

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра Технології та засоби механізації аграрного виробництва

Пояснювальна записка до *дипломної роботи*
на здобуття ступеня вищої освіти « Магістр »
магістр

на тему: «Обґрунтування технологічного процесу відновлення деталей циліндро-
поршневої групи двигунів сільськогосподарської техніки»

Виконав: здобувач вищої освіти
за ступенем «магістр» групи 2
(магістр)

ОПП технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
Назва ОПП

спеціальності 208 Агроінженерія
шифр та назва спеціальності

Хомлюк В.О.
прізвище та ініціали студента

Керівник: Ляшенко С.В.
прізвище та ініціали керівника

Рецензент: _____
прізвище та ініціали рецензента

Полтава – 2021 року

ВСТУП

Схема використання тракторів, що існує в Україні, останніми роками обумовлює ситуацію, коли 75–80% її облікового складу знаходиться в експлуатації з використаним ресурсом, що викликає необхідність в підвищенні довговічності вузлів і агрегатів тракторів при ремонті і технічному обслуговуванні. Це, в першу чергу, відноситься до двигунів внутрішнього згорання.

Довговічність тракторного двигуна, стабільність його робочих характеристик і економічність при експлуатації в значній мірі залежать від терміну служби і стану гільз циліндрів. Для цих деталей, що працюють в умовах постійних динамічних і циклічних навантажень, високих температур і тиску, важливими показниками, що визначають їх експлуатаційні властивості, є рівень технології і технічна оснащеність виробництва, механічні характеристики і стан робочих поверхонь деталі, а також, їх ремонтпридатність. Підвищення даних показників достатньою мірою дозволить збільшити ресурс як самої деталі, так і двигуна в цілому, а також, значно скоротити витрати на закупівлю запасних частин.

Вирішення цих важливих питань залежить від створення і освоєння способів підвищення якості поверхонь деталей вузлів і сполучень.

Актуальність теми. На сьогоднішній день реальний ресурс експлуатованих і відремонтованих дизельних двигунів DEUTZ TCD 2013 L6 V4, якими зокрема оснащені трактори різного призначення в народному господарстві країни, нижче на 30 %. Однією з причин, що пред'являються до даної деталі є зношування поверхні гільзи циліндра. Крім того, досвід ремонтного виробництва показує, що в переважній більшості випадків під час надходження двигуна на капітальний ремонт більшість деталей вибраковуються унаслідок зносу робочої поверхні, що становить не більше 1% від початкової ваги деталі. При цьому, ремонтпридатність цих деталей досить низька і спосіб їх відновлення під ремонтний розмір або не передбачений конструктивно (як для деяких гільз двигунів), або часто є невиправданим і з експлуатаційної, і з економічної точок зору.

Відомо, що будь-який технологічний процес ремонту, відновлення деталі (агрегату) передбачає не тільки відновлення змінених в процесі експлуатації параметрів, але і, головним чином, запобігання тих руйнівних процесів, які закономірно відбуваються в тракторі і його елементах [1]. Тому, в умовах, що склалися, при достатньо великій кількості способів відновлення деталей актуальним завданням є дослідження нових ефективних технологій ремонту гільз циліндрів. Таким технологічним процесом, на нашу думку, є поєднання в єдиному технологічному процесі розточування з послідуєчим хонінгуванням робочої поверхні чавунних гільз циліндрів.

Таким чином, актуальність теми обумовлена, з одного боку, необхідністю застосування нових технологій ремонту, що дозволяють підвищити ресурс і ремонтпридатність деталей дизельних двигунів і вірогідною практичною значущістю переваг технології розточування з послідуєчим хонінгуванням для робочої поверхні гільз циліндрів, а з іншого боку, недостатнім об'ємом науково-технічної інформації про вплив цього виду відновлення на ефективність ремонтних дій для деталей, виготовлених із спеціального легованого чавуну.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася відповідно до планів науково-технічної діяльності кафедри технології та засоби механізації аграрного виробництва (2020 – 2021 р.р.) Інженерно-технологічного факультету Полтавського державного аграрного університету.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи – вдосконалення технологічного процесу відновлення дзеркала гільз циліндрів двигунів сільськогосподарської техніки на ремонтний розмір.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися наступні *завдання*:

- провести аналіз науково-технічної інформації за оцінкою ресурсу гільз циліндрів двигунів DEUTZ TCD 2013 L6 V4, методів відновлення їх робочої поверхні;
- обґрунтувати можливість підвищення якості гільз циліндрів двигуна DEUTZ TCD 2013 L6 V4, що виготовляються із спеціального легованого

чавуну, за рахунок удосконалення технології розточування з послідуочим хонінгуванням і виявити найбільш значущі технологічні чинники даної обробки, що визначають механічні і експлуатаційні характеристики деталі з цього матеріалу;

- встановити за допомогою математичної моделі взаємозв'язок між технологічними параметрами технології розточування та хонінгування, що визначають якість робочої поверхні, і зносостійкістю матеріалу деталі;
- експериментально підтвердити ефективність запропонованої технології розточування з послідуочим хонінгуванням і виконати техніко-економічну оцінку доцільності застосування результатів дослідження.

Об'єкт дослідження: технологічний процес відновлення дзеркала гільз циліндрів двигуна DEUTZ TCD 2013 L6V4 на ремонтний розмір.

Предмет дослідження: підвищення якості дзеркала гільз циліндрів, виготовлених із спеціального легованого чавуну, шляхом обґрунтування технологічного процесу їх відновлення як чинник вдосконалення технології ремонту тракторних двигунів DEUTZ TCD 2013 L6 V4.

Методи дослідження. Дослідження базувалися на використанні методів фізичного і математичного моделювання реального вузла тертя, а також методів математичної статистики при обробці і аналізі експериментальних даних, отриманих при проведенні лабораторних випробувань.

При проведенні виробничого експерименту було використано прогнозування впливу технологічних параметрів технологічного процесу розточування та хонінгування матеріалу деталі на величину її зносу. Дослідження зміни зносостійкості матеріалу і його механічних властивостей проводилися по стандартних методиках, визначення і оцінка впливу комплексного параметра механічних властивостей на зносостійкість матеріалу була здійснена по спеціальній методиці.

Адекватність математичної моделі і достовірність результатів досліджень підтверджується задовільним співставленням даних, отриманих при теоретичних розрахунках, з результатами експериментальних досліджень.

Наукова новизна отриманих результатів:

- запропонований спосіб вдосконалення ремонту тракторних двигунів DEUTZ TCD 2013 L6V4 за рахунок відновлення робочої поверхні гільз циліндрів: встановлена можливість застосування технологічного процесу розточування з послідуєчим хонінгуванням для обробки робочої поверхні гільз циліндрів, що виготовляються із спеціального легованого чавуну;
- на підставі проведених теоретичних досліджень за допомогою розробленої математичної моделі встановлені оптимальні (по величині зносу) параметри розточування з послідуєчим хонінгуванням матеріалу деталі;

Практична цінність отриманих результатів. Запропонована технологія обробки дозволяє удосконалювати технологічний процес ремонту тракторних двигунів DEUTZ TCD 2013 L6V4 шляхом підвищення якості гільз циліндрів, що виготовляються із спеціального легованого чавуну, розточуванням з послідуєчим хонінгуванням робочої поверхні (в порівнянні з промисловим зміцненням гартуванням ТВЧ):

- підвищити стабільність механічних властивостей матеріалу деталі;
- поліпшити ремонтпридатність деталі за рахунок використання відновлення гільз циліндрів методом ремонтних розмірів;
- збільшити її зносостійкість на 18 – 22 %.

Запропонована технологія пройшла експериментальну лабораторну апробацію і дозволить отримати річний економічний ефект від підвищення ресурсу і ремонтпридатності гільз циліндрів (комплекту з 6-ти штук як деталей другої групи і деталей третьої групи, що не ремонтуються) складе в порівнянні з базовим варіантом для двигуна DEUTZ TCD 2013 L6 V4 – 36400,39 грн..

Отримані результати, рекомендуються як базові дані при розробці і впровадженні технологій розточування з послідуєчим хонінгуванням в умовах сільськогосподарського виробництва. Крім того, за рахунок підвищення ремонтпридатності і середнього ресурсу гільз циліндрів до 1-го капітального ремонту двигуна і в міжремонтні періоди, реальним є зменшення витрати запасних частин, що дозволить зменшити сумарні витрати на проведення капітальних

ремонтів двигунів DEUTZ TCD 2013 L6V4 і зменшити високий рівень попиту на запасні частини.

Результати дипломної роботи прийняті до використання і впровадження як перспективна технологія розточування з послідуочим хонінгуванням дзеркала гільз циліндрів двигуна DEUTZ TCD 2013 L6V4, що підтверджене актом господарства: ТОВ «Агрофірма «ім. Довженка»» Миргородського району Полтавської області.

Особистий внесок претендента. У публікаціях в співавторстві авторів належать: Результати дослідження механічних властивостей поверхневого шару спеціально легованого чавуну [2]; Аналіз чинників, що впливають на зношування гільз циліндрів автомобільних двигунів [3].

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи докладалися і були обговорені на конференціях: Новітні технології в агроінженерії: проблеми та перспективи впровадження (присвячена 55-й річниці заснування інженерно технологічного факультету Полтавського державного аграрного університету): матеріали I Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф., 1-2 червня 2021 р. Полтава : ПДАУ, 2021. С. 78-81с. Матеріали студентської наукової конференції Полтавської державної аграрної академії, 13-14 травня 2021 р. Том I. – Полтава: РВВ ПДАА, 2021. –381с

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Аналіз умов роботи деталей циліндр поршневої групи

Експлуатаційна надійність тракторних двигунів є важливою характеристикою, що визначає технічну готовність парку тракторів, витрати на технічне обслуговування і ремонт.

На думку авторів [4], ресурс роботи двигуна на 70 – 90 % залежить від довговічності деталей циліндро поршневої групи двигуна. Саме ці деталі зношуються найчастіше і потребують капітального ремонту (табл. 1.1.).

Систематична увага до проблеми підвищення надійності, виражається в конструктивному і технологічному удосконаленні двигунів, які випускаються.

Таблиця 1.1. – Середні швидкості зношування деталей (мкм/1000 год. роботи)

Деталь (елемент)	Д-243	ЯМЗ-236	СМД-60	TCD 2013 L6V4
Гільза циліндрів	0,65	1,10	0,60	0,33
Верхнє поршневе кільце:				
- по висоті	0,34	0,35	0,30	0,17
- по зазору в замку	28,0	-	10,6	5,6
Поршень: - канавка під верхнє поршневе кільце	1,07	0,90	0,71	0,54

Застосування нових матеріалів та інших методів підвищення міцності основних деталей, дозволяє збільшити ресурс тракторних двигунів.

Також, одним із шляхів вирішення даної проблеми є ремонт деталей і механізмів двигунів. В даний час на тракторах працює в 2 рази більше відремонтованих двигунів, ніж нових, а в процесі експлуатації їх можуть ремонтувати від 2 до 5 разів [5]. Це дозволяє збільшити ресурс двигунів після ремонту, за різними джерелами, на 30-70% порівняно з ресурсом нових двигунів.

Як показує досвід експлуатації [6], майже 80% двигунів надходять на капітальний ремонт через підвищене зношування деталей циліндропоршневої

групи, причому частка абразивного зношування складає в середньому 60% при експлуатації тракторів в зонах з відносно невеликою запиленістю і 80 – 90% - в зонах з підвищеною запиленістю повітря.

Причин прискореного зношування деталей циліндропоршневої групи досить багато, але однією з основних є ненадійна робота системи фільтрації повітря і, особливо, негерметичність впускного тракту (ознакою чого є кварцові відкладення у впускних колекторах, тому що колектори – це, свого роду, очищувачі повітря, хоча і з низьким (3,4 – 5,0%) коефіцієнтом очищування повітря). Частково цьому сприяють і самі виробники техніки: застосовують жорсткі шланги, слабкі хомути. Більшість закордонних виробників використовують хомути черв'ячного типу, а з'єднувальні рукава – із м'якої гуми.

Відмови в роботі, зношування деталей циліндропоршневої групи у 80% випадків спровоковані відносно великими абразивними частинками. Навіть невеликі (в щілину довжиною 1 см і шириною 1мм) підсоси нефільтрованого повітря знижують ресурс двигуна в 1,5 рази [4].

1.2. Характер зношування гільз циліндрів тракторних двигунів

Функціонально, гільзи циліндрів відносяться до головних елементів поршневих двигунів і являються найвідповідальнішою деталлю циліндропоршневої групи. Стінки внутрішньої порожнини гільзи є направляючими для поршня при його переміщеннях між крайніми положеннями і контактують з полум'ям і гарячими газами, що досягають температури 1500 – 2500 °C (рис. 1.1, [7]). Гільза циліндра працює в умовах різко змінних тисків в над поршневій порожнині. Поршень при переміщенні діє на гільзу з боковою силою N_6 і в кінці кожного ходу змінює напрямок свого руху, причому у мертвих точках його швидкість рівна нулю, а потім зростає до максимуму, що складає близько 25 м/с при номінальній частоті обертання колінчастого валу і зменшується до нуля в суміжній мертвій точці.

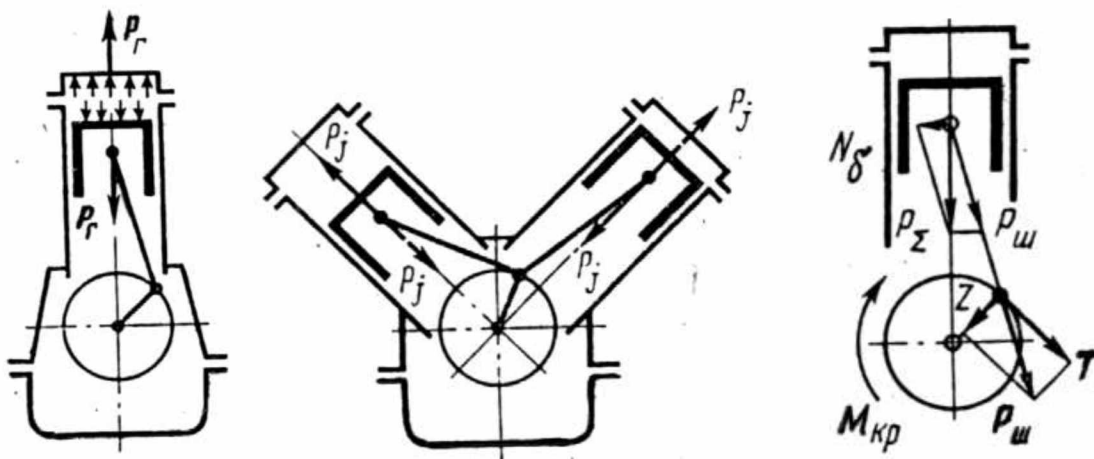


Рисунок 1.1. – Сили, що діють на деталі циліндропоршневої групи.

Такий напрямок руху поршня і пов'язаного з ним комплексу рухомих деталей породжує змінні по величині та напрямку сили інерції P_j зворотно-рухомих мас, діючих уздовж вісі циліндра. Сили тиску газів P_g в над поршневій порожнині однаково діють як на поршень, так і на головку блоку і стінку циліндра. При цьому, дані сили в середині системи завжди врівноважуються.

