

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства


КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Дослідження ремонтпридатності та розробка технології ремонту азотованих колінчастих валів двигунів автомобілів

Рівень вищої освіти	бакалавр
Галузь знань	27 «Транспорт»
Спеціальність	274 «Автомобільний транспорт»
Освітня програма	Автомобільний транспорт

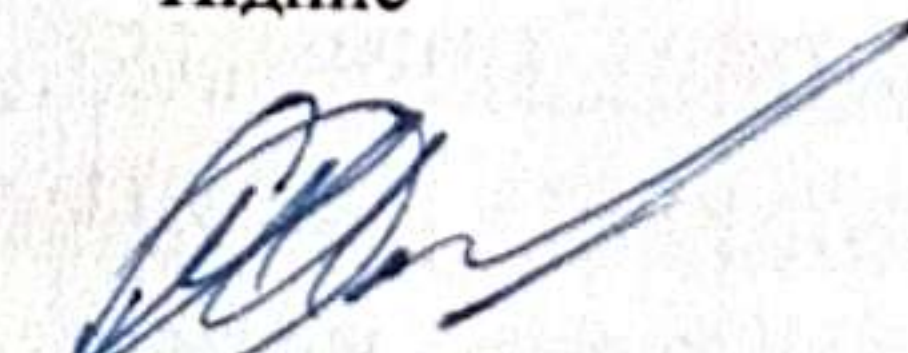
Шифр: КРБАТ 25.21196.000. ПЗ

Виконав студент 4-го курсу
група АТз 21-1
Шифр


Підпис

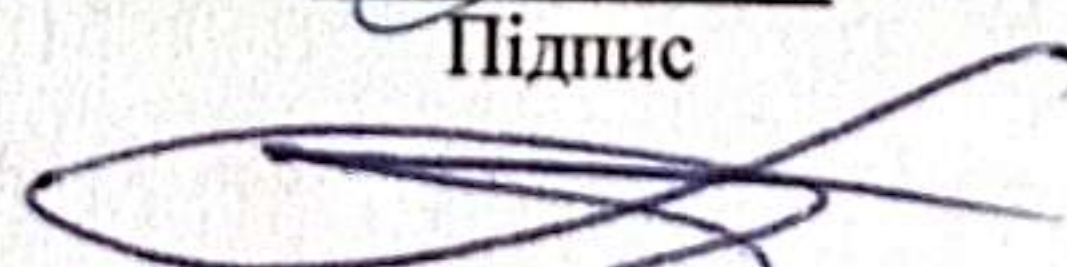
Андрій КОЗАРСОВ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник к.т.н., доц.
Науковий ступінь, звання


Підпис

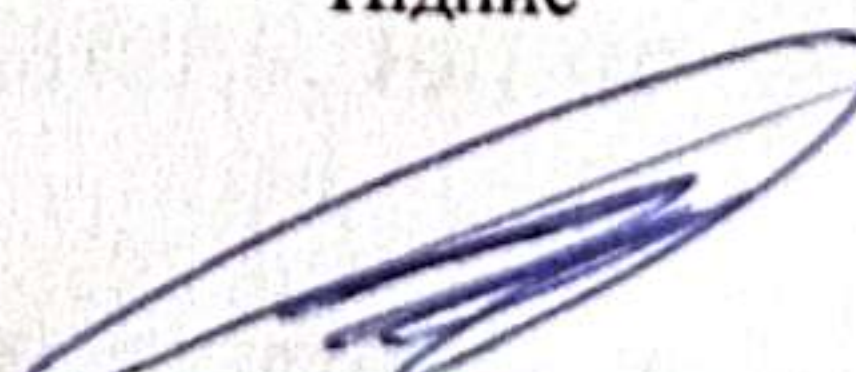
Олег МАКОВКІН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер


Підпис

Олег БАБАК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри ТАМ
Назва


Підпис

Олександр ДИХА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Дата 16.06.25

Хмельницький, 2025 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Галузь знань 27 – Транспорт

Спеціальність – 274 Автомобільний транспорт

Рівень вищої освіти – Перший бакалаврський

Освітньо-професійна програма – Автомобільний транспорт

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТАМ

проф., д.т.н. Диха О.В.

20 02 2025 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Козарезову Андрію Володимировичу

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема проекту (роботи)

«Дослідження ремонтпридатності та розробка технології ремонту азотованих колінчастих валів двигунів автомобілів»

керівник проекту (роботи)

Маковкін Олег Миколайович к.т.н., доцент

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

Затверджено наказом ректора університету від 7 лютого 2025р. № 23 (Д26)

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 10 червня 2025 року

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

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз стану питання щодо ремонту азотованих колінчастих валів автомобілів краз; 2. Аналітичне дослідження технологій і способів ремонту колінчастих валів двигунів краз; 3. Практичні рекомендації; 4. Охорона праці та техніка безпеки під час ремонту колінчастих валів

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Графічна частина роботи представлена у вигляді презентації на слайдах

6. Консультанти розділів роботи

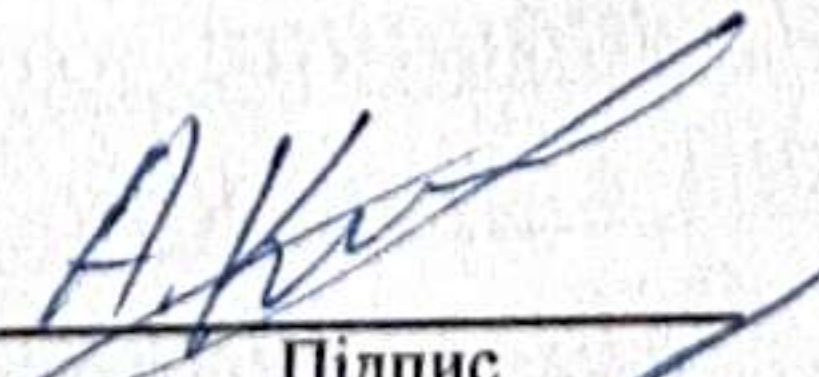
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 02.02.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Літературний огляд	15.05.2025	
2	Технологічний розділ	25.05.2025	
3	Конструкторський розділ	30.05.2025	
4	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки	2.06.2025	
5	Оформлення презентації бакалаврської роботи	5.06.2025	
6	Нормоконтроль магістерської роботи	9.06.2025	
7	Підписання розділів. Затвердження дати захисту	10.06.2025	

Студент


Підпис

Керівник проекту (роботи)


Підпис

Андрій КОЗАРЄЗОВ
Ініціали, прізвище

Олег МАКОВКІН
Ініціали, прізвище

У випускній кваліфікації ремонтпридатності та розробки двигунів автомобілів КрАЗ. відновлення зношених елементів азотованого шару та застосування

У першому розділі проаналізовано колінчастих валів КрАЗ, встановлених на двигуні з зміцнених струмами високої частоти в процесі експлуатації, і обгрунтовано необхідність ремонту.

У другому розділі проаналізовано колінчастих валів, зокрема електроконтактної та хімічно-термічної доцільності їх застосування

У третьому розділі проаналізовано зміцненого шару за допомогою індукційне зміцнення шара в процесі фінішної обробки колінчастих валів з урахуванням

Четвертий розділ присвячено протипожежного захисту ремонтній дільниці.

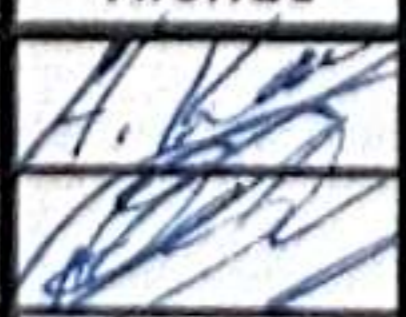

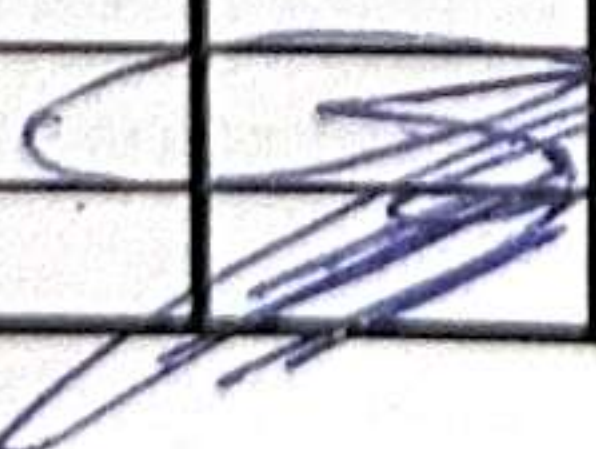

Результати кваліфікації спеціалізуються на ремонті двигунів з використанням інноваційних технологій

Випускна кваліфікація студента використаних джерел та

Ключові слова: зміцнення ТВЧ, електро

ЗМІСТ

	ВСТУП	6
1	АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ЩОДО РЕМОНТУ АЗОТОВАНИХ КОЛІНЧАТИХ ВАЛІВ АВТОМОБІЛІВ КрАЗ	8
1.1	Азотований колінчатий вал двигуна КрАЗ	8
1.2	Колінчастий вал КрАЗ, зміцнений струмами високої частоти	11
1.3	Властивості азотованих колінчастих валів	12
1.4	Аналіз дефектів колінчастих валів КрАЗ	13
1.5	Дослідження ремонтпридатності колінчастих валів двигунів КрАЗ	17
1.6	Конструктивно-технологічні заходи щодо підвищення ремонтпридатності колінчастого вала	19
1.7	Завдання розробки способу ремонту азотованого колінчастого вала двигуна євро-2 КрАЗ	20
2	АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ І СПОСОБІВ РЕМОНТУ КОЛІНЧАТИХ ВАЛІВ ДВИГУНІВ КрАЗ	23
2.1	Шліфування колінчастих валів	23
2.2	Наплавлення	25
2.3	Електрохімічна (електроерозійна) обробка	26
2.4	Електроконтактна обробка	29
2.5	Термічна обробка (закалка твч)	30
2.6	Хіміко-термічна обробка (азотування)	34
3	ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ	36
3.1	Видалення азотованого зміцненого шару колінчастого вала КрАЗу електрохімічним методом	36

КРБАТ 25.21196.000. ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Козарезов		
Перевір.		Маковкін		
Н. Контр.		Бабак		
Затверд.		Лиха		
			Дослідження ремонтпридатності та розробка технології ремонту азотованих колінчастих валів двигунів автомобілів	
		Літ.	Арк.	Акрушів
			4	65
ХНУ АТз-21-1				

3.2	Видалення азотованого зміцненого шару колінчастого вала краз електрохімічним (електроерозійним) методом	37
3.3	Індукційне зміцнення шийок колінчастого вала токами високої частоти	49
3.4	Фінішна обробка колінчастого вала КРЗ	52
3.5	Технологічний проєкт ділянки ремонту колінчастих валів	56
4	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС РЕМОНТУ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ	58
	ВИСНОВОК	61
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	63
	ДОДАТКИ	65

ВСТУП

Загальні витрати на забезпечення працездатності автомобілів протягом усього періоду експлуатації в кілька разів перевищують витрати на їх виготовлення. Водночас суттєва частка експлуатаційних витрат і простоїв під час технічного обслуговування та ремонту припадає на силовий агрегат — до 30%, зокрема на кривошипно-шатунний механізм (КШМ), на який припадає до 25%. Однією з основних причин таких витрат є домінування стратегії усунення відмов замість їх попередження, що в середньому є у 5–7 разів дорожчим. Тому впровадження профілактичного підходу до обслуговування є доцільним з економічної точки зору.

Під час експлуатації автомобілів відбувається поступове погіршення їх технічного стану. Основними причинами цього є зношування, втомне руйнування, пластична деформація та корозія. Зокрема, пластична деформація та втомне руйнування можуть бути наслідком як конструктивно-технологічних недоліків, так і порушення умов експлуатації. Такі явища, зокрема, спричиняють появу задирів на шийках колінчастого вала внаслідок провертання вкладишів, а також можуть призводити до руйнування самого вала — це є однією з ключових причин ремонту двигунів КрАЗ екологічного класу Євро-2.

Надійність роботи колінчастого вала значною мірою визначається товщиною мастильної плівки у зоні контакту шийка-вкладиш, температурними перепадами, наявністю абразивних частинок та ефективністю роботи системи мащення. Хоча проблемі провертання шатунних і корінних вкладишів присвячено велику кількість наукових праць, питання запобігання задиру шийок, підвищення ремонтпридатності колінчастого вала, зниження експлуатаційних витрат та усунення причин провертання вкладишів залишається недостатньо вирішеним.

Вихід з ладу двигунів КрАЗ у багатьох випадках пов'язаний саме з провертанням вкладишів і необхідністю капітального ремонту або повної

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

заміни колінчастого вала. Незважаючи на те, що автовласники намагаються дотримуватись вимог заводу-виробника щодо технічного обслуговування, застосування моторних оливо та фільтрації повітря, а виробники вдосконалили конструкцію двигунів — зокрема, поліпшили систему фільтрації оливи — ці заходи не усунули повністю проблему передчасного зносу колінчастого вала.

У багатьох наукових дослідженнях підтверджено зв'язок між відмовами підшипників колінчастого вала та зносом його шийок і вкладишів. Окремі праці спрямовані на аналіз методів зниження витрат на утримання автомобілів у справному стані.

Мета дослідження:

Розробка ефективного способу ремонту колінчастого вала, що дозволить знизити витрати на ремонт двигунів автомобілів КрАЗ.

Об'єкт дослідження:

Азотований колінчастий вал двигунів КрАЗ Євро-2, елементи кривошипно-шатунного механізму та система мащення.

Предмет дослідження:

Неможливість повторного використання колінчастого вала після шліфування шийок на глибину понад 0,25 мм через втрату зміцненого шару.

Наукова новизна:

Уперше розроблено оригінальну методику ремонту, яка дозволяє ефективно відновлювати азотовані колінчасті вали двигунів КрАЗ Євро-2 шляхом комбінації електрохімічного видалення твердого шару та наступного зміцнення ТВЧ-закалкою.

Практична цінність:

Запропонована методика відновлення має практичну значущість для виробників, авторизованих сервісних центрів та ремонтних підприємств, оскільки дозволяє:

- підвищити експлуатаційну надійність двигунів;
- суттєво зменшити витрати на капітальний ремонт автомобілів.

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Для балансування сил інерції першого порядку та зменшення вібрацій вал обладнаний шістьма противагами, відштампованими разом із щоками. Додатковий знімний противагу (1) напресований на вал, а його розташування фіксується шпонкою (4).

На хвостовику колінчастого вала виконана шейка для центрування шестерні розподільного вала й маховика. Задній торець містить десять різьбових отворів M16×1,5–6H для кріплення маховика та шестерні, а передній — вісім отворів M12×1,25–6H для монтажу гасника крутильних коливань.

Номінальні розміри шийок вала:

- Корінні — 95,00–0,015 мм;
- Шатунні — 80,00–0,013 мм.

Для забезпечення ремонтпридатності двигуна передбачено вісім ремонтних розмірів вкладишів. У таблицях 1.1.1 та 1.1.2 наведені ремонтні номінали для корінних та шатунних підшипників відповідно.

Таблиця 1.1.1 — Ремонтні вкладиші корінних підшипників колінчастого вала

ПОЗНАЧЕННЯ ВКЛАДИША	Ø КОРІННОЇ ШИЙКИ, ММ	Ø ОТВОРУ В БЛОЦІ ЦИЛІНДРІВ, ММ
7405.1005170 P0	94,95	100,0
7405.1005170 P1	94,50	100,0
7405.1005170 P2	94,00	100,0
7405.1005170 P3	95,00	100,5
7405.1005170 P4	94,50	100,5
7405.1005170 P5	94,00	100,5
7405.1005170 P6	93,50	100,0
7405.1005170 P7	93,00	100,0

Таблиця 1.1.2 — Ремонтні вкладиші шатунних підшипників

ПОЗНАЧЕННЯ ВКЛАДИША	Ø ШАТУННОЇ ШИЙКИ, ММ	Ø ОТВОРУ В ГОЛОВЦІ ШАТУНА, ММ
7405.1004058 P0	79,95	85,0
7405.1004058 P1	79,50	85,0
7405.1004058 P2	79,00	85,0
7405.1004058 P3	80,00	85,5
7405.1004058 P4	79,50	85,5
7405.1004058 P5	79,00	85,5
7405.1004058 P6	78,50	85,0
7405.1004058 P7	78,00	85,0

При відновленні колінчастого вала допуски за діаметрами повинні відповідати номінальним або бути в межах ремонтних норм. На зворотному боці вкладиша обов'язково наноситься клеймо відповідного ремонтного розміру.

Вкладиші ремонтного розміру типу P0 застосовуються при ремонті без шліфування шийок колінчастого вала, при цьому дозволене полірування.

Маркування колінчастого вала, вигравіруване на третьому противазі, повинне відповідати 740.50–1005020.

Увага: якщо шліфування азотованого або карбонітрованого колінчастого вала проводиться до діаметра менше 94 мм для корінних або менше 79 мм для шатунних шийок, обов'язково необхідне повторне упрочнення за спеціальною технологією.

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1.2 КОЛІНЧАСТИЙ ВАЛ КРАЗ, ЗМІЦНЕНИЙ СТРУМАМИ ВИСОКОЇ ЧАСТОТИ

У двигунах екологічного стандарту Євро-3 застосовується той самий колінчастий вал з маркуванням 740.50-1005020, однак починаючи з 2008 року для двигунів потужністю до 320 к.с. включно допускається використання колінчастих валів, зміцнених струмами високої частоти, з відповідним маркуванням 740.50-1005020-10.

Через підвищені питомі навантаження, що діють на підшипники в двигунах нового покоління, вкладиші двигунів Євро-3 мають конструктивні відмінності порівняно з попередніми версіями (див. табл. 1.2.1, 1.2.2), спрямовані на підвищення їхньої надійності. Відповідно, змінено їхнє маркування: 740.60-1004058 (шатунні), 740.60-1005170 та 740.60-1005171 (корінні).

Під час ремонту колінчастого вала допускається шліфування корінних і шатунних шийок із зменшенням їх діаметру на 0,25 мм із подальшим застосуванням відповідних ремонтних типорозмірів вкладишів.

Таблиця 1.2.1 – Ремонтні вкладиші корінних підшипників колінчастого вала

МАРКУВАННЯ	Ø КОРІННОЇ ШИЙКИ, ММ	Ø ОТВОРУ В БЛОЦІ ЦИЛІНДРІВ, ММ
740.60-1005170 P01 / P02 / P03	94,75 / 95,5 / 94,25	100
740.60-1005170 P10 / P11 / P12 / P13	95 / 94,75 / 95,5 / 94,25	100,5
740.60-1005171 P01 / P02 / P03 / P10 / P11 / P12 / P13	(аналогічно)	(аналогічно)

Таблиця 1.2.2 – Ремонтні вкладиші нижньої головки шатуна

МАРКУВАННЯ	Ø ШАТУННОЇ ШИЙКИ, ММ	Ø ОТВОРУ В КРИВОШИПНІЙ ГОЛОВЦІ ШАТУНА, ММ
740.60-1004058 P01 / P02 / P03	79,75 / 79,5 / 79,25	85
740.60-1004058 P10 / P11 / P12 / P13	80 / 79,75 / 79,5 / 78,25	85,5

1.3 ВЛАСТИВОСТІ АЗОТУВАНИХ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ

Азотовані колінчасті вали КраЗ, виготовлені зі сталі марки 42ХМФА згідно з ТУ 14-1-1296-75, мають твердість на рівні приблизно 800 НV, при вимогах креслення — не менше 600 НV.

Суттєвою перевагою процесу азотування є поверхнєве насичення азотом усієї деталі, а не лише шийок, як це відбувається при індукційному гартуванні. Це підвищує загальну міцність колінчастого вала на вигин.

Однак, дана технологія має низку недоліків:

Процес азотування є тривалим і трудомістким — його тривалість може сягати до 30 годин;

Товщина зміцненого шару зазвичай не перевищує 0,5–0,7 мм;

Обробка деталей із високою твердістю ускладнюється;

Повне насичення поверхні нитридами знижує пластичність матеріалу;

У разі перегріву азотованої поверхні спостерігається її розрив, на відміну від індукційного гартування, при якому відбувається лише термічне розширення.

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

1.4 АНАЛІЗ ДЕФЕКТІВ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ КРАЗ

Аналіз причин виходу з ладу колінчастих валів КРАЗ проведено на основі статистичних даних, отриманих під час капітального ремонту двигунів.

Результати аналізу свідчать про типові види дефектів, їхню повторюваність і поєднання (табл. 1.4.1).

Таблиця 1.4.1 – Розподіл основних дефектів колінчастих валів

НАЙМЕНУВАННЯ ДЕФЕКТУ	ЧАСТКА, %
Задири на шатунних шийках через провертання вкладишів (В)	34,92
Тріщини на шийках	9,41
Прогин осі колінчастого вала понад 0,9 мм (виміряно по третій корінній шийці)	5,05
Задири на корінних шийках через провертання вкладишів (Г)	4,54
Відсутність галтелей на шийках (наслідок неякісного шліфування)	5,76
Втомне руйнування колінчастого вала	0,70

Примітка: Перші чотири дефекти зазвичай зустрічаються одночасно. Колінчасті вали із задирами часто мають тріщини та прогин осі.

На рис. 1.4.1 умовно показано місця розташування дефектів:

А, Б – задири та пошкодження болтових з'єднань на передньому і задньому торцях;

В – знос шатунних шийок;

Г – знос і задири корінних шийок;

Е – задири поверхні під підшипник первинного вала;

І – знос упорних поверхонь напівкілець;

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

При аварійному зношенні — від 0,040 мм до 0,730 мм, у середньому — 0,227 мм.

Основні причини задирів шийок:

Масляне голодування під час роботи підшипників колінчастого вала;

Перевищення допусків на геометрію шийок понад 0,05 мм;

Зниження несної здатності шийок унаслідок невідповідності триботехнічних характеристик матеріалів пари тертя.

Колінчасті вали з втомним руйнуванням становили 1,1%. У більшості випадків руйнування виникало під дією згинального моменту в площині кривошипа.

За статистикою, 92% зруйнованих валів мали супутні дефекти експлуатаційного або виробничого характеру. Найнебезпечнішими визнано комбінації:

Задир + тріщина;

Задир + подріз галтелі.

У чверті випадків руйнування було спричинене прихованими дефектами у зоні стику штампа. У 17% випадків конструкція та якість виготовлення брудозахисної порожнини сприяли погіршенню надійності.

Аналіз результатів стендових випробувань

Стенові випробування на опір втомі показали, що вали мають значний запас міцності, проте їхня витривалість залежить від постачальника сталі.

Найвищі показники моментів витривалості були в колінчастих валів із сталі Челябінського металургійного комбінату.

Випробування валів з ремонтними розмірами шийок не виявили помітного зниження опору втомі, що пояснюється гартуванням галтелей.

Аналізу дефектів двигунів КрАЗ 740 Євро-2

Основні причини виходу з ладу колінчастого вала:

Провертання вкладишів;

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Прихований заводський брак;
 Порушення вимог технічного обслуговування;
 Заміна вкладишів «на око», без перешліфування вала чи розточування блоку циліндрів.

Допустимі розміри колінчастого вала 740.50-1005020:

ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕННЯ
Діаметр корінних шийок	94,985...95,000 мм
Зазор у підшипниках корінних шийок	0,096...0,156 мм
Максимально допустимий зазор	0,22 мм
Діаметр шатунних шийок	79,987...80,000 мм
Зазор у підшипниках шатунних шийок	0,16 мм
Допустимий зазор	0,070...0,117 мм
Осьовий зазор	0,100...0,195 мм
Допустимий осьовий зазор	0,25 мм
Діаметр шийки під передній противагу/шестерню приводу маслососа:	
— номінальний	115,080...115,110 мм
— допустимий	115,080 мм
Діаметр шийки під задню шестерню колінчастого вала:	
— номінальний	105,070...105,096 мм
— допустимий	105,060 мм

1.5 ДОСЛІДЖЕННЯ РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ ДВИГУНІВ КРАЗ

Колінчастий вал, зміцнений іонним азотуванням. Вимірювання мікротвердості проведені;

Колінчастий вал, зміцнений індукційною закалкою. Вимірювання мікротвердості також виконані.

Оцінювання ремонтпридатності колінчастих валів здійснювалося на основі вимірювань мікротвердості HV_{0,3} на поперечних перерізах, перпендикулярних до досліджуваних поверхонь.

У якості технологічного критерію була прийнята мікротвердість 453 HV — це мінімально допустиме значення для шатунних і корінних шийок колінчастих валів, зміцнених індукційною закалкою після ремонту двигунів КрАЗ.

Доцільність вибору цього значення підтверджена результатами випробувань на надійність двигуна КрАЗ тривалістю 1000 годин. Після завершення випробувань вал залишався працездатним, а твердість поверхні шийок становила від 454 до 524 HV.

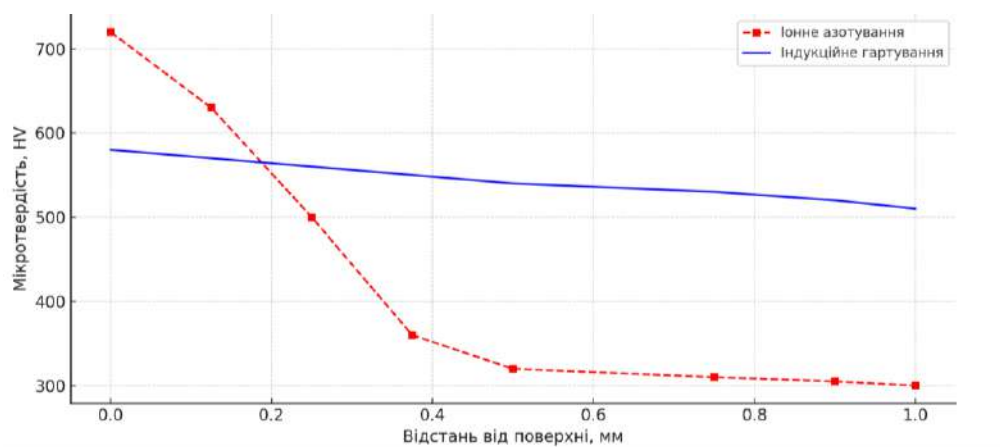


Рисунок 1.5.1 – Розподіл мікротвердості по глибині зміцненого шару колінчастих валів при різних способах зміцнення мікротвердість, HV

1.6 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАХОДИ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛА

«КрАЗ» впровадив низку заходів для підвищення ремонтпридатності колінчастих валів власного виробництва. Впровадження змін стосувалося як системи мастила, так і технологій зміцнення та обробки валів:

ЗАХІД	ЕФЕКТ
Зменшено діаметри маслопідвідних отворів у опорах розподільного вала з 8 до 4 мм	Зменшено втрати мастила на другорядних споживачах; зросла рівномірність тиску по корінних опорах на 20%
Збільшено діаметр отвору у верхньому корінному вкладиші з 5 до 7 мм і ширину канавки — з 5 до 7 мм	Покращено подачу мастила, підвищено витрату мастила через шатунні підшипники на 35–40%
Встановлено масляний насос підвищеної продуктивності (з 85 до 150 л/хв) з удосконаленими клапанами	Підвищено тиск у системі змащення на 10%, створено запас по продуктивності
Покращено систему очищення та охолодження мастила (фільтри та теплообмінники)	Поліпшено тепловий режим двигуна, зросла чистота мастила
Вдосконалено конструкцію колінчастого вала: відмова від центробіжних грязевловлювачів, змінено масляні канали	Підвищена втомна міцність, покращено змащення підшипників
Встановлено відсмоктуючий масляний насос на окремі моделі двигунів	Стабілізована робота системи змащення в умовах крену
Введено односторонню подачу мастила до шатунних підшипників	Підвищено тиск у корінних підшипниках на 0,06–0,17 МПа, знижено критичне тиск розриву

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБАТ 25.21196.000. ПЗ

Арк.

19

1.7.1 РЕМОНТ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛА. ВИДАЛЕННЯ ЗМІЦНЕНОГО ШАРУ

На практиці доведено, що азотований колінчастий вал має високу твердість, що ускладнює застосування традиційних методів ремонту. Зокрема:

Висока твердість погіршує ресурс абразивного круга, який швидко зношується;

У процесі шліфування відбувається втрата форми круга через нерівномірне стирання;

Чим твердіший матеріал — тим швидше притупляються зерна круга, отже, потрібен м'якший круг з менш міцною зв'язкою.

Через це при ремонті азотованого вала необхідно застосовувати інший тип шліфувального круга — більш м'який, хоча і такий, що швидко зношується.

Можливе рішення:

Електрохімічне або електроерозійне шліфування шийок на спеціалізованому верстаті є перспективною технологією, яка дозволяє ефективно знімати азотований шар без втрати геометрії або пошкодження поверхні.

1.7.2 Зміцнення колінчастого вала після шліфування шийок на глибину понад 0,5 мм

Однією з ефективних технологій вирішення проблеми відсутності зміцненого шару після глибокого шліфування є застосування індукційного гартування струмами високої частоти (ТВЧ) в умовах серійного виробництва. Процес ТВЧ-гартування має суттєву перевагу за тривалістю — він займає 7–10 хвилин на один вал, що є значно швидшим порівняно з 30-годинним циклом іонного азотування.

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

В основі цієї методики лежить індукційне поверхнєве гартування ТВЧ, яке проводиться з використанням токарного верстата як приводу обертання та переміщення деталі. У ремонтних умовах як привід обертання також може бути використаний шліфувальний верстат для обробки колінчастих валів.

Висновки до розділу

Колінчасті вали, зміцнені іонним азотуванням, можуть бути відновлені до ремонтного розміру 0,5 мм за умов природного зносу під час експлуатації.

Іонне азотування колінчастих валів КРАЗ має очевидну перевагу — підвищення твердості поверхневого шару, однак ця технологія має два істотні недоліки:

По-перше, виникають складнощі з видаленням зміцненого шару у разі провертання вкладишів або виникнення інших дефектів, що унеможлиблюють подальше використання вала.

По-друге, при ремонті до другого ремонтного розміру зміцнений шар повністю видалається, що знижує експлуатаційні характеристики деталі.

Для усунення зазначених недоліків розглядається можливість застосування електрохімічної та термічної обробки при ремонті колінчастих валів. Різним методам відновлення ресурсу колінчастих валів присвячено розділ 2 дипломного проєкту.

					<i>КРБАТ 25.21196.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

2. АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ І СПОСОБІВ РЕМОНТУ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ ДВИГУНІВ КРАЗ

Перед початком ремонту колінчастого вала необхідно переконатися в його ремонтпридатності, що досягається шляхом дефектації. До основних процедур дефектації належать:

візуальний огляд;

вимірювання геометричних розмірів;

перевірка биття;

виявлення мікротріщин (наприклад, за допомогою капілярного чи магнітопорошкового методу).

Крім того, потрібно встановити, чи залишиться достатній залишковий зміцнений шар після майбутнього шліфування шийок вала. За потреби глибину упрочненого шару визначають на аналогічному дефектному зразку шляхом ступеневого шліфування з періодичним вимірюванням твердості за шкалами Роквелла або Брінелля.

До поширених дефектів, що підлягають відновленню, належать:

знос або провертання шатунних і/або корінних шийок;

знос шийки носка;

знос шийки хвостовика;

тріщини на хвостовику;

деформації торців.

2.1 ШЛІФУВАННЯ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ

Відновлення колінчастого вала при зносі, задирках, провертаннях шийок або деформаціях здійснюється шляхом шліфування до ремонтних розмірів, згідно з таблицями 1.1.1, 1.1.2, 1.2.1 та 1.2.2. Після шліфування виконується полірування, а також обробка галтелей і маслопровідних отворів.

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Примітка: До першого ремонтного розміру (Р1 включно) твердість поверхневого шару зазвичай зберігається без необхідності повторної термічної обробки.

Якщо колінчастий вал має вигини понад допустимі значення, проводиться його виправлення за допомогою чеканки по галтелях. Контроль биття здійснюється індикаторною стійкою, а пристрій для виправлення зазвичай містить ручний гідравлічний домкрат.

Після усунення зазначених дефектів вал направляється на шліфування шийок у ремонтний розмір.

Таблиця 2.1 – Допустиме биття середньої корінної шийки відносно крайніх шийок для шліфування без правки

РЕМОНТНИЙ РОЗМІР	МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМЕ БИТТЯ, ММ
Р0	0,90
Р1	0,65
Р2	0,40
Р3	0,15

Для шліфування зазвичай застосовуються круглошліфувальні верстати, спеціально призначені для обробки колінчастих валів. За потреби на цих верстатах можна здійснювати також шліфування галтелей.

Примітка: При шліфуванні азотованих колінчастих валів з високою твердістю шийок спостерігається інтенсивне зношування шліфувального круга, що слід враховувати при виборі інструменту та режимів обробки.

Після шліфування виконується промивання масляних каналів, а далі — динамічне балансування колінчастого вала. Ця операція здійснюється на спеціальному стенді для балансування.

Послідовність балансування:

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Спочатку балансують сам вал. За потреби усунення дисбалансу проводять свердління у противагах.

Потім балансують вал у зборі з маховиком. За необхідності роблять свердління у маховику (відступивши 25–30 мм від його вінця).

На завершальному етапі проводять балансування вала в зборі з маховиком і корзиною зчеплення. Якщо потрібно — роблять свердління в корзині. Отвори при цьому не повинні бути наскрізними.

2.2 НАПЛАВЛЕННЯ

Одним із поширених дефектів є знос шийки носка та хвостовика колінчастого вала. Найчастіше цей дефект усувається шляхом наплавлення з наступним шліфуванням. Наплавлення також застосовується під час відновлення шийок колінчастого вала. У такому разі після нанесення наплавленого шару поверхню обов'язково зміцнюють.

Наплавлення — це процес нанесення за допомогою зварювання шару металу на поверхню деталі. Такий підхід дозволяє отримати поверхню з іншими властивостями, ніж у основного металу — наприклад, з підвищеною жаростійкістю, жароміцністю, зносостійкістю за нормальних і високих температур, корозійною стійкістю тощо. Наплавлення застосовують як під час виготовлення нових деталей, так і в процесі ремонтно-відновлювальних робіт, що значно подовжує строк експлуатації деталей і забезпечує суттєвий економічний ефект.

Під час ремонту зазвичай використовують той самий метал, з якого виготовлена деталь. Проте це не завжди доцільно — іноді краще застосовувати інший, більш зносостійкий матеріал.

Суть процесу наплавлення: на поверхню деталі, попередньо нагріту до температури оплавлення або забезпечення якісного змочування розплавом, наноситься розплавлений метал. У результаті утворюється металева зв'язка між основним матеріалом і наплавленим шаром. Хімічний склад останнього

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

може істотно відрізнятися від основного матеріалу. Товщина наплавленого шару варіюється від 0,5 до 10 мм і більше.

Основні способи наплавлення:

Ручне дугове зварювання — електродами зі спеціальним покриттям.

Автоматичне наплавлення під флюсом — з використанням суцільних або порошкових електродів.

Наплавлення в середовищі захисних газів — з використанням плавких і неплавких електродів.

Плазмове наплавлення — дуга може бути прямої або непрямої дії; можливе наплавлення попередньо нанесеного порошку.

Інші методи: електрошлакове, електронно-променеве, лазерне, наплавлення газокисневим полум'ям.

Дефект тріщини у хвостовику колінчастого вала часто є наслідком обриву болтів маховика. У цьому випадку також застосовують наплавлення або втулкування.

Втулкування: у зоні тріщини шейка шліфується на глибину 1,5–2 мм, виготовляється кільцева втулка з натягом. Встановлення здійснюється гарячим методом — втулку нагрівають, а хвостовик охолоджують. Після монтажу виконується остаточне шліфування до номінального розміру 104,860–105,000 мм.

2.3 ЕЛЕКТРОХІМІЧНА (ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНА) ОБРОБКА

Електроерозійна обробка базується на вириванні частинок матеріалу з поверхні за допомогою імпульсів електричного розряду. При зближенні електродів у діелектричному середовищі відбувається пробій діелектрика та виникає електричний розряд, у якому формується плазма з високою температурою.

Оскільки тривалість імпульсу не перевищує 0,1 с, теплота не встигає проникнути вглиб матеріалу. Невелика енергія імпульсу здатна розплавити й

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

навіть випарувати матеріал. Плазма створює ударний тиск, що сприяє викиду не лише розплавленої, але й нагрітої речовини.

Процес дозволяє передати форму інструментального електрода (профілю) на оброблювану поверхню.

Параметри, що впливають на якість обробки:

тривалість імпульсу;

частота слідування імпульсів;

енергія імпульсу.

Переваги методу:

ефективна обробка твердих матеріалів і складних форм;

низький знос інструменту (у вигляді дроту);

значне зниження вартості виготовлення деталей (у деяких випадках витрати на інструмент зменшуються з 50% до 3,5%).

Вимоги до робочих рідин для електроерозійної обробки:

забезпечення високої ефективності процесу;

термічна стабільність;

низька корозійна активність;

висока температура спалаху, низька леткість;

добра фільтрувальність;

відсутність запаху й токсичності.

Застосовувані робочі рідини:

низькомолекулярні вуглеводні різної в'язкості;

вода (обмежено);

кремнійорганічні рідини;

водні розчини двоатомних спиртів.

Робочі рідини (РР)

У процесі електроерозійної обробки (ЕЕО) використовують робочі рідини з відповідною в'язкістю — на чорнових операціях перевагу надають

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

суміші гасу та індустріальної оливи, а на чистових — гасу або вуглеводневим сировинам.

Електроди-інструменти (ЕІ)

Інструментальні електроди повинні:

забезпечувати стабільну роботу у всьому діапазоні режимів ЕЕО;

мати високу жорсткість і стійкість до механічних деформацій (наприклад, при тиску прокачування РР);

протистояти термічним деформаціям;

мати поверхню без вм'ятин, тріщин, подряпин і розшарувань;

відповідати вимогам до шереховатості поверхні.

Матеріали для електродів

Для обробки вуглецевих, інструментальних сталей і жароміцних нікелевих сплавів використовують графітові або мідні електроди.

Для чорнової обробки — електроди з алюмінієвих сплавів і чавуну.

Для свердління отворів — латунні електроди.

Для твердосплавних або тугоплавких матеріалів (вольфрам, молібден тощо) використовують електроди з композиційних матеріалів, бо:

графіт не забезпечує стабільного процесу;

мідь має високий знос і значну вартість.

Фактори зношування електродів

матеріал електрода;

параметри імпульсів;

властивості робочої рідини;

площа оброблюваної поверхні;

наявність вібрацій.

Критерії вибору матеріалу та конструкції ЕІ

матеріал заготовки;

площа та складність оброблюваної поверхні;

вимоги до точності;

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

тип виробництва (індивідуальне, серійне).

Електроерозійні верстати

Класифікація за призначенням:

універсальні;

спеціалізовані;

спеціальні.

За точністю:

загального призначення;

підвищеної точності;

прецизійні.

Основні вузли:

система кріплення та переміщення інструмента або заготовки;

гідросистема (ванна з робочою рідиною, насос, фільтри);

система автоматичного регулювання міжелектродного проміжку;

окремо встановлений генератор іскрових імпульсів.

2.4 ЕЛЕКТРОКОНТАКТНА ОБРОБКА

Суть методу

Метод заснований на локальному нагріванні заготовки в зоні контакту з електродом, після чого розм'якшений або розплавлений метал видаляється механічним шляхом за рахунок відносного переміщення електрода та деталі. Джерело тепла — імпульсні дугові розряди.

Застосування

обробка великих деталей з вуглецевих, легованих сталей, чавуну, кольорових, тугоплавких сплавів;

зачистка виливків, обрізання литникових систем, видалення прибутків;

чорнове шліфування зовнішніх, внутрішніх, плоских поверхонь;

шліфування з одночасним поверхневим гартуванням деталей;

обробка заготовок із труднооброблюваних сплавів.

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Переваги

висока продуктивність (до 10^6 мм³/хв);
простота інструменту;
низьке робоче напруження;
низький тиск (30–50 кг/м² або 0,3–0,5 кгс/см²);
можливість використання м'яких матеріалів для інструмента.

Недоліки

низька точність;
велика шорсткість поверхні (до 50 мкм);
значний тепловий вплив на метал.

Електроабразивна обробка (різновид методу)

Використовується абразивний інструмент, зокрема алмазно-абразивний, на основі провідникових матеріалів. Введення електроенергії в зону обробки значно знижує знос інструмента.

Ось професійно перекладений та вдосконалений українською мовою фрагмент тексту про термічну обробку методом ТВЧ (токів високої частоти), з очищенням від зайвого повтору та з дотриманням технічного стилю:

2.5 ТЕРМІЧНА ОБРОБКА (ЗАКАЛКА ТВЧ)

Закалка ТВЧ (індукційна закалка) — це вид термічної обробки, за якого сталь нагрівають до визначеної температури, витримують при цій температурі, а потім швидко охолоджують у середовищі гартування (вода, масло, соляні або полімерні розчини).

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

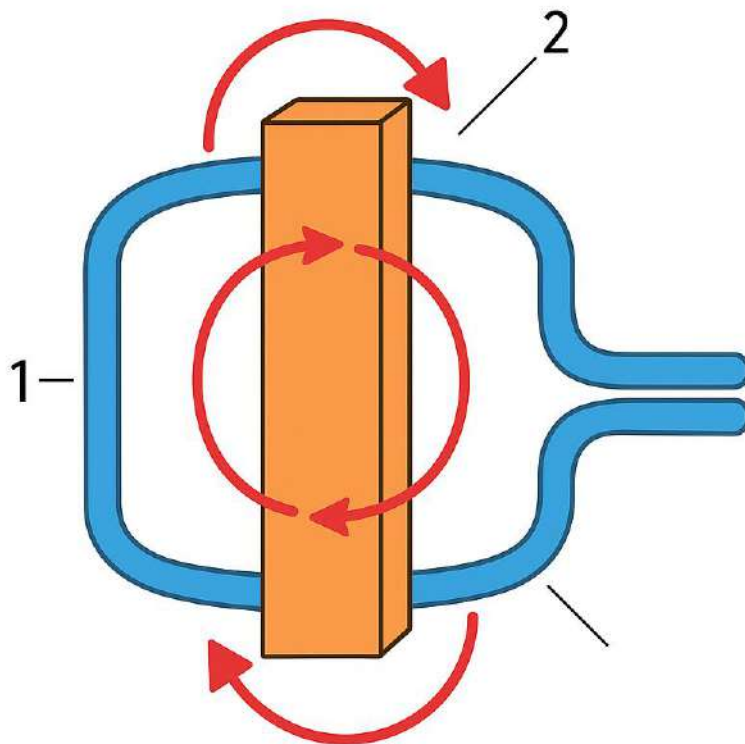


Рисунок. 1.2.1 — Схема індукційного нагріву:

1 — оброблювана деталь, 2 — індуктор.

У результаті гартування змінюється мікроструктура та властивості сталі: підвищується твердість, зносостійкість, міцність, зменшується схильність до деформацій і втомного руйнування.

Основні параметри закалки:

Температура нагріву — визначається згідно з діаграмами оптимальних температур гартування для вуглецевих сталей.

Частота струму — впливає на глибину проникнення струму в метал.

Швидкість охолодження — залежить від типу охолоджувального середовища (вода, масло тощо).

Швидкість нагріву — визначається потужністю індуктора, хімічним складом сталі, масою та геометрією деталі.

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Час нагріву — складається з часу досягнення заданої температури та часу витримки.

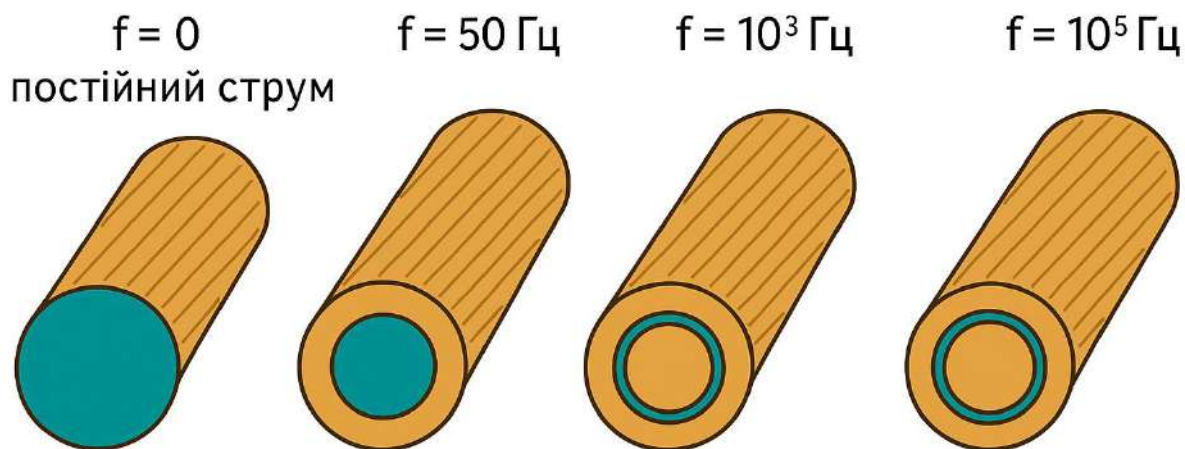


Рисунок. 1.2.2 — Зміна глибини проникнення струму в провідник залежно від частоти струму.

