільзу. 035-2 Виконати сушіння. 035-3 Провести остаточний контроль.

Мета: забезпечення якості та готовності до складання

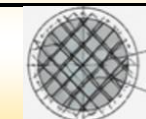


ОСНОВНІ РЕЖИМИ ХОНІНГУВАННЯ СИЛІКАТНИМИ БРУСКАМИ

Етапи обробки	Хонінгувальні бруски	Колова швидкість	Осьова швидкість	Тиск брусків	Шорсткість	Час хон.
Чернове	СБХ КБ F100 С Б №1 П 100×8×7	150 об/хв	18 м/хв	0,4 МПа	$R_a = 0,22$ мкм	120 с
Чистове	СБХ 100×8×7 63С М40 С1 Б	120 об/хв	18 м/хв	0,25 МПа	$R_a = 0,14$ мкм	120 с
Мастильно-охолоджувальна рідина: синтетичні водорозчинні рідини з концентрацією 3-10%.						

КОНТРОЛЬНІ ПАРАМЕТРИ ПІСЛЯ ОБРОБКИ

Овальність: $\leq 0,01$ мм
Конусність: $\leq 0,01$ мм
Кут сітки: 50-60°



БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ РЕМОНТІ ДВИГУНІВ В УМОВАХ АТП

КОМПЛЕКС ЗАХОДІВ З БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ НА ДІЛЬНИЦІ РЕМОНТУ ДВИГУНІВ

ОРГАНІЗАЦІЙНІ ЗАХОДИ

Проведення інструктажів з охорони праці

Організація раціонального режиму праці та відпочинку

Здійснювати постійний контроль технічного стану обладнання

ТЕХНІЧНІ ЗАХОДИ

Оснащена ефективною припливно-витяжною вентиляцією

Освітлення робочих місць має відповідати нормативним вимогам ЛСТУ

САНІТАРНО-ГІГІЄНІЧНІ ЗАХОДИ

Контролювати температуру та вологість у виробничому приміщенні

Очищати приміщення від металевого пилю, абразиву та мастильних матеріалів

ПРОТИПОЖЕЖНІ ЗАХОДИ

Оснащена первинними засобами пожежогашіння

Проводити регулярні інструктажі з пожежної безпеки

Передбачити систему аварійного відключення електроживлення

ЗАХОДИ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ

Здійснювати періодичну перевірку ізоляції електропроводки та справності електроінструменту

Біля електроцивтів та електроустановок необхідно розмістити попереджувальні знаки безпеки

ЕКОЛОГІЧНІ ЗАХОДИ

Організувати збір та утилізацію відпрацьованих мастил, охолоджувальних рідин та металевих відходів

Для зберігання технічних рідин слід використовувати герметичні ємності

ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання, що полягає в підвищенні ресурсу гільз циліндрів автомобільних двигунів шляхом удосконалення технології відновлення їх робочої поверхні в умовах автотранспортного підприємства.

У процесі виконання роботи отримано такі основні результати:

1. Встановлено, що основними чинниками, які визначають інтенсивність зношування гільз, є високі питомі навантаження в зоні контакту «поршневе кільце – гільза», недостатня ефективність мащення, абразивне забруднення мастила, вплив високих температур і корозійно-кавітаційні процеси.

2. Визначено, що традиційні методи відновлення не завжди забезпечують достатню довговічність відновлених поверхонь, а в ряді випадків супроводжуються значною трудомісткістю та підвищеними витратами.

3. Виконано порівняльна характеристика методів відновлення робочої поверхні гільз циліндрів і відмічено, що застосування хонінгування при фінішної обробки поверхні поліпшує мікрорельєф і зносостійкість поверхні.

4. Виконано аналіз останніх досліджень з підвищенню зносостійкості гільзи циліндрів за рахунок використання силікатних брусків, який показав, що:

- застосування силікатних брусків для хонінгування робочих поверхонь дозволить змінити структуру поверхневого шару після обробки та скоротити час припрацювання поверхней на 30 %;

- у поверхні тертя, яка оброблена силікатними брусками інтенсивність зношування на 20-25 % менше ніж у поверхонь оброблених алмазними та абразивними брусками;

- найкращі антифрикційні властивості має поверхонь тертя, яка оброблена силікатними брусками, що дозволить підвищити довговічність з'єднання «гільза – поршневе кільце» на 25-30%.

5. Наведено склад, технологія виготовлення силікатних брусків та механізм хонінгування.

6. Розроблено захід щодо підвищення зносостійкості гільз циліндрів, який полягає в удосконаленні фінішної обробки шляхом застосування силікатних хонінгувальних брусків.

7. Виконано розрахунок оптимальних параметрів режиму хонінгування силікатними брусками.

8. Удосконалена технологія відновлення робочої поверхні гільз циліндрів за рахунок використання силікатних хонінгувальних брусків.

9. Розроблено комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпечних умов праці, зниження виробничого травматизму та підвищення рівня охорони праці на ділянці ремонту двигунів.