Значна частина виходу з ладу двигунів припадає на долю гільз циліндрів через вплив високих механічних і теплових навантажень (табл. 1.2)

Таблиця 1.2. – Складові експлуатаційного зношування гільз циліндрів, %

Складові зношування	Марка двигуна			
	Д-243	ЯМЗ-236	ЯМЗ-238	TCD 2013 L6V4
Загальне експлуатаційне зношування *	100	100	100	100
Від нормального теплового режиму без попадання пилу в двигун	15,2-32,1	19,8-29,7	19,3-29,0	7,6-16,1
Від пониженого теплового режиму без попадання пилу в двигун	5,0 - 10,7	4,2 - 6,3	4,1 - 6,1	2,5 – 5,5
Від міжзмінних пусків	10,9-18,4	8,4 - 12,7	8,9 - 13,3	5,4 - 9,3
Від попадання пилу в двигун	38,8-68,9	51,3-67,6	51,6-67,7	39,4-44,7

* - враховуючи не встановлені режими роботи двигуна при обертах та навантаженні

Тому гільзи циліндрів повинні бути міцні, і добре протистояти різним видам зношування. (рис. 1.2, [8, 9]).

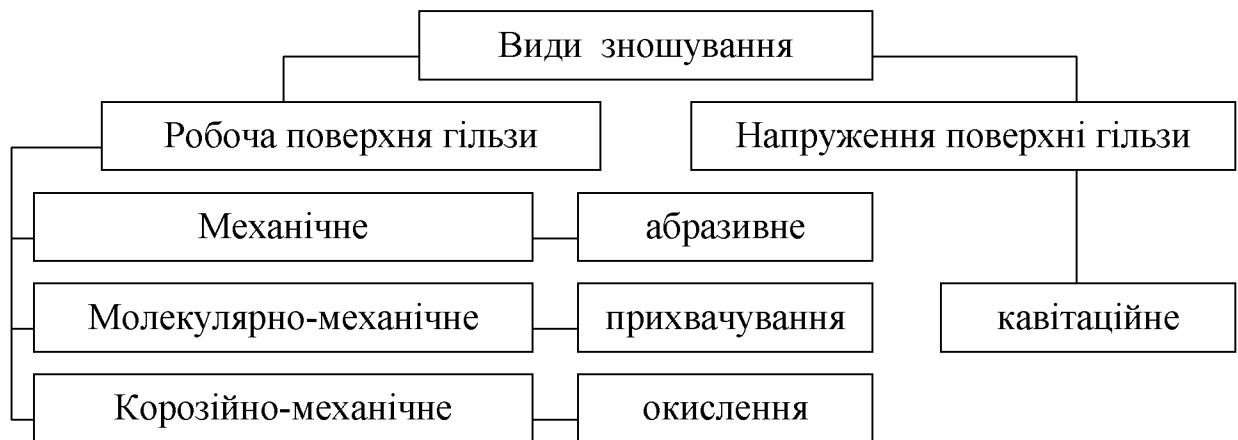


Рисунок 1.2. – Види зношування гільз циліндрів.

Зазвичай види зношування з'являються комплексно, в залежності від умов і режимів роботи двигуна.

Результати досліджень показують велику роль абразивного зношування для деталей при експлуатації [6, 7, 9 -13 та ін.]. Абразивне зношування гільз має спільні закономірності з даним видом зношування в інших деталях машини.

Отже, після експлуатації на робочій поверхні гільз циліндрів спостерігаються сліди абразивного зношування, корозійного впливу і сліди прихвачування поверхонь тертя. Як правило, вони проявляються комплексно, але в залежності від умов та режимів роботи двигуна.

1.3. Ремонтопридатність гільз циліндрів тракторних двигунів

При експлуатації тракторів виникає необхідність підвищення зносостійкості і антифрикційних якостей робочої поверхні гільз за рахунок зміцнення і відновлення роботоздатності деталі.

Зношування дзеркала гільз відноситься до основних дефектів гільз. Для його усунення використовують розточування під один із ремонтних розмірів,

встановлення додаткових ремонтних деталей (ДРД), індукційне відцентрове наплавлення, проточне хромування [14 та ін.].

На практиці, найпоширенішим, високоякісним і ефективним методом є розточування з послідуочим хонінгуванням під один із ремонтних розмірів (табл. 1.3, [14]). Після розточування отвору гільзи остаточно обробляють хонінгуванням при режимах: колова швидкість 60 – 80 м/хв; зворотно-поступальна швидкість 15 – 25 м/хв; тиск на бруски кг.с/см² (попереднє хонінгування) і 3 – 5 кг.с/см² (остаточне)

Таблиця 1.3. – Ремонтні розміри гільз циліндрів

Розміри	Марка двигуна			
	Д-243	ЯМЗ-238	СМД-60	ТCD 2013 L6V4
По робочому кресленню	110,0 ^{+0,06} ₀	130,0 ^{+0,06} ₀	130,0 ^{+0,084} _{+0,024}	108,0 ^{+0,06} ₀
1-й ремонтний розмір	110,5 ^{+0,06} ₀	130,5 ^{+0,06} ₀	130,2 ^{+0,084} _{+0,024}	108,5 ^{+0,06} ₀
2-й ремонтний розмір	111,0 ^{+0,06} ₀	-	130,7 ^{+0,084} _{+0,024}	109,0 ^{+0,06} ₀

Поверхнєве пластичне деформування (ППД) – ефективний спосіб підвищення зносостійкості деталей, який оснований на використанні пластичних якостей металу. В даний час існує велика кількість способів ППД [15-23 і ін.].

Результати експериментів [15] показали, що зношування поверхонь у зразків після зміцнення в період припрацювання менше у 1,1 – 1,8 рази, а темп зношування в період природнього зношування менше в 2 рази.

Поверхневий шар, розкатаний при оптимальних режимах, має підвищену (на 18 – 27%) [17] мікротвердість. Товщина шару із підвищеною мікротвердістю коливаються в межах 0,05 – 0,5 мм. На думку авторів робіт [15 – 17], можливо підібрати оптимальні параметри деформуючого елемента і зберегти та покращити макроструктури.

Попередній обробіток заготовок повинен бути точним. Велику роль в досягненні необхідної якості поверхні відіграє величина сили, що діє на поверхню,

яку оброблюють, число ходів інструменту, форма деформуючого елемента [17, 20, 22 та ін.].

Таким чином, методи зміцнення і відновлення робочої поверхні гільз циліндрів, повинні в результаті дії на неї усувати недоліки, що виникли під час процесу лиття, надати деталі якості, яка забезпечує необхідний ресурс роботи двигуна. Однак, як видно з джерел [4, та ін.], наробітки двигунів до відправлення на капітальний ремонт, в реальних умовах експлуатації нижче нормативних. Пошук нових способів і методів зміцнення робочої поверхні гільзи циліндра - це об'єктивна необхідність, а тема роботи є актуальною.

1.4. 1.4. Розточування з послідуєчим хонінгуванням – ефективний метод відновлення дзеркала гільз циліндрів на ремонтний розмір

Гільзи циліндрів при зношуванні їх внутрішньої робочої поверхні можуть бути відновлені під ремонтний розмір методом розточування з подальшим хонінгуванням. Відновлення гільз циліндрів способом ремонтних розмірів, полягає в тому, що гільзу циліндрів піддають механічній обробці до заздалегідь встановленого ремонтного розміру, а поршень замінюють новим, виготовленим також під цей ремонтний розмір. Категорійні, тобто нормалізовані ремонтні розміри гільз циліндрів наведені в таблиці 1.3. При механічній обробці під ремонтний розмір відновлюється працездатність спряження, так як механічна обробка під ремонтний розмір проводиться з тими ж допусками, з якими виготовляють нові деталі. Призначення ремонтних розмірів проводиться в межах забезпечення достатньої міцності деталей. Вказані закономірності абразивного зношування чавуна дозволяє припустити, що розточування з послідуєчим хонінгуванням дзеркала гільзи циліндрів, забезпечить вищу зносостійкість порівняно з термічним ущільненням по звичній технології.

Таким чином, можна зробити припущення, що комплексне варіювання оптимальними режимами розточування та хонінгування, дозволить здійснити відновлення до ремонтного розміру для чавунних гільз циліндрів, надати їм

переваги обох способів, і, за рахунок цього, підвищити ресурс деталі до рівня згідно ГОСТ 23465-79 [35]. А також, задовольнити вимоги до відновлення складових частин виробу: про застосування матеріалів зношуваних деталей, що дозволяють відновити їх до ремонтних розмірів; застосування зношуваних деталей з ресурсами, кратними ресурсу виробу; застосуванні технологічних процесів відновлення складових частин виробу.

1.5. Висновки за розділом 1

1. Однією з найбільш навантажених і найменш довговічних деталей під час експлуатації двигуна є деталі циліндропоршневої групи, які визначають ресурс його роботи. Тому питання підвищення їх зносостійкості, довговічності і ремонтпридатності, в тому числі гільз циліндрів, залишається актуальним.

2. Найпоширенішими в наш час є гільзи циліндрів, вироблені із сірого чавуна та чавунів на його основі. Варіювання складом основних і легуючих елементів у хімічному складі дозволяє надати матеріалу гільз необхідних якостей.

3. Методи, що застосовуються для відновлення робочої поверхні гільз циліндра дають можливість додатково надати їй якості, що знижують інтенсивність того чи іншого виду зношування, і сприяють збільшенню строку служби деталі. Але, не зважаючи на їх ефективність, в повсякденній експлуатації норми наробітку до відправки на капітальний ремонт не відповідають вимогам діючого ГОСТ 23465-79, причому довговічність та ремонтпридатність відіграє в цьому не останню роль.

4. Виходячи з того, що закономірності розточування сталевих і чавунних деталей споріднені, передбачається, що для чавунних гільз циліндрів можливо практично здійснити розточування з послідуєчим хонінгуванням дзеркала гільзи циліндрів з оптимальним підбором технологічних режимів, використавши відповідні технології обробки чавунів, які дозволять підвищити якість даних деталей.

2 МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Обґрунтування вибору матеріалу дослідження

Згідно аналізу, який проводився в розділі 1, для виготовлення гільз циліндрів тракторних двигунів в даний час застосовують сірий чавун, як основний матеріал. Для надання специфічних якостей матеріалу гільзи легують різними хімічними елементами (див. Додаток А). За механічними якостями використані чавуни наближені до СЧ 18, СЧ 21, СЧ 24 [36].

Для дослідження було вибрано спеціальний легований чавун, що використовується в промисловості для виготовлення гільз циліндрів двигуна Д-243 (табл.2.1).

Таблиця 2.1. – Хімічний склад спеціального легованого чавуна (в %)

C	Si	Mn	Cr	Cu	Ni	Ti	S	P
3,1-3,4	1,9-2,5	0,6-0,9	0,25-0,50	0,25-0,40	0,15-0,40	≤0,08	≤0,12	≤0,20

У вихідному положенні він має перлітно-феритну структуру з тонко пластинчатим графітом розеткового типу. Така структура вихідного чавуна близька чавунам типу СЧ 25...СЧ 30. Форма графіту вихідного чавуна показана на рис. 2.1.



Рисунок 2.1. – Форма графіту початкового спеціального легованого чавуна (×300).

Механічні властивості повинні бути не нижче властивостей чавуна СЧ 21 [36]. Твердість в межах 179-241 НВ.

Для визначення ефективності пропонованої технології відновлення внутрішньої поверхні гільз порівняно з технологією, що застосовується зараз цей матеріал був прийнятий, і як контрольний, і як досліджуваний. Для дослідів використовувались зразки, виготовлені із серійних гільз двигуна TCD 2013 L6V4, зміцнених стандартним промисловим загартуванням ТВЧ.

2.2. Методика розточування робочої поверхні гільзи циліндра

Для проведення експерименту було використано частину технологічного процесу, що застосовується для розточування внутрішніх порожнин циліндричних деталей. Відповідно в експериментальній частині роботи було задіяне наступне технологічне обладнання:

- 1). Вертикально-розточувальний верстат 2Е78П (рис. 2.2);



Рисунок 2.2. – Вертикально-розточувальний верстат 2Е78П (рис. 2.2)

2). Пристосування для центрування гільз циліндрів на станині верстату (рис. 2.3);



Рисунок 2.3. – Пристосування для центрування гільз циліндрів на станині верстату

Величину нормалізованого ремонтного розміру встановлюємо залежно від величини і характеру зносу робочої поверхні гільзи циліндра, а також від припуску на механічну обробку, тобто:

$$D = D_p + u + 2 \cdot z_p + 2 \cdot z_x, \quad (2.1)$$

де D – попередній розмір гільзи, мм;

D_p – ремонтний розмір гільзи, мм ($i = 1, 2, 3$);

u – знос гільзи, мм;

$2 \cdot z_p$ – припуск на розточування, мм;

$2 \cdot z_x$ – припуск на хонінгування, мм;

Розточування гільз циліндрів виконують на вертикально-розточувальних верстатах моделі 2Е78П. Верстати цієї групи відрізняються високою жорсткістю, мають малі величини подач і забезпечують високу точність розміру, оброблених діаметрів отворів і правильність геометричної форми, шорсткість оброблених поверхонь виходить в межах Ra10 - 0,63 мкм по ГОСТ 2789-73.

При розточуванні застосовуємо різці з пластинками з твердих сплавів ВК-2, ВК-3, ВКЗМ, ВК-6 або ТЗОК4 з кутами заточування: $j_1 = 65^\circ$; $j_2 = 30^\circ$; $a = 12^\circ$; $d = 0^\circ$.

Розточування гільзи циліндрів проводимо під найближчий ремонтний розмір, який визначаємо за формулою:

$$D_{pp} = d_{\max} + 2 \cdot (a + b), \quad (2.2)$$

де d_{\max} - діаметр гільзи циліндрів в місці найбільшого зношування (положення верхнього поршневого кільця у верхній мертвій точці), мм;

a - припуск на розточування (при умові заглиблення різця $a = 0,05 \dots 0,1$ мм на сторону); [11].

b - припуск на двох стадійне хонінгування ($b = 0,02 \dots 0,05$ мм на сторону), причому припуск на заключне хонінгування залежить від вимог на шорсткість та коливається в межах $0,005 \dots 0,015$ мм. [11].

Найбільший діаметр отвору гільзи визначаємо за допомогою індикаторного нутроміра в поясах II, II-II, III-III і взаємно перпендикулярних площинах (А-А і Б-Б). (за ескізом рис. 2.4).

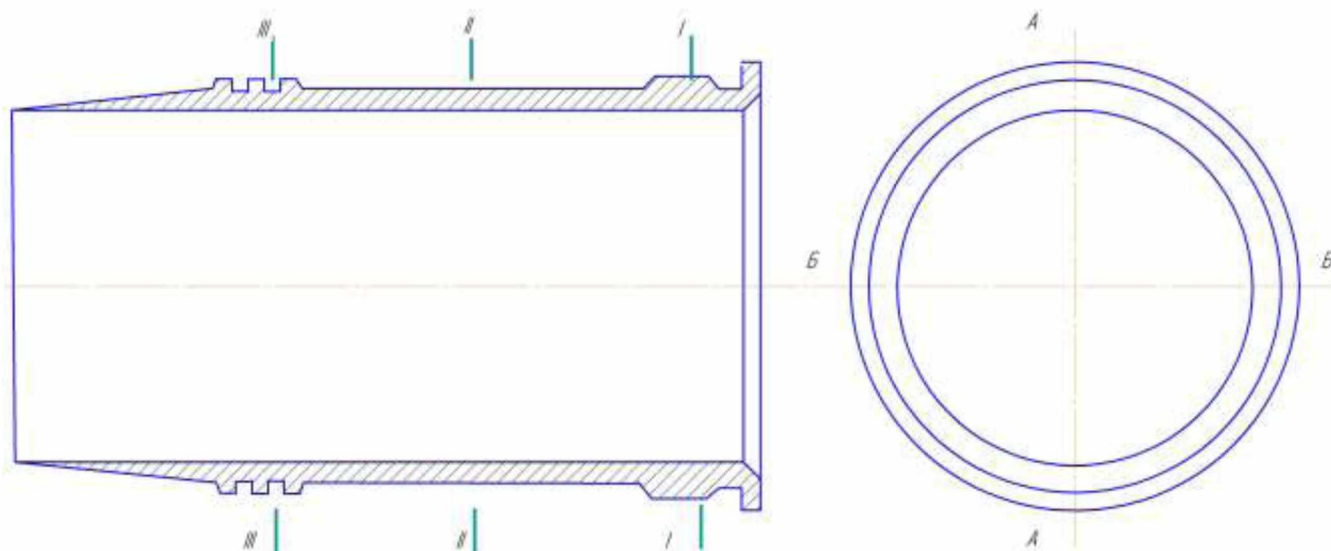


Рисунок 2.4. – Ескіз для вимірювання розмірів гільзи циліндрів

Пояс I розташований нижче від зупинки верхнього поршневого кільця II-II по середині гільзи; III-III - на 20 мм вище нижнього зразка гільзи.

Розрахунок режимів різання виконуємо за формулами:

Глибину різання визначаємо за формулою:

$$t = \frac{D_p - (D_{\min} + 2 \cdot z_x)}{2}, \quad (2.3)$$

де D_{\min} – діаметр гільзи циліндрів в місці найменшого зношування (положення верхнього поршневого кільця у нижній мертвій точці), мм;

Необхідний виліт різця визначаємо за формулою:

$$L = \frac{D_p - d_{\text{шн}} - 2 \cdot z_x}{2}, \quad (2.4)$$

де $d_{\text{шн}}$ – діаметр шпинделя верстата, мм.

Частоту обертання шпинделя підраховуємо за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V_p}{\pi \cdot D_{pp}}, \quad (2.5)$$

де V_p – швидкість розточування, м/хв.;

D_{pp} – ремонтний розмір гільзи, мм.

Час на розточування визначаємо за формулою:

$$T_o = \frac{L}{S \cdot n} \cdot i, \quad (2.6)$$

де L - довжина ходу різця, мм;

i - кількість проходів різця;

n – частота обертання шпинделя верстата;

S – подача різця, мм/хв-1;

i – кількість проходів.

Розрахунок довжини ходу різця визначається як сума наступних складових:

$$L = l_1 + l_2 + l_3, \quad (2.7)$$

де l_1 - висота гільзи циліндрів, мм;

l_2, l_3 - відповідно довжина врізання і пробігу різця, в мм (від 2 до 7 мм).

Для подальшого проведення дослідження дзеркала гільзи циліндрів після проведення технологічної операції розточування вирізали заготовки див. рис. 2.5.



Рисунок 2.5. – Заготівки вирізані із стандартних гільз і розточених на ремонтний розмір

Розміри заготовок обумовлені застосованим технологічним оснащенням РМ-300. Крім того, попередньо була проведена незначна переналадка робочих органів та органів управління РМ-300 стосовно умов експерименту [38].

2.3. Методика хонінгування робочої поверхні гільзи циліндра

Хонінгування являє собою процес фінішної обробки поверхонь деталей абразивними і алмазними брусками, які закріплені на хонінгувальній голівці, встановленої на верстаті вертикально – хонінгувальному модель 3Г833 рис. 2.6. Головка здійснює обертальний і зворотно-поступальний рух. Бруски із заданим зусиллям (тиском) притискаються в радіальному напрямку до оброблюваної поверхні. В результаті поєднання при хонінгуванні обертального і зворотно-поступального рухів ріжучі зерна хонінгувальних брусків описують траєкторії, показані на рис. 2.7. Створено нові способи хонінгування: вібраційне - це хонінгування з осьовою осциляцією ходу, здатне підвищити продуктивність на

40%; електрохімічне - одночасне знімання металу алмазними або абразивними брусками і електролітичним розчиненням.



Рисунок 2.6. – Вертикально – хонінгувальний верстат модель 3Г833

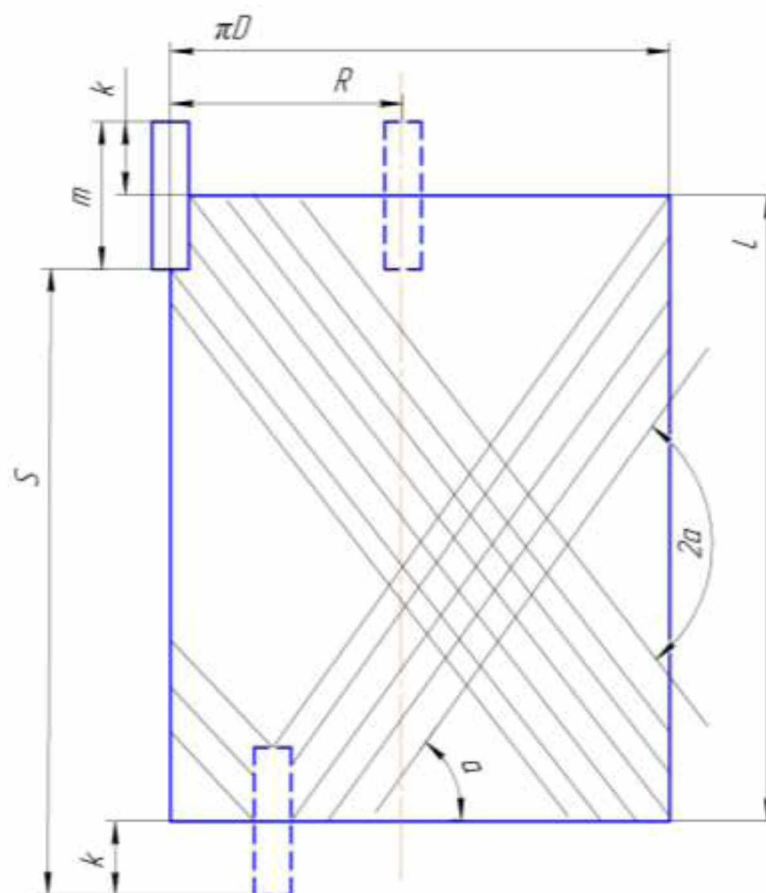


Рисунок 2.7. – Сітка слідів обробки на хонінгувальній поверхні

При обробці чавуну зніманням шару металу збільшується в 5 разів, а сталей ШХ 15 і ХВГ в 7 разів; гальванічне хонінгування - гальванічне осадження металу з одночасною обробкою поверхні деталі.

Найбільша ефективність досягається алмазним хонінгуванням, в процесі якого підвищується точність геометричної форми отвору, в порівнянні з хонінгуванням абразивними брусками до 10 ... 12 разів, зменшується шорсткість поверхні на два-чотири класи. Зношування алмазно-металевих брусків порівняно з абразивними зменшується в 150-250 разів. Завдяки цьому спрощується налагодження і стабілізується якість обробки.

При хонінгуванні чавуну в якості змащувально-охолоджувальної рідини зазвичай використовують чистий гас (ГОСТ 4753-68) або гас з добавкою 10 ... 20% масла І-20А (ГОСТ 1707-51). Змащувально-охолоджувальна рідина на основі гасу вогнебезпечна, шкідлива для здоров'я робітників, сприяє створенню антисанітарних умов на робочому місці і має високу вартість.

Відповідно в експериментальній частині роботи необхідно індикаторним нутроміром виконати вимірювання отвору під поршень згідно рис. 2.4. Визначення відхилення форми отвору: овальність, конусність.

$$D = \frac{(D_{\max} - D_{\min})}{2}, \quad (2.8)$$

де D_{\max}, D_{\min} – найбільший та найменший діаметр гільзи циліндрів, мм;

Визначаємо величину припуску a_x в мм, за формулою:

$$a_x = (\Delta_1 - \Delta_2) \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot R_{a1}, \quad (2.9)$$

де Δ_1 – найбільша середня величина відхилення форми отвору, мм;

де Δ_2 – допустиме відхилення форми отвору після хонінгування, мм;

K_1 – коефіцієнт, що характеризує можливість виправлення похибки, $K_1 = 1,5$;

K_2 – коефіцієнт, що враховує шорсткість поверхні до хонінгування. При зменшенні шорсткості в 2...3 рази приймаємо $K_2 = 1,0...1,1$, а при збільшенні значення шорсткості в 4 рази і більше $K_2 = 1,20...1,25$;

R_{a1} – шорсткість поверхні до хонінгування, мм. Після розточування гільз циліндрів $R_{a1} = 2,5 \dots 1,25 \text{ мкм} (25 \cdot 10^{-4} \dots 12,5 \cdot 10^{-4} \text{ мкм})$.

Після хонінгування гільзи циліндрів $R_{a1} = 0,32 \dots 0,16 \text{ мкм} (3,2 \cdot 10^{-4} \dots 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ мкм})$.

Проводимо вибір режимів різання.

До режимів різання відносяться: швидкість обертального руху хони $V_{об}$, м/хв.; питомий тиск брусків P_{mm} , МПа; швидкість зворотно – поступального переміщення хонінгувальної головки V_{zn} , м/хв.

По рекомендованим значенням колової швидкості підраховуємо частоту обертання хонінгувальної головки при попередньому хонінгуванні за формулою:

$$n_x = \frac{1000 \cdot V_{об}}{\pi \cdot D}, \quad (2.10)$$

де D – діаметр оброблюваної гільзи циліндрів, мм.

Довжину ходу хонінгувальної головки підраховуємо за формулою рис. 2.7:

$$S_x = L + 2 \cdot K - m, \quad (2.11)$$

де S_x – відстань між центрами брусків при їх крайньому верхньому і нижньому положеннях, мм;

L – довжина гільзи, мм;

K – перебіг (вихід) бруска за край гільзи, мм ($K = \frac{1}{3} \cdot m$);

m – довжина хонінгувального бруска, мм ($m = 100$ мм.).

Число подвійних ходів хонінгувальної головки визначається за формулою:

$$P_{подв.х.} = \frac{1000 \cdot V_{zn}}{2 \cdot S_x}, \text{ хв.}^{-1} \quad (2.12)$$

де V_{zn} – швидкість зворотно – поступального переміщення хонінгувальної головки, м/хв., $V_{zn} = 10$ м/хв.

2.2. Методики досліджень

2.2.1. Методика дослідження механічних якостей відновленої поверхні

Для проведення дослідження використовувались наступні прилади :

- 1). Прилад для вимірювання твердості HRC по Роквелу по ГОСТ 23677-79 моделі ТК-2М (рис. 2.8);



Рисунок 2.8. – Прилад для вимірювання твердості HRC по Роквелу

- 2). Наконечник алмазний виду НК по ГОСТ 9377-81;
- 3). Мікротвердомір ПМТ-3 по ГОСТ 9450-76 (рис. 2.9);



Рисунок 2.9. – Мікротвердомір ПМТ-3

- 4). Набір зразкових мір твердості 2-го розряду виду МТР по ГОСТ 9031-75;
- 5). Міри довжини кінцеві плоско паралельні по ГОСТ 9038-73 номінальним розміром 1,44 мм і 1,04 мм класу точності 3 і 4 (рис. 2.10).



Рисунок 2.10. – Набір мір довжини кінцевих плоско паралельних

Для забезпечення мінімальної погрішності вимірювань попередньо було проведено визначення дійсної ціни поділки приладів.

Необхідність експериментального визначення ціни поділки приладу для вимірювання твердості HRC по Роквелу моделі ТК-2М обумовлені тим, що фактичне співвідношення плеча важеля ходу збільшувача і ціна ділення залежить від результатів регулювання твердоміра за показниками зразкових вимірів твердості МТР. При цьому, дійсна ціна поділки, як правило, не співпадає з теоретичним значенням (0,002 мм).

Для встановлення дійсного значення ціни поділки пристрою ТК-2М, замість наконечника із алмазним конусом, встановлювався і закріплювався гвинтом спеціальний сталевий наконечник, нижній кінець якого виготовлений випуклим по сфері діаметром ≥ 100 мм.

На столі твердоміра встановлювалась кінцева міра довжини розмірів 1,4 мм і піджималась до наконечника встановленої малої стрілки навпроти червоної точки, а великої – навпроти нуля. Потім за допомогою спеціального важеля трішки піднявши шпиндель із спеціальним наконечником, натомість встановлювалась

кінцева міра розміром 1,04 мм. Не допускаючи різких рухів, шпindel опускався важелем, опускаючи наконечник на знову встановлену міру довжини. В процесі опускання відраховувалась кількість повних обертів і поділок, пройдених великою стрілкою індикатора від нуля до повної зупинки.

Ціна поділки індикатора (1/100 заокруглення) визначалася за формулою

$$c = \frac{\Delta h}{n}, \quad (2.13)$$

де c – ціна поділки індикатора, мм/ділення;

Δh – різниця розмірів кінцевих мір довжини, мм;

n – повна кількість поділок, пройдених стрілкою до зупинки.

Ціна поділки визначалася як середнє арифметичне п'яти вимірів і складала 0,0019415 мм/ділення. Дійсна ціна поділки шкали індикатора твердоміра, яка використовувалась для розрахунків, була прийнята рівній 0,00194 мм/ділення.

Ціна поділки барабану окуляр-мікрометра (E) мікротвердоміра ПМТ-3 визначалася за формулою:

$$E = \frac{T \times z}{A}, \quad (2.14)$$

де T – число поділок окуляр-мікрометра;

z – ціна ділення окуляр-мікрометра ;

A – різниця відліків окуляр-мікрометра.

Визначення дійсної ціни поділки барабану окуляр-мікрометра проводилося згідно інструкції по експлуатації приладу, вона склала 1,13 мкм. (0,00113 мм) для об'єктиву $F = 23,2$ і 0,308 мкм. (0,000308 мм) для об'єктиву $F = 6,2$.

Для оцінки зміни в результаті термомеханічного зміцнення пластичності поверхневого шару матеріалу використовували метод [39, 40], який встановлює неруйнівний спосіб визначення відносного подовження при розтягуванні поверхневих шарів металів, що використовують для оцінки міцності якостей та зносостійкості деталей машин при абразивному зношуванні.

Даний спосіб передбачає визначення характеристики пластичності на основі вимірювань твердості HRC згідно до вимог ДСТУ 3869-99 [41]. При впровадженні

жорсткого індентора у жорсткий цілісний півпростір, володіє пластичністю, навкруги пластичного відбитку утворюється наплив витісненого матеріалу.

Встановлено, що розподіл об'єму матеріалу в зоні напливу залежить від механічних характеристик деформованого середовища і, передусім, здатності не ламатися під час деформації.

Метод передбачає наступні припущення:

1. досліджуваний матеріал є ізотропним пружно-пластичним середовищем;
2. зона пластичної деформації r навкруги відновленого відбитку індентора на твердому тілі пропорційна величині пластичності матеріалу. При цьому рівні витіснені об'єми матеріалів розподіляються в зоні напливу по-різному, наприклад, як схематично зображено на рис. 2.13. Тут при постійній глибині відновленого відбитку t від заглиблення прямого симетричного конічного індентора у середовища c

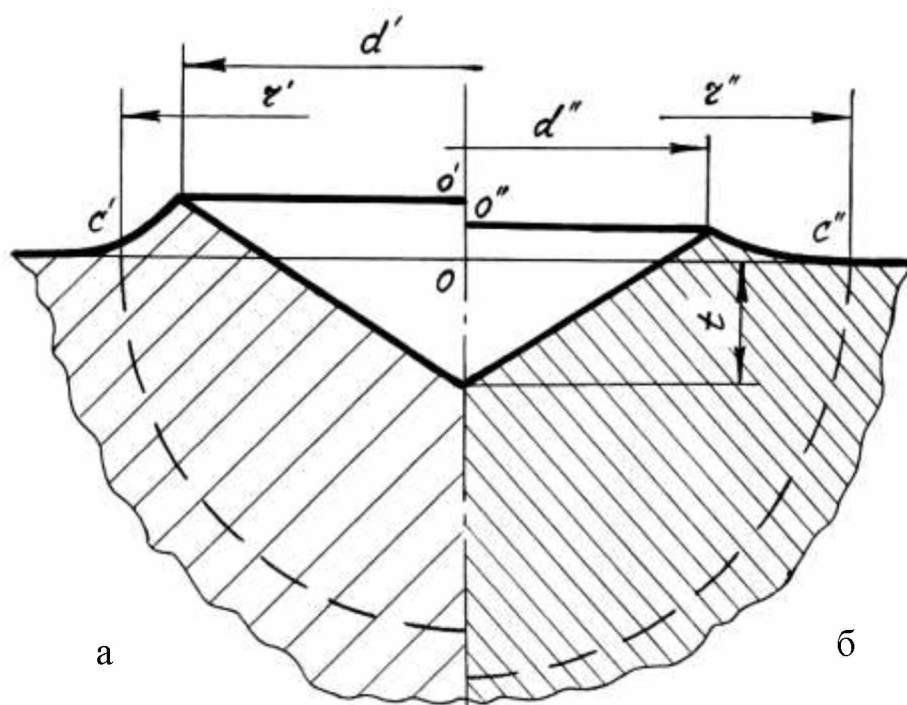


Рисунок 2.11. – Розповсюдження деформації і профіль відбитка при втисненні конічного індентора в метал з низькою (а) і високою (б) пластичністю.

Більшою пластичністю діаметр відбитку d по вершині напливу повинен бути меншим, ніж у середовища з меншою пластичністю. Таким чином, параметр

t/d може бути характеристикою, що пропорційна пластичності цілісного ізотропного середовища;

3. відмінності напружених станів, що виникають під час заглиблення індентора, не викликає значної інверсії величини пластичності матеріалів.

Особливістю даного методу визначення пластичності є те, що величина пластичності являється функцією не одного, а двох відносно незалежних один від одного параметрів t і d . Це, певною мірою, забезпечує незалежність критерію пластичності від твердості випробовуваного матеріалу і підвищену точність. Незалежність параметрів t і d підкреслюється тим, що між способами визначення твердості, що основані на вимірюванні діаметру або діагоналі відбитку і способами визначення твердості по глибині впровадження не існує чіткого кореляційного зв'язку.

Параметр t/d є характеристикою чутливої до зміни структури сплаву і може бути допоміжним інструментом при вивченні структурних змін, що відбуваються в сплавах під впливом термічної і термомеханічної обробок [40].

Як характеристика пластичності прийнято відносне подовження зразка при розриві (форма і розміри зразка – по ГОСТ 1497-84), що відповідає моменту закінчення деформації при максимальному зусиллі на розтяг і визначається за формулою

$$\delta_g = \frac{l_g - l_o}{l_o} \times 100\%, \quad (2.15)$$

де δ_g – відносне видовження, що відповідає закінченню деформації зразка, при максимальному зусиллі на розтяг R_{max} %;

l_g – довжина розрахункової частини зразка, що розривається, мм;

l_o – розрахункова довжина зразка до початку навантаження, мм.

При цьому визначення характеристики δ_g шляхом перерахунку характеристик зразка досліджуваного на розрив, пов'язаних із зміною поперечного перетину, неприпустимо.

При проведенні дослідження вимірювання твердості HRC проводилися згідно вимогам ДСТУ 3869-99 [41]. На випробовуваному зразку виконували 6

відбитків (зокрема пробний), розташовуючи їх рівномірно на підготовленій ділянці поверхні. Діаметр відбитку d вимірювався по ГОСТ 9450-76 [42] за допомогою мікроскопа з похибкою не більше 0,005 від вимірюваного значення. Діаметр відбитку вимірювався в двох взаємно перпендикулярних напрямках і визначався як їх середнє арифметичне значення. При цьому різниця вимірювань діаметрів одного відбитку не перевищувала, згідно вимог [40], 0,02 від меншого з них.

Глибина t відновленого відбитку (для i -го відбитку) визначалася по формулі

$$t_i = 0,00194 \times (100 - HRC_i), \quad (2.16)$$

де 0,00194 – дійсне значення ціни поділки індикатора твердомера Роквела за шкалою 3, мм.

Для кожного з п'яти відбитків обчислювалося значення параметра y_i за формулою:

$$y_i = \frac{t_i}{d_i}, \quad (2.17)$$

Середнє арифметичне параметра y_i обчислювали за формулою $\bar{y} = \frac{1}{5} \times \sum_{i=1}^5 y_i$.

Однорідність отриманої статистичної інформації перевірялася для вибірки з п'яти відбитків відповідно до положень [40].

Значення параметра відносного видовження δ_{5B} визначали залежно від значення відношення t/d по таблиці [40].

Значення твердості випробовуваного матеріалу обчислювали за формулою:

$$HK = \frac{4P}{\pi d^2}, \quad (2.18)$$

де HK – твердість матеріалу по Людвіку, Мпа;

P – максимальне значення загального навантаження, що діє на конічний індентора, дорівнює 1471 Н.

Надалі характеристика пластичності для чавуну, загартованого ТВЧ, і чавуну, розточеного та відхонінгованого, іменуватиметься як "параметр пластичності", що на наш погляд коректніше по відношенню до чавунів.

Вимірювання мікротвердості проводили на приладі ПМТ-3 по стандартній методиці згідно вимогам ГОСТ 9450-76 [42] і інструкції до користування приладом

шляхом триразового повторення вимірів по ширині шліфа і в глибину зміцненого шару через кожних 0,25-0,50 мм.

Навантаження на діамантову піраміду складало 100 Н.

2.4.2 Методика дослідження зносостійкості зміцненої поверхні

Дослідження зносостійкості зміцненої поверхні [43] виконували з використанням положень ДСТУ 2823 – 94 [44], ГОСТ 23.224-86 [45] і РД 50-339-82 [46], які розповсюджуються на відновлені деталі рухомих сполучень, що зношуються в процесі експлуатації, і встановлюють положення методів оцінки їх зносостійкості за допомогою зношування зразків відповідних матеріалів і покриттів на випробувальних установках.

Згідно цими документами дані дослідження зносостійкості можна класифікувати як порівняльні експрес-випробування, суть яких полягає у визначенні співвідношення величин зношування досліджуваної (відновленої) і еталонної поверхонь, випробовуваних за заздалегідь встановлених ідентичних умов, стосовно конкретних умов зношування з використанням абразиву в абразивно-масляній суспензії.

Дослідження проводилися по варіанту, що відповідає випробуванню матеріалу відновленої (досліджуваної) поверхні, при якому конструктивне виконання і кінематичний тип сполучення уніфіковані згідно вказаним нормативно-технічним документам і паспорту машини тертя.

При проведенні дослідження зносостійкості матеріалу використовувалися наступні прилади і матеріали:

- 1). Машина тертя МІ – 1М (машина Амслера) [47]. Для можливості проведення випробувань по геометричних розмірах зразків і контр зразків, що відрізняються від стандартних згідно паспорта машини, була виконана її наступна модернізація: окремі складені вузли машини тертя були підведені над базовою плитою на різну висоту (рис. 2. 12). При цьому решта всіх показників і вимоги до

машини тертя по забезпеченню умов випробувань були забезпечені згідно нормативної документації;



Рисунок 2.12. – Машина тертя МІ – 1М (машина Амслера).

2). Аналітичні ваги типу АДВ-200М (2 кл), що дозволяють зважувати з похибкою не більше 0,0001 г (рис. 2.13);



Рисунок 2.13. – Аналітичні ваги типу АДВ-200М

3). Зразки і контр зразки, виготовлені відповідно до креслень, приведених на рис. 2.5. Контр зразки виготовлені за єдиною технологією з однієї заготовки.

Матеріал контр зразків – сталь 45 по ГОСТ 1050-88, термооброблена до твердості 520-580 HV.

4). Змащувальний матеріал – моторне масло М-10Г2к (ГОСТ 8581-78).

Абразивний матеріал – продукти зношування матеріалу зразка.

5). Промивальні рідини – бензин (ГОСТ 1012-72) і ацетон (ГОСТ 2768-84).

Схема випробувань на зносостійкість приведена на рис. 2.14.



Рисунок 2.14. – Схема випробувань: 1 – зразок; 2 – контр зразок.

При підготовці до проведення випробувань зразки були промарковані на неробочих поверхнях. Також були розраховані значення наступних показників.

Передавальне відношення кінематичного ланцюга контр зразка (ролика) визначали за формулою:

$$u = \frac{z_2}{z_1} \times \frac{z_3}{z_2} \times \frac{z_5}{z_4}, \quad (2.19)$$

де $z_1 = z_2 = z_3 = 35$ – число зубів шестерень зовнішнього зачеплення;

$z_4 = 30$; $z_5 = 100$ - число зубів шестерень внутрішнього зачеплення.

Для кінематичного ланцюга контр зразка $u = 3,33(3)$.

Частота обертання валу контр зразка (ролика) визначалася з відношення $u = \frac{n_{\text{дв}}}{n_{\text{вал}}}$. При частоті обертання двигуна $n_{\text{дв}}=1420$ об/хв отримуємо, що частота обертання валу $n_{\text{вал}}=426$ об/хв. За паспортними даними $n_{\text{вал}} = 425$ об/хв, тобто похибка не перевищує 1%.

Кутова швидкість валу контр зразка (ролика) обчислювалася за формулою: $\omega_{\text{вал}} = \frac{\pi \times n_{\text{вал}}}{30}$ і склала $\omega_{\text{вал}} = 44,61$ с-1.

Величина $\omega_{\text{вал}}$ у машині тертя постійна (похибка не більш $\pm 1\%$) і забезпечити колову швидкість $v_{\text{кол}}$ контр зразка відповідно до середньої швидкості поршня $V=10,4$ м/с (як у TCD 2013 L6V4) конструктивно не представлялося можливим. Тому колова швидкість ролика (контр зразка) визначалася як

$$v_{\text{окр}} = \omega_{\text{вал}} \cdot \frac{D_p}{2}, \quad (2.20)$$

де D_p – зовнішній діаметр ролика, м.

Площа поверхні тертя визначалася за формулою

$$S_{\text{тр}} = l_{\text{сегм}} \times h, \quad (2.21)$$

де $l_{\text{сегм}}$ – довжина сегменту по внутрішньому діаметру зразка, м.

При проведенні випробувань дотримувався наступної послідовності операцій:

- 1). Контр зразок і зразок відповідних розмірів (по внутрішньому діаметру зразка) встановлювалися відповідно до рис. 2.14;
- 2). На контр зразок в місці, вказаному на рис. 2.14, піпеткою наносилося масло М-10Г2к в кількості 1 крапля за період випробувань;
- 3). Контр зразок приводився в обертання. Технологія виготовлення зразків і контр зразків забезпечила 95%-ове прилягання по досліджуваній поверхні зразка до контр зразка (прилягання заздалегідь визначалося візуально на просвіт), у зв'язку з чим їх припрацювання проводилося на шляху тертя близько 12 – 15 м від моменту початку обертання контр зразка до моменту встановлення основного навантаження забезпечувала необхідні умови випробувань;

4). Зразок навантажувався за допомогою системи навантаження МІ-1М. Навантаження на зразок встановлювалося згідно значень, вказаних в табл. 2.3. Режим випробування (шлях тертя, рівний 320 м за чотири періоди) був обумовлений умовою накопичення величини зношування, що визначали із заданою точністю ваговим методом її вимірювання;

5). Концентрація абразиву визначалася ступенем зношування зразка, протягом одного періоду випробування;

6). Відлік часу (тривалість періоду випробувань) проводився за допомогою електронного секундоміра;

7). Після закінчення періоду випробувань розвантажували систему навантаження, виводили зразок з контакту з контр зразком, зупиняли контр зразок, знімали зразок і контр зразок, промивали їх послідовно в промивальних рідинах;

8). Контр зразок контролювався візуальним оглядом а вимірювання проводили штангенциркулем; зразок оглядався візуально і зважувався. За результатами зважування зразків до і після періодів випробувань визначалися загальне значення втрати ваги $U_{дг}$, г і середнє арифметичне значення втрати ваги за період випробування для контрольних і досліджуваних зразків $D_{гср}$.

2.5. Планування експерименту

Вирішення більшості проблем в технології виробництва і експериментальній роботі, що проводиться в області фундаментальних наук, пов'язано із статистичними методами планування експерименту [52]. Методи планування експерименту дозволяють інтенсифікувати працю дослідника, скоротити час на експеримент, підвищити достовірність результатів дослідження [53, 54].

Суть планування експерименту полягає в тому, що при проведенні досліджень експеримент, керований за допомогою математичних методів по деякому плану, проводиться в декілька послідовних етапів, після кожного з яких розглядається питання про зміну стратегії експерименту. Це полегшує вирішення багатьох екстремальних завдань, оскільки для найбільш типових з них вже

сформульовані критерії оптимізації і розроблені відповідні методологічні положення [55].

Якість складного об'єкту оцінюють за наслідками проведення експерименту. Для забезпечення необхідної достовірності і об'єктивності отриманих значень експеримент повинен проводитися в умовах, максимально наближених до тих, в яких об'єкт функціонуватиме, при цьому критерій оцінки його якості повинен містити такі вимоги до об'єкту, відтворення яких забезпечить виконання поставленого перед ними завдання.

У зв'язку з цим виникає вимога до оптимального плану експерименту, що забезпечить вибір найкращого плану, тобто плану, що забезпечує за інших рівних умов найбільшу вірогідність оцінок якісних характеристик досліджуваного об'єкту.

Оскільки метою досліджень є підвищення абразивної зносостійкості матеріалу гільзи циліндра тракторного двигуна TCD 2013 L6V4, то цілком логічно було вибрати як параметр оптимізації Y значення абсолютного зношування при випробуваннях $\Sigma \Delta g$. Даний показник дозволяє однозначно і з достатньою повнотою характеризувати ефективність об'єкту дослідження. Крім того, він, як параметр оптимізації, відповідає наступним вимогам [56, 57]:

- 1). Є кількісним і задається одним числом; допускає вимірювання при будь-якій можливій комбінації вибраних рівнів чинників;
- 2). Має зрозумілий фізичний сенс;
- 3). Існує для всіх стадій проведення експерименту; визначається з достатньою точністю; дозволяє зручно і наочно представити результати експериментів.

Вхідними параметрами (факторами) були визначені:

а). Технологічні:

- 1). Ступінь подачі різцевої головки (λ , %) був вибраний відповідно за даними досліджень [25, 59], які використовуються в технологічному процесі виготовлення отворів, оскільки сталі по процентному вмісту вуглецю найбільш близькі до чавунів і для здійснення експериментів була вибрана схема обробітку,

практично вживана або здійсненна на стандартному устаткуванні [25], а також з міркувань безпеки проведення експерименту;

б). Експлуатаційні:

2). Випробувальне навантаження на машині тертя МІ-1М ($P_{ми}$, Н), значення якої варіювалися при випробуваннях зношування в залежності від навантажень поршневого кільця на стінку гільзи циліндра на початку процесу стиснення і в кінці процесу розширення (приймали середнє їх значення в області верхньої мертвої точки в кінці процесу стиснення і на початку робочого ходу поршня).

Всі вибрані фактори – кількісні і відповідають вимогам, що пред'являються до вхідних параметрів. А саме: вони керовані, однозначні і безпосередньо впливають на об'єкт дослідження, сумісні і незалежні (є можливість змінювати значення кожного з факторів незалежно один від одного) [56, 57, 60].

Факторний експеримент пов'язаний з варіюванням одночасно всіх значень і перевіркою достовірності результатів математико-статистичними методами.

Для постановки експерименту спочатку був проведений повний факторний експеримент [56]. Кодування факторів $P_{фе}=2^4$ приведене в табл. 2.3.

Таблиця 2.3. – Кодування факторів

Інтервал варіювання і рівень факторів	λ , %	$P_{ми}$, Н
Нульовий рівень $x_i=0$	15	500
Інтервал варіювання	6	250
Нижній рівень $x_i=-1$	9	250
Верхній рівень $x_i=+1$	21	750
Кодове позначення	X1	X2

Розширена матриця планування ПФЕ = 2^2 і результати дослідів при випробуваннях зношування приведені в (див. Додаток А).

Враховуючи, що було проведене однакове число паралельних дослідів на кожному поєднанні рівнів факторів, відтворюваність перевірялася по критерію Кохрена

$$G = \frac{S_{u \max}^2}{\sum_{u=1}^n S_u^2} \leq G_{(0,05; f_n; f_u)}, \quad (2.22)$$

де $S_u^2 = \frac{\sum_{p=1}^m (y_{up} - \bar{y}_u)^2}{m-1}$ - дисперсія, що характеризує розсіювання результатів

дослідів на u -ому поєднанні рівнів факторів;

$p = 1, 2, m$ – число паралельних дослідів;

$S_{u \max}^2$ – найбільша з дисперсій в рядках плану;

$G_{(0,05; f_n; f_u)}$ – табличне значення критерію Кохрена при 5%-му рівні значимості;

$f_n = n$ – число незалежних оцінок дисперсії ($n=16$);

$f_u = m-1$ – число величини вільності кожної оцінки.

Дисперсія відтворюваності (помилка досліду) визначалася по формулі

$$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^n S_u^2}{n}. \quad (2.23)$$

Коефіцієнти регресії розраховувалися по наступних стандартних формулах:

$$b_0 = \frac{\sum_{u=1}^n \bar{y}_u}{n}; \quad (2.24)$$

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^n x_{iu} \bar{y}_u}{n}; \quad (2.25)$$

$$b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^n x_{iu} x_{ju} \bar{y}_u}{n}; \quad (2.26)$$

$$b_{ijz} = \frac{\sum_{u=1}^n x_{iu} x_{ju} x_{zu} \bar{y}_u}{n}. \quad (2.27)$$

Оцінка значущості коефіцієнтів регресії проводилася за допомогою критерію Стюдента. Коефіцієнт вважається значущим, якщо виконується умова

$$|b_i| \geq \Delta b_i = t_{(0,05; f_y)} \frac{S_y}{\sqrt{n}}, \quad (2.28)$$

де $t_{(0,05; f_y)}$ – 5%-ва точка розподілу Стюдента з f_y величиною вільності.

Перевірка адекватності моделі виконувалася за допомогою критерію Фішера.

Адекватність обґрунтована, якщо виконується нерівність

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} \leq F_{(0,05; f_{ad}; f_y)} \quad (2.29)$$

де $S_{ad}^2 = \frac{\sum_{u=1}^n (\bar{y}_u - y_u)^2}{n - k - 1}$ - дисперсія адекватності;

y_u – розрахункове значення відгуку в u -тому досліді;

$F_{(0,05; f_{ad}; f_y)}$ – критерій Фішера при 5%-му рівні значимості;

$f_{ad} = n - k - 1$ – число мір свободи дисперсії адекватності;

f_y – число величини вільності дисперсії відтворюваності.

2.6. Висновки за розділом 2

Розглянуті в даному розділі питання дозволяють зробити наступні висновки.

1. Обґрунтований вибір матеріалу, що піддається дослідженню згідно темі роботи. Для відновлення досліджуваного матеріалу підібрано промислове устаткування, визначені методика і діапазон технологічних і режимних параметрів розточування та хонінгування, відповідно до мети та завдань роботи, практично здійснений виробничий експеримент. При цьому були використані статистичні методи планування експерименту: повний факторний експеримент ПФЕ – 2^2 , розрахунок методом руху по градієнту, ортогональний план другого порядку, що дозволяють підвищити достовірність результатів дослідження і скоротити час і витрати на експеримент.

Розроблена математична модель, що встановлює вплив технологічних режимних параметрів розточування з послідуочим хонінгуванням на величину параметра оптимізації y , - значення абсолютного зношування при випробуваннях $\Sigma \Delta g$ робочої поверхні матеріалу деталі.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Результати дослідження відновлення дзеркала гільз циліндрів на ремонтний розмір: розточування з послідуочим хонінгуванням

Гільзи двигунів TCD 2013 L6V4 нормальних і ремонтних розмірів, зношування яких такі, що діаметри внутрішніх поверхонь не перевищує номінальний розмір більш ніж на 0,4 мм, сортуємо на три розмірні групи.

Гільзи 1 – і групи, внутрішній діаметр яких знаходиться в межах допуску на нову гільзу, відновлюємо хонінгуванням до виведення слідів зношування.

Гільзи 2 – і групи, внутрішній діаметр яких не перевищує номінальний розмір більш ніж на 0,2мм. [11], відновлюємо двохстадійним хонінгуванням. Попереднім – (чорновим) та заключним (чистовим) на ремонтний розмір.

Гільзи 3 – і групи, внутрішній діаметр яких не перевищує номінальний розмір більш ніж на 0,4мм, [11] відновлюємо розточуванням з подальшим хонінгуванням на ремонтний розмір.

Провівши заміри діаметрів гільзи циліндрів двигуна TCD 2013 L6V4, індикаторним нутроміром годинникового типу отримали:

$D = 108,34$ мм, – діаметр гільзи циліндрів на глибині $h = 15$ мм., (відстань від верхньої кромки гільзи циліндрів).

$d = 108,21$ мм, – діаметр гільзи циліндрів на глибині $H = 165$ мм, (положення верхнього поршневого кільця).

По даних замірів відносимо гільзу до 3 – і групи, а отже відновлюємо розточуванням з подальшим хонінгуванням на ремонтний розмір.

Конусність гільзи циліндра підраховуємо за формулою:

$$K = \frac{D-d}{H-h}, \quad (3.1)$$

де D – діаметр гільзи циліндрів на глибині h , (на відстані 15 мм від верхньої кромки гільзи циліндрів), мм.

d – діаметр гільзи циліндрів на глибині H , (положення верхнього поршневого кільця), $H = 165$ мм.

$$K = \frac{108,34 - 108,21}{165 - 15} = 0,00087 \text{ мм},$$

Визначаємо ремонтний розмір гільзи циліндрів за формулою:

$$D_{pp} = d_{\max} + 2 \cdot (a + b), \quad (3.2)$$

де d_{\max} - діаметр гільзи циліндрів в місці найбільшого зношування (положення верхнього поршневого кільця у верхній мертвій точці), $d_{\max} = 108,34$ мм;

a - припуск на розточування (при умові заглиблення різця $a = 0,05 \dots 0,1$ мм на сторону); [11].

b - припуск на двох стадійне хонінгування ($b = 0,02 \dots 0,05$ мм на сторону), причому припуск на заключне хонінгування залежить від вимог на шорсткість та коливається в межах $0,005 \dots 0,015$ мм. [11].

$$D_{pp} = 108,34 + 2 \cdot (0,055 + 0,035) = 108,465 \text{ мм}.$$

По розрахунковому ремонтному розміру гільзи циліндрів знаходимо ближній ремонтний розмір, для даної гільзи циліндрів він становить $D_{pp} = 108,5$ мм.

Наступний крок розрахунок вильоту різця. При centruванні гільзи циліндрів з використанням кулькової оправки спочатку визначаємо виліт кулькового кінця оправки за формулою:

$$l = \frac{D_y + d_0}{2}, \quad (3.3)$$

де D_y - діаметр гільзи у верхній не зношеній частині, мм;

d_0 - діаметр різцевої головки, $d_0 = 78$ мм.

$$l = \frac{108,00 + 100,00}{2} = 104 \text{ мм}.$$

Точність centruвання перевіряємо по рівномірному торканні кульки внутрішньої поверхні гільзи циліндрів.

В різцеву головку встановлюємо різець та визначаємо його виліт за формулою:

$$H_p = \frac{D_{pp} + d_u + 2 \cdot b}{2}, \quad (4.4)$$

де D_{pp} - прийнятий ремонтний розмір гільзи циліндрів, $D_{pp} = 108,5$ мм;

d_u - діаметр шпинделя, $d_u = 78$ мм.;

b - припуск на двох стадійне хонінгування, мм ($b = 0,02 \dots 0,05$ мм). [11].

$$H_p = \frac{108,50 + 78 + 2 \cdot 0,035}{2} = 93,285 \text{ мм.}$$

Різець на заданий розмір установлюємо за допомогою мікрометра МК-150 ГОСТ 6507-78, по вище розрахованій величині $H_p = 93,285$ мм.

Наступний крок: розрахунок режимів розточування гільзи циліндра. Для розточування приймаємо верстат вертикально – розточувальний 278Н, набір оснастки для кріплення та установлення блоків та гільз циліндрів на верстаті, а також різець розточувальний із надтвердого матеріалу Ельбор – Р ТУ 035-252-71.

За вище приведеним розрахунком ми встановили, що глибина розточування становитиме $a = 0,055$ мм. Подачу $S = 0,056$ мм/об., та швидкість обертання різцевої головки $V_p = 150$ м/хв., вибираємо по технічній характеристиці вертикально – розточувального верстата 278Н.

Частоту обертання шпинделя підраховуємо за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V_p}{\pi \cdot D_{pp}}, \quad (3.5)$$

де V_p - швидкість розточування, $V_p = 150$ м/хв.;

D_{pp} - ремонтний розмір гільзи, $D_{pp} = 108,50$ мм.

$$n = \frac{1000 \cdot 150}{3,14 \cdot 108,50} = 440 \text{ с}^{-1}$$

Одержану частоту обертання уточнюємо у відповідності з паспортом верстата 278Н, отримуємо $n = 450 \text{ с}^{-1}$.

Час на розточування визначаємо за формулою:

$$T_o = \frac{L}{S \cdot n} \cdot i, \quad (3.6)$$

де L - довжина ходу різця, $L = 200$ мм.

i - кількість проходів різця, $i = 1$.

$$T_o = \frac{200}{0,056 \cdot 450} \cdot 1 = 7,94 \text{ хв.}$$

Отже основні режими розточування гільзи циліндра двигуна TCD 2013 L6V4, становитимуть: $a = 0,055$ мм., $S = 0,056$ мм/об., $V_p = 150$ м/хв.; $n = 450$ с⁻¹., $T_0 = 7,94$ хв.

Після виконання розточування необхідно перевірити розточену гільзу на відповідність технічним вимогам точності розмірів та форми. Овальність та конусність гільзи не повинна перевищувати 0,03 мм.

Наступний крок у технологічному процесі відновлення дзеркала гільзи циліндрів розрахунок режимів хонінгування гільзи циліндра. Визначаємо та скоректуємо з урахуванням паспортних даних верстата режими хонінгування. Для хонінгування вибираємо верстат вертикально – хонінгувальний модель ЗГ833, набір оснастки для кріплення та установлення блоків та гільз циліндрів на верстаті, а також бруски хонінгувальні зеленого карборунда на керамічній зв'язці марки КЗ 10СТІ-К – для попереднього хонінгування, та із синтетичних алмазів 2768-0110-АСР50/40-100-К. Еталони шорсткості поверхні.

Оскільки проектуємо двохстадійне хонінгування, тому спочатку приводимо розрахунок режимів попереднього хонінгування.

Припуск на попереднє хонінгування $b = 0,035$ мм. Швидкість обертального руху хони $V_{об} = 55$ м/хв., швидкість зворотно – поступального переміщення хонінгувальної головки $V_{zn} = 10$ м/хв., приймаємо по технічній характеристиці верстата ЗГ833.

По рекомендованим значенням колової швидкості підраховуємо частоту обертання хонінгувальної головки при попередньому хонінгуванні за формулою:

$$n_x = \frac{1000 \cdot V_{об}}{\pi \cdot D}, \quad (3.7)$$

де D - діаметр оброблюваної гільзи циліндрів, $D = 108,465$ мм.

$$n_x = \frac{1000 \cdot 55}{3,14 \cdot 108,465} = 161,485 \text{ с}^{-1}$$

Отримане значення частоти обертання хонінгувальної головки уточнюємо з паспортними даними верстата ЗГ833, $n_x = 155 \text{ с}^{-1}$.

Довжину ходу хонінгувальної головки підраховуємо за формулою:

$$S_x = L + 2 \cdot K - m, \quad (5.8)$$

де S_x - відстань між центрами брусків при їх крайньому верхньому і нижньому положеннях, мм;

L - довжина обробної гільзи, мм ($L = 200$ мм для гільз циліндрів двигунів TCD 2013 L6V4);

K - перебіг (вихід) бруска за край гільзи, мм ($K = \frac{1}{3} \cdot m$);

m - довжина хонінгувального бруска, мм ($m = 100$ мм.).

$$S_x = 200 + 2 \cdot 33,3 - 100 = 166,60 \text{ мм.}$$

Число подвійних ходів хонінгувальної головки визначається за формулою:

$$П_{подв.х.} = \frac{1000 \cdot V_{зн}}{2 \cdot S_x}, \text{ хв.}^{-1} \quad (3.9)$$

де $V_{зн}$ - швидкість зворотно – поступального переміщення хонінгувальної головки, м/хв., $V_{зн} = 10$ м/хв.

$$П_{подв.х.} = \frac{1000 \cdot 10}{2 \cdot 166,60} = 30,01 \text{ хв.}^{-1}$$

На технологічну операцію заключне хонінгування приймаємо по паспорту верстата відповідні значення. Швидкість обертального руху хони $V_{об} = 70$ м/хв., швидкість зворотно – поступального переміщення хонінгувальної головки $V_{зн} = 15$ м/хв. Припуск на заключне хонінгування за попередніми розрахунками $b = 0,01$ мм. За формулою 3.7 підраховуємо частоту обертання хонінгувальної головки при заключному хонінгуванні при умові, що $D = 108,465$ мм.

$$n_x = \frac{1000 \cdot 70}{3,14 \cdot 108,465} = 205,532 \text{ с}^{-1}$$

Отримане значення частоти обертання хонінгувальної головки уточнюємо з паспортними даними верстата ЗГ833, $n_x = 200 \text{ с}^{-1}$.

Число подвійних ходів хонінгувальної головки при заключному хонінгуванні визначаємо за формулою 3.9 при умові, що: $V_{zn} = 10 \text{ м/хв.}$

$$P_{подв.х.} = \frac{1000 \cdot 15}{2 \cdot 166,60} = 45,02 \text{ хв.}^{-1}$$

Отже основні режими при попередньому хонінгуванні: $b = 0,034 \text{ мм.}$, $V_{об} = 55 \text{ м/хв.}$, $V_{zn} = 10 \text{ м/хв.}$, $n_x = 155 \text{ с}^{-1}$, $S_x = 166,60 \text{ мм.}$, $P_{подв.х.} = 30,01 \text{ хв.}^{-1}$.

А основні режими при заключному хонінгуванні: $b = 0,01 \text{ мм.}$, $V_{об} = 70 \text{ м/хв.}$, $V_{zn} = 15 \text{ м/хв.}$, $n_x = 200 \text{ с}^{-1}$, $S_x = 166,60 \text{ мм.}$, $P_{подв.х.} = 45,02 \text{ хв.}^{-1}$.

Останньою операцією є оцінка точності та шорсткості поверхні гільзи циліндрів після хонінгування. Контроль гільзи після відновлення здійснюється для визначення відповідності сантехнічним вимогам показників точності розмірів, геометричної форми та шорсткості обробної поверхні.

Усі розраховані режими відновлення дзеркала гільзи циліндра двигуна TCD 2013 L6V4, заносимо до Додатку Б.

3.2. Результати досліджень механічних властивостей поверхневого шару спеціального легованого чавуну, після розточування та хонінгування

Найбільш важливими механічними властивостями поверхневих шарів матеріалів, є їх твердість і пластичність, оскільки вдале поєднання цих характеристик визначає зносостійкість [61, 62].

Визначення пластичності металів методом заглиблення індентора і утворення пластичного відбитку у відомих способах засновано на гіпотетичній однозначній зворотній залежності між величиною твердості і пластичності.

В результаті використання «Методу експериментальної оцінки пластичності поверхневих шарів деталей машин» [39, 40], заглиблювали стандартний

наконечник з діамантовим конусом у випробовуваний зразок під дією попереднього і основного навантажень, що послідовно додавалися. Виконували вимірювання двох відносно незалежних параметрів пластичного відбитку – глибини t і діаметру по вершині напливу d , за отриманими значеннями яких робили висновок про відносне видовження при розтягуванні поверхневих шарів металів.

На рис. 3.1, 3.2 представлені відбитки індентора на робочих поверхнях зразків, оброблених промисловим гартуванням ТВЧ і оброблених за технологією розточування та хонінгування. Характер відбитків (достатньо чіткий їх контур) свідчить про допустимість і прийнятність використання даного методу для досліджуваного матеріалу із використанням вказаних способів відновлення.

В результаті дослідження механічних властивостей поверхневого шару спеціального легованого чавуну, обробленого за технологією розточування і хонінгування, та в результаті опрацювання експериментальних даних, згідно прийнятим в розділі 2 методикам, були отримані наступні значення твердості і параметра пластичності (табл. 3.1).

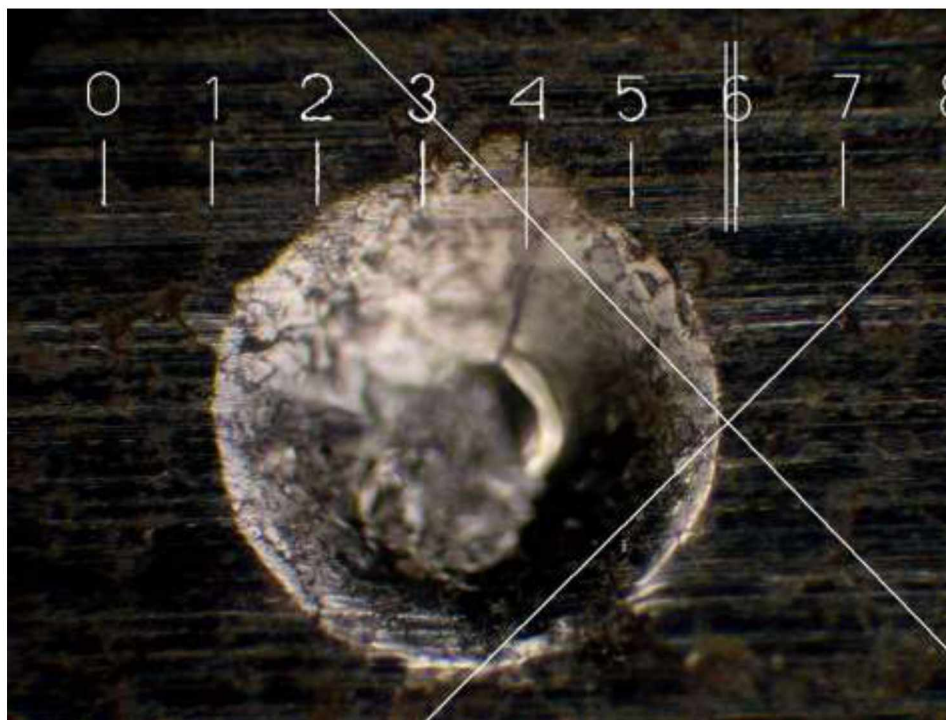


Рисунок 3.1. – Характер відбитків на зразках відновлених розточуванням з послідуєчим хонінгуванням: ($\times 130$, в зворотному світлі).

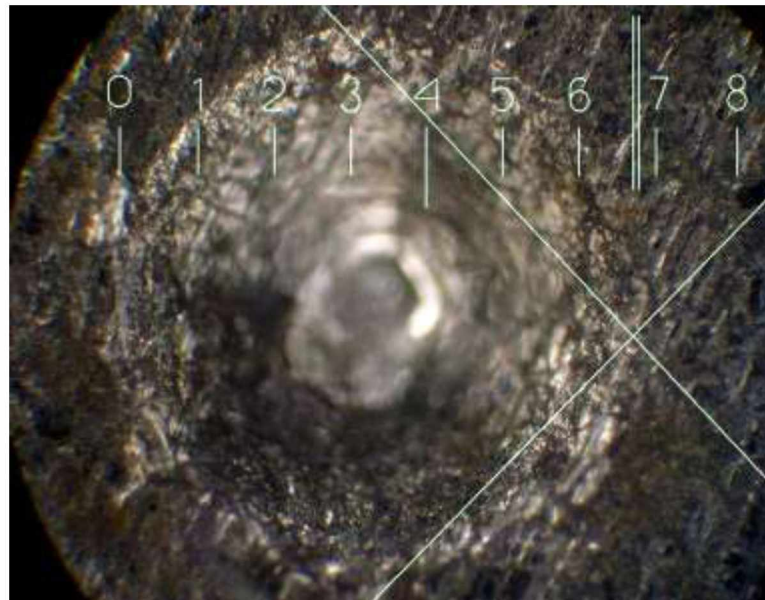


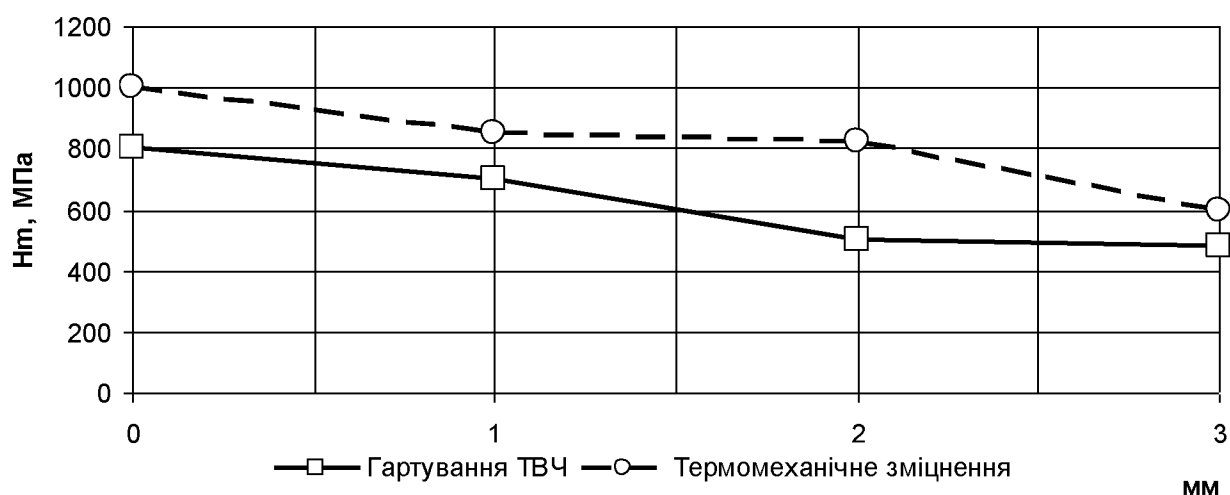
Рисунок 3.2. – Характер відбитків зразка, зміцненого промисловим гартуванням ТВЧ ($\times 130$, в зворотному світлі).

Таблиця 3.1 – Результати дослідження механічних властивостей

№ крапки на рис.3.8.	Режим відновлення	Твердість HRC	Параметр подачі	№ крапки на рис.3.8.
	$\lambda, \%$		$y=t/d$	д5В %
1	17	47,3	0,18064	6,50
2	17	44,6	0,18725	9,43
3	17	44,8	0,18400	7,90
4	17	47,8	0,18247	7,27
5	17	45,1	0,18785	9,73
6	17	45,6	0,18516	8,38
7	17	48,9	0,17765	5,51
8	17	45,5	0,18614	8,83
9	17	45,7	0,18256	7,30
10	9	44,4	0,18128	6,77
11	21	46,2	0,18440	8,06
12	9	45,3	0,18424	7,85
13	21	46,5	0,18501	8,30
14	9	45,7	0,18131	6,78
15	21	47,0	0,18198	7,09
16	промислова гільза	47,4	0,16432	2,65

Результати досліджень механічних властивостей показують, що твердість поверхнього шару зразків, відновлених за технологією розточування з послідовним хонінгуванням, знаходиться в межах 42-50 HRC, що відповідає технічним умовам на виготовлення гільз циліндрів двигунів TCD 2013 L6V4. Крім того, при приблизно однаковій твердості (одного порядку) для всіх варіантів відновлених зразків спостерігається значне підвищення (у 2,0 – 3,6 рази) параметра шорсткості в порівнянні із зразками виготовлених з промислових гільз, загартованих ТВЧ. Останнє є наслідком сприятливого впливу особливостей технології відновлення на досліджуваний матеріал.

Особливий інтерес в дослідженнях, що проводилися, представляє зміна глибини зміцненого шару зразків, за технологією термомеханічного зміцнення. Даний показник для гільз циліндрів, що промислово виготовляються, згідно технічним умовам на виготовлення деталі регламентується в межах 1,00-1,25 мм – для гільз двигуна TCD 2013 L6V4 (крива 1 на рис. 3.3). При такій величині зміцненого шару гільзи двигуна TCD 2013 L6V4 ремонт передбачається згідно ТУ два рази [14 і ін.].



1 – гартування ТВЧ; 2 – термомеханічне зміцнення.

Рисунок 3.3. – Залежність мікротвердості H_m від глибини зміцненого шару після різних варіантів зміцнювальних технологій

Вимірювання мікротвердості в поверхньому шарі зразків після термомеханічного зміцнення показало, що її значення відповідають мікротвердості мартенситу. По всій глибині мікротвердість H_m знаходиться на достатньо високому

рівні з незначним зниженням, що ілюструється кривою 2 на рис. 3.3, а також розмірами відбитків діамантової пірамідки на рис. 3.1. При цьому лише на глибині більше 2,5 мм наступає помітне зниження мікротвердості. Глибина (до 2,5 мм) зміцненого шару дозволяє передбачати відновлення деталі методом ремонтних розмірів.

3.2. Результати дослідження зносостійкості матеріалу відновлення

Для оцінки зносостійкості досліджуваного і контрольного матеріалів було прийнято використовувати відношення роботи сил тертя, ваги матеріалу, що витрачається на видалення одиниці, до ваги, що виражається формулою

$$A = \frac{P_{mp} \times s}{\sum \Delta g}, \quad (3.7)$$

де A – робота сил тертя, Дж/г;

P_{mp} – сила тертя, Н;

s – шлях тертя, м;

$U_{\Delta g}$ – загальне значення втрати ваги (г) зразка при визначенні величини зношування ваговим методом.

За умови підтримки під час випробувань сили тертя на постійному рівні і незмінному шляху тертя отримуємо наступний вираз:

$$A_{y\partial} = \frac{C}{\sum \Delta g}, \quad (3.8)$$

де $A_{y\partial}$ – питома робота сил тертя по видаленню одиниці матеріалу, Дж/г;

C – коефіцієнт, що враховує умови випробувань, Дж.

Таким чином, за умови сталих складових роботи сил тертя, між питомою роботою сили тертя і зношуванням при абразивному зношуванні існує залежність, яка є зворотною пропорційною.

Розрахункові значення загальної втрати ваги $U_{\Delta g}$ (г) були отримані з використанням інтегрованого пакету математичного моделювання MATLAB

(версія 6.0) [64]. Для реалізації розрахунків була застосована програма (див. Додаток В, рис. В.1).

Масиви даних, отримані в результаті розрахунків, дозволили проаналізувати значення загальної втрати ваги зразків $V_{\text{ог}}$ при всіх можливих поєднаннях технологічних параметрів термомеханічного зміцнення та випробувальних навантажень. Це дало можливість використовувати розрахункові дані для побудови необхідних графічних залежностей.

Аналіз графіків залежностей $V_{\text{ог}} = f(P_{\text{ми}})$ (див. Додаток В, рис. В.2 – В.4), а показує, що при одних і тих же випробувальних навантаженнях загальна втрати ваги зразків $V_{\text{ог}}$ має найбільші значення у зразків з промислових гільз, загартованих ТВЧ. Мінімальні значення загальної втрати ваги зразків $V_{\text{ог}}$ відповідають режиму термомеханічного зміцнення: температура деформації $T_{\text{деф}} = 870 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (див. Додаток В, рис. В.2, а), ступінь деформації $\lambda = 17 \%$ (див. Додаток В, рис. В.3, а), температура відпустки $T_{\text{омн}} = 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (див. Додаток В, рис. В.4, а).

На графіках $A_{\text{уд}} = f(P_{\text{ми}})$, побудованих на підставі вищезгаданих залежностей (див. Додаток В, рис. В.2 – В.4, б), видно, що характер зносостійкості змінюється, відповідно, в зворотному порядку. Слід відмітити, що максимальні значення зносостійкості $e = A_{\text{уд}}$ практично при всіх режимах термомеханічного зміцнення відповідають навантаженню $P_{\text{ми}} = 450 \text{ Н}$ (у реальних умовах експлуатації відповідає тиску верхнього поршневого кільця на дзеркало гільзи циліндра $\approx 1,0 - 1,5 \text{ МПа}$), а максимальна зносостійкість зразків з промислових гільз циліндрів припадає на випробувальне навантаження $P_{\text{ми}} = 500 \text{ Н}$ (у реальних умовах експлуатації - $\approx 1,2 - 1,8 \text{ МПа}$). Але і при цьому навантаженні розрахункова зносостійкість $e = A_{\text{уд}}$ для режимів термомеханічного зміцнення (див. Додаток В, рис. В.2 – В.4, б) вище на 12 – 22 %.

Беручи до уваги, що усі значень загальної втрати ваги $V_{\text{ог}}$ для зразків з промислових гільз були отримані достовірним шляхом на машині тертя, і враховуючи максимальні значення їх зносостійкості, результати при випробувальному навантаженні $P_{\text{ми}} = 500 \text{ Н}$ були прийняті як порівняльні при

визначенні залежності зносостійкості від комплексного параметра механічних властивостей $HK \times \delta_{5B}^u$.

Зміна величини загальної втрати ваги зразків $V_{\text{дг}}$ при різних поєднаннях технологічних параметрів термомеханічного зміцнення носить аналогічний характер як при випробувальному навантаженні $P_{mi} = 500 \text{ Н}$ (див. Додаток В, рис. В.5 – В.7), так і при випробувальному навантаженні $P_{mi} = 450 \text{ Н}$ (див. Додаток В, рис. В.8 – В.11, а). Область екстремуму на графіках припадає на інтервали температури деформації $T_{\text{деф}} = 850 - 880 \text{ }^\circ\text{C}$, ступені деформації $\lambda = 14 - 18 \%$ і температури відпустки $T_{\text{омн}} = 170 - 240 \text{ }^\circ\text{C}$.

Графіки залежностей $e = A_{y\delta}$ від технологічних параметрів термомеханічного зміцнення (див. Додаток В, рис. В.8 – В.11, б), мають характер, обернено пропорційний, що і було обумовлено співвідношенням (3.8). Область екстремуму на цих графіках знаходиться відповідно в тому ж діапазоні значень технологічних параметрів термомеханічного зміцнення.

Характер графіків залежностей загальної втрати ваги зразків $V_{\text{дг}}$ від різних технологічних параметрів термомеханічного зміцнення відповідає математичній моделі. Мінімальне значення загальної втрати ваги зразків із всього переліку поєднань технологічних параметрів в області дослідження, визначено центральним композиційним ортогональним планом другого порядку, відповідає температурам деформації $T_{\text{деф}} = 860 - 870 \text{ }^\circ\text{C}$, ступеню деформації $\lambda = 17 \%$ і температурі відпустки $T_{\text{омн}} = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ при випробувальному навантаженні $P_{mi} = 350 \text{ Н}$ (у реальних умовах експлуатації - $\approx 0,7 - 1,3 \text{ МПа}$) і складає $V_{\text{дг}} = 0,0173 \text{ р}$.

Поверхня відгуку, що описується математичною моделлю для визначення загальної втрати ваги зразків $V_{\text{дг}}$, має форму гіперболічного параболоїда (рис. 3.6 – 3.8) і відповідає розглянутим вище режимам зміцнення. Її проекція на опорну координатну площину наочно обкреслює область оптимального поєднання технологічних параметрів термомеханічного зміцнення, які дозволяють досягти максимальної зносостійкості досліджуваного чавуну при даному виді зміцнення в змодельованих умовах тертя і зношування.

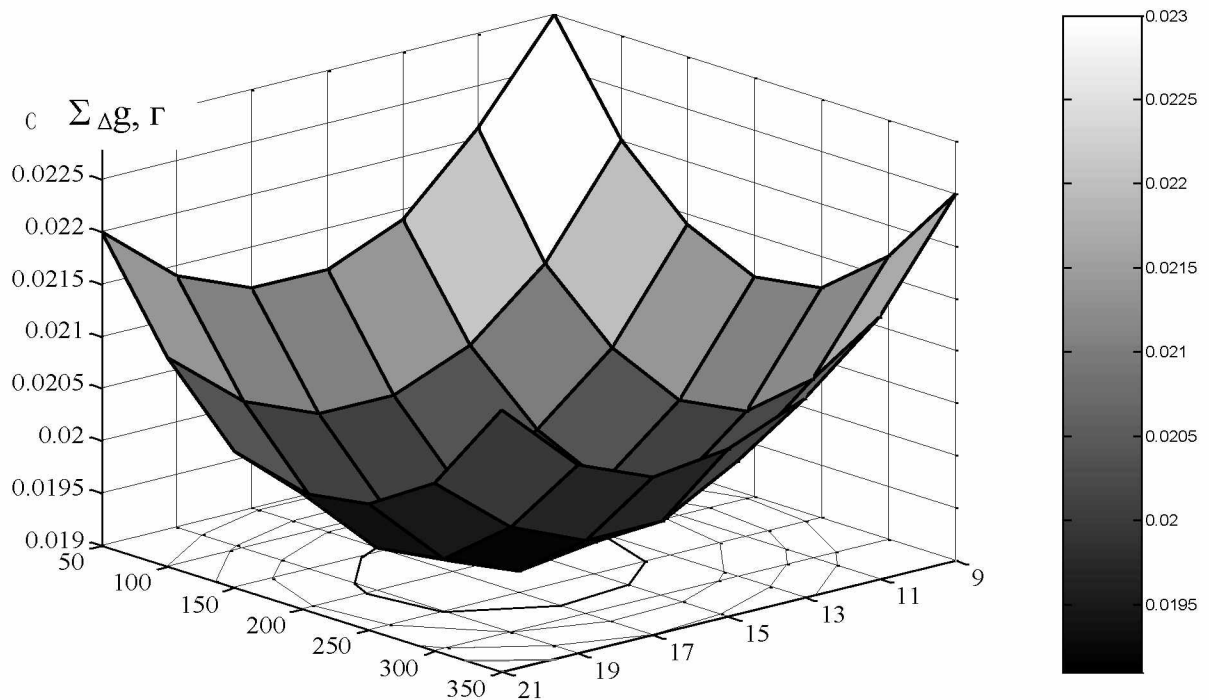


Рисунок 3.8. – Межа оптимальних співвідношень значень технологічних режимів термомеханічного зміцнення:

Температура відпуску ($T_{opt}, ^\circ\text{C}$) і ступінь деформації ($\lambda, \%$).

3.3. Висновки за розділом 3

Результати досліджень, приведені в даному розділі, дозволяють зробити наступні висновки:

1). Твердість поверхневого шару зразків, зміцнених термомеханічною обробкою, знаходиться в межах 42-50 HRC, що відповідає технічним умовам на виготовлення гільз циліндрів двигуна TCD 2013 L6V4. Крім того, при приблизно однаковій твердості для усіх досліджуваних режимів термомеханічного зміцнення спостерігається значне підвищення (у 2,0 – 3,6 рази) параметра пластичності в порівнянні із зразками з промислових гільз, загартованих ТВЧ;

2). Значення мікротвердості у зразків після термомеханічного зміцнення більше ніж в 1,25 разу вище, в порівнянні із зразками з гільз, загартованих ТВЧ. Глибина зміцненого шару до 2,5 мм дозволяє передбачати неодноразову ремонтну

дію на деталь, що слід розцінювати як позитивний вплив термомеханічного зміцнення на підвищення її ремонтпридатності;

3). Застосування термомеханічного зміцнення для досліджуваного чавуну дозволяє збільшити стабільність його механічних властивостей в порівнянні із загартованим ТВЧ, що підтверджується зменшенням значень коефіцієнтів варіації твердості f_{HRC} в 1,6 – 1,7 рази і пластичності f_{δ} - в 1,8 – 2,3 рази;

4). Використані методи планування експериментів і математичної обробки їх результатів дозволили визначити межі оптимального поєднання значень технологічних параметрів термомеханічного зміцнення, при яких зносостійкість досліджуваного чавуну збільшується на 18–22 %. Підвищення зносостійкості матеріалу, використовуваного в даний час для виготовлення гільз циліндрів тракторних дизельних двигунів, після термомеханічного зміцнення є величиною статистично значущою, що підтверджує позитивний ефект даної обробки та дозволяє збільшити ресурс деталі. Похибка досліджуваних значень і розрахункових даних в області оптимального поєднання значень технологічних режимів термомеханічного зміцнення не перевищила 5 %;

5). Зміна параметра пластичності досліджуваного чавуну після термомеханічного зміцнення підтверджує комплексний вплив механічних властивостей матеріалу, що впливають, на його зносостійкість – найбільшою зносостійкістю володіє матеріал, що має найбільше значення комплексного параметра (режим термомеханічного зміцнення: $T_{деф} = 870 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $\lambda = 17 \%$, $T_{омн} = 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$);

6). Виходячи з аналізу результатів проведених досліджень оптимальним по зносостійкості серед досліджених режимів термомеханічного зміцнення слід рахувати діапазон температур деформації $T_{деф} = 850\text{-}880 \text{ }^{\circ}\text{C}$, ступенів деформації $\lambda = 14\text{-}18 \%$ і температур відпустки $T_{омн} = 170\text{-}240 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩО ДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Екологічна експертиза

Екологічна експертиза – це вид науково-практичної діяльності спеціально уповноважених державних органів, еколого-експертних формувань та об'єднань громадян. Ґрунтується екологічна експертиза на міжгалузевому екологічному дослідженні, аналізі та оцінці перед проектних, проектних та інших матеріалів чи об'єктів, реалізація і дія яких може негативно впливати або впливає на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей [65].

Спрямована екологічна експертиза на підготовку висновків про відповідальність запланованої чи здійснюваної діяльності нормам та вимогам законодавства про охорону навколишнього природного середовища, раціонального використання та відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки.

Завдання екологічної експертизи полягають у регулюванні суспільних відносин в галузі екологічної експертизи для забезпечення екологічної безпеки, охорони навколишнього природного середовища, раціонального використання та відновлення природних ресурсів, захисту екологічних прав та інтересів громадян держави.

Мета екологічної експертизи – запобігання негативному впливу антропогенної діяльності на природне середовище та здоров'я людей, а також оцінка ступеня екологічної безпеки господарської діяльності та екологічної ситуації на окремих територіях та об'єктах.

Проведення екологічної експертизи передбачено Законами України «Про охорону навколишнього природного середовища» (від 25.06.1991 р.), та «Про екологічну експертизу» (від 09.02.1995р.) Закон передбачає (розділ 6, стаття 26, 27) обов'язкове проведення екологічної експертизи в процесі господарської, управлінської та іншої діяльності, що впливає на стан природного оточуючого

середовища, а також проекти на будівництво, реконструкцію виробництв і об'єктів, які можуть мати негативний вплив на оточуюче середовище [66]

Проведення екологічної експертизи діяльності сільськогосподарських комплексів базується на основі вимог «Водного» та «Земельного» кодексів України (від 6.06.95 р. та 13.03.92 р. відповідно), «Основ земельного законодавства», «Основ водного законодавства», Закону «Про охорону атмосферного повітря» (від 16.10.1992 р.) і т.д.

Екологічна експертиза переслідує такі цілі:

- попередження можливих негативних впливів планових, проєктованих і функціонуючих об'єктів в процесі їх реалізації;
- підтримання природної динамічної рівноваги і сприятливого стану навколишнього середовища.

У процесі проведення експертизи детально і різнобічно вивчають екологічний зміст проєктів, шляхом аналізу, синтезу, порівняння, спостереження, описання при суворому дотриманні вимог існуючого законодавства.

Сільськогосподарське виробництво негативно впливає на навколишнє середовище. Вихлопні гази тракторів, автомобілів та іншої сільськогосподарської техніки, випаровування тваринницьких комплексів впливають на повітряне середовище. Водне середовище забруднюється відходами нафтопродуктів. Від того як будуть виконуватися природоохоронні заходи на конкретних підприємствах, у конкретних господарствах залежить стан навколишнього середовища, розвиток і життєдіяльність нинішнього і наступного поколінь.

Оскільки дослідно-виробнича перевірка результатів роботи проводилася безпосередньо з використанням тракторного двигуна TCD 2013 L6V4, тому дослідження по екологічній експертизі безпосередньо пов'язані з виконаннями операцій технічного обслуговування як двигуна так і трактора в цілому.

Технічне обслуговування енергетичного агрегату – важливі елементи підтримання його в роботоздатному стані. Оскільки виробнича база для технічного обслуговування у господарстві є, тому розглянемо небезпеки пов'язані з очисткою і миттям енергетичних засобів, мащення вузлів і агрегатів, заміна мастил, збирання,

зберігання і видача нафтопродуктів. Оскільки усі перераховані роботи плануються виконуватися в майстерні господарства, тому ми здійснюємо його громадську експертизу з метою визначення впливу на стан оточуючого середовища [67].

Пункт технічного обслуговування знаходиться на малопродатних, для вирощування сільськогосподарських культур, землях. Ця ділянка має рівнинну поверхню, тому не має стоків у природні водойми.

Але слід відмітити наступні недоліки такі, як розлиті на місцях зберігання, стоянки обслуговування машин нафтопродукти, змиті дощовими та талими водами, потрапляють в водойми і спричиняють різні форми їх забруднення цим становлять загрозу не тільки для живих організмів, що мешкають в ній, а й для людини.

Джерелом забруднення навколишньої території можуть бути виробничо-побутові стічні води з приміщень обслуговуючої бази. Крім нафтопродуктів, різних хімічних сполук, в таких водах міститься до 60% органічних речовин, що спричиняють поширення інфекцій.

Залежно від токсичного впливу того чи іншого компонента на людину, а також з урахуванням часу можливого перебування людини в цьому середовищі встановлені гранично допустимі концентрації токсичних речовин в атмосфері. Їх значення для деяких шкідливих речовин, у тому числі і тих, що входять до складу відпрацьованих газів двигунів, наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі населених пунктів, мг/м³.

Речовина	Максимальна разова концентрація	Середньо- добова концентрація	Речовина	Максимальна разова концентрація	Середньо- добова концентрація
Окис вуглецю	3,0	1,0	Сірковуглець	0,03	0,01
Двоокис азоту	0,085	0,085	Сажа (кіптява)	0,15	0,05
Сірчистий газ	0,5	0,05	Свинець	-	$3 \cdot 10^{-4}$
Пил не токсичний	0,5	0,15	Бензопірен	-	10^{-6}

Для покращення екологічного стану в пункті технічного обслуговування ми передбачили [68, 69]:

1. Територію пункту технічного обслуговування техніки, необхідно обладнати спеціальними уловлювачами забруднених поверхневих стоків (ямами, канавами), які розміщуємо в нижній частині території з врахуванням природних ухилів поверхні.

2. Місце миття машин необхідно забезпечити оборотним водопостачанням, а їх майданчики обладнати бортами, що запобігають стіканню забрудненої води і мийних розчинів за межі майданчика.

3. Для більш ефективного використання води і мийних розчинів рекомендуємо застосовувати метод електрохімічної коагуляції і подачі розчину коагулянта в відстійник-нейтралізатор, що захищає осадок та оборотну воду від загнивання. Така комбінована схема відведення та очищення води запобігає насиченню основної маси стічних вод та осадка патогенними мікробами.

4. В майстерні, систему відведення відпрацьованих газів двигунів необхідно обладнати глушниками та вловлювачами сажі (кіптяви), що значно зменшить забруднення токсичними викидами двигунів.

6. В приміщеннях майстерні спроектувати витяжну вентиляцію, яка забезпечуватиме необхідний мікроклімат (температура повітря 16–18°C, вологість 70%, швидкість руху повітря 0,015...0,02 м/с).

