

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра надійності і ремонту машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи

освітнього ступеня "Магістр"

на тему:

**ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРО-
ЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ КОЛІНЧАТИХ ВАЛІВ АВТОТРАКТОРНИХ
ДВИГУНІВ**

Виконав: студент 2 курсу, групи МГМ-3-20
за спеціальністю 208 "Агроінженерія"

_____Горященко Дмитро Вадимович

Керівник: _____Васильєв Дмитро Леонідович

Рецензент: _____

Дніпро 2021

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра: Надійності і ремонту машин

Освітній ступінь: "Магістр"

Спеціальність: 208 "Агроінженерія"

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

НРМ

(назва кафедри)

д.т.н. професор

(вчене звання)

Дирда В.І.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

„_____” _____ 20__ р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Горященко Дмитру Вадимовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Обґрунтування раціонального технологічного процесу відновлення колінчатих валів автотракторних двигунів

керівник роботи д.т.н. доц. Васильєв Д.Л.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від
року № _____

2. Строк подання студентом роботи до 1.12.2021

3. Вихідні дані до роботи Існуючі конструкції установок для наплавлення деталей типу вал. Існуючі пособи відновлення деталей типу вал. Показники стану охорони парці в базовому господарстві. Техніко-економічні показники роботи базового господарства

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання та задачі дослідження. 2. Теоретичний розділ. 3. Методика проведення експериментальних досліджень та їх результати 4. Охорона праці та захист у надзвичайних ситуаціях. 5. Техніко-економічні показники роботи. Загальні висновки та пропозиції. Список літератури. Додатки

№ п/п	формат	Позначення	Найменування	К-сть аркушів	Номер Аркуша	Примітка
			Текстові документи			
	A4	49ДР.048 000. 000 ПЗ	Пояснювальна записка	87		
			Демонстраційні матеріали			
			Презентація в форматі <u>Microsoft PowerPoint</u>	12		

РЕФЕРАТ

Дипломна робота виконана на тему: Обґрунтування раціонального технологічного процесу відновлення колінчатих валів автотракторних двигунів.

Складається з п'яти розділів. В яких наведено аналітичні дослідження роботи колінчатих валів автотракторних двигунів, а також досліджено основні їх відмови. Також проаналізовано основні дефекти та локалізацію їх виникнення.

Розроблено математичну модель напружено-деформованого стану колінчатого валу автотракторного двигуна методом кінечних елементів.

Розроблено методику та план експериментальних досліджень, а також розроблено раціональний технологічний процес відновлення колінчатих валів.

Досліджено стан охорони праці та розроблено заходи по його поліпшенню, а також наведено техніко-економічну оцінку роботи.

Дипломна робота складається з 87 сторінок пояснювальної записки та 12 слайдів демонстраційного матеріалу.

Ключові слова: колінчатий вал, відновлення, наплавлення, моделювання, технологічний процес.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	9
1.1. Дефекти колінчатих валів.....	9
1.2. Сучасні наплавочні матеріали й технології відновлення колінчатих валів	22
1.3 Основні завдання, які розв'язуються при відновленні колінчатих валів..	28
1.4 Постановка основних завдань роботи.....	31
РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВТОМНОГО РУЙНУВАННЯ КОЛІНЧАТИХ ВАЛІВ.....	34
2.1 Використання методу кінцевих елементів і прогнозування місць руйнування в колінчатих валах.....	34
2.2 Висновки.....	42
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ РЕЗУЛЬТАТИ.....	43
3.1 Загальна методика дослідження.....	43
3.2. Дослідження стану ремонтного фонду та утворення тріщин в колінчатих валах.....	47
3.3. Дослідження розподілу температури при нанесенні наплавочного металопокриття.....	55
3.4. Дослідження мікротвердості.....	57
3.5. Дослідження макро- і мікроструктури.....	59
3.6. Розробка плану операцій раціонального технологічного процесу.....	63
3.7. Висновки.....	67
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ	69
4.1. Загальні відомості про охорону праці на підприємстві ТОВ "Альбіон"..	69
4.2. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів на ділянці з відновлення деталей зварюванням та наплавленням.....	70
4.3. Заходи по забезпеченню захисту працівників від дії шкідливих та	