Із підвищенням частоти струму зменшується глибина проникнення струму, тому високочастотне гартування дозволяє обробляти лише поверхневий шар деталі без впливу на серцевину. Це забезпечує високу поверхневу твердість при збереженні в'язкої серцевини.

Переваги ТВЧ-гартування:

локалізована обробка (не нагрівається вся деталь);

мінімальні теплові деформації;

можливість автоматизації процесу;

висока продуктивність;

покращення зносостійкості при збереженні в'язкості серцевини.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБАТ 25.21196.000. ПЗ

Арк.

32

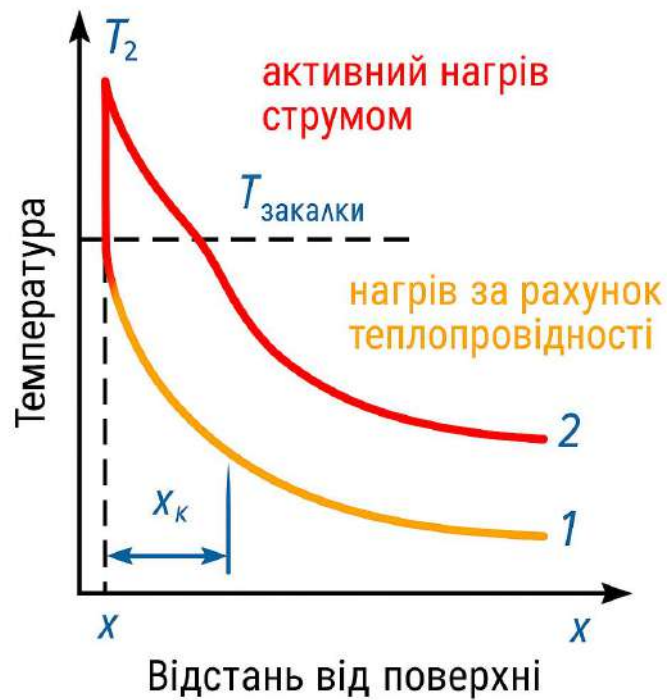


Рисунок. 1.2.3 — Розподіл температури по перерізу деталі:

- активний нагрів струмом,
- нагрів через теплопровідність,
- x_k — товщина загартованого шару.

Гнучкість і ефективність ТВЧ-закалки

Індукційна закалка відзначається гнучкістю налаштування параметрів і можливістю індивідуального підходу до кожної деталі, що дозволяє точно отримувати задану твердість і глибину загартованого шару.

Переваги та економічна ефективність ТВЧ-закалки

Забезпечує високу якість поверхневого зміцнення;

Дає стабільні результати у порівнянні з іншими методами:

висока зносостійкість;

підвищена стійкість до втоми;

мінімальні деформації;

практично відсутнє окислення й обезвуглецювання;

Завдяки локальному нагріву зменшуються витрати енергії.

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Ключова перевага індукційного нагріву — виділення тепла безпосередньо в металі. При струмах високої частоти досягається висока щільність електричної енергії у малому об'ємі металу, що забезпечує швидкий і локалізований нагрів.

Такий метод дозволяє виготовляти зносостійкі деталі навіть із дешевих вуглецевих сталей, значно покращуючи їхні міцнісні властивості.

2.6 ХІМІКО-ТЕРМІЧНА ОБРОБКА (АЗОТУВАННЯ)

Азотування — це процес насичення поверхні металевих деталей атомарним азотом з метою підвищення:

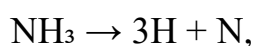
твердості,
зносостійкості,
межі втоми,
корозійної стійкості.

Умови процесу:

Температура: 500–650 °С;

Середовище: аміак (NH₃);

При $t > 400$ °С аміак дисоціює за реакцією:



де атомарний азот проникає у структуру сталі, утворюючи азотисті фази.

Структура азотованого шару (до 591 °С):

ε-фаза (Fe₂N);

γ'-фаза (Fe₄N);

α-ферит, що містить до 0,01% азоту при кімнатній температурі.

При азотуванні при 600–650 °С може утворюватися також γ-фаза, яка при повільному охолодженні розпадається при 591 °С на евтектоїд α + γ₁.

Характеристики та ефективність:

Твердість шару: до HV = 1200 (≈ 12 ГПа);

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Зберігає твердість до температури 500–600 °С;

Переважає цементовані й загартовані сталі за зносостійкістю;

Швидкість азотування низька:

для шару 0,2–0,4 мм потрібно 20–50 годин.

Примітка: Підвищення температури прискорює процес, але зменшує твердість.

Захист поверхонь, які не підлягають азотуванню:

луження — для конструкційних сталей;

нікелювання — для жароміцних та нержавіючих сталей.

Для зменшення крихкості шару у випадку жароміцних сталей, азотування іноді проводиться в суміші аміаку з азотом.

Ось перекладений і лінгвістично вдосконалений варіант висновків до розділу українською мовою, з дотриманням науково-технічного стилю:

Висновки до розділу

Таким чином, задачу видалення зміцненого азотованого шару можна ефективно вирішити шляхом впровадження електрохімічного методу обробки.

Оскільки під час такої обробки відсутній прямий контакт інструментального електрода з поверхнею деталі, знос інструмента мінімальний. До того ж, вартість витратних матеріалів значно нижча, ніж у разі використання абразивного круга при шліфуванні колінчастого вала.

Проблему відсутності зміцненого шару після видалення азотованої зони на глибину 0,5 мм і більше можна усунути шляхом застосування індукційного гартування. Висока швидкість процесу та відносна економічність методу забезпечують відчутний економічний ефект від його впровадження.

					<i>КРБАТ 25.21196.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

3. ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

3.1 ВИДАЛЕННЯ АЗОТОВАНОГО ЗМІЦНЕНОГО ШАРУ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛА КРАЗУ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИМ МЕТОДОМ

Спосіб 1.

Відомий спосіб електроіскрового шліфування тіл обертання, за якого електроду-заготовці задають обертання, до нього підводять на певну відстань електрод-інструмент, між електродами подають струмінь мінеральної оливи, а до електродів подають імпульси технологічного струму (амплітудні значення напруги підтримуються на рівні від 20 до 200 В, струму від 10 до 50 А при частоті імпульсів до 100 кГц). При цьому до інструменту підключають мінусовий вивід генератора імпульсів.

Даному способу електроіскрового шліфування тіл обертання притаманні наступні недоліки:

потребує підтримки певного зазору між електродами;

невисокий ККД способу, тому що процес шліфування припиняється при короткому замиканні електродів та при збільшенні зазору між електродами понад пробивну величину.

Вирішення цієї технічної задачі може досягатися тим, що між електродом-заготовкою та електродом-інструментом створюється питомий тиск до 0,5 МПа; в процесі шліфування використовується сила струму від 1 мкА до 100 мА, що дозволяє зменшити розміри часток ерозії, а отже, поліпшити якість шліфованої поверхні; використання високої напруги (від 1 до 50 кВ) дозволяє забезпечити ерозію металу як при наявності короткого замикання, так і без нього.

					<i>КРБАТ 25.21196.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

3.2 ВИДАЛЕННЯ АЗОТОВАНОГО ЗМІЦНЕНОГО ШАРУ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛА КРАЗ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИМ (ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНИМ) МЕТОДОМ

Актуальність задачі

У процесі експлуатації двигунів КРАЗ, особливо моделей Євро-2, колінчасті вали зазнають інтенсивного зношування, при цьому їх поверхні, попередньо оброблені методом іонного азотування, набувають значної твердості (HV до 1200). У разі пошкодження або потреби у ремонті з подальшим наплавленням, ці тверді зміцнені шари необхідно акуратно та ефективно видалити, не пошкодивши при цьому основний матеріал вала та не спричинивши деформацій.

Недоліки традиційного механічного шліфування

Застосування абразивного шліфування для видалення азотованого шару має ряд суттєвих недоліків:

Високе зношування інструменту (шліфувального круга);

Значне тепловантаження в зоні різання;

Імовірність утворення мікротріщин і зняття надлишкового шару матеріалу;

Висока вартість витратних матеріалів;

Відносно низька керованість процесу при роботі з локальними дефектами.

Запропоноване рішення — електроерозійне шліфування

Для вирішення поставленої задачі доцільно використати електроерозійний метод шліфування тіл обертання, що належить до групи електричних розмірних обробок. Цей метод дозволяє точно видаляти поверхневі зміцнені шари без механічного контакту.

Метод базується на утворенні локальних електричних розрядів між обертовою заготовкою (колінчастим валом) та електродом-інструментом, що

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

створює серію мікробибухів, у результаті яких частинки матеріалу відриваються від поверхні.

Принцип дії та структура пристрою

На рисунку 3.1.1 наведена принципова електротехнологічна схема реалізації процесу.

Склад пристрою:

Джерело постійного струму – забезпечує базову енергію системи.

Генератор імпульсів – формує високочастотні імпульси (до 100 кГц).

Автотрансформатор – змінює амплітуду напруги до 1–50 кВ.

Система подачі масла – змащування та охолодження зони обробки.

Електрод-інструмент – стрижень або пластина з електропровідного матеріалу.

Електрод-заготовка (колінчастий вал) – приєднаний до позитивного полюса.

Технологічний процес

Заготовку (вал) встановлюють у пристрій і приводять у рівномірне обертання;

Електрод-інструмент підводять до поверхні на зазор 0,05–0,5 мм, утворюючи робочу пару;

Через масляну систему подається діелектрична рідина (мінеральне масло), що служить для охолодження та видалення продуктів ерозії;

До системи підключається імпульсна напруга 1–50 кВ, струм — від 1 мкА до 100 мА;

У зоні міжелектродного проміжку відбуваються електричні пробої, в результаті яких матеріал азотованого шару випаровується або видаляється у вигляді мікрочастинок;

В результаті формується чиста, контрольована поверхня з високою точністю.

Переваги способу

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Безконтактність – зменшення механічного зносу інструменту;
Висока точність – контроль глибини та площі обробки;
Низька собівартість – витрати на обслуговування й витратні матеріали мінімальні;

Енергетична ефективність – видалення тільки поверхневого шару без нагрівання всієї деталі;

Сумісність із автоматизацією – метод легко впровадити у роботизовані лінії;

Можливість локального оброблення – застосовується на окремих ділянках вала.

Обмеження та умови застосування

Необхідність точного регулювання зазору між електродами;

Потреба у стабільному джерелі імпульсного струму;

Вимоги до чистоти робочої рідини (фільтрація продуктів ерозії);

Залежність якості від точності настройки частоти та амплітуди імпульсів.

Висновок: Застосування електроерозійного методу шліфування для видалення азотованого шару на колінчастих валах КРАЗ дозволяє суттєво знизити витрати, підвищити точність та надійність обробки, а також усунути недоліки традиційного механічного шліфування. Це відкриває шлях до відновлення дорогих вузлів без заміни і підвищення ефективності ремонтного виробництва.

Шліфування електроерозійним методом та електрохімічна обробка шийок колінчастого вала

Приклад 1 — електроерозійне шліфування заготовки з азотованим шаром

У процесі експериментального відпрацювання режимів електроерозійного шліфування була використана циліндрична заготовка зі

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

сталі 45, оброблювана електродом-інструментом з бронзи БрОЦС-4-4-4.

Обробку здійснювали за таких параметрів:

Частота імпульсів напруги: 100 кГц;

Амплітудне значення напруги: 10 кВт;

Тривалість обробки: 0,1 години (6 хвилин);

Зняття шару: 0,2 мм;

Шорсткість після обробки: 0,1 мкм (вихідна — 0,63 мкм);

Робоча рідина: мінеральне масло М8Г2К;

Питомий тиск у зоні контакту: до 0,5 МПа.

Такий підхід демонструє високу точність обробки та якість поверхні при збереженні геометричної стабільності деталі без перегріву й термічних деформацій.

Приклад 2 — електрохімічна обробка шийок колінчастого вала

Конструкція спеціалізованого пристрою для електрохімічного оброблення шийок колінчастого вала дозволяє ефективно видаляти азотований шар з оброблюваних поверхонь.

На відміну від раніше відомих конструкцій, наприклад, пристроїв на основі гнучких пластин або локальних електролітних камер (АС СРСР №753931, №1618536), нова модель вирізняється:

Підвищеною точністю завдяки стабільному міжелектродному зазору;

Можливістю одночасної обробки кількох шийок;

Компактністю конструкції, що дозволяє розміщувати її між противагами вала;

Автоматизованим керуванням процесом.

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Основні технічні характеристики установки:

ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕННЯ
Час чистової обробки одного колінвала	5–15 хв
Кількість валів, що обробляються за зміну	до 8
Одночасна обробка	шатунні й корінні шийки
Споживана потужність	2 кВт·год
Необхідна площа для встановлення	0 м ² (настільне розміщення)
Робоча напруга на електродах	3–16 В
Частота пульсацій	100 Гц
Кількість каналів	20
Максимальна сила струму на канал	10 А
Робочий зазор	0,1–0,5 мм
Інтенсивність знімання металу	до 0,5 мм/хв
Концентрація електроліту (водний розчин NaCl)	10–30 %
Діаметр оброблюваних шийок	15–120 мм
Точність обробки	до 0,001 мм
Частота обертання деталі	10–20 об/хв
Витрата електроліту	10–15 л/хв
Ширина обробки	до 120 мм
Спосіб регулювання	безперервний
Тип струму	пульсуючий
Сигналізація завершення	світлова
Завершення обробки	автоматичне, за сигналом від датчика
Вимкнення напруги	автоматичне

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБАТ 25.21196.000. ПЗ

Арк.

41

Переваги електрохімічної обробки:

Висока швидкість видалення зміцненого шару без механічного впливу;

Мінімальна шорсткість та точність позиціонування;

Можливість механізації й автоматизації у виробничих умовах;

Безконтактне оброблення без виникнення втомних напружень;

Низьке енергоспоживання при високій якості обробки.

Висновок: Електроерозійні та електрохімічні методи демонструють високу ефективність у видаленні азотованого шару з колінчастих валів, особливо при ремонті й повторному зміцненні. Вони дозволяють суттєво знизити витрати, підвищити ресурс деталі та забезпечити високу якість обробки без застосування трудомістких механічних технологій.

Ось повністю перероблений, розширений і лінгвістично вдосконалений технічний текст українською мовою, з чіткою структурою, збереженням сенсу та посиленням наукового стилю — чудово підійде для використання в розділі практичних рекомендацій або в описі патентованої конструкції:

3.1.2 Удосконалення пристрою для електрохімічної обробки шатунних і корінних шийок колінчастого вала

Незважаючи на наявні переваги, пристрої для електрохімічної обробки, описані в попередніх джерелах, зокрема у винаходах СРСР (АС №753931, №1618536), мають суттєві конструктивні обмеження. До них належать:

обмежена точність обробки;

складність монтажу у вузьких зонах між противагами колінчастого вала;

низька продуктивність через неможливість одночасної обробки кількох шийок;

необхідність застосування складних систем компенсації міжелектродного зазору.

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Мета вдосконалення

Метою розробки модернізованого пристрою є розширення технологічних можливостей за рахунок інтенсифікації процесу обробки та забезпечення стабільного міжелектродного зазору. Основна ідея полягає у введенні обертального руху електрода-інструмента навколо шийки вала та конструктивному вдосконаленні камери обробки.

Конструктивне рішення

Пристрій складається з рознімної за довжиною циліндричної камери, яка монтується коаксіально до оброблюваної шийки колінчастого вала. Всередині камери встановлено електрод-інструмент з підведенням струму, який виконаний у вигляді порожнистого обертового циліндра.

На внутрішній стінці камери, зверненій до вала, виконано систему кільцевих канавок, розташованих рівномірно по довжині. У канавках знаходяться тангенціальні отвори для подачі електроліту в робочу зону. Вони організовані так, що отвори в суміжних канавках зміщені на певний крок, що дозволяє зменшити пульсацію тиску та забезпечити рівномірний розподіл електроліту по всій зоні обробки.

Електрод-інструмент

Електрод-інструмент має складну сегментовану структуру, що нагадує конструкцію типу «білече колесо». Він складається з:

двох кільцевих фланців, з'єднаних низкою радіальних осей;

сегментів, що з'єднуються пружними елементами, забезпечуючи гнучке охоплення шийки;

робочих кромek у вигляді гнучких несучих пластин, на яких закріплено токопровідні вставки (наприклад, з вуглеволокна), що контактують з поверхнею вала;

обмежувачів зазору, які підтримують постійний міжелектродний зазор по всьому контуру;

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

токопідводів, рівномірно розташованих по периметру та закріплених на осях, що забезпечують надійний контакт під час обертання.

Зовнішні й торцеві поверхні фланців покриті діелектричним шаром, що запобігає коротким замиканням і локальному пробую.

Монтажна частина

Пристрій включає монтажну платформу, яка фіксується через діелектричну прокладку до шатунної шийки вала за допомогою шпильок, що вгвинчуються у глухі заглушки з різьбовими отворами, вбудовані в масляні канали колінвала. Така система монтажу:

дозволяє швидко й точно встановити пристрій у зоні обробки;
забезпечує жорстке базування камери відносно шийки;
створює конструктивну основу для фіксації кожуха ванни для зливу електроліту.

Камера обробки

Камера виконана рознімною з поздовжнім з'єднанням. Це дає змогу легко монтувати пристрій без зняття вала з вузла. Внутрішня частина камери покрита діелектричним шаром, прорізанім кільцевими канавками, які забезпечують рівномірне обтікання електролітом поверхні шийки.

Коаксіальність камери щодо осі оброблюваної шийки забезпечується завдяки базуванню на сусідніх корінних шийках, що дозволяє точно дотримуватись міжелектродного зазору по всій довжині оброблюваної ділянки.

Технічні переваги вдосконаленої конструкції:

Можливість одночасної обробки кількох шийок без зміни положення вала;

Підвищена рівномірність подачі електроліту завдяки зміщеним отворами;

Зменшення пульсації тиску у міжелектродному зазорі;

Поліпшення якості обробки за рахунок обертання електрода;

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Зменшення зношування елементів інструмента завдяки рівномірному розподілу навантаження;

Простота розбирання та обслуговування;

Універсальність конструкції для валів діаметром від 15 до 120 мм.

Висновок: Удосконалений пристрій для електрохімічної обробки шийок колінчастого вала дозволяє суттєво розширити функціональні можливості стандартних систем, забезпечуючи високу точність, надійність та інтенсивність знімання зміцненого шару при збереженні геометрії та структури деталі. Застосування гнучких електродів, сегментованих конструкцій і коаксіального монтажу значно спрощує використання пристрою в умовах складного просторового розміщення противаг.

Принцип дії вдосконаленого пристрою для електрохімічної обробки шатунних і корінних шийок колінчастого вала

Ключова конструктивна особливість – рівномірність контакту

Токопідводи, розташовані на зовнішній поверхні електрода-інструмента, рівномірно розподілені по периметру згідно з кількістю кільцевих канавок у камері. Їх ряди зміщені один відносно одного на визначений крок, кратний розташуванню осей, що дозволяє забезпечити рівномірний контакт і однаковий міжелектродний зазор по всій довжині оброблюваної шийки.

У початковому стані пружини, які з'єднують сегменти корпусу електрода-інструмента, перебувають у розтягнутому положенні. При цьому вони забезпечують підтиснення токопідводів до внутрішньої стінки камери, створюючи надійний електричний контакт та механічну стабільність обертального електрода.

Робочі елементи і контакт з поверхнею вала

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

На внутрішній стороні корпусу електрода-інструмента, зверненій до оброблюваної поверхні шийки, розміщені робочі формоутворювальні кромки, які виконані у вигляді гнучких несучих пластин. Вони закріплені до осей корпусу і прилягають до шейки вала по всій її довжині. Для підтримання стабільного міжелектродного зазору робочі кромки обладнані обмежувачами, виготовленими з діелектричного матеріалу.

Додатково, на гнучку пластину нанесено токопровідні стрічки з провідної тканини (наприклад, на основі вуглеволокна), які лежать на жорсткому, пружному ворсі з непровідного волокна. Це дозволяє:

- покращити контакт по більшій площі;
- мінімізувати ризик коротких замикань;
- забезпечити ефективне анодне розчинення металу.

Монтаж пристрою на колінчастому валі

Для встановлення пристрою:

Колінчастий вал після ремонту (наприклад, наплавлення) встановлюється горизонтально.

В сусідніх противагах вивертаються стандартні різьбові пробки системи змащення та замінюються ізоляційними заглушками зі шпильками.

До цих шпильок кріпиться монтажна плата, яка визначає положення пристрою.

Перед початком обробки всі отвори мастильних каналів, що виходять на шийки, герметизуються, щоб уникнути витоку електроліту.

Підготовка пристрою до роботи

Пристрій розбирається по поздовжньому стику:

- знімається нижня частина кожуха ванни скиду електроліту;
- від'єднується нижня половина кільцевого колектора подачі електроліту;
- камера обробки розділяється на дві частини;

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

корпус електрода-інструмента розбирається, сегменти монтуються навколо шийки вала.

Монтажна плата вивіряється відносно сусідніх корінних шийок: застосовуються установочні шайби, регулювання проводиться індикатором годинникового типу.

Після цього всі компоненти збираються в зворотній послідовності: об'єднуються половини камери; монтується колектор подачі електроліту; встановлюється кожух скиду рідини; під'єднуються трубопроводи подачі та відведення електроліту.

Процес роботи пристрою

Електроліт під тиском подається через штуцер монтажної плати у кільцевий колектор, далі через тангенціальні отвори рівномірно надходить у робочу камеру.

Турбулентний рух електроліту створює стабільні умови обробки, притискаючи токопровідну тканину до робочої поверхні.

Надлишковий електроліт через торцеві зазори зливається у кожух ванни.

Привід обертання і принцип анодного знімання

Енергія руху електроліту передається упругим токопідводам, які одночасно виконують функцію гідротурбінних лопатей, обертаючи корпус електрода.

Обертання покращує процес обробки завдяки:

постійному оновленню електроліту в зоні анодного розчинення; ефективному відведенню продуктів реакції; зменшенню температурних градієнтів.

По мірі анодного розчинення діаметр шийки зменшується, а міжелектродний зазор зростає.

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Процес завершується автоматично при досягненні потрібного діаметра — вимикаються подача струму та електроліту.

Переваги технічного рішення

Попри деяке конструктивне ускладнення, порівняно з прототипом, запропоноване технічне рішення має низку беззаперечних переваг:

Підвищена точність і однорідність обробки завдяки забезпеченню стабільного міжелектродного зазору;

Інтенсифікація процесу завдяки використанню енергії рідини для обертання електрода;

Можливість обробки в складних просторових умовах (між противагами);

Усунення ризику коротких замикань завдяки застосуванню ворсу з діелектричного матеріалу;

Підвищення якості поверхні — усунення смуг, кратерів, перегріву.

Ось повністю відредагований, розширений і лінгвістично вдосконалений текст українською мовою з дотриманням академічного стилю для підрозділу 3.2 Індукційна закалка токами високої частоти, а також завершені висновки до підрозділу 3.1:

Висновки до підрозділу 3.1

Запропоноване технічне рішення забезпечує ефективне розширення технологічних можливостей електрохімічної обробки завдяки:

можливості застосування у ремонтних умовах, де відсутні верстати для шліфування та суперфінішної обробки шийок колінчастих валів;

зниженню трудомісткості технологічного процесу та підвищенню чистоти поверхні, що досягається шляхом інтенсифікації анодного розчинення завдяки обертальному руху електрода;

підвищенню продуктивності, оскільки забезпечується одночасна обробка кількох шийок вала;

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

покращенню якості обробки за рахунок усунення мікронерівностей, смугастості поверхні та запобігання коротким замиканням.

Таким чином, запропонована конструкція підтверджує свою ефективність, а застосування обертового електрода-інструмента створює умови для надійного, рівномірного та високоточного зняття азотованого шару, що суттєво підвищує ресурс відновленої деталі.

3.3 ІНДУКЦІЙНЕ ЗМІЦНЕННЯ ШЕЙОК КОЛІНЧАСТОГО ВАЛА ТОКАМИ ВИСОКОЇ ЧАСТОТИ

3.3.1 Промислове застосування методу на підприємстві «КРАЗ»

Одним з перевірених і ефективних методів зміцнення шийок колінчастих валів є індукційна поверхнева закалка токами високої частоти (ТВЧ). На підприємстві «КРАЗ» застосовується метод локального ТВЧ-нагріву з наступним охолодженням, що дозволяє сформувати тонкий, але високоміцний зміцнений шар без перегріву серцевини деталі. Таке рішення є особливо ефективним після зняття азотованого шару при ремонті колінчастих валів.

3.3.2 Самостійне виконання процесу індукційної закалки

У випадку, якщо немає спеціалізованої ТВЧ-лінії, процес можна організувати самостійно. Найбільш практичний варіант — використання шліфувального верстата як приводу обертання вала, а встановку ТВЧ застосувати як джерело локального індукційного нагріву.

Успішна реалізація подібної схеми була продемонстрована, яке розробило технологію ТВЧ-зміцнення із використанням токарного або шліфувального верстата як механізму позиціонування, а також компактної установки індукційного нагріву.

					<i>КРБАТ 25.21196.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

3.3.3 Установа ТВЧ: конструкція та можливості

Установа індукційного нагріву (рис. 3.2.1) широко використовується у виробничих умовах для:

поверхневого зміцнення валів, зубчастих коліс;

індукційного паяння, включаючи паяння твёрдосплавних пластин;

локального нагріву заготовок перед штампуванням.

Ключові технічні переваги установки:

Ізоляція індуктора від мережі живлення та заземлення — гарантія безпеки;

Універсальність — підтримує широкий набір індукторів без перемикачів всередині пристрою;

100% тривалість увімкнення — дозволяє працювати без пауз і перегрівів;

Компактність і мобільність — установка легко вбудовується у існуючі термічні або ремонтні ділянки;

Плавне або ступеневе регулювання потужності;

Швидкодія — не потребує попереднього прогріву, як лампові установки;

Максимальна потужність індуктора — до 600 кВА, що забезпечує глибину і рівномірну закалку.

Принцип дії установки

Процес зміцнення відбувається шляхом генерації вихрових струмів на поверхні деталі при проходженні високочастотного змінного струму через індуктор:

Вихрові струми локалізуються в поверхневому шарі — до 2–3 мм;

Температура в зоні нагріву швидко піднімається до 850–950 °С;

Подальше охолодження водою або маслом забезпечує утворення структури мартенситу з високою твердістю.

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Глибину закаленого шару можна регулювати, змінюючи частоту ТВЧ-сигналу:

чим нижча частота, тим глибше проникають струми;

чим вища частота — тим інтенсивніше прогрівається поверхня без впливу на серцевину.

Переваги індукційного зміцнення ТВЧ:

Локалізований нагрів — зміцнюється лише необхідна поверхня;

Швидкість процесу — декілька секунд на одну шийку;

Збереження геометрії деталі та точності розмірів;

Висока зносостійкість та стійкість до втомного руйнування;

Можливість автоматизації й адаптації у вже наявне обладнання;

Низьке енергоспоживання у порівнянні з традиційною термічною обробкою.

Ось повністю оновлений, перефразований та лінгвістично вдосконалений текст для завершення підрозділу 3.2 і повного опису 3.3 Фінішна обробка колінчастого вала КРАЗ, з технічною точністю, структурою та академічним стилем:

Додаткові переваги індукційної закалки ТВЧ

Однією з ключових переваг індукційного нагріву є висока локалізація теплової енергії, яка подається безпосередньо у поверхневі шари деталі. Це забезпечує:

мінімальні втрати тепла в навколишнє середовище;

дуже короткий цикл термічної обробки;

відсутність деформацій завдяки локальності нагріву;

високу продуктивність процесу;

підвищений коефіцієнт корисного використання обладнання;

низьку витрату енергоресурсів та витратних матеріалів.

Окрім цього, простота управління установкою, зручний інтерфейс, відсутність шкідливих викидів, диму та токсичних парів роблять індукційний

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

нагрів екологічно безпечним та придатним для використання навіть у невеликих ремонтних цехах без шкоди для персоналу.

3.4 ФІНІШНА ОБРОБКА КОЛІНЧАСТОГО ВАЛА КРЗ

Після виконання шліфування та подальшого зміцнення шийок колінчастого вала методом індукційної закалки ТВЧ, необхідно провести фінішну механічну обробку, що включає:

Контрольне шліфування до номінального розміру з припуском +0,02...0,03 мм;

Суперфінішування – для формування мікрогеометрії поверхні;

Полірування – для досягнення дзеркальної поверхні з низькою шорсткістю.

Суперфінішування

Мета процесу

Основна задача суперфінішування – формування сітки мікропорожнин, які служать резервуарами для мастильного матеріалу, що критично важливо у початковій фазі роботи кривошипно-шатунного механізму.

Обладнання та інструмент

Станок: спеціалізований суперфінішувальний верстат.

Установка: обробка проводиться в центрах, заготовка закріплюється жорстко.

Інструмент: абразивні бруски зернистістю 5...8 мкм.

Охолодження: гас із додаванням 10–15% веретенного масла.

Тиск притиску: 0,5...2,5 МПа (в залежності від параметрів бруска і режиму).

Принцип роботи

Бруски здійснюють зворотно-поступальний рух у межах 2...6 мм при частоті 200–1000 об/хв. При цьому сам колінчастий вал обертається з частотою $n = 135$ об/хв, а частота коливань брусків не повинна бути кратною

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

частоті обертання заготовки — це забезпечує ефект «неповторюваного сліду» і рівномірне знімання матеріалу.

Режим обробки прикладний:

Час обробки: 20 с;

Хід бруска: 5 мм;

Частота коливань: 450 хв^{-1} ;

Охолоджуюче середовище: гас + веретенне масло.

Схема процесу суперфінішування – див. рис. 3.3.1

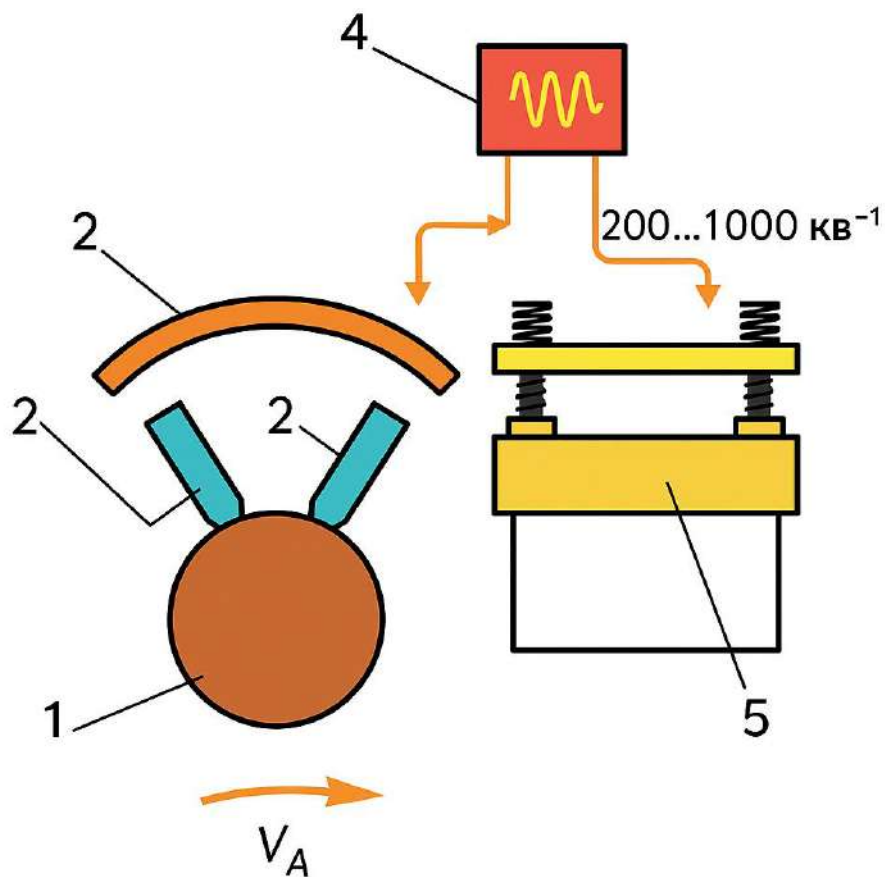


Рисунок 1.2.4 – Схема обробки поверхні абразивними брусками з осцилювальним зворотно-поступальним рухом

1 — деталь

2 — абразивні бруски

3 — з'єднувальна дуга

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБАТ 25.21196.000. ПЗ

Арк.

53

4 — вібратор, що створює осцилювальний рух абразивних брусків
(200...1000 хв⁻¹)

5 — пристрій для зворотно-поступального переміщення дуги з брусками (хід
2...6 мм)

V_a — лінійна швидкість деталі

Полірування

Мета процесу

Полірування є заключною операцією, мета якої — досягнення дзеркальної, низькошорсткої поверхні без усунення розмірних або геометричних похибок. Це не розмірна, а якісна обробка.

Обладнання та інструмент

Обладнання: полірувальні бабки або автоматичні полірувальні комплекси;

Установка: можливе як ручне утримання, так і монтаж у пристрої;

Інструмент: полірувальні круги з фетру, повсті, шкіри, парусини, морської трави або синтетичних волокон (капрон);

Абразив: дрібнозернистий порошок, нанесений на круг методом шаржування або клейового нанесення.

Режим обробки

Швидкість обертання круга: до 40 м/с;

Охолодження: не використовується або застосовується легке мастило;

Час обробки: 10–30 с на одну шийку;

Результат: досягнення поверхневої шорсткості $R_a < 0,05$ мкм, блиск, дзеркальний вигляд.

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

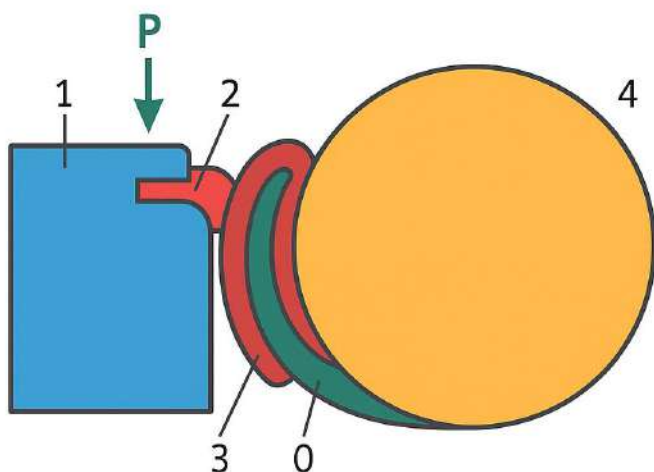


Рисунок 1.2.5 – Схема полірування деталей обертання

- 1 — корпус притира
- 2 — змінна полірувальна ворсиста тканина
- 3 — пек або кам'яна смола в оболонці з брезенту
- 4 — деталь
- P** — прикладене зусилля притискання

Висновки до підрозділу 3.3

Фінішна обробка колінчастого вала після шліфування та індукційного зміцнення є критично важливим етапом, що безпосередньо впливає на довговічність і надійність роботи двигуна. Використання технології суперфінішування забезпечує формування на поверхні шийок мікрогеометрії, яка сприяє поліпшенню гідродинамічного змащення, особливо в період припрацювання деталей.

Процес суперфінішування, виконаний із дотриманням режимів «неповторюваного сліду» та з використанням тонкозернистих абразивів, дозволяє досягти високої чистоти поверхні ($Ra \approx 0,1-0,2$ мкм) при збереженні заданої геометрії.

Завершальна полірувальна обробка не тільки надає шийкам дзеркального блиску, але й зменшує мікронерівності до $Ra < 0,05$ мкм, що

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

покращує умови тертя й знижує втрати на тертя в парі «вал–вкладиш». Такий підхід дозволяє забезпечити максимально можливий рівень надійності вала в умовах підвищених навантажень.

Комплексна реалізація фінішної обробки — шліфування, суперфінішування та полірування — є завершальним і необхідним етапом високотехнологічного ремонту або виготовлення колінчастого вала, що забезпечує його високі триботехнічні характеристики та відповідність експлуатаційним вимогам сучасних дизельних двигунів.

Ось вдосконалений, стилістично грамотний і повністю переформатований українською мовою варіант завершального підрозділу 3.4, а також висновки до розділу 3 та загальне заключення до дипломного проєкту:

3.5 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЄКТ ДІЛЯНКИ РЕМОНТУ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ

Підбір технологічного обладнання

Згідно з розробленими рекомендаціями та обраними методиками ремонту колінчастих валів (електрохімічне зняття зміцненого шару, індукційна закалка, фінішна обробка), технологічна діляниця повинна бути оснащена наступним обладнанням:

Таблиця 3.5.1 – Перелік обладнання та його габарити

НАЙМЕНУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ	КІЛЬКІСТЬ	ГАБАРИТНІ РОЗМІРИ (ММ)
Шліфувальний верстат	2	3650×2250×1800
Електроерозійний верстат	1	967×450×1800
Напівавтомат для зварювання	1	480×275×380

Пристосування для правки колінчастих валів	1	1200×700×700
Призма для фіксації	1	1200×300×400
Компресор	1	2030×680×1400
Шафа інструментальна	2	1850×600×500
Верстак	1	870×1200×700
Стелаж	2	2000×1000×300

Розрахунок площі дільниці

Площа розраховується за формулою:

$F_0 = (\sum \text{площ обладнання}) \times \text{коефіцієнт запасу (K = 2,25)}$

$$F_y = (2 \cdot 8,21 + 0,43 + 0,12 + 0,84 + 0,03 + 1,38 + 2 \cdot 1,11 + 1,04 + 2 \cdot 2) \cdot 2,25 = 59,58 \sim 60 \text{ м}^2$$

Висновки до розділу

У межах даного розділу:

Розроблено інноваційний метод видалення азотованого зміцненого шару колінчастого вала КРАЗ Євро-2 за допомогою електрохімічної обробки.

Запропоновано метод повторного поверхневого зміцнення індукційною закалкою токами високої частоти для відновлення твердості шийок після шліфування на глибину понад 0,5 мм.

Наведено практичні рекомендації щодо фінішної обробки валів, включаючи суперфінішування та полірування.

Розроблено технологічний проєкт ремонтної дільниці, здійснено підбір необхідного обладнання, проведено розрахунок площі.

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС РЕМОНТУ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ

4.1 Загальні вимоги безпеки

Під час проведення ремонтних і технологічних операцій з колінчастими валами необхідно дотримуватись чинних нормативів з охорони праці, таких як:

Закон України «Про охорону праці»;

ДСТУ EN ISO 45001:2020 — Системи управління охороною здоров'я і безпекою праці;

Правила безпеки при роботі з електроустановками споживачів;

НПАОП 0.00-1.28-10 — Загальні правила з охорони праці.

Усі працівники, які виконують операції, повинні пройти навчання, інструктаж з охорони праці, протипожежної безпеки та отримати допуск до відповідних видів робіт.

4.2 Безпека під час електрохімічної та електроерозійної обробки

При використанні електрохімічного або електроерозійного устаткування існує ризик:

ураження електричним струмом (особливо при високій напрузі);

виділення шкідливих парів електроліту або продуктів ерозії;

опіків при контакті з нагрітими елементами установки.

Заходи безпеки:

використання діелектричних рукавиць, гумових килимків, захисних окулярів;

забезпечення вентиляції або витяжних пристроїв у зоні обробки;

контроль за станом ізоляції проводів і справністю апаратури;

заборона роботи у вологому одязі або з мокрими руками.

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3 Безпека при індукційному нагріванні

Під час індукційного зміцнення шейок колінчастого вала можливе:
перегрівання інструменту та заготовки;
намагнічування металевих предметів;
електромагнітне випромінювання, небезпечне для електронної апаратури та організму людини.

Рекомендації:

відстань від інших електронних приладів — не менше 1 м;
екранування зони нагріву;
контроль температури за допомогою пірметрів або термопар;
дотримання часу охолодження між циклами.

4.4 Організація робочого місця

Робоче місце повинно мати достатнє освітлення (не менше 300 лк для точних робіт);

Заборонено залишати запальні матеріали (масло, ганчір'я) біля нагрівальних елементів;

Усі інструменти мають бути розміщені у технічних осередках, а не хаотично.

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

4.5 Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

Таблиця 4.5.1 – Працівники повинні бути забезпечені

ВИД РОБОТИ	ЗАСОБИ ЗАХИСТУ
Електрообробка	Діелектричні рукавиці, гумовий килимок
Індукційна обробка	Екран-щиток, термостійкі рукавиці
Шліфування	Окуляри, респіратор, беруші
Робота з електролітом	Хімічностійкий фартух, окуляри, рукавиці

4.6 Пожежна безпека

На ділянці мають бути вогнегасники (порошкові або вуглекислотні), відповідно до класу небезпеки.

Заборонено використовувати відкритий вогонь у зоні обробки металів та поблизу легкозаймистих речовин.

Працівники мають бути навчені алгоритмам евакуації.

4.7 Перша допомога при нещасних випадках

При опіках — промивання водою та накладення стерильного бинта.

При ураженні електрострумом — відключення джерела живлення, виклик «швидкої допомоги».

На дільниці повинен бути аптечний набір, інструкція з першої допомоги.

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

ВИСНОВОК

У результаті проведеного дослідження та виконання дипломного проєкту було встановлено:

Основні причини пошкодження колінчастих валів полягають у:

- задирках шийок,
- перевищенні граничного зносу,
- утворенні тріщин,
- втомних руйнуваннях,
- деформаціях осі вала,
- наслідках провертання вкладишів.

Азотовані колінчасті вали КРЗ Євро-2 мають обмежену ремонтпридатність через: – невелику глибину зміцненого шару (0,5–0,7 мм),

- підвищену твердість, яка ускладнює перешліфування,
- неможливість зняття шару на два ремонтні розміри без подальшого

повторного зміцнення.

Для усунення зазначених проблем у проєкті було:

розроблено електрохімічний метод зняття азотованого шару;

обґрунтовано використання індукційної ТВЧ-закалки як оптимального способу повторного зміцнення;

запропоновано універсальні пристрої, які можна інтегрувати у наявне обладнання шліфувального цеху.

Вказані рішення дозволяють:

суттєво підвищити ремонтпридатність і відновлюваність колінчастих валів;

знизити витрати на обслуговування;

зберегти деталі, які раніше вважались непридатними до подальшого використання.

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

У випадку неможливості ремонту вала КРАЗ, доцільним є заміна на колінчастий вал серії Євро-3, який пройшов зміцнення індукційною закалкою на виробництві.

Однак при застосуванні комбінованих методів зміцнення — індукційної закалки ТВЧ та іонного азотування — слід враховувати особливості їх взаємодії. Зона стику обох зміцнених шарів, яка зазвичай припадає на галтелі шийок, потребує додаткового дослідження з точки зору мікроструктури та втомної міцності. Можливе накладання зон різного типу напруженого стану, що в перспективі може впливати на довговічність колінчастого вала.

Ще одним важливим питанням залишається оцінка залишкової міцності валів після ремонту. Зменшення діаметра шийок при шліфуванні знижує перекриття шатунних і корінних шийок, що, у свою чергу, зменшує опір кручення. Це критично для дизельних двигунів великої потужності.

У зв'язку з цим, необхідно провести стендові випробування двигуна з відновленим колінчастим валом, що дозволить підтвердити технічну та експлуатаційну ефективність запропонованої технології ремонту, а також розробити рекомендації для серійного впровадження методики в умовах виробничого або авторемонтного підприємства.

					<i>КРБАТ 25.21196.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Білоус В.І., Білоус Г.В. Технологія технічного обслуговування і ремонту автомобілів: навч. посіб. — Київ: Либідь, 2020. — 312 с.
2. Жежеря А.М., Козяр І.М. Основи технічної експлуатації та ремонту автотракторної техніки. — Харків: ХНАМГ, 2021. — 228 с.
3. Герасименко О.Ф. Технології ремонту автомобілів: Навч. посібник. — К.: Арістей, 2019. — 264 с.
4. Коваленко В.О., Сіренко Ю.М. Основи надійності та довговічності деталей машин. — Харків: ХНАДУ, 2022. — 300 с.
5. Kumar, P., & Jain, V.K. (2020). *Advanced Machining Processes*. Springer.
Totten, G.E. (Ed.) (2018). *Steel Heat Treatment Handbook*. CRC Press..
6. Малєєв А.І. Матеріалознавство: конструкційні матеріали і технологія обробки. — К.: Основа, 2021. — 368 с.
7. Schulze, G. (2021). *Modern Hardening and Surface Treatment Techniques of Steel Components*. Wiley-VCH.
8. Krawczyk, J., & Stachowicz, F. (2019). *Failure analysis of nitrided crankshafts in internal combustion engines*. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 28(2), 847–857.
9. ISO 27856:2009. *Road vehicles — Heavy commercial vehicles and buses — Braking performance — Requirements and test procedures*.
ISO 15787:2023. *Surface hardening of steels — Nitriding and nitrocarburizing — Technical specification*.
10. Казанцев В.С. Ремонт і відновлення деталей автомобілів. — К.: Літера ЛТД, 2020. — 240 с.

					КРБАТ 25.21196.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

11. Чорний В.В. Основи відновлення зношених деталей машин. — Тернопіль: ТНТУ, 2021. — 214 с.
12. Носко В.П., Коваленко І.В. Сучасні методи зміцнення та термічної обробки деталей. — Київ: Кондор, 2022. — 232 с.
13. Махачашвілі В.В. Методи та технології діагностики й відновлення ресурсів колінчастих валів. — К.: НУХТ, 2018. — 198 с.

					<i>КРБАТ 25.21196.000. ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		64

ДОДАТКИ

					<i>КРБАТ 25.21196.000. ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		65