7. Територія, що прилягає до приміщення технічного обслуговування повинна бути впорядкована, для того передбачено:

– обладнати землі газонами впродовж під'їзних шляхів, навколо мийки машин;

Дані заходи, які передбачені в пункті технічного обслуговування дозволять зменшити вплив шкідливих факторів на оточуюче середовище.

Отже запропоновані заходи в даній роботі, не несуть загрози навколишньому середовищу, а полегшують роботу з технічного обслуговування машин.

Висновком є виконання передбачених заходів які дадуть можливість зберегти навколишнє середовище, зменшивши вплив шкідливих факторів як на організм людини, так і на оточуюче його навколишнє середовище.

4.2. Охорона праці

Управління охороною праці на підприємстві – це сукупність дій службових осіб, що здійснюються на підставі постійного аналізу інформації про стан охорони праці на всіх робочих місцях для поліпшення та підтримання його на певному рівні відповідно до законодавчих та нормативних актів.

Метою управління охороною праці (УОП) – є всебічне сприяння виконанню вимог, які повністю ліквідують, нейтралізують або знижують до допустимих норм вплив на працюючих небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища, забезпечують усунення джерел небезпеки, ізолювання від них персоналу, використання засобів, що усувають небезпечні ситуації та підвищують технічну безпеку, створюють надійні санітарно - гігієнічні та ергономічні умови.

В досліджуваному господарстві функціонує орган з охорони праці, який забезпечує належний контроль за станом безпеки умов праці та охорони навколишнього середовища.

Соціальні результати заходів щодо поліпшення умов та охорони праці визначаються наступними показниками:

- збільшенням кількості робочих місць, які відповідають нормативним вимогам, й скороченням чисельності працюючих у незадовільних умовах праці;
- зниженням рівня виробничого травматизму;
- зменшенням кількості випадків професійної захворюваності, пов'язаною з незадовільними умовами праці;
- скороченням кількості випадків інвалідності внаслідок травматизму чи професійної захворюваності;
- зменшенням плинності кадрів через незадовільні умови праці.

Економічні результати заходів щодо поліпшення умов та охорони праці виражаються у вигляді економії за рахунок зменшення збитків унаслідок аварій, нещасних випадків і професійних захворювань як в економіці в цілому, так і на підприємстві.

4.3. Техніко-економічне обґрунтування досліджень

Для двигунів, що піддаються капітальним ремонтам, економічний ефект обумовлений збільшенням показників ремонтпридатності і довговічності, зокрема:

- підвищенням середнього ресурсу деталей різних груп складності, як до першого капітального ремонту, так і в міжремонтні періоди (збільшення терміну служби);
- скорочення сумарної тривалості (трудомісткості) усунення наслідків відмов деталей і технічних обслуговувань конкретних видів;
- зниження витрати запасних частин.

Перераховані вище зміни показників надійності передбачають наступне:

- зниження сумарних витрат на проведення капітальних ремонтів, усунення наслідків відмов і технічне обслуговування;
- скорочення часу на ремонти і технічне обслуговування у споживача;
- задоволення попиту на запасні частини за рахунок збільшення ресурсу деталей при тому ж об'ємі їх випуску.

У розрахунках використані основні положення за розрахунком економічного ефекту з ГОСТ 23728-88...ГОСТ 23730-88 [71], а також методичні вказівки і довідково-нормативний матеріал робіт [72, 73] за оцінкою економічного ефекту тільки від зміни основних характеристик надійності, що оцінюються конкретними статистичними показниками.

Економічний ефект \mathcal{E} від виробництва і використання деталі із зміненою надійністю за амортизаційний термін служби визначаємо по формулі

$$\Theta = \frac{\Theta_{\partial\partial}}{a + E_n}, \quad (4.1)$$

де $E_{\partial\partial}$ – річний економічний ефект у споживача від експлуатації однієї деталі із зміненою надійністю, грн.;

a – коефіцієнт відрахувань на реновацію нової деталі;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень.

Річний економічний ефект від зміни довговічності $E_{\partial\partial}$ деталей другої групи визначаємо по формулі

$$\Theta_{\partial\partial} = \Pi_{\partial\partial\partial} - \Pi_{\partial\partial n}, \quad (4.2)$$

де $\Pi_{\partial\partial\partial}$ і $\Pi_{\partial\partial n}$ – середні за термін служби річні приведені витрати по базовій і новій деталях.

Величину $\Pi_{\partial\partial}$ для деталей другої групи визначаємо по формулі

$$\Pi_{\partial\partial} = \frac{C_{\partial}}{T} \times \left[\frac{T \times T_z - T_{\partial}}{K_{\partial} \times T_{\partial}} + 0,5 \times (1 + \nu_{\partial}^2) \right] + \Pi_{\partial} \times \left(E_n + \frac{1}{T} \right), \quad (4.3)$$

де C_{∂} – витрати на усунення однієї відмови деталі, грн.;

T – термін служби двигуна, років;

T_z – річне завантаження двигуна, год;

T_{∂} – середній ресурс деталі, год;

K_{∂} – коефіцієнт, що характеризує відношення середнього ресурсу до ресурсу спочатку встановленої деталі того ж найменування (для деталей, що зношуються, працюють в рухомих і нерухомих сполученнях, приймаємо рівним 0,6);

ν_{∂} – коефіцієнт варіації, що характеризує розсіювання ресурсів однотипних деталей (якщо він не визначений, то приймається рівним 0,4);

Π_{∂} – балансова вартість деталі (запасної частини), грн.

Витрати C_{∂} на усунення наслідків відмови деталі в розрахунках прийняті у розмірі їх середніх значень згідно калькуляціям ремонтних підприємств, що діють.

Річний економічний ефект від зміни надійності деталі третьої групи визначають по формулі (4.2). Середні за термін служби машини (двигуна) річні приведені витрати ($\Pi_{\partial\partial}$) для деталей цієї групи визначаємо по формулі

$$П_{\partial} = \frac{P_{\partial}}{T} + Ц_{\partial} \times \left(E_n + \frac{1}{T} \right), \quad (4.4)$$

де P_{∂} – витрати за термін служби машини (двигуна) на усунення відмов, пов'язаних із заміною деталей, грн.

Значення P_{∂} знаходимо по формулах:

- для деталей машин, що піддаються капітальним ремонтам

$$P_{\partial} = C_{\partial} (n_{\partial p} + n_{\partial np} \times N_{KP}) + Ц_{\partial} \left[\frac{T \times T_z - T_{KP}}{K_e \times T_{KP}} + 0,5(1 + v_{\partial}^2) \right], \quad (4.5)$$

де $n_{\partial p} = \left[\frac{T_{KP} - T_{\partial}}{K_{\partial} \times T_{\partial}} + 0,5(1 + v_{\partial}^2) \right]$ – число відмов деталі при напрацюванні агрегату

(двигуна) до першого капітального ремонту;

$n_{\partial np} = \left[\frac{K_e \times T_{KP} - K_{\partial} \times T_{\partial}}{K_{\partial} \times T_{\partial}} + 0,5(1 + v_{\partial}^2) \right]$ – число відмов деталі при напрацюванні

агрегату (двигуна) в міжремонтному періоді;

$N_{KP} = \left[\frac{T \times T_z - T_{KPa}}{K_e \times T_{KPa}} + 0,5(1 + v_{\partial}^2) \right]$ – число капітальних ремонтів агрегату

(двигуна), складовою частиною якого є деталь;

K_e – коефіцієнт відновлення ресурсу агрегату (для двигуна $K_e = 0,8$);

Балансову вартість деталей знаходимо по формулі

$$Ц_{\partial} = K_{торг} \times \sum_j Ц_{\partial_j}, \quad (4.5)$$

де $K_{торг}$ – торговельна розцінка на запасні частини (коливається в межах 1.1-1.55); $Ц_{\partial_j}$ – оптова ціна j -х деталей, грн.

Торговельна розцінка у розрахунках була прийнята у розмірі середньої величини згідно прейскурантам підприємств-виготовлювачів, що діяли.

Економічний ефект визначаємо в порівнянні з рівнем, що мав місце до проведення робіт по підвищенню надійності.

У табл. 4.2 приведені початкові дані і результати розрахунків показників для деталі другої групи. Середньостатистичні значення показників прийняті на підставі даних ремонтних підприємств, розрахункові – на підставі результатів

порівняльних випробувань на зносостійкість матеріалу з умови її підвищення (для найбільш оптимальних поєднань технологічних режимів) на 18 %.

На підставі початкових даних і прийнятих розрахункових значень показників визначуваний економічний ефект за амортизаційний термін служби двигунів в порівнянні з початковим фактичним рівнем.

Для двигуна Д – 243 згідно формул (4.3), (4.4) і (4.5)

$$P_{доб} = \frac{6814}{10} \left[\frac{10 \times 65 - 235}{0,6 \times 235} + 0,5(1 + 0,4^2) \right] + 69,26 \left(0,15 + \frac{1}{10} \right) = 2418,07 \text{ (грн.)}$$

$$P_{дон} = \frac{6814}{11,8} \left[\frac{11,8 \times 65 - 277}{0,6 \times 277} + 0,5(1 + 0,4^2) \right] + 69,26 \left(0,15 + \frac{1}{11,8} \right) = 2053,68 \text{ (грн.)}$$

Тоді, використовуючи формули (4.2) і (4.1), отримуємо

$$\mathcal{E}_о = 2418,07 - 2053,68 = 364,39 \text{ (грн.)}$$

$$\mathcal{E} = \frac{364,39}{0,125 + 0,15} = 1325,05 \text{ (грн.)}$$

Таким чином, річний економічний ефект при вдосконаленні технології ремонту двигуна TCD 2013 L6V4 від підвищення якості гільз циліндрів (комплекту з 4-х штук як деталей другої групи, що ремонтуються) складе в порівнянні з базовим варіантом для двигуна TCD 2013 L6V4 – 364,39 грн..

Таблиця 4.2 – Початкові дані і результати розрахунків показників економічної ефективності

№	Найменування показника	Індекс	Значення для гільзи двигуна TCD 2013 L6V4		Примітки
			базова	нова	
1. Нормативна початкова інформація					
1	Нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень	E_n	0,15		Норматив
2	Коефіцієнт відрахувань на реновацію нової деталі	a	0,125		

3	Витрати на усунення однієї відмови деталі (повна собівартість КР двигуна), грн.	C_d	6814	-	Ср. значення відп. калькуляції рем. підприємств (заміна деталі на нову ном. розміру)
4	Балансова вартість гільзи (як запасної частини), грн.	C_d	69,26	-	Ср. значення відп. діючого. прејск-ту.
2. Експериментально-розрахункова початкова інформація					
5	Амортизаційний термін служби двигуна, років: - що діє - розрахунковий	T	10 -	- 11,8	
6	Річне напрацювання двигуна, тис. км.: - середньостатистична - розрахункова	T_2	65 -	- 65	
7	Середній ресурс гільзи, тис. км.: - середньостатистичний - розрахунковий	T_d	235 -	- 277	
8	Середній ресурс двигуна до 1-го КР тис. км.: - від. ГОСТ 23465-79 - середньостатистичний - розрахунковий	$T_{кр}$	450 276 -	450 - 325	[3]

При цьому економічний ефект від виробництва і використання як запасних частини таких гільз за амортизаційний період експлуатації двигунів складе відповідно 1325,05 грн.

В цілому, використання гільз циліндрів, виготовлених за пропонованою технологією, дозволить підприємствам-виготовлювачам випускати продукцію, конкурентоспроможну на сучасному ринку тракторних деталей, і підтримувати необхідну для його розвитку ефективність, що дасть можливість споживачам знизити сумарні витрати на проведення капітальних ремонтів двигунів, усунення наслідків їх відмов.

4.4. Висновки за розділом 4

1. Заходи, які запропоновані до впровадження в розділі дозволять зменшити вплив шкідливих факторів на оточуюче середовище в пункті технічного обслуговування тракторів. Отже, запропоновані заходи в даній роботі, не несуть загрози навколишньому середовищу, а полегшують роботу з технічного обслуговування машин.

2. Запропоновані заходи в пункті охорона праці дозволять повністю ліквідувати, нейтралізувати або знизити до допустимих норм вплив на працюючих небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища, забезпечують усунення джерел небезпеки, ізолювання від них персоналу, використання засобів, що усувають небезпечні ситуації та підвищують технічну безпеку, створюють надійні санітарно - гігієнічні та ергономічні умови.

3. Річний економічний ефект від підвищення ресурсу і ремонтпридатності гільз циліндрів при їх обробці термомеханічним зміцненням в порівнянні з промисловим варіантом технології їх виготовлення складе для двигуна Д-243 – 364,39 грн..

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Реальний ресурс експлуатованого і відремонтованого дизельного двигуна TCD 2013 L6V4 тракторів різного призначення на сьогоднішній день в Україні нижче встановленого що діє ГОСТ 23465–79 до 30 %. Однією з причин цього є те, що існуючі способи виготовлення, ремонту гільз циліндрів і вживані методи зміцнення їх робочої поверхні не забезпечують необхідний ресурс і ремонтпридатність даної деталі.

2. На підставі проведених досліджень науково обґрунтована і експериментально підтверджена можливість вдосконалення технології ремонту тракторних двигунів за рахунок застосування термомеханічного зміцнення робочої поверхні гільз циліндрів, що виготовляються із спеціального легованого чавуну, що збільшує ресурс і підвищує їх ремонтпридатність. Встановлено, що найбільш значущими технологічними параметрами термомеханічного зміцнення, що визначають механічні і експлуатаційні характеристики деталі, є температура деформації – T_{def} , ($^{\circ}C$), ступінь деформації – λ (%) і температура відпустки – T_{omt} ($^{\circ}C$).

3. Проведені лабораторні дослідження і розрахунки за допомогою математичної моделі дозволяють вважати оптимальним по зносостійкості діапазон температур деформації $T_{def} = 850-880$ $^{\circ}C$, ступенів деформації $\lambda = 14-18$ % і температур відпустки $T_{omt} = 170-240$ $^{\circ}C$, при обробці в якому забезпечується найбільш високий рівень якості робочої поверхні гільз при ремонті тракторних двигунів.

4. Запропоноване вдосконалення технології ремонту тракторних двигунів із застосуванням термомеханічного зміцнення гільз циліндрів дозволило (в порівнянні з промисловим зміцненням гартуванням ТВЧ):

- при твердості, що не змінилася, 42-50 HRC, та відповідає технічним умовам на виготовлення деталі, більш ніж в 2 рази підвищити пластичність поверхневого шару матеріалу;

- підвищити ремонтпридатність деталі за рахунок збільшення глибини зміцненого шару більш ніж в 1,25 разу, що дозволяє передбачати відновлення цих гільз циліндрів методом ремонтних розмірів;
- зменшити в 4-10 разів загальний рівень напруженості поверхневого шару деталі;
- збільшити стабільність її механічних властивостей, що підтверджується зменшенням значень коефіцієнтів варіації твердості f_{HRC} в 1,6 – 1,7 разу і пластичності f_{δ} - в 1,8 – 2,3 разу;
- підвищити зносостійкість досліджуваного матеріалу на 18–22 %.

5. Річний економічний ефект від підвищення ресурсу і ремонтпридатності гільз циліндрів при їх обробці термомеханічним зміцненням в порівнянні з промисловим варіантом технології їх виготовлення складе для двигуна TCD 2013 L6V4 – 364,39 грн..