небезпечних факторів.....	71
4.4. Дії у разі настання надзвичайної ситуації	74
4.5. Висновок.....	74
РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНКИ ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОЛГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ КОЛІНЧАТОГО ВАЛУ	
5.1. Висовок.....	80
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	81
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	83
ДОДАТКИ.....	87

ВСТУП

Як відомо, серед автомобільних деталей колінчатий вал є самою дорогою, або другою за величиною вартості деталлю, особливо для великогабаритного (вантажних автомобілів або сільськогосподарської техніки) дизельного двигуна [1, 2]. До 70% витрат на ремонт автомобільної та сільськогосподарської техніки припадає на придбання нових запасних частин замість гранично зношених. Граничні зноси 85 % деталей не перевищують 0,3 мм, причому багато з них мають залишкові ресурси 60 % і більше, і тільки 20 % деталей автомобілів й тракторів, що надходять у ремонт, підлягають остаточному вибракуванню. Інші можна відновити, причому собівартість відновлення складе 15...70 % від собівартості виготовлення [2, 3, 4].

Актуальність. Малогабаритні колінчаті вали, як показує практика, дешевше замінити на нові, а великогабаритні економічніше відновлювати, так як відновлення дозволяє одержати істотну економію металу, матеріальних, виробничих і трудових ресурсів. Але тут виникають складності – технологічні проблеми базування й механічної обробки. У зв'язку із цим, підвищення технологічного забезпечення якості відновлення колінчатого вала на основі комплексного вивчення базової операції металопокриття, що служить для формування вторинної заготовки відновлюваної деталі, і подальшої механічної обробки виявилось актуальним завданням.

Під якістю в цьому випадку розуміється наближення характеристик відновленого вала до нового вала за допомогою мінімізації або відсутності дефектів, оптимального по експлуатаційних характеристиках наплавочного матеріалу або сукупності матеріалів, оптимального режиму обробки металопокриття колінчатого вала, зносостійкості на робочих поверхнях і в'язкості в галтелях, як головних концентраторів напружень [5].

На практиці найчастіше застосовуються відбудовні технології, засновані на електродуговому наплавленні під шаром флюсу. Основні відмінності від існуючих вітчизняних технологій полягають у застосуванні різних наплавочних

матеріалів для галтелей та для робочих поверхонь шийок валів, у складній кінематиці руху наплавочного пальника й у використанні режиму середньої відпустки деталі для додання наплавленим поверхням необхідної підвищеної твердості. Також приділяється пильна увага режиму попереднього підігріву деталі, ретельному проведенню дефектувальних операцій. Все це відрізняє закордонні технології від вітчизняних і говорить про необхідність ретельного вивчення фізики окремих операцій технологічного процесу.

Мета – обґрунтування раціонального методу відновлення колінчатого вала та підвищення довговічності великогабаритних колінчатих валів на основі аналізу напружено-деформованого стану й удосконалення технологічного забезпечення їх відновлення.

Об'єкт дослідження – технологічний процес відновлення колінчатого вала двигуна Deutz TCD 2012, виготовленого зі сталі 42ХМФА ТУ 14-1-1296-75.

Предмет дослідження – фізичні закономірності, що відбуваються при експлуатації вала й реалізації технологічного процесу відновлення великогабаритного колінчатого вала дизельного двигуна.

Публікації. За результатами роботи надруковано статтю: Горященко Д.В. Визначення показників надійності колінчатих валів двигунів / Горященко Д.В. // матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції. Перспективи розвитку сучасної науки (частина I): Київ : МЦНД, 2021. – С. 47-49.

РОЗДІЛ 1.

СТАН ПИТАННЯ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Дефекти колінчатих валів

Колінчатий вал – найбільш відповідальна, найбільш навантажена й дорога деталь двигуна. Колінчатий вал працює в украй несприятливих умовах: на нього діють ударні динамічні навантаження, сили тертя, неврівноважені моменти, крутильні коливання й вібрації, високі температури, статичні навантаження від деталей, що сполучаються. Саме колінчатий вал бере на себе всі недоліки складання двигуна. Дефекти геометрії блоку або шатунів у першу чергу позначаються на ресурсі колінчатого вала. Однак, незважаючи на високі вимоги до цієї деталі, якісний колінчатий вал за умови якісного складання двигуна має довговічний ресурс. У цьому проявляється раціