

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

### Новітня технологія процесу відновлення корінних та шатунних шийок колінчастого валу автомобілів

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

Шифр КРБАТ 2522014. 000 ПЗ

Виконав студент 3-го курсу  
група АТзс 22-2  
Шифр



Підпис

Артур ЛАЗОРІВ  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник д.т.н., проф.  
Науковий ступінь, звання



Підпис

Павло КАПЛУН  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер



Підпис

Олег БАБАК  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:  
Завідувач кафедри ТАМ  
Назва



Підпис

Олександр ДИХА  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Дата 9.06.2025

# 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 TAM

проф., д.т.н. Диха О.В.

20 – 02 2025 року

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

Лазоріву Артуру Валерійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи «Новітня технологія процесу відновлення корінних та шатунних шийок колінчастого валу автомобілів»

керівник роботи Каплун Павло Віталійович д.т.н., професор

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

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

1. Обґрунтування проблеми та постановка задач; 2 Вибір і обґрунтування технології відновлення шийок колінчастого валу; 3. Технологічний процес відновлення; 4. Розробка ділянки відновлення; 5. Економічний розділ проекту; 6. Безпека та екологічність технології відновлення.

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 \_----

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строки виконання	Примітки
1	<i>Літературний огляд</i>	<i>20.05.2025</i>	
2	<i>Технологічний розділ</i>	<i>25.05. 2025</i>	
3	<i>Конструкторський розділ</i>	<i>30.05. 2025</i>	
4	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>	<i>2.06. 2025</i>	
5	<i>Оформлення презентації кваліфікаційної роботи</i>	<i>5.06. 2025</i>	
6	<i>Нормоконтроль кваліфікаційної роботи</i>	<i>9.06. 2025</i>	
7	<i>Підписання розділів. Затвердження дати захисту</i>	<i>10.06. 2025</i>	

Студент

Керівник роботи

  
 Підпис

Артур ЛАЗОРІВ  
 Ім'я, прізвище

Павло КАПЛУН  
 Ім'я, прізвище

## РЕФЕРАТ

У рамках випускної кваліфікаційної роботи бакалавра було розроблено технологічний процес відновлення корінних та шатунних шийок колінчастого валу автомобілів.

Кваліфікаційна робота бакалавра (КРБ) складається із п'яти розділів.

У вступі була обгрунтована доцільність відновлення шийок колінчастого валу, сформульована мета роботи.

В першому розділі розглянута конструкція колінчастого валу, його функції та умови експлуатації, проведено порівняльний аналіз сучасних методів відновлення.

У другому, технологічному розділі обгрунтований вибір методу й обладнання для відновлення, розроблений технологічний процес, розраховані припуски на механічну обробку, а також режими наплавлення поверхонь.

Третій розділ присвячений розробці ділянки відновлення, схемі розташування обладнання, його перелік, організації робочих місць та площ.

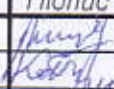



У економічному й розділі охорони праці та техніки безпеки надані рекомендації з економічної доцільності, а також запропоновані заходах безпеки при проведенні відновлювальних робіт.

Випускна кваліфікаційна робота складається з 66 сторінок, і містить у собі 10 ілюстрації, 23 джерела, 19 таблиць, 1 додаток.

Ключові слова: ЗВАРЮВАЛЬНА ДІЛЯНИЦЯ, НАПЛАВЛЕННЯ В ВУГЛЕКИСЛОМУ СЕРЕДОВИЩІ, НАПЛАВЛЕННЯ, ВІДНОВЛЕННЯ.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ .....	7
1.1 Конструкція та особливості колінчастого валу автомобіля .....	7
1.2 Огляд сучасних методів відновлення шийок колінчастого валу .....	13
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	18
2.1 Опис конструкції шийок колінчастого валу, їх призначення та умови експлуатації.....	18
2.2 Аналіз технічних умов для відновлення поверхні деталі .....	27
2.3 Вибір та обґрунтування методу й обладнання для відновлення поверхонь шийок.....	28
2.4 Розробка технологічного процесу відновлення поверхні шийок .....	33
2.5. Розрахунок припусків аналітичним методом.....	41
2.6. Режими для наплавлення поверхні шийок .....	45
3 ТЕХНОЛОГІЧНЕ ПЛАНУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ ВІДНОВЛЕННЯ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛА.....	51
3.1 Призначення дільниці.....	51
3.2 Обладнання дільниці .....	52
3.3 Організація робочих місць .....	54
3.4. Розрахункова частина.....	56
4 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	58
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ .....	60
ВИСНОВОК.....	63
СПИСОК ВИКОРИСТОВУВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	64
ДОДАТКИ.....	66

<b>КРБАТ 2522014. 000 ПЗ</b>				
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат
Розроб.		Лазорів		
Перевір.		Каплун		
Реценз.				
Н. Контр.		Бабак		
Затверд.		Диха		
Новітня технологія процесу відновлення корінних та шатунних шийок колінчастого валу автомобілів			Літ.	Арк.
			4	66
ХНУ група АТзс 22-2				

## ВСТУП

У сучасних умовах розвитку автомобільного транспорту ключовими завданнями є забезпечення своєчасного, якісного та безпечного перевезення пасажирів і вантажів при одночасному підвищенні економічної ефективності експлуатації транспортних засобів. Важливим чинником, що визначає ефективність функціонування автомобільного парку, є надійність та довговічність роботи основних агрегатів і систем, зокрема двигунів внутрішнього згоряння.

Одним із дієвих засобів підвищення ресурсу автомобільної техніки є застосування сучасних технологій відновлення зношених деталей, що дозволяє зменшити витрати матеріалів, енергії та часу порівняно із виготовленням нових комплектуючих. Зважаючи на те, що понад 80 % відмов вузлів тертя машин пов'язані зі зношуванням робочих поверхонь, проблематика розробки ефективних методів відновлення, зокрема корінних і шатунних шийок колінчастого валу, є надзвичайно актуальною.

У науково-технічній літературі, на конференціях та галузевих публікаціях широко обговорюються різноманітні підходи до підвищення зносостійкості та ресурсу деталей, методи оптимізації технологічних процесів відновлення та зміцнення поверхонь. Особлива увага приділяється створенню математичних моделей процесів зношування, проведенню розрахунків і експериментальних досліджень для обґрунтування вибору технологічних режимів обробки. Розробка та впровадження таких технологій є важливим напрямом у підвищенні ефективності експлуатації транспортних засобів та забезпеченні економії ресурсів.

Одним із ключових елементів двигуна внутрішнього згоряння є колінчастий вал, від надійності якого залежить робота всього силового агрегату. Його корінні та шатунні шийки зазнають інтенсивного зносу внаслідок тертя, ударних навантажень і високих температур. Тому розробка

					КРБАТ 2522014. 000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технології відновлення шийок колінчастого валу є важливим завданням, що має як практичне, так і наукове значення.

Метою даної роботи є розробка та обґрунтування технологічного процесу відновлення корінних і шатунних шийок колінчастого валу двигуна вантажного автомобіля, з урахуванням сучасних методів відновлення, що застосовуються на спеціалізованих підприємствах. Для досягнення поставленої мети необхідно:

- проаналізувати існуючі методи відновлення шийок колінчастого валу, їх переваги та недоліки;
- обґрунтувати вибір матеріалів та обладнання для виконання технологічного процесу;
- розробити проект ділянки для виконання операцій з відновлення шийок колінчастих валів;
- провести технічні та економічні розрахунки для оцінки ефективності впровадження обраної технології.

Результати роботи можуть бути використані для організації ділянок з ремонту та обслуговування двигунів автомобілів, а також для підготовки фахівців у галузі автомобільного транспорту та машинобудування

					<i>КРБАТ 2522014. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

## 1. Загальний розділ

### 1.1. Конструкція та особливості колінчастого валу автомобіля

Колінчастий вал є одним із ключових елементів кривошипно-шатунного механізму двигуна внутрішнього згоряння, який забезпечує перетворення зворотно-поступального руху поршнів у обертальний рух. У процесі експлуатації двигуна на шийки колінчастого валу діють значні змінні навантаження, що супроводжуються вібраціями, тертям і впливом високих температур [1]. Як наслідок, відбувається зношування корінних і шатунних шийок, що може призвести до порушення геометрії, зниження твердості поверхневого шару, утворення задирів, тріщин або викришування матеріалу [2].



Рис. 1 – Колінчастий вал

Замінити колінчастий вал у двигуні – це економічно затратна процедура, особливо коли йдеться про двигуни вантажних автомобілів, сільськогосподарської техніки або імпорتنі силові агрегати. У багатьох випадках раціональніше застосовувати технології відновлення робочих

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБАТ 2522014. 000 ПЗ

Арк.

7

поверхонь, які дозволяють повернути деталі до експлуатаційного стану з мінімальними витратами часу, матеріалів і фінансів. Саме тому розробка та впровадження ефективних, технологічних і довговічних способів відновлення колінчастих валів має велике практичне значення [3].

Сучасні вимоги до ресурсу, надійності та екологічної безпеки автомобільного транспорту потребують переходу від традиційних методів ремонту (шліфування, металізація, ручне наплавлення) до високотехнологічних процесів, таких як:

- плазмове та лазерне наплавлення високоякісних матеріалів,
- іонно-плазмове азотування,
- електронно-променеве модифікування,
- високошвидкісне газополуменеве напилення тощо [4, 5].

Такі методи забезпечують формування зміцненого поверхневого шару з високою зносостійкістю, низьким коефіцієнтом тертя та тривалим терміном служби.

Актуальність обраної теми також зумовлена необхідністю впровадження ресурсозберігаючих технологій у сфері автосервісу та машинобудування. Зважаючи на сучасні тенденції до скорочення витрат, підвищення ремонтпридатності й екологічної безпеки, відновлення колінчастих валів за допомогою новітніх технологій є важливим кроком до ефективного технічного обслуговування транспортних засобів [6].

Таким чином, дослідження, аналіз і впровадження новітніх технологічних процесів відновлення корінних та шатунних шийок колінчастого валу є надзвичайно актуальними для забезпечення надійності двигунів, зниження експлуатаційних витрат та підвищення ефективності використання автомобільного парку.

Типові матеріали для виготовлення колінчастих валів

Колінчастий вал є надзвичайно навантаженим елементом двигуна внутрішнього згорання, оскільки передає значні крутні моменти та сприймає

					<i>КРБАТ 2522014. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

циклічні навантаження в умовах тертя й високих температур [7]. Тому вибір матеріалу для його виготовлення відіграє ключову роль у забезпеченні довговічності, зносостійкості та втомної міцності двигуна [8].

Залежно від типу двигуна, умов експлуатації та класу автомобіля (легковий, вантажний, спецтехніка), колінчасті вали виготовляють із таких типових матеріалів:

1. Вуглецеві і леговані конструкційні сталі – найпоширеніші матеріали, що мають збалансовані показники міцності, оброблюваності та вартості. Зазвичай використовуються сталі марок 45, 50, 40X, 38ХМЮА, 42CrMo4, Сk45, 38Cr4 [9].

2. Сталі, покращені термічною обробкою – гартуванням і високим відпуском (до твердості HRC 30–40), з утворенням мартенситної структури. Це дозволяє досягти високої втомної витривалості при значних навантаженнях [10].

3. Мікролеговані сталі з ванадієм, ніобієм, титаном – застосовуються для валів відповідальних двигунів, де необхідна підвищена в'язкість та жаростійкість [11].

4. Високоміцні чавуни – зокрема, ковкий чавун (наприклад, EN-GJS-700-2 або GGG70) застосовується для виготовлення колінчастих валів у малолітражних та бюджетних двигунах. Перевагою є нижча собівартість, але обмежена ударна та втомна міцність [7].

5. Ковані або цільнокатані заготовки – для потужних або спортивних двигунів застосовують високоміцні ковані сталі (42CrMoS4, 4340) з підвищеним рівнем пластичності та опором до ударних навантажень [12].

6. Титанові сплави – застосовуються лише в авіації та високоспеціалізованих гоночних двигунах через високу вартість і складність обробки, але забезпечують значне зменшення маси колінчастого механізму [11].

					КРБАТ 2522014. 000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Окремо слід відзначити широке застосування поверхневої термообробки – індукційного гартування шийок, цементації, азотування та інших методів зміцнення, що дозволяють покращити зносостійкість без зміни структури основного матеріалу вала [10, 13].

З огляду на тривале експлуатаційне навантаження та вимоги до надійності, вибір матеріалу колінчастого вала визначається балансом між механічними властивостями, оброблюваністю, вартістю та технологією виготовлення. У сучасних умовах розробники прагнуть також до підвищення екологічної ефективності виробництва шляхом застосування мікролегованих сталей та ресурсозберігаючих технологій обробки [8, 12].

Типові дефекти корінних та шатунних шийок колінчастого валу

У процесі експлуатації двигуна внутрішнього згоряння на корінні та шатунні шийки колінчастого валу діють складні навантаження: змінні вигинальні та крутильні моменти, гідродинамічний тиск оливи, удари від шатунів і теплові деформації. Такі умови сприяють інтенсивному зношуванню і виникненню ряду характерних дефектів, які значною мірою визначають технічний стан вала й потребу в його ремонті [14].

Найпоширенішими дефектами шийок колінчастого валу є:

- абразивне зношування поверхні, що проявляється у вигляді зменшення діаметру шийок, шорсткості та порушення геометрії;
- задири та поверхневі риси, які виникають унаслідок порушення умов мащення або потрапляння сторонніх частинок у зону тертя [15];
- мікротріщини й термічні тріщини внаслідок перегріву або перевантаження двигуна, особливо під час швидкого охолодження після зупинки;
- овальність і конусність шийок, що є результатом нерівномірного зносу внаслідок дії осьових і радіальних сил;

					<i>КРБАТ 2522014. 000 ПЗ</i>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– вм'ятини, вибоїни, місцеві викришування, які можуть бути спричинені ударними навантаженнями або нестабільністю опор підшипників [16].

Деякі з вищенаведених дефектів є допустимими до відновлення шляхом шліфування, наплавлення, термічної обробки або хромування, залежно від глибини пошкодження та технічного ресурсу вала. Проте у випадках утворення тріщин по периметру шийки або появи втомних дефектів, подальша експлуатація вала без ремонту є небезпечною і може призвести до його руйнування в процесі роботи двигуна [17].

Особливу небезпеку становлять втомні тріщини, які зароджуються у зоні переходу від шийки до щоки колінчастого валу, де концентрація напружень найбільша. Їхня наявність може не проявлятися візуально, проте є критичною для залишкового ресурсу деталі [18]. Саме тому одним із важливих етапів технічної діагностики колінчастих валів є проведення дефектоскопії (ультразвукової, магнітопорошкової, вихрострумової), яка дозволяє виявити приховані пошкодження на ранніх стадіях [19].

Розуміння характеру та причин виникнення типових дефектів шийок колінчастого валу є важливою передумовою для вибору ефективної технології їх відновлення, з урахуванням матеріалу, умов навантаження та залишкового ресурсу деталі.

Причини зношування та пошкоджень корінних і шатунних шийок колінчастого валу

Зношування та пошкодження корінних і шатунних шийок колінчастого валу є результатом комплексної дії механічних, термічних, хімічних і гідродинамічних чинників. Їхній вплив проявляється протягом усього ресурсу роботи двигуна і є основною причиною виходу з ладу системи кривошипно-шатунного механізму.

Причини зношування умовно поділяють на експлуатаційні, конструктивно-технологічні та системні (взаємодія агрегатів двигуна).

					<i>КРБАТ 2522014. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

#### Експлуатаційні причини:

– Недостатнє або нерегулярне змащення, що викликає перехід режиму тертя з гідродинамічного на змішане або сухе. Це призводить до абразивного чи адгезійного зношування, появи задирів і різкого підвищення температури поверхонь.

– Використання моторних оливо низької якості або з втраченими властивостями. Зниження в'язкості та антифрикційних параметрів мастила прискорює зношування шийок і вкладишів.

– Перевантаження двигуна, зокрема при частій роботі на високих обертах, буксируванні, або інтенсивному розгоні, викликає зростання контактних напружень у шийках.

– Запуск у холодному стані без попереднього прогріву. Це особливо небезпечно, оскільки мастило ще не досягло нормального тиску й не сформувало гідродинамічної плівки, а коефіцієнт тертя залишається високим.

#### Конструктивно-технологічні причини:

– Наявність технологічних концентраторів напружень, таких як радіуси переходів між щоками та шийками, які не відповідають нормативним значенням. Це створює умови для розвитку втомних тріщин.

– Недотримання допусків на геометрію шийок під час виготовлення або відновлення: овальність, конусність, биття – всі ці дефекти сприяють нерівномірному розподілу навантажень і прискореному зносу.

– Помилки при термообробці (наприклад, перегрів чи неповне гартування) можуть призвести до зниження твердості, появи мікротріщин, внутрішніх напружень або зменшення опору втомі.

– Низька якість поверхневого шару після обробки: підвищена шорсткість, залишкові напруження, мікроскопічні вирви, які можуть служити осередками ініціації пошкоджень.

#### Системні причини, пов'язані з роботою інших агрегатів:

					КРБАТ 2522014. 000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Дефекти підшипників ковзання (вкладишів) – знос, обертання вкладиша, зміщення або руйнування шару бабіту призводять до безпосереднього контакту металу з металом.

– Деформація або розбалансування колінчастого валу, що викликає циклічні навантаження і вібрації.

– Несправності системи охолодження, що ведуть до перегріву двигуна й, відповідно, до зниження в'язкості мастила та зменшення мастильного клину між парою тертя.

– Проникнення сторонніх часток у мастило через несправний масляний фільтр або через зношені ущільнення – це спричиняє абразивне зношення шийок.

Також варто зазначити, що втомне руйнування є наслідком тривалого циклічного навантаження, за якого матеріал втрачає опір у мікроскопічних зонах концентрації напружень. Процеси ініціації тріщин часто не супроводжуються помітними зовнішніми ознаками, але мають фатальний характер у разі їх розвитку в глибині шийки.

Таким чином, зношування та пошкодження колінчастого валу є багатофакторною проблемою, яка потребує комплексного аналізу умов експлуатації, якості обробки та стану системи змащення. Усвідомлення причин дозволяє не лише ефективно планувати ремонтні заходи, а й удосконалювати конструкцію та технологію відновлення шийок валу.

## 1.2. Огляд сучасних методів відновлення шийок колінчастого валу

У сучасній практиці технічного обслуговування та ремонту двигунів внутрішнього згоряння важливу роль відіграє відновлення зношених або пошкоджених поверхонь корінних та шатунних шийок колінчастих валів. Це дозволяє значно зменшити витрати порівняно з виготовленням або придбанням нового вала та забезпечити подальшу ефективну експлуатацію

					КРБАТ 2522014. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

техніки. Вибір методу залежить від ступеня пошкодження, типу матеріалу, умов подальшої експлуатації та економічних міркувань.

Одним з найпоширеніших методів є механічна обробка, яка включає шліфування шийок на ремонтний розмір. Цей метод доцільний лише при незначному зносі та відсутності тріщин. Недоліком є обмеження за кількістю можливих ремонтних розмірів, а також зменшення перерізу шийки, що впливає на втомну міцність. Проте при незначних дефектах цей спосіб залишається технологічно простим і економічно обґрунтованим.



Рис. 2 – Шліфування колінчастого валу

У випадках значного зносу або локальних пошкоджень ефективним є застосування наплавлення. Зокрема, широко застосовується електродугове ручне або автоматичне наплавлення сталевим дротом, у тому числі порошковим. Воно дозволяє нарощувати матеріал на шийці з подальшим механічним обробленням до номінального розміру. Водночас важливо підібрати матеріал наплавлення з урахуванням сумісності, твердості й опору втомі. Наплавлення забезпечує відновлення розмірів, але потребує контролю

					КРБАТ 2522014. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

за утворенням зон термічного впливу та залишкових напружень, які можуть знизити надійність деталі.



Рис. 3 – Наплавлення колінчастого валу

Іншим прогресивним напрямом є плазмове наплавлення, яке забезпечує локалізований тепловий вплив, формування щільного зносостійкого шару та високу адгезію до основного металу. Застосування порошкових композицій на основі заліза, нікелю або кобальту дозволяє досягати високої твердості поверхні при збереженні в'язкості серцевини деталі. Перевагами є точність, мінімальна деформація та низьке теплове навантаження. Проте обладнання має високу вартість, а сам процес потребує належної кваліфікації.

Для забезпечення високої зносостійкості та ресурсу шийок застосовується також лазерне наплавлення. Цей метод дає змогу досягти надзвичайно міцного з'єднання шару покриття з основою, мінімізуючи при цьому вплив термічного розширення. Лазерна обробка дає можливість формувати тонкі, тверді й рівномірні шари на поверхні з високим рівнем чистоти. Вона ідеально підходить для відновлення шийок із складною геометрією або локальними дефектами. Основними недоліками є дорожняча устаткування та необхідність точного регулювання параметрів променя.

					КРБАТ 2522014. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

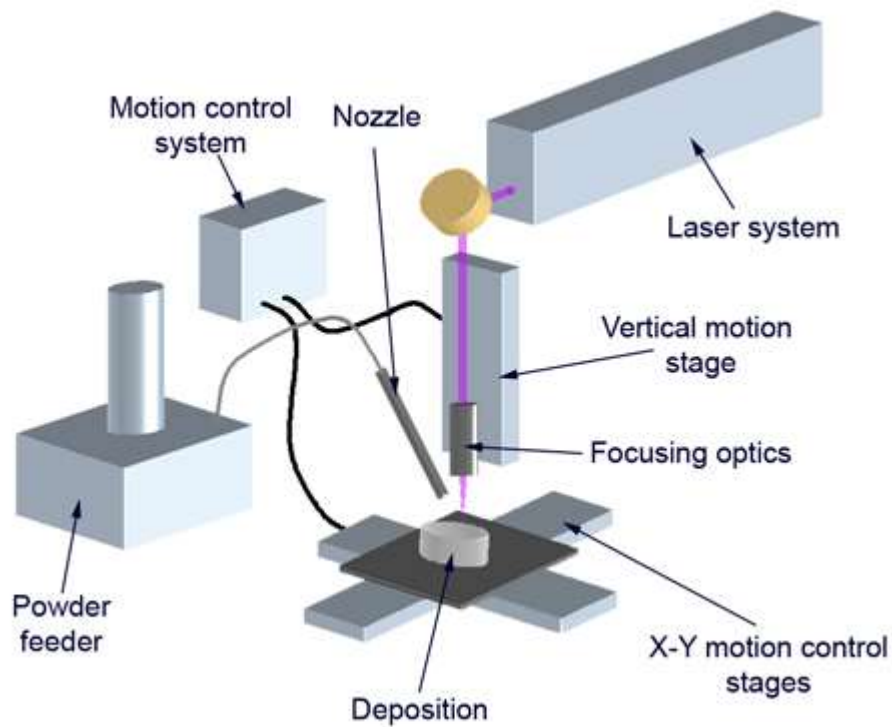


Рис. 4 – Принципова схема лазерного наплавлення

Іншим варіантом є застосування газотермічного напилення. Метод дозволяє наносити на поверхню шийки матеріал у вигляді розплавлених частинок, створюючи функціональний шар товщиною до 0,5 мм. Напилення може виконуватися плазмовим, електродуговим або детонаційним способом. Після напилення виконується механічне доведення до необхідного розміру. Такий підхід дозволяє відновлювати шийки без значного нагріву основи, зберігаючи мікроструктуру вала, але адгезія може бути нижчою порівняно з наплавленням.

Ще одним сучасним методом є іонно-плазмова обробка, зокрема азотування шийок, яка дозволяє не лише зміцнити поверхню, але й компенсувати невеликі зношування. В результаті утворюється шар нітридів заліза товщиною до 0,3 мм з високою твердістю та низьким коефіцієнтом тертя. Така технологія доцільна для підвищення ресурсу після базового ремонту або для обробки нових шийок при модернізації. Вона не змінює геометрії деталі, однак не може повністю компенсувати великі втрати матеріалу.

					КРБАТ 2522014. 000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Окремо варто згадати комбіновані технології, які поєднують декілька процесів – наприклад, механічну обробку з подальшим плазмовим наплавленням і лазерним гартуванням. Це дає змогу не лише відновити геометрію, а й значно підвищити ресурс зношеної поверхні.

Таким чином, сучасна практика відновлення шийок колінчастого валу базується на широкому спектрі методів, кожен з яких має свої переваги та обмеження. Вибір технології повинен базуватися на технічному стані деталі, умовах подальшої експлуатації, можливостях підприємства та економічній доцільності. Застосування високотехнологічних методів дозволяє не лише відновити функціональність, а й підвищити надійність та довговічність елементів кривошипно-шатунного механізму.

Таблиця 1.1. Порівняльний аналіз сучасних методів відновлення шийок колінчастого валу

№	Метод відновлення	Переваги	Недоліки	Галузь застосування
1	Механічне шліфування	Простота, невисока вартість, доступність обладнання	Не усуває тріщини, обмеження за кількістю ремонтних розмірів	Незначне зношення, відновлення геометрії
2	Електродугове наплавлення	Відновлення розмірів, доступність матеріалів, помірна вартість	Зони термічного впливу, залишкові напруження, ризик деформацій	Відновлення після глибокого зносу
3	Плазмове наплавлення	Висока якість шару, мінімальна деформація, локальний нагрів	Потреба в дорогому обладнанні, складність процесу	Відновлення відповідальних деталей, з високими вимогами
4	Лазерне наплавлення	Дуже точне формування шару, висока твердість, мінімальний вплив	Висока вартість, складність налаштування параметрів процесу	Високонавантажені вузли, авіація, спецтехніка
5	Газотермічне напилення	Низький тепловий вплив, можливість нанесення твердих покриттів	Менша адгезія, обмежена товщина шару	Локальний ремонт, відновлення шарів до 0,5 мм
6	Іонно-плазмова обробка (азотування)	Підвищення твердості, зносостійкості, без зміни геометрії	Не відновлює розмір, не усуває тріщини або глибокі дефекти	Зміцнення шийок після ремонту, продовження ресурсу

## 2. Технологічний розділ

### 2.1. Опис конструкції шийок колінчастого валу, їх призначення та умови експлуатації

Колінчастий вал двигуна внутрішнього згоряння призначений для сприйняття зусиль, що передаються від шатунів, та перетворення їх у крутний момент, який через маховик передається на трансмісію транспортного засобу. В умовах роботи вал піддається діям сил газового тиску та інерційних навантажень, що постійно змінюються за величиною та напрямком, викликаючи згинальні й крутильні деформації. Для забезпечення надійності й довговічності конструкції колінчастий вал повинен мати достатню міцність, стійкість до дії ударних навантажень і жорсткість, що запобігає надмірним деформаціям. Шийки вала потребують підвищеної твердості та високої зносостійкості для забезпечення стабільної роботи протягом усього ресурсу.

У промисловості колінчасті вали виготовляють кованими або штампованими заготовками зі сталі марки 45, яка після механічної обробки піддається термічній обробці: гартуванню та відпуску для підвищення міцності та твердості. Шийки вала зміцнюють струмами високої частоти на глибину 3-4 мм, після чого їх шліфують і полірують для забезпечення необхідної чистоти поверхні та точності геометрії.

Конструкція колінчастого валу (рисунок 5) включає корінні (11 і 15) та шатунні (9) шийки, які з'єднані щоками (10). Щоки переходять у противаги, що знижують навантаження на корінні підшипники, компенсуючи інерційні сили рухомих мас. Для зменшення ваги шатунні шийки часто виконують порожнистими. На передньому кінці вала встановлюються елементи приводу допоміжних агрегатів, такі як масловідбивач (5), храповик (3) пускової рукоятки з шайбою (4), розподільна шестерня (28) з розпірно-упорною шайбою (6) і шків (2). На задньому кінці вала за допомогою фланця (19) та

					КРБАТ 2522014. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

болтів (20) кріпиться маховик (17) із зубчастим вінцем (18), який використовується для пуску двигуна за допомогою стартера.

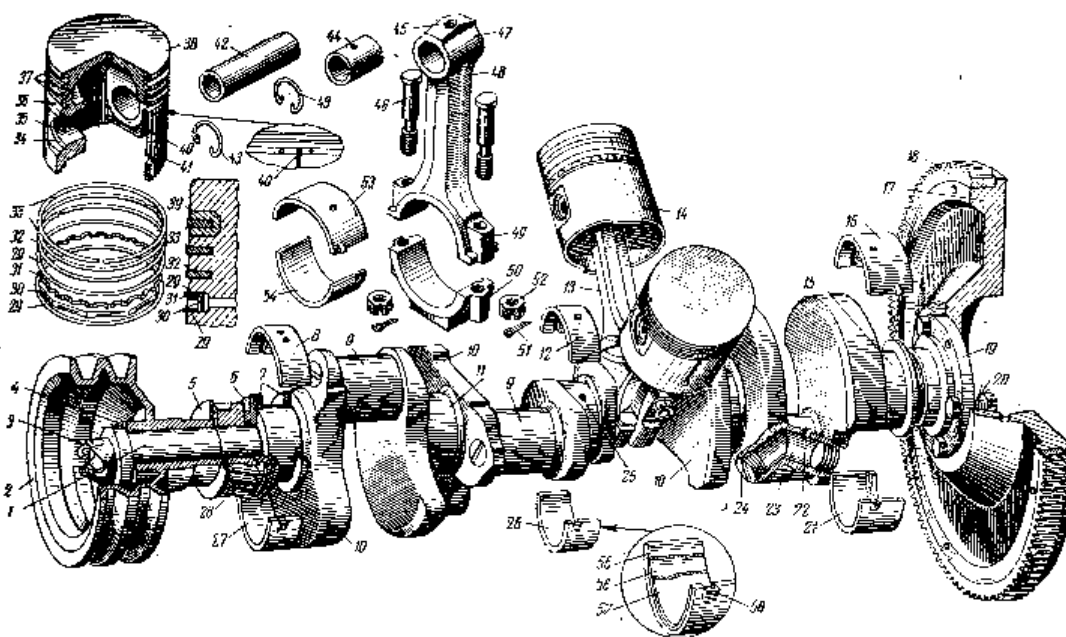


Рис. 5 – Загальна будова колінчастого валу

Підшипники колінчастого валу поділяються на корінні та шатунні. Як корінні підшипники застосовують підшипники ковзання, у яких встановлюють тонкостінні вкладиші. Конструкція більшості сучасних двигунів передбачає п'ятиопорну схему кріплення валу, де використовується п'ять корінних підшипників. Вкладиші виготовляють із сталеві стрічки (55), на яку нанесено антифрикційний шар (57) на мідно-нікелевій підоснові (56). Монтаж вкладишів здійснюється без попередньої підгонки завдяки високій точності обробки шийок колінчастого валу.

На кожній шатунній шийці колінчастого валу V-подібних двигунів кріпляться два шатуни, що з'єднують її з поршнями правого і лівого рядів циліндрів. Тому кількість шатунних шийок у таких двигунах удвічі менша за кількість циліндрів. У восьмициліндрових V-подібних двигунах шатунні шийки розташовуються під кутом  $90^\circ$  одна до одної для забезпечення рівномірного чергування робочих тактів.

Кожен підшипник має по два однакових вкладиші (8 і 27), (12 і 26), (16 і 21), (53 і 54), оснащені отворами для подачі мастила, мастильними

							КРБАТ 2522014. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				19

канавками та фіксаторами (58), що запобігають їх повертанню та осьовим переміщенням. Змащування підшипників здійснюється через канали (22 і 25), а для збору та очищення оливи в шатунних шийках передбачено пастки (23) із пробками (24). Один з корінних підшипників колінчастого валу виконує також функцію опорного, сприймаючи осьове навантаження.

У двигунах деяких автомобілів функцію упорного підшипника виконує передній підшипник колінчастого валу. Осьові зусилля, що виникають під час роботи двигуна, сприймаються упорними шайбами (7), які встановлюються для забезпечення стабільного положення вала та запобігання його осьовим переміщенням.

Маховик (17) являє собою масивний чавунний диск, основна частина маси якого розташована по периферії. Така конструкція забезпечує збільшення моменту інерції, що сприяє згладжуванню коливань крутного моменту і забезпечує рівномірність обертання колінчастого валу протягом робочого циклу двигуна. Завдяки маховику енергія, накопичена в момент робочого ходу, компенсує втрати в інших тактах, забезпечуючи стабільність обертання вала.

Під час роботи двигуна крутний момент, що діє на колінчастий вал, змінюється періодично внаслідок чергування робочих тактів у циліндрах. Це призводить до того, що вал зазнає постійних крутильних коливань, які проявляються як циклічне скручування і розкручування відносно власної осі. Якщо частота власних коливань колінчастого валу збігається або наближається до частоти крутильних коливань, що виникають у процесі роботи двигуна, виникає явище резонансу. Резонанс є небезпечним, оскільки амплітуда крутильних коливань різко збільшується і може досягати значень, при яких руйнування вала стає ймовірним. Для запобігання цьому на колінчастий вал встановлюється спеціальний пристрій – гасник крутильних коливань, який поглинає енергію коливань і запобігає їх розвитку до критичних значень.

						КРБАТ 2522014. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			20

Хімічний склад сталі марки 45, що використовується для виготовлення колінчастого валу, а також її механічні властивості наведені у таблицях 2.1 і 2.2 [20]. Під час роботи колінчастий вал зазнає періодично змінних навантажень, що виникають під дією сил газового тиску та інерційних навантажень від зворотно-поступальних і обертових деталей. Особливості роботи кривошипно-шатунного механізму та кінематичні характеристики його елементів зумовлюють нерівномірний розподіл навантажень, що діють на шийки колінчастого валу. Це призводить до викривлення їхньої геометричної форми, нерівномірного зносу, а також до різного ступеня зношування шатунних і корінних шийок.

Таблиця 2.1. Хімічний склад сталі 45 за ДСТУ 7809:2015

C	Mn	Si	Cr	Ni, Cu	S	P	As
			Не більше				
0,42 – 0,50	0,5 – 0,8	0,17 – 0,37	0,25	0,30	0,035	0,035	0,08

Таблиця 2.2. Фізичні та механічні властивості сталі 45 після нормалізації за ДСТУ 7809:2015

Марка сталі	Фізичні властивості				Механічні властивості			
	НВ	$\gamma$ , г/см <sup>3</sup>	$\lambda$ , Вт/(м <sup>°К</sup> )	$\alpha \cdot 10^5$ , 1/°С	МПа		$\delta_5$ , %	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>
					$\sigma_{пл}$	$\sigma_B$		
Сталь 45	255	7,850	47	1,2	355	600	16	49-52

Статистичні характеристики зношування шатунних і корінних шийок колінчастого валу наведені в таблиці 2.3. Діаграма розподілу зносу шатунної шийки подана на рисунку 6. Для побудови цієї діаграми на зображенні шатунної шийки проводять умовне коло, яке потім ділять на певну кількість рівних секторів, утворених радіусами  $O_{ш1}$ ,  $O_{ш2}$  тощо. Це дозволяє візуалізувати закономірності зносу поверхні та проаналізувати його нерівномірність у різних зонах контактної пари.

									Арк.
									21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБАТ 2522014. 000 ПЗ				

Таблиця 2.3. Статичні числові значення характеристики, мм

Об'єм вибірки і статичні характеристики	Шийки	
	шатунні	корінні
Кількість деталей	100	100
Середньоарифметичний знос	0,142	0,11
Середньоквадратичне відхилення	0,092	0,080
Мода	0,10	0,06
Медіана	0,104	0,07
Точка А	0,12	0,11
Допустимий знос за ТУ	Не вказано	
Асиметрія	0,73	1,25

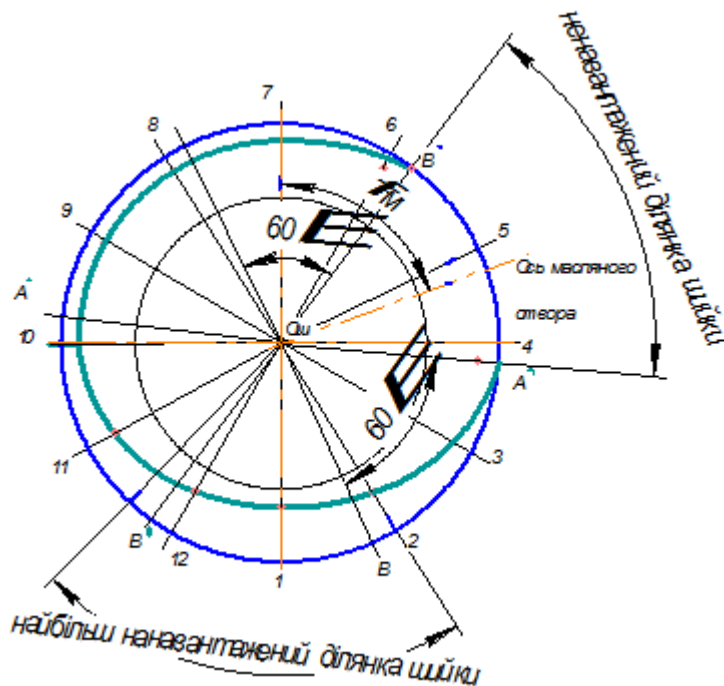


Рис. 6 – Діаграма зносу шатунної шийки

На діаграмі розподілу зносу, позначеній як ОшА і ОшВ, відмічають граничні точки профілю зношування шатунної шийки, які умовно позначаються як А" і В". Відрізок між цими точками включає положення осі мастильного отвору. Діаграма зносу для корінних шийок будується за

аналогічною методикою, що дозволяє проводити порівняльний аналіз характеру зносу обох типів шийок.

За результатами досліджень встановлено, що середнє значення зносу шатунних шийок перевищує аналогічний показник для корінних у 1,29 рази. При цьому окремі шатунні шийки, зокрема третя і четверта, демонструють ще більші відхилення, де величина зносу перевищує показники для корінних шийок на 57–80 відсотків.

Шатунні шийки протягом основного часу своєї роботи зазнають впливу інерційних навантажень, що діють переважно у напрямку, паралельному осі колінчастого вала. Це призводить до більш інтенсивного зношування з одного боку шийки, що відповідає напрямку дії інерційних сил. Водночас слід зазначити, що за абсолютною величиною інерційні навантаження менші за максимальні тиски газів, а їх вплив є короткочасним, тому знос, спричинений інерційними силами, зазвичай менший порівняно з навантаженнями від газового тиску.

Нерівномірність розподілу навантаження протягом циклу роботи двигуна та регулярне повторення цього навантаження через кожні  $720^\circ$  обертання колінчастого вала призводить до нерівномірного зношування шатунних шийок по їх окружності. Це, в свою чергу, зумовлює викривлення геометричної форми шатунних шийок, яке є більш вираженим порівняно з корінними. Така закономірність підтверджується даними таблиці 2.4 [21].

Конусність шатунних шийок виникає внаслідок різних умов змащування по довжині шийки, що обумовлено недосконалістю подачі мастила. Відомо, що мастило надходить до шатунної шийки через нахилений канал, який з'єднує її з корінним підшипником. При русі мастильного потоку механічні домішки та частинки, що містяться в оливі, під впливом відцентрових сил відкидаються до верхньої сторони каналу. Виходячи з каналу, ці частинки концентруються у верхній зоні шийки та разом з потоком мастила поширюються по її поверхні у напрямку, протилежному нахилу

					КРБАТ 2522014. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

каналу, створюючи зону інтенсивнішого зношування на окремих ділянках контактної поверхні шийки та підшипника.

Таблиця 2.4. Конусність та овальність шийок колінчастого валу, мм

Об'єм вибірки і статичні характеристики	Шатунні шийки		Корінні шийки	
	Овальність	Конусність	Овальність	Конусність
Кількість деталей	100	100	100	100
Середня арифметична	0,024	0,025	0,021	0,018
Середня квадратична	0,023	0,023	0,018	0,017
Мода	0,015	0,005	0,005	0,005
Медіана	0,015	0,015	0,10	0,10
Точка А	0,02	0,02	0,0175	0,02
Допустимі за ТУ	0,01	0,01	0,01	0,01

Ліва частина поверхні шийки змащується маслом, з абразивними частинками, в той час як її права частина змащується маслом більш чистим. Це викликає по довжині шийок нерівномірний знос. Саме наявність в маслі абразивних механічних частинок є основною причиною нерівномірності зносу шийок. Абразивні частинки, які не виносяться із підшипника і під дією великих тисків занурюються в м'яку основу антифрикційного шару, залишають на ньому подряпини, що призводить до підвищеного зносу шийки. На вкладиші, в зоні виходу масла із отвору, утворюється кільцевий нарост абразивних частинок, під дією якого на шийці виникає кільцева канавка.

Викривлення геометричної форми окремих шатунних шийок, як і їх знос, залишається майже однаковим.

Корінні шийки зазнають меншого зношування і викривлення геометричної форми к порівняно з шатунними.

Через велику опорну площу, корінні шийки працюють в полегшених умовах роботи порівняно з шатунними. Проте ступінь нерівномірності їх зносу більша порівняно з шатунними шийками і може бути врахована, як:

$$k_u = \frac{u_{\max}}{u_{\min}} = \frac{0.14}{0.08} = 1,75, \quad (2.1)$$

									Арк.
									24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБАТ 2522014. 000 ПЗ				

де  $k_u$  – коефіцієнт нерівномірності зносу корінних шийок;

$u_{\max}$  – найбільший знос перша корінна шийка;

$u_{\min}$  – найменший знос четверта корінна шийка.

Найбільший знос у 0,14 мм зафіксований на першій корінній шийці, а найменший у 0,08 мм на четвертій. Кільцеві риски, що утворюються на поверхні шийок від дії крупних абразивних частинок, в подальшому затримуються в бабітовому шару підшипника.

Вкладиші корінних підшипників вантажних автомобілів мають посередині кільцевий паз  $7 \times 0,5$  мм. Саме в ньому розташований масляний отвір. Ця частина шийки майже не зношується тому на її поверхні залишається неспрацьований поясок.

Вирахуємо нерівномірність викривлення геометричної форми корінних шийок за овальністю:

$$k_o = \frac{u_{o\max}}{u_{o\min}} = \frac{0.036}{0.017} = 2,12, \quad (2.2)$$

де:  $k_o$  – нерівномірність геометричної форми корінних шийок по овальності;

$u_{o\max}$  – найбільша овальність – на першій корінній шийці;

$u_{o\min}$  – найменша овальність – на четвертій корінній шийці.

За конусністю

$$k_k = \frac{u_{k\max}}{u_{k\min}} = \frac{0.021}{0.016} = 1,31, \quad (2.3)$$

де:  $k_k$  – нерівномірність геометричної форми корінних шийок за конусністю;

$u_{k\max}$  – найбільша конусність – на першій корінній шийці;

$u_{k\min}$  – найменша конусність – на четвертій корінній шийці.

					<i>КРБАТ 2522014. 000 ПЗ</i>	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як висновок – довговічність колінчастих валів визначається зносом шатунних шийок.

По згинах, у точці А перегину кривої відмічається знос у 0,12 мм, а середня арифметична не перевищує 0,14 мм. Овальність і конусність не перевищує 0,02 мм. За таких умов покращити роботу спряжень при експлуатації можна за рахунок заміни вкладишів під час технічного обслуговування. Але для цього необхідні зменшені вкладиші на 0,12 мм, а не 0,05 мм. Це дозволило б продовжити строк служби спряжень.

Таких вкладишів з таким зменшенням не існує, при тому, що робота спряжень з прогресивно зростаючим зазором призводить до поломок. Тому в капітальний ремонт надходить не менше 20 % валів з модальним значенням зносу шатунних шийок 0,10 мм і до 25 % корінних шийок зі зносом 0,06 мм при овальності і конусності, що не перевищує 0,015 мм.

Шліфування таких шийок під розмір вкладиша що зменшився на 0,3 мм є не виправданим та призводить до різкого зниження загального строку служби деталей.

При експлуатації вкладишів зі зменшенням 0,12 мм у подальшій роботі валів, знос шийок до моменту надходження двигуна на капітальний ремонт ставав би значно більшим. Тоді й шліфування шийок набуло б пріоритетного значення.

Ось чому встановлена градація ремонтних розмірів вкладишів потребує передбачення.

Граничний знос (зазори) за критеріями зміни умов тертя характеризується, зокрема, переходом від рідинного до інших видів тертя – граничного чи сухого. Це зрозуміло якщо застосовувати гідродинамічну теорію мащення.

Норматив пробігу для вантажних автомобілів до капітального ремонту і річний коефіцієнт охоплення капремонтom наведено в таблиці 2.5.

					<i>КРБАТ 2522014. 000 ПЗ</i>	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Початкові дані та граничний зазор в спряженні підшипник-колінчастий вал наведено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.5. Норматив пробігу вантажного автомобіля до капітального ремонту і річний коефіцієнт охоплення капремонтном

Середній пробіг, тис. км		Річний коефіцієнт обхвату капітальним ремонтом
Нові автомобілі до капітального ремонту	До міжкапітального ремонту	
230	180	0,11

Таблиця 2.6. Початкові дані та граничний зазор в спряженні підшипник-колінчастий вал

Абсолютна в'язкість масла, $H \times c/m^2$	0,03
Сумарна нерівність висот поверхонь вала і підшипника, мм	0,002
Окреме навантаження на підшипник, МПа	13,4
Частота обертання вала, $\omega, c^{-1}$	120
Граничний зазор в спряженні, $S_{max}$ , мм	0,20

Дані, що наведені в таблицях 2.5 та 2.6 відображають реалії при умовах експлуатації на автомобільних дорогах з твердим покриттям чи ґрунтових дорогах, що оброблені матеріалами які зв'язують.

## 2.2. Аналіз технічних умов для відновлення поверхні деталі

Колінчасті вали виготовляються відповідно до технічних умов, наведених в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7. Технічні умови виготовлення колінчастого валу

Параметри технічних умов	Величини
Діаметр корінних шийок, мм	74,98...75,0
Діаметр шатунних шийок, мм	74,98...75,0
Граничний зазор в спряженні, мм	0,20

Параметри технічних умов	Величини
Сума висот нерівності поверхонь вала і підшипника, мм	0,002
Зазор в контакті (шийки валів шатунні, корінні), мкм	0,0031
Зазор в контакті (вкладиші підшипників), мкм	0,0086
При шліфування залишають припуск в межах, мм, на послідовне полірування	0,004...0,005
Шорсткість після обробки складає	$Ra_{0,1}^{0,3}$
Припуск на шліфування в межах, мм	0,3...0,5
Овальність і конусність шийок під підшипники не більше, мм	0,02
Биття шийки під шестерню і середніх корінних шийок відносно крайніх не більше, мм	0,03
Биття фланцю кріплення по торцю на крайніх точках не більш, мм	0,04
Шорсткість поверхонь шийок	вище 8-го класу
Ширина шатунних шийок, мм	58
Ширина першої корінної шийки, мм	32,075...32,16
Ширина 2;3;4-ї корінної шийки, мм	30,80...31,39
Ширина п'ятої корінної шийки, мм	44,83...45,39
Твердість колінчастого вала	HRC 52...62
Окреме навантаження на підшипник, МПа	13,4
Частота обертання колінчастого вала, $\omega, c^{-1}$	120
Нові автомобілі до капітального ремонту, середній пробіг, тис. км	230

2.3 Вибір та обґрунтування методу й обладнання для відновлення поверхонь шийок

Різні види способів відновлення деталей дозволяють однакові дефекти усунути різними способами, проте якість та вартість відновлення також буде

					<b>КРБАТ 2522014. 000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

різнитися. Для відновлення деталі обирають спосіб, що за мінімальних витрат матеріалів та оплати праці забезпечує максимальний ресурс експлуатації деталі. Цей спосіб називають оптимальним саме через його раціональність. При виборі такого раціонального способу, враховують технологічні й економічні фактори.

Спочатку аналізують всі способи відновлення даної деталі з точки зору їх застосування.

Критерієм довговічності називають загальну характеристику технологічних методів підвищення зносостійкості. Вона дозволяє оцінити з точки зору послідовної працездатності спосіб відновлення деталі. Числено він виражається коефіцієнтом довговічності кожної конкретної деталі чи групи конструктивно однакових деталей. Цей коефіцієнт обраховують для кожного із способів відновлення. За допомоги критерію довговічності можна впевнено назвати спосіб відновлення, що забезпечує найкращий ресурс деталі, проте не можна сказати, що цей спосіб раціональний, тому що невідома кінцева вартість.

Остаточне рішення щодо вибору раціонального способу відновлення деталі роблять на основі техніко-економічного обґрунтування, яке об'єднує довговічність деталі та затрати на її відновлення.

Техніко-економічний критерій визначається виразом:

$$C_v < K_d C_n, \quad (2.4)$$

де:  $C_v$  – вартість відновлення деталі;

$K_d$  – коефіцієнт довговічності (відношення ресурсу відновленої деталі до ресурсу нової) наведено в таблиці 2.8;

$C_n$  – вартість нової деталі.

Порівняємо методи відновлення по економічним розрахункам собівартості економічної доцільності відновлення деталі.

Відновлення методом хромування:

$$C_v = 1,25 \times 16.644 = 20,805 \text{ грн./г};$$

					<b>КРБАТ 2522014. 000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Відновлення методом залізнення:

$$C_v = 1 \times 6,58 = 6,58 \text{ грн./г;}$$

Відновлення методом вібродугового наплавлення:

$$C_v = 0,9 \times 0,279 = 0,2511 \text{ грн./г;}$$

Відновлення методом наплавлення з шаром флюсу:

$$C_v = 0,9 \times 0,308 = 0,2772 \text{ грн./г;}$$

Відновлення методом наплавлення із застосуванням захисних газів:

$$C_v = 0,9 \times 0,242 = 0,2178 \text{ грн.;}$$

Відновлення методом плазмового наплавлення:

$$C_v = 1 \times 16,112 = 16,112 \text{ грн.}$$

За результатом проведених розрахунків метод наплавлення під шаром флюсу дешевше, ніж інші сучасні методи нанесення покриття.

Таблиця 2.8. Коефіцієнт довговічності при відновленні шийок колінчастих валів

Значення коефіцієнта довговічності при відновленні:					
Хромування	Залізнення	Віброду- гове наплавле- ння	Наплавлен- ня під флюсом	Наплавлення в середовищі вуглекислого газу	Методом ремонтних розмірів
1,0...1,25	0,85...1,0	0,8...0,9	0,85...0,90	0,85...0,90	0,9...1,0

В таблиці 2.9 відображено, в широкому діапазоні знаходяться можуть змінюватися техніко-економічні показники різних способів відновлення деталі. Це залежить не тільки від способу відновлення, але й від присадкового матеріалу, флюсу, захисних середовищ тощо. Якісні показники різних видів наплавлення подано в таблиці 2.10.

Вібродугове наплавлення – різновид автоматичного наплавлення під шаром флюсу чи в захисному газі. Воно відрізняється тим, що процес зварювання ведуть дротом який коливається з частотою 30...110 за секунду.

									Арк.
									30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

КРБАТ 2522014. 000 ПЗ

Амплітуда коливань електрода відносно деталі що наплавляють складає 1-3 мм. Сама ж вібрація електрода суттєво впливає на якість покриття та на весь хід процесу.

Таблиця 2.9. Техніко-економічні показники способів відновлення

Спосіб відновлення	Товщина шару наплавленого за один прохід, мм	Продуктивність, кг/год	Собівартість (вартість 1 грама покриття), грн.
Наплавлення під шаром флюсу	0,5...20,0	1,8...45,0	0,308...0,337
Наплавлення в середовищі захисних газів	0,8...4,0	1,56...4,4	0,242...0,474
Вібродугове наплавлення	0,5...5,0	0,6...4,4	0,279...0,746
Хромування	0,05...1,0	0,007...0,025	16,644...575,02
Залізнення	0,1...5,0	0,011...0,085	6,58...37,13
Плазмове наплавлення	0,1...12,0	2...18	0,112...0,373

Таблиця 2.10. Техніко-економічні показники методів нанесення покриттів

Методи нанесення покриттів	Зниження опору втоми, %	Деформація виробу	Доля основного металу в наплавленому	Міцність зчеплення, МПа
Наплавлення під флюсом	15	значна	27...60	650
Вібродугове наплавлення	35	незначна	8...20	500
Наплавлення під вуглекислим газом	15	значна	12...45	550
Плазмове наплавлення	12	незначна	5...30	490
Хромування	20	відсутня	відсутня	450
Залізнення	25	відсутня	відсутня	400

Під час вібродугового наплавлення, яке виконується на установках типу НД-102 або наплавлювальних автоматах із вібраційною подачею дроту, відбувається періодичний розрив дуги. Це створює дрібнокрапельний режим перенесення металу з електрода на поверхню деталі, що формує невелику за об'ємом зварювальну ванну. Такий режим забезпечує локальний тепловий вплив на деталь, сприяє отриманню тонкого шару наплавленого металу, а також зменшує глибину термічного впливу, що є особливо важливим для тонкостінних або термочутливих деталей. Наприклад, метод застосовується при ремонті валів діаметром понад 15 мм, зокрема у двигунах автомобілів ЗІЛ-130 та КамАЗ-740. Для наплавлення використовують дріт Св-08Г2С або порошковий дріт ПП-АН-18Г2С, що забезпечує необхідну твердість і зносостійкість покриття. Однак метод має обмеження: наплавлений шар часто містить пори, нерівномірний за твердістю, що знижує втомну міцність деталей майже вдвічі. Тому вібродугове наплавлення обмежено застосовують для деталей, що не зазнають високих циклічних навантажень, наприклад, втулок або кришок.

Наплавлення в середовищі вуглекислого газу проводять на напівавтоматах серії ПДГ-500 або Lincoln Electric Powertec. Захисний газ подається через спеціальні пальники, такі як Binzel MB 501 або Abicor Binzel MB 36, а також через вбудовані системи подачі на автоматизованих лініях. Як електродний дріт застосовують Св-08Г2С або Св-08ГС. Метод дозволяє легко контролювати процес, забезпечує хорошу видимість дуги та можливість наплавлення у важкодоступних місцях, включно зі стельовими швами. Його використовують для ремонту рам вантажних автомобілів (наприклад, МАЗ-5337), відновлення валів гідроциліндрів і пальців шарнірів у сільськогосподарській техніці. Недоліком є підвищена схильність шару до утворення тріщин через вигорання легуючих елементів, що зменшується застосуванням дротів зі збільшеним вмістом марганцю, кремнію, хрому та титану (наприклад, Св-08Г2СМнТ).

					КРБАТ 2522014. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Плазмове наплавлення застосовується для відновлення зношених поверхонь, таких як шийки колінчастих валів дизельних двигунів на підприємствах «Мотор-Січ» або «Південмаш». Наплавлення виконують на установках типу ПГС-100 або ПДП-150, використовуючи струмоведучий дріт Св-08Г2С або наплавлювальні порошки на основі нікелю (PG-19N-01) або кобальту. Технологія забезпечує мінімальний вплив на основний метал, глибину проплавлення в аргоні до 1,6 мм, а в CO<sub>2</sub> – до 2,4 мм. Плазмовий струмінь, що формується плазмотроном, має температуру до 30000 °С і швидкість витікання в 2–3 рази вище швидкості звуку, що дозволяє отримувати щільний і міцний шар покриття.

Автоматичне наплавлення під шаром флюсу широко застосовується для відновлення відповідальних деталей на підприємствах, таких як «Київський локомотиворемонтний завод» або «Львівський автомобільний завод». Процес реалізують на автоматах А-1222 або УД-1200, використовуючи дріт Св-08А та флюси АН-348А або АН-60. Дуга горить під розплавленим шаром флюсу, що захищає метал від атмосферного кисню, зменшує розбризкування, сприяє формуванню якісного шва та підвищує коефіцієнт використання тепла дуги. Втрати металу при цьому не перевищують 2 %, коефіцієнт наплавлення сягає 14–16 г/А·год, а продуктивність процесу – у 6–10 разів вища, ніж при ручному зварюванні. Метод особливо ефективний для ремонту валів, шестерень і важелів, що працюють у важких умовах тертя.

#### 2.4. Розробка технологічного процесу відновлення поверхні шийок

Процес базується на практиці ремонту двигунів внутрішнього згоряння, з урахуванням сучасних методів і технічних рекомендацій.

##### **Мета процесу**

Відновлення геометричних параметрів, фізико-механічних властивостей і експлуатаційної придатності корінних та шатунних шийок

										Арк.
										33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБАТ 2522014. 000 ПЗ					



№	Назва операції	Зміст операції
025	Повільне охолодження після наплавлення	Охолодження валу в печі або під теплоізоляційним матеріалом для зменшення внутрішніх напружень.
030	Термічна обробка	Нормалізація або низький відпуск при температурі 550–600 °С для зняття напружень і стабілізації структури металу.
035	Механічне оброблення	Точіння і шліфування шийок до номінального розміру згідно з технічними вимогами (допуск по діаметру $\pm 0,01$ мм, шорсткість Ra 0,32–0,63 мкм).
040	Контроль якості	Перевірка розмірів, форми (овальність, конусність), шорсткості, твердості (не менше 45 HRC), магнітопорошковий контроль на відсутність тріщин.
045	Балансування колінчастого валу	Динамічне балансування вала на спеціальному стенді для забезпечення допустимого дисбалансу.
050	Фінальна дефектація і маркування	Остаточний контроль валу, нанесення маркування про проведення ремонту, складання технічного паспорта на відновлену деталь.

#### Технічні вимоги до відновленої деталі

- Відновлений діаметр корінних і шатунних шийок: згідно з ремонтним розміром, передбаченим документацією.
- Шорсткість поверхні шийок після шліфування: **Ra  $\leq 0,63$  мкм.**
- Твердість наплавленого шару: **45–50 HRC.**
- Глибина наплавленого шару: не менше **2 мм.**
- Відсутність тріщин, пористості, оксидних включень та інших дефектів.

#### Заходи безпеки

- Використання індивідуальних засобів захисту (маски, спецодяг).
- Контроль стану обладнання, вентиляції, заземлення.
- Забезпечення пожежної безпеки в зоні проведення робіт.

						Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

КРБАТ 2522014. 000 ПЗ

Після виконання операції наплавлення колінчасті вали піддають перевірці на радіальне биття, що дозволяє оцінити їх геометричну правильність та визначити потребу в правці. Для контролю вали встановлюють на центри спеціалізованого стенда або токарного верстата, після чого за допомогою індикаторного годинникового механізму вимірюють величину биття в зоні корінних та шатунних шийок. Якщо за результатами контролю зафіксовано перевищення допустимого значення биття понад 0,4 мм, вал підлягає правці за допомогою преса, наприклад, моделі ОКС-1670, або іншого аналогічного обладнання, призначеного для виправлення великогабаритних деталей.

Процес правки виконується методом чеканки, який дозволяє усунути деформації без істотного зниження втомної міцності колінчастого валу. Такий підхід забезпечує збереження стабільності геометричних параметрів та форми деталі під час експлуатації. Чеканку галтелей здійснюють пневматичним kleпальним молотком КМП-14М або слюсарним ручним молотком масою 0,8 кг, обладнаним спеціальними бойками. Розміри бойків підбирають індивідуально, відповідно до параметрів галтелей, щоб запобігти пошкодженню прилеглих поверхонь.

Перед початком операції визначають зону та напрямок максимального прогину вала шляхом попереднього вимірювання. Деталь встановлюють на призму, орієнтуючи максимальний прогин вниз. Якщо зона найбільшого биття розташована в районі третьої корінної шийки у площині кривошипа, здійснюють чеканку галтелей першої та другої корінних шийок у ділянках перекриття корінної та шатунної шийок по дузі 40–50°. Після проведення чеканки контролюють величину биття. У разі, якщо биття перевищує допустимі межі, послідовно виконують чеканку галтелей третьої та четвертої, а також п'ятої та шостої шийок з проміжним контролем після кожного етапу. Якщо після багаторазових чеканок биття залишається понад 0,8 мм, процедуру повторюють у встановленій послідовності.

					<i>КРБАТ 2522014. 000 ПЗ</i>	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У випадку, коли максимальний прогин спостерігається у площині, перпендикулярній площині кривошипів, правку проводять шляхом симетричної чеканки двох галтелей, розташованих по обидва боки від шийки, яку випрямляють. Зони наклепу формують під кутом  $45^\circ$  до площини кривошипа, що дозволяє ефективно перерозподілити напруження та виправити геометрію деталі.

Перед виконанням наплавлення проводять попереднє шліфування колінчастого валу, метою якого є зняття залишкового загартованого шару з нерівномірним зносом та створення чистої базової поверхні. Після наплавлення здійснюють проміжну обробку з залишенням припуску, необхідного для завершального шліфування.

Фінішне шліфування шийок виконується на спеціалізованих шліфувальних верстатах, таких як 3М151 або ШОУ-125, з дотриманням послідовності: спочатку обробляють корінні шийки, потім – шатунні. До основних вузлів технологічного оснащення, що забезпечують точність і стабільність положення вала під час шліфування, належать нерегульовані центрозміщувачі, а також фіксуючі пристрої, які забезпечують надійну фіксацію заготовки у заданому положенні.

Кожну пару співвісних шатунних шийок встановлюють по осі центрів шліфувального верстата окремо, забезпечуючи правильну їх орієнтацію відносно базових поверхонь. Після виконання операції наплавлення проводять попереднє шліфування шийок, залишаючи необхідний припуск для фінішної обробки, яка забезпечить досягнення необхідних параметрів шорсткості та точності. Шліфування виконують послідовно, дотримуючись заданих технологічних розмірів і допусків.

Для шліфування корінних шийок як установочні бази використовують фаску отвору під храповик на передньому кінці вала, а також фаску або отвір на торці заднього фланця під підшипник. Ці базові поверхні попередньо перевіряють на відсутність відхилень і, за потреби, здійснюють їх

					<i>КРБАТ 2522014. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

виправлення. Для контролю точності колінчастий вал установлюють у центрах верстата або на призмах та вимірюють биття за допомогою індикатора годинникового типу, орієнтуючись на незношені поверхні шийок. Якщо биття на неробочій частині шийки під шестерню перевищує 0,03 мм, а на зовнішній поверхні фланця під маховик – понад 0,05 мм, бази підлягають виправленню.

При шліфуванні шатунних шийок за установочні бази застосовують шийку під шестерню, зовнішню циліндричну поверхню фланця під маховик або вже прошліфовані крайні корінні шийки, що забезпечує правильне встановлення деталі та збереження співвісності. Перед проведенням шліфування обов'язково виконують зенкування отворів масляних каналів на радіально-свердлильних верстатах або за допомогою електродриля для видалення задирок і забезпечення безперешкодного проходження мастила. Під час шліфування залишають припуски в межах 0,005–0,025 мм для остаточного полірування, що забезпечує досягнення необхідного класу шорсткості поверхні.

Перед шліфуванням проводять підправлення шліфувального круга за допомогою алмазного олівця, встановленого в оправку. Операцію виконують із подачею охолоджувальної рідини (емульсії), що забезпечує безпечне правлення абразиву. Циліндричну поверхню круга виправляють шляхом переміщення алмазного олівця у горизонтальній площині, а профіль галтелей формують методом кочення оправки з алмазним олівцем у тій самій площині. Бокові поверхні круга обробляють до необхідної ширини шляхом поперечного переміщення шліфувального круга. Рекомендується виконувати правлення шліфувального круга після обробки одного-двох колінчастих валів для забезпечення стабільної якості шліфування.

Щоб запобігти утворенню мікротріщин на поверхні шийок під час обробки, використовують рясне подавання охолоджувальної рідини. Струмień емульсії повинен повністю покривати робочу поверхню

					<i>КРБАТ 2522014. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

шліфувального круга, забезпечуючи ефективне охолодження і змазування. Як робочий розчин застосовують емульсію, що містить 10 г емульсійного масла на 1 л води.

Після виконання чистового шліфування колінчасті вали піддають балансуванню для усунення залишкових дисбалансів. Процес виконують на спеціалізованих балансувальних машинах з електромагнітними компенсаторами, де струм подається через обертовий контактний пристрій. Регулювання струму за допомогою реостата та поворот щіток дозволяють добитися повного згасання коливань рами, що фіксується індикатором. Допустима величина неврівноваженості моментів у корекційних площинах визначається з точністю 10–15 г·см<sup>2</sup>. Продуктивність балансувальної машини сягає до 30 валів на годину.

Під час балансування колінчастого вала часто виникають складнощі, пов'язані з усуненням дисбалансу в двох площинах корекції. Це обумовлено тим, що кутове положення масового дисбалансу може збігатися з розташуванням щік вала, що ускладнює внесення корекційних змін безпосередньо в обмежених зонах. Для вирішення такої ситуації застосовують технологію балансування з використанням чотирьох або навіть шести коригувальних площин, що дозволяє ефективно врівноважити дисбаланс незалежно від його просторового розташування (див. рисунок 7). Такий підхід дозволяє уникнути надмірного зняття металу з окремих ділянок щік вала, запобігаючи їх ослабленню та зниженню втомної міцності деталі.

У виробництві з великою програмою випуску колінчастих валів процес балансування поділяють на три етапи: попереднє, остаточне та контрольне. Для кожної операції передбачають окреме технологічне обладнання, що дозволяє оптимізувати процес, підвищити точність та скоротити час обробки.

Після завершення операцій балансування шийки колінчастого валу полірують на спеціалізованому полірувальному верстаті моделі 3855. Цей верстат дозволяє одночасно полірувати два вали, що підвищує

					<i>КРБАТ 2522014. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						39
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



Така обробка ефективно усуває мікронерівності, що залишаються після попередніх технологічних операцій, та забезпечує стабільність геометрії шийок при роботі в умовах змінних навантажень.

Під час шліфування шийок колінчастого вала під подальше суперфінішування залишають припуск близько 0,005 мм. Це дозволяє забезпечити необхідний ресурс обробки абразивних брусків та досягти високих показників якості поверхні після доведення.

Після завершення всіх механічних операцій оброблений колінчастий вал піддають ретельному очищенню на мийних установках для видалення технологічних забруднень, пилу та залишків абразиву. Завершальним етапом є кінцевий контроль якості, який передбачає перевірку геометричних параметрів, шорсткості, твердості та відсутності тріщин або інших дефектів. Тільки після проходження повного циклу контролю вал вважається придатним для подальшої експлуатації або встановлення в двигун.

## 2.5. Розрахунок припусків аналітичним методом

Розрахуємо припуски аналітичним методом на обробку Ø75, Ø65,5 корінних та шатунних шийок колінчастого валу, для заготовки, що виготовлена на ковальсько-штампувальному пресі, на механічну обробку шийок на верстаті 16К40/(32,44,55), для закріплення в центрах.

Припуск на обробку визначаємо за формулою:

$$2Z_{\min} = 2(Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{yi}^2}), \quad (2.5)$$

де  $Rz_{i-1}$  – висота мікрорельєфу від попередньої операції;

$T_{i-1}$  – глибина дефектного шару з попередньої операції;

$\rho_{i-1}$  – геометрична сума просторових відхилень з попередньої операції;

$\varepsilon_{yi}$  – похибка встановлення на операції яку виконуємо.

Висоту мікронерівностей  $Rz_{i-1}$  та глибину дефектного шару  $T_{i-1}$  заготовки на операції механічної обробки вибираємо за довідником та записуємо в таблиці 2.12 і 2.13.

					<b>КРБАТ 2522014. 000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Таблиця 2.12. Аналітичний розрахунок припусків  $\phi 75_{(-0,02)}$ 

Найменування операції переходу	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск, $Rz_{min}$ , мкм	Розрахунковий Розмір, мм	Допуск IT, мкм	Граничні розміри, мм		Граничні значення припусків, мм	
	$Rz_{i-1}$	$T_{i-1}$	$\rho_{i-1}$	$\epsilon_{yi}$				Min	Max	$2Z_{min}$	$2Z_{max}$
Заготовка	200	300	106	-	-	75,237	740	75,237	75,977	0,023	0,763
Шліфувати попередньо	50	50	6	-	$\frac{2 \times 106}{212}$	75,025	190	75,025	75,215	0,212	0,762
Шліфувати кінцево	5	10	-	-	$\frac{2 \times 15}{30}$	74,995	30	74,995	75,025	0,030	0,190
Полірування	2,5	5	-	-	$\frac{2 \times 7,5}{15}$	74,98	20	74,98	75	0,015	0,025

Таблиця 2.13. Аналітичний розрахунок припусків  $\phi 65,5_{(-0,02)}$ 

Найменування операції переходу	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск, $Rz_{min}$ , мкм	Розрахунковий Розмір, мм	Допуск IT, мкм	Граничні розміри, мм		Граничні значення припусків, мм	
	$Rz_{i-1}$	$T_{i-1}$	$\rho_{i-1}$	$\epsilon_{yi}$				Min	Max	$2Z_{min}$	$2Z_{max}$
Заготовка	200	300	106	-	-	65,737	740	65,737	66,477	0,523	1,263
Шліфувати попередньо	50	50	6	-	$\frac{2 \times 106}{212}$	65,525	190	65,525	65,715	0,212	0,762
Шліфувати кінцево	5	10	-	-	$\frac{2 \times 15}{30}$	65,495	30	65,495	65,525	0,030	0,190
Полірування	2,5	5	-	-	$\frac{2 \times 7,5}{15}$	65,48	20	65,48	65,5	0,015	0,025

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

КРБАТ 2522014. 000 ПЗ

Арк.

42

Геометричну суму просторових відхилень визначається за формулою:

$$\rho_{\text{заг}} = \Delta_{\text{к}} \times L, \quad (2.6)$$

де  $\Delta_{\text{к}}$  – питома кривизна,  $\Delta_{\text{к}} = 0,12$  мкм/мм;

$L$  – відстань між опорами,  $L = 880$  мм.

$$\rho_{\text{заг}} = 0,12 \times 880 = 105,6 \text{ мкм.}$$

Залишкова кривизна заготовки визначається за формулою:

$$\rho_{\text{ост}} = K_{\text{у}} \times \rho_{\text{заг}}, \quad (2.7)$$

де  $K_{\text{у}}$  – коефіцієнт уточнення, для попередньої обробки  $K_{\text{у}} = 0,06$ .

$$\rho_{\text{ост}} = 0,06 \times 105,6 = 6,3 \text{ мкм.}$$

У наступних операціях величина геометричної суми просторових відхилень настільки мала, що нею нехтуємо.

Через те, що при обробці в центрах використовується принцип суміщення баз, похибка базування дорівнюватиме нулю,  $\varepsilon_6 = 0$ .

При використанні механізованого приводу сили затиску практично постійна, тому похибка закріплення також дорівнює нулю,  $\varepsilon_3 = 0$ .

Тоді:

$$\varepsilon_{\text{у}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{б}}^2 + \varepsilon_3^2} = 0. \quad (2.8)$$

Визначаємо припуск на операції, що виконуються:

– чистове точіння

$$2Z_{\text{min}} = 2(50+50+6) = 2 \times 106 \text{ мкм.}$$

– кінцеве шліфування

$$2Z_{\text{min}} = 2(5+10) = 2 \times 15 \text{ мкм.}$$

– полірування

$$2Z_{\text{min}} = 2(2,5+5) = 27,5 \text{ мкм.}$$

Визначаємо загальні припуски:

$$2Z_{\text{max}} = \sum 2Z_{\text{maxi}} = 0,762 + 0,190 + 0,025 = 0,977 \text{ мм;}$$

$$2Z_{\text{min}} = \sum 2Z_{\text{mini}} = 0,212 + 0,030 + 0,015 = 0,257 \text{ мм.}$$

Проводимо перевірку визначення числових значень припусків:

					<b>КРБАТ 2522014. 000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

$$2Z_{3\max} - 2Z_{3\min} = IT_3 - IT_D, \quad (2.9)$$

$$0,977 - 0,257 = 0,740 - 0,02,$$

$$0,72 = 0,72.$$

Числові значення припусків визначені вірно.

Визначаємо дійсний розмір заготовки.

Для корінних шийок

$$D_3 = 76_{-0,763}^{-0,023} \text{ мм.}$$

Для шатунних шийок

$$D_3 = 67_{-1,263}^{-0,523} \text{ мм.}$$

Відповідно до приведених розрахунків розробляємо ілюстраційну схему розташування полів припусків і допусків (рисунки 8 і 9).

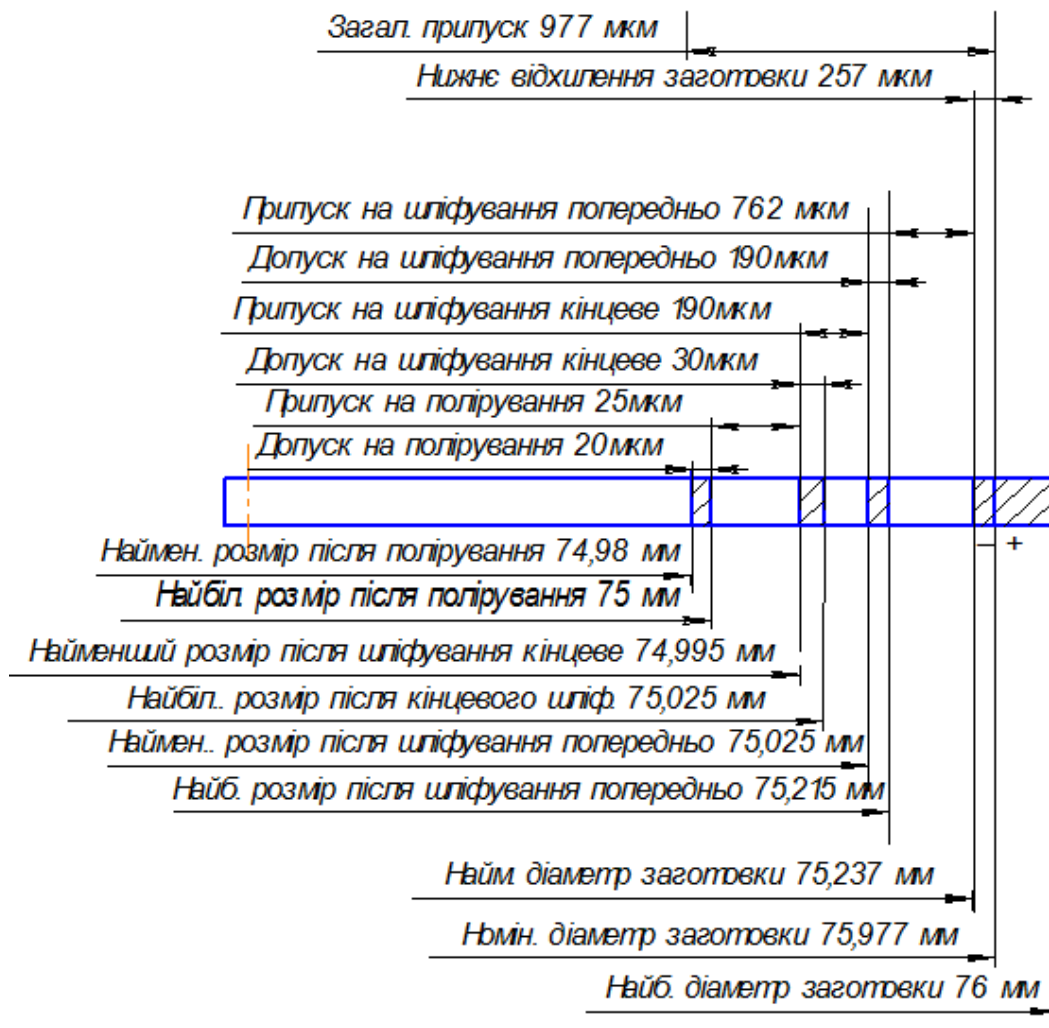


Рис. 8 – Схема розташування полів припусків і допусків

										Арк.
										44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБАТ 2522014. 000 ПЗ					

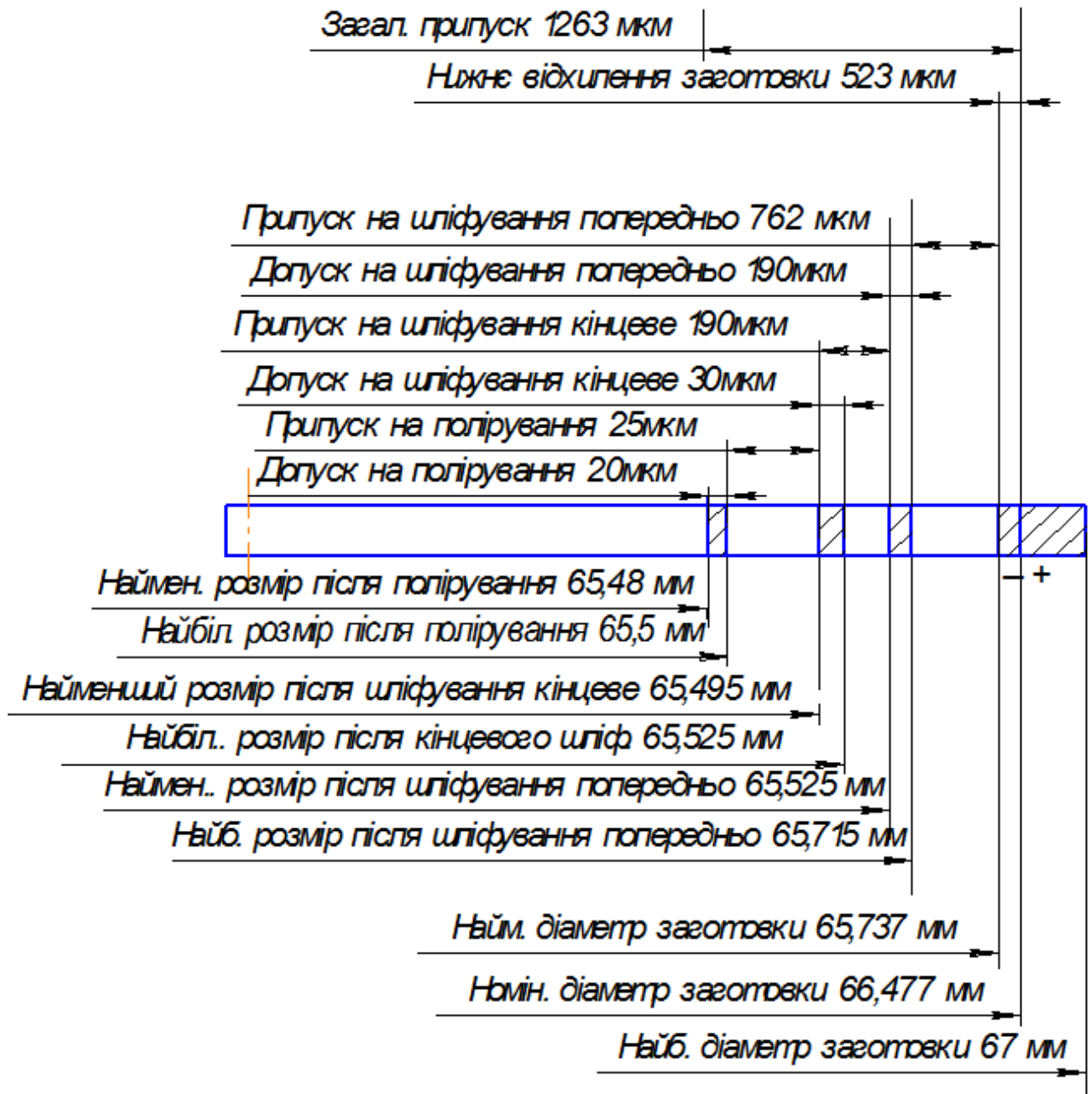


Рис. 9 – Схема розташування полів припусків і допусків

## 2.6. Режими для наплавлення поверхні шийок

Для відновлення шийок карданних валів ефективно застосовуються наплавочні головки, які забезпечують високу якість наплавленого шару та продуктивність процесу. Рекомендовані наплавочні головки:

Головка А-580М.

										Арк.
										45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБАТ 2522014. 000 ПЗ					

Ця головка призначена для автоматичного наплавлення під шаром флюсу. Вона встановлюється на супорт токарно-гвинторізного верстата і переміщується за допомогою ходового гвинта верстата. Головка А-580М забезпечує рівномірне наплавлення металу на поверхню деталі, що відновлюється.

Головка ПДШ-500.

Ця головка використовується для напівавтоматичного наплавлення під шаром флюсу. Вона оснащена механізмом подачі електродного дроту та системою подачі флюсу, що дозволяє отримати високоякісне наплавлення з мінімальними втратами металу.

Наплавочні головки функціонують шляхом створення електричної дуги між електродним дротом і поверхнею деталі. Під дією цієї дуги електродний дріт плавиться, і розплавлений метал наноситься на зношену поверхню деталі. Шар флюсу, який покриває зону наплавлення, захищає розплавлений метал від окислення та сприяє формуванню якісного наплавленого шару.

Наплавлення поверхні колінчастого вала розпочинають із відновлення корінних шийок. Після встановлення вала в пристосування наплавлювальної установки його надійно фіксують, а наплавочну головку розташовують на краю першої корінної шийки з боку хвостовика. Висота положення головки над відновлюваною поверхнею становить приблизно 10–13 мм, що забезпечує оптимальні умови формування наплавленого валика.

Перед початком процесу налаштовують попередньо визначений режим наплавлення, подають флюс у зону наплавлення та підводять наплавочний дріт до пульта керування. Далі вмикають обертальний механізм, при цьому важливо, щоб колінчастий вал обертався у напрямку, протилежному до положення оператора. Одночасно активують джерело живлення, систему вентиляції, подачу порошкового флюсу, механізм подавання дроту, а також запалюють дугу та запускають коливальний пристрій головки.

					КРБАТ 2522014. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Регулювання глибини проплавлення та висоти наплавленого шару здійснюють переважно завдяки зміні розподілу струму між електродним дротом і деталлю. Формування першого валика виконується по замкненому кільцевому контуру на шийці. Далі активують механізм поздовжньої подачі, і наплавлення ведуть по спіральній траєкторії у вигляді гвинтової лінії, завершуючи цикл знову кільцевим валиком, не доходячи 4–6 мм до галтелі, що дозволяє уникнути перегріву та зосередження напруг у перехідній зоні.

Після завершення наплавлення циліндричної частини відключають дугу, подачу наплавочних матеріалів, переводять головку до зони галтелі. Наплавлення галтелей виконують кільцевими валиками, для чого за допомогою поворотного механізму головку нахиляють під заданим кутом, забезпечуючи плавний перехід від циліндричної поверхні до радіусної частини.

Після відновлення першої шийки головку піднімають механізмом підйому і встановлюють на п'ятій корінній шийці. Послідовність наплавлення корінних шийок витримують у наступному порядку: 1–5–3–2–4. Наплавлення галтелей виконують окремо після наплавлення шийок; першочергово рекомендується обробляти попередньо прогріту галтель, що прилягає до щойно відновленої шийки, а потім переходити до протилежної.

Для наплавлення шатунних шийок вал встановлюють у центр призми або іншого пристосування для співвісної фіксації. Наплавлення здійснюють у визначеній послідовності: 2–3–1–4, що дозволяє зберегти правильний порядок теплового навантаження та уникнути деформацій деталі.

Термічний режим наплавлення шийок колінчастого валу визначається параметрами електродугового процесу, що забезпечують необхідну глибину проплавлення, формування наплавленого шару без перегріву основного металу та запобігання термічним деформаціям вала. Основні параметри наведені в таблиці 2.14.

					КРБАТ 2522014. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Таблиця 2.14. Умови термічного режиму наплавлення

Параметр	Значення	Примітки
Сила зварювального струму, А	400...550	Залежить від діаметра дроту
Напруга дуги, В	26...32	Забезпечує стабільне горіння дуги
Швидкість подачі дроту, м/хв	10...15	Регулюється для отримання необхідної товщини шару
Діаметр електродного дроту, мм	3,0...4,0	Зазвичай Св-08Г2С, ПП-АН-18Г2С
Попередній підігрів деталі, °С	150...200	Зменшує ризик утворення тріщин
Температура наплавлення, °С	700...900	Локальна зона плавлення
Швидкість наплавлення, м/хв	0,2...0,5	Залежить від довжини шийки та конструкції
Товщина шару за один прохід, мм	1,5...3,0	Контроль товщини згідно з технічними вимогами
Глибина проплавлення, мм	0,5...1,5	Мінімальна для збереження структури деталі

Примітка: Для шатунних шийок режим може бути знижений на 5–10 % через менший діаметр та менший тепловідвід.

Для відновлення шийок колінчастого вала було обґрунтовано вибір раціональних матеріалів, що забезпечують необхідні експлуатаційні властивості наплавленого шару. Як основний наплавочний матеріал застосовано дріт марки Нп-65Г, хімічний склад якого представлено в таблиці 2.15. Для формування легуючого середовища використовується спеціально підготовлена суміш флюсів, що складається з флюсу АН-348А з додаванням модифікуючих компонентів – ферохрому, феромарганцю та графіту. Такий склад дозволяє підвищити механічні характеристики наплавленого шару за рахунок легування.

										КРБАТ 2522014. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							48

Таблиця 2.15. Хімічний склад дроту для наплавлення Нп-65Г

Хімічний склад, %					Діаметр дроту, мм	Флюс	Твердість після наплавки, HRC
C	Mn	Si	Cr	Ni	1,6	АН-348А	25-32
0,6-0,7	0,9-1,2	0,17-0,37	0,3	0,3			

Флюсова суміш укладається рівномірним шаром товщиною 15–20 мм на сталевому листі, після чого піддається сушінню протягом 15–25 хвилин при температурі 100–120 °С для видалення вологи. Після первинної сушки суміш просіюють через сито №16 для усунення грудок і забезпечення однорідності зернового складу, а потім проводять додаткове сушіння при температурі 150–200 °С протягом 3–4 годин для досягнення стабільних властивостей.

Під час змішування агломератних компонентів із флюсом у визначених пропорціях отримують легуючий флюс, який забезпечує формування наплавленого шару однорідного хімічного складу, підвищеної твердості та зносостійкості. Технічні характеристики отриманого наплавленого металу наведено в таблиці 2.16.

За результатами випробувань твердість наплавленого шару на відновлених колінчастих валах складає 56 HRC, що відповідає діапазону твердості заводських колінчастих валів, виготовлених із загартованих сталей (52–60 HRC). Таким чином, застосування даної технології дозволяє забезпечити необхідні експлуатаційні властивості деталі без необхідності проведення додаткового гартування шийок струмами високої частоти після наплавлення, що спрощує технологічний процес і знижує енергетичні витрати.

					КРБАТ 2522014. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Таблиця 2.16. Залежність твердості наплавленого металу від складу ферохрому в флюсі

Склад, у відсотках	Твердість HRC наплавленого металу для електродного дроту		
Агломерат ферохрому в флюсі	Хром в наплавленому металі	Св-08	Нп-60Г
5	2	32/46,5	41,5/49,5
10	4	36,50,5	49,5/54,5
15	6	44,5/55,5	56/56
25	10	44,5/–	49,5/–
20	8	49,5/52	53,5/–
Примітка. В чисельнику дроби – твердість наплавлення без термічної обробки; в знаменнику – після термічної обробки.			
Вибрано раціональний матеріал для наплавлення			
15	6	Нп-60Г	

Оптимальний режим наплавлення наведено в таблиці 2.17.

Таблиця 2.17. Режим наплавлення для відновлення колінчастого вала

Діаметр, мм		Зміщення з zenіту, мм	Шаг наплавлення, мм	Сила струму, А	Швидкість, м/год.	
Деталі	Електродного дроту				Подача електродного дроту	Наплавлення
75	1,6	3	3,5	180	110	15
65,5	1,6	2	3	150	75	16
Частота обертання колінчастого вала, с <sup>-1</sup>		Напруга зварювальної дуги, В		Виліт електрода, мм		Полярність
0,0255		27		15		пряма

### 3. Технологічне планування дільниці відновлення колінчастого вала

#### 3.1. Призначення дільниці

Дільниця відновлення колінчастих валів призначена для проведення ремонтно-відновлювальних робіт з відновлення геометричних параметрів, експлуатаційних характеристик та ресурсу колінчастих валів двигунів внутрішнього згорання, що зазнали зносу внаслідок тривалої експлуатації. Основним завданням дільниці є виконання технологічних операцій, спрямованих на відновлення корінних і шатунних шийок колінчастих валів за допомогою методів наплавлення та механічної обробки до заданих розмірів і технічних вимог.

Дільниця призначена для обслуговування підприємств автомобільного транспорту, ремонтних майстерень, а також спеціалізованих підприємств машинобудування, де необхідно відновлювати колінчасті вали вантажних і легкових автомобілів, сільськогосподарської техніки та інших машин. Обладнання дільниці дозволяє виконувати весь цикл відновлювальних робіт, включаючи дефектацію, підготовку поверхонь, наплавлення зношених зон, термічну обробку, шліфування, полірування та контроль якості готових деталей.

Дільниця має бути обладнана верстатами для шліфування, установками для автоматичного або плазмового наплавлення, балансувальними машинами, пристроями для очищення та мийки, а також контрольно-вимірювальним обладнанням для перевірки точності обробки і контролю якості відновлених валів. Організація технологічного процесу на дільниці спрямована на забезпечення високої якості ремонту, зниження витрат на виготовлення нових валів та продовження терміну експлуатації відновлених деталей.

					КРБАТ 2522014. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

### 3.2. Обладнання дільниці

Для забезпечення повного циклу відновлення колінчастих валів дільниця оснащується спеціалізованим обладнанням, яке дозволяє виконувати дефектацію, підготовку поверхонь, наплавлення, термічну обробку, механічну обробку та контроль якості деталей. Комплект обладнання підбирається з урахуванням технологічних особливостей процесу та забезпечення високої продуктивності при гарантованій якості ремонту.

Таблиця 3.1. Склад основного технологічного обладнання дільниці

№	Найменування обладнання	Тип або модель	Призначення
1	Токарно-гвинторізний верстат	16К40/32, 16К40/44, 16К40/55	Виконання попередньої обробки та базування валів
2	Шліфувальний верстат	3М151, ШОУ-125	Шліфування корінних і шатунних шийок колінчастого вала
3	Наплавлювальна установка	А-580М, ПДШ-500, ПГС-100	Наплавлення корінних та шатунних шийок з урахуванням геометрії деталі
4	Піч електрична	СНОЛ-3.5.5/3, СНОЛ-7.5.3/5	Термічна обробка після наплавлення (нормалізація, відпуск)
5	Балансувальний верстат	ВБ-2518, ВБ-1000, СБ-1000М	Балансування колінчастих валів
6	Установка для очищення та мийки	УМ-400, УЗМ-500	Очищення валів перед обробкою та після наплавлення
7	Радіально-свердлильний верстат	2А554, 2А554М	Зенкування отворів масляних каналів, підготовка отворів під



Організація оснащення дільниці передбачає розташування обладнання у логічній послідовності технологічного процесу: від зони дефектації та підготовки – до наплавлення, термічної обробки, шліфування та балансування. Це забезпечує безперервний потік деталей, мінімізує простої та підвищує ефективність роботи.

### 3.3. Організація робочих місць

Організація робочих місць на дільниці відновлення колінчастих валів виконується відповідно до вимог раціональної організації праці, ергономіки та безпеки працівників. Грамотно спроектовані робочі місця забезпечують безперервність технологічного процесу, підвищують продуктивність праці, мінімізують втрати часу та знижують втому персоналу.

Робочі місця на дільниці поділяються за функціональним призначенням на наступні зони:

- зона дефектації;
- зона підготовки деталей до наплавлення;
- зона наплавлення;
- зона термічної обробки;
- зона механічної обробки (шліфування, полірування);
- зона балансування;
- зона контролю якості;
- допоміжна зона (очищення, зберігання флюсів та витратних матеріалів).

На кожному робочому місці встановлюється основне технологічне обладнання, необхідне для виконання відповідних операцій, а також допоміжне оснащення: пристрої для кріплення деталей, підйомно-транспортні засоби (талі, візки, крани-балки), контрольно-вимірювальний інструмент (індикатори, мікрометри, нутроміри), пристрої для очищення (щітки, пілососи, пневматичні системи) та засоби індивідуального захисту.

					<i>КРБАТ 2522014. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Зона дефектації обладнується робочим столом зі стаціонарним освітленням, дефектоскопом (магнітопорошковим або ультразвуковим), місцем для візуального огляду. Тут проводять приймальний контроль колінчастих валів: вимірювання геометричних параметрів, виявлення тріщин та інших дефектів.

Робоче місце наплавлювача обладнується верстатом для наплавлення (наприклад, установка А-580М), джерелом живлення для дугового процесу, системою подачі флюсу та дроту, пристроями для кріплення вала, системою вентиляції для видалення шкідливих випарів та пилу. Робочий стіл наплавлювача оснащується панеллю керування режимами наплавлення, шафою для зберігання електродів, дроту та флюсів, а також захисними екранами.

На ділянці організовується окрема зона для шліфування і полірування, де встановлюють шліфувальні верстати (ЗМ151, ШОУ-125) та полірувальні машини (типу 3855). Робоче місце шліфувальника оснащується пристосуваннями для фіксації валів, засобами охолодження (системи подачі емульсії), пристроями для правки шліфувальних кругів та комплектом контрольно-вимірювального інструменту. Для зниження запиленості використовують витяжну вентиляцію.

Робоче місце оператора балансування організовується біля балансувального верстата (ВБ-2518 або аналогічного) та оснащується пристроями для кріплення колінчастого вала, електромагнітними компенсаторами, блоком керування та індикатором для контролю рівня вібрацій. Для зручності оператора передбачаються полиці для зберігання корекційних вантажів, інструментів та матеріалів.

Організація робочих місць дотримується принципу поточної організації виробництва: робочі місця розташовуються у логічній послідовності відповідно до етапів технологічного процесу, що мінімізує переміщення деталей, скорочує допоміжний час та запобігає виникненню затримок у

					<i>КРБАТ 2522014. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

виробничому циклі. Зона для контролю якості обладнується вимірювальною апаратурою, шаблонами, стендами для перевірки биття та інструментами для остаточної перевірки готової продукції.

#### 3.4. Розрахункова частина

Річна виробнича програма відновлення колінчастих валів – 3000 штук.

Трудомісткість відновлення колінчастих валів – 17 хвилин.

Режим роботи дільниці по відновленню колінчастих валів в одну зміну.

Ефективний річний фонд робітника – 1776 годин.

Ефективний річний фонд наплавленого обладнання – 1965 годин.

Тип виробництва – багатосерійне.

Річний обсяг робіт визначають за формулою:

$$T_p = (N \times T) \times K_{ВП}, \quad (3.1)$$

де: N – річна виробнича програма, N = 3000 штук;

T – трудомісткість відновлення, T = 17 хв.;

$K_{ВП}$  – коефіцієнт власних потреб підприємства,  $K_{ВП} = 1,1$ .

$$T_p = (N \times T) \times K_{ВП} = (3000 \times 17) \times 1,1 = 56100 \text{ хв.} = 935 \text{ год./рік.}$$

#### Визначення кількості обладнання

Розрахунок кількості технологічного обладнання ведеться на основі показників трудомісткості, верстатомісткості об'єктів ремонту, подовженості технологічних операцій, фізичних параметрів об'єктів ремонту (маси, площі поверхонь покриття і т.п.).

$$K_{об} = T_p / \Phi_{еф} = 935 / 1965 = 0,47, \quad (3.2)$$

де  $T_p$  – річний обсяг робіт;  $\Phi_{еф}$  – розрахунковий ефективний фонд робочого часу обладнання при роботі в одну зміну. Прийнято  $K_{об} = 1$ .

#### Визначення чисельності робітників

Кількість робітників визначають:

$$Ч_p = T_p / \Phi_{еф} = 935 / 1776 = 0,52, \quad (3.3)$$

де:  $T_p$  – річний обсяг робіт;

					<b>КРБАТ 2522014. 000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

$\Phi_{\text{эф}}$  – ефективний річний фонд робітника,

$\Phi_{\text{эф}} = 1776$  год.

Прийнято  $\text{Ч}_p = 1$  робітник.

Розрахунок площі поста

Укрупнений розрахунок визначають:

$$F_{\text{gin}} = f_p \times X_p = 15 \times 2 = 30 \text{ м}^2, \quad (3.4)$$

де:  $f_p$  – питома площа на одного робітника зварювально-наплавочної дільниці,  $f_p = 15 \text{ м}^2$ ;

$X_p$  – кількість робітників,  $X_p = 2$ .

Площу дільниці з використанням коефіцієнту приведення розраховують за формулою:

$$F_g = \sum f_v \times K_{\text{п}} = 80,34 \times 5 = 401,7 \text{ м}^2, \quad (3.5)$$

де:  $\sum f_v$  – сумарна площа верстатів і допоміжного обладнання на підлозі;

$K_{\text{п}}$  – коефіцієнт приведення, який враховує прохід зварювально-наплавочної дільниці,  $K_{\text{п}} = 5$ .

					<i>КРБАТ 2522014. 000 ПЗ</i>	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 4. Економічний розділ

Відновлення колінчастих валів є ефективним способом зниження витрат на технічне обслуговування і ремонт автомобільного транспорту та сільськогосподарської техніки. Враховуючи високу вартість нових валів та обмеженість ресурсів, відновлення дозволяє продовжити термін служби деталей за значно нижчою собівартістю. У цьому розділі проведено порівняльний аналіз витрат на відновлення колінчастих валів шляхом наплавлення та шліфування порівняно з придбанням нових деталей.

Вихідні дані для розрахунку зведені в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1. Економічне обґрунтування відновлення колінчастих валів

Показник	Значення
Середня вартість нового колінчастого вала	45 000 грн
Собівартість відновлення одного вала	12 500 грн
Обсяг відновлення за місяць	20 колінчастих валів
Термін служби відновленого вала	80–90% від ресурсу нового вала
Рівень твердості після відновлення	56 HRC (заводські вали: 52–60 HRC)
Економія матеріалів та ресурсів	65–70% порівняно з виготовленням нового

Економічний ефект обчислюється за формулою:

$$E=(45000-12500)\times(20\times 12)=32500\times 240=7800000 \text{ грн.}$$

Річна економія становить 7,8 млн грн.

Економічна ефективність відновлення оцінюється як економія коштів на один вал 32 500 грн. Тоді рівень економії складе 72,2 %. Термін окупності обладнання для ділянки буде близько 1 року.

										Арк.
										58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

КРБАТ 2522014. 000 ПЗ

Висновок Технологія відновлення колінчастих валів шляхом наплавлення та шліфування забезпечує значну економію матеріалів, енергоресурсів та фінансових витрат. Собівартість відновленого вала в 3,6 рази нижча за вартість нового, що дозволяє підприємству знизити витрати на ремонт та обслуговування техніки. Крім того, застосування наплавлювальних головок і сучасного обладнання дозволяє отримати наплавлений шар із характеристиками, близькими до нового вала, що забезпечує його надійність у роботі.

					КРБАТ 2522014. 000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5. Охорона праці та техніка безпеки

Організація безпечних умов праці на дільниці відновлення колінчастих валів є обов'язковою вимогою чинного законодавства України, зокрема Закону України «Про охорону праці», ДСТУ та галузевих норм безпеки. Основна мета — запобігання травматизму та професійним захворюванням працівників шляхом впровадження комплексних заходів безпеки, використання засобів захисту, систем вентиляції, дотримання правил технічної експлуатації обладнання.

Під час виконання робіт на дільниці виникають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- електричний струм високої напруги при використанні зварювальних установок;
- розпечений метал, бризки шлаку та дугового металу при наплавленні;
- підвищені рівні шуму (70–85 дБ) від роботи верстатів та установок;
- вібрація від шліфувальних і балансувальних верстатів;
- випари шкідливих речовин (озон, оксиди азоту, марганцю, пил) при зварювальних роботах;
- небезпека ураження обертовими частинами верстатів;
- фізичне навантаження при транспортуванні важких деталей.

Для захисту працівників використовуються такі засоби індивідуального захисту (ЗІЗ):

- захисні щитки або маски з автоматичним затемненням для обличчя та очей;
- рукавиці з термостійкої шкіри для захисту рук;
- спецодяг (бавовняний костюм, комбінезон);

					КРБАТ 2522014. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

- респіратори або вентиляційні маски при роботі в зоні наплавлення;
- беруші або навушники для захисту органів слуху.

Коллективний захист забезпечується такими заходами:

- обладнанням ділянки витяжною вентиляцією для видалення шкідливих парів;
- встановленням заземлення електрообладнання;
- обмежувальними кожухами та захисними екранами на обертових частинах верстатів;
- аварійними вимикачами живлення на видимих місцях;
- попереджувальними знаками безпеки на обладнанні.

Працівники ділянки повинні дотримуватись таких вимог:

- проходити регулярний інструктаж з охорони праці (первинний, повторний, позаплановий);
- перевіряти справність обладнання, заземлення, кабелів перед початком роботи;
- працювати на обладнанні лише за наявності захисних огорожень;
- дотримуватись правил безпечного зберігання та транспортування флюсів і дротів;
- не торкатись рухомих або напружених частин обладнання під час роботи;
- своєчасно прибирати металевий пил і шлам після обробки;
- у разі виникнення пожежі діяти згідно з планом евакуації та використовувати засоби пожежогашіння.

					<b>КРБАТ 2522014. 000 ПЗ</b>	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дільниця обладнується первинними засобами пожежогасіння: вогнегасниками (порошковими, вуглекислотними), ящиками з піском, пожежними щитами. У зоні виконання наплавлення та шліфування встановлюються протипожежні килимки та вогнестійкі ширми. Забороняється зберігання легкозаймистих матеріалів поблизу місць проведення зварювальних робіт.

					КРБАТ 2522014. 000 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВОК

У рамках випускної кваліфікаційної роботи бакалавра було розроблено технологічний процес відновлення корінних та шатунних шийок колінчастого валу автомобілів.

Кваліфікаційна робота бакалавра (КРБ) складається із п'яти розділів.

У вступі була обґрунтована доцільність відновлення шийок колінчастого валу, сформульована мета роботи.

В першому розділі розглянута конструкція колінчастого валу, його функції та умови експлуатації, проведено порівняльний аналіз сучасних методів відновлення.

У другому, технологічному розділі обґрунтований вибір методу й обладнання для відновлення, розроблений технологічний процес, розраховані припуски на механічну обробку, а також режими наплавлення поверхонь.

Третій розділ присвячений розробці ділянки відновлення, схемі розташування обладнання, його перелік, організації робочих місць та площ.

У економічному й розділі охорони праці та техніки безпеки надані рекомендації з економічної доцільності, а також запропоновані заходи безпеки при проведенні відновлювальних робіт.

Випускна кваліфікаційна робота складається з 66 сторінок, і містить у собі 10 ілюстрації, 23 джерела, 19 таблиць, 1 додаток.

Ключові слова: ЗВАРЮВАЛЬНА ДІЛЯНИЦЯ, НАПЛАВЛЕННЯ В ВУГЛЕКИСЛОМУ СЕРЕДОВИЩІ, НАПЛАВЛЕННЯ, ВІДНОВЛЕННЯ.

					КРБАТ 2522014. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

## СПИСОК ВИКОРИСТОВУВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мозговий В.В. Ремонт автомобілів. - К.: Либідь, 2015. - 328 с.
2. Єршов А.П., Семенов В.А. Відновлення деталей машин: Підручник. - Х.: ХНАДУ, 2019. - 268 с.
3. Баранов С.А. Відновлення колінчастих валів сучасних двигунів. // Автотранспортне підприємство. - 2021. - №3. - С. 23-28.
4. Sun Y. Plasma Nitriding of Titanium Alloys. In: Leyens C., Peters M. (Eds.). Titanium Alloys - Towards Achieving Enhanced Properties. IntechOpen, 2015.
5. Ткаченко Ю.М. Сучасні методи зміцнення поверхонь деталей машин. - Київ: Політехніка, 2020. - 212 с.
6. Рожко О.М., Андрущенко О.П. Перспективні напрями ремонтно-відновних технологій у транспортній галузі. // Вісник ТДТУ. - 2020. - №1. - С. 45-50.
7. Швець С.В., Швець І.С. Матеріалознавство в машинобудуванні. Навчальний посібник. - Хмельницький: ХНУ, 2021. - 298 с.
8. Бойко А.А., Ткаченко Ю.М. Конструкційні матеріали та технології їх обробки. - Київ: КНУТД, 2020. - 243 с.
9. Коломієць О.М., Рубан В.В. Деталі машин. Конструкції та розрахунки. - Харків: НТУ "ХПІ", 2020. - 275 с.
10. International Organization for Standardization. ISO 683-1:2016 Heat-treated steels, alloy steels and free-cutting steels - Part 1: Non-alloy steels for quenching and tempering.
11. Callister W.D., Rethwisch D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction, 10th ed. - Wiley, 2018. - 960 p.
12. Czichos H. Tribology: A Systems Approach to the Science and Technology of Friction, Lubrication and Wear. - Springer, 2015. - 654 p.

					КРБАТ 2522014. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

13. ASM International. Metals Handbook: Volume 1 - Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys. - ASM Int., 2020.
14. Дідур І.І., Синьпольський О.І. Технічна експлуатація автомобілів: навч. посібник. - Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2019. - 276 с.
15. Бодрова Л.Г., Крамар Г.М., Ковальчук Я.О. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство: Навчальний посібник. - Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023. - 157 с.
16. Ткаченко Ю.М. Діагностика та відновлення деталей автомобілів. - Київ: КНУТД, 2021. - 218 с.
17. Mackerle J. Finite element analysis and simulation of crankshafts: An annotated bibliography (1997-2005). // International Journal of Fatigue. - 2006. - Vol. 28(5). - P. 471-486.
18. Raghavendra N.V., Krishnamurthy L. Engineering Metrology and Measurements. - Oxford University Press, 2013. - 616 p.
19. ASM International. Nondestructive Testing Handbook, Volume 7: Ultrasonic Testing. - 3rd ed. - Materials Park, OH: ASM International, 2016.
20. ДСТУ 7809:2015 «Прокат сортовий, калібрований зі спеціальним обробленням поверхні з вуглецевої якісної конструкційної сталі. Загальні технічні умови».
21. Говенко Б.П., Бернадін М.О. Колінчастий вал автомобільного двигуна: конструкція, знос та методи відновлення: Кваліфікаційна робота. – Тернопіль: ТНТУ, 2022. – 78 с.
22. Радик Д. Л., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик М. Д. Технологічні методи ремонтного відновлення деталей машин: навчальний посібник. – Тернопіль: ТНТУ, 2020. – 248 с.
23. Гайдамака А. В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків: навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей усіх форм навчання. – Харків: НТУ «ХП», 2020. – 275 с.

					<i>КРБАТ 2522014. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

ДОДАТКИ

					КРБАТ 2522014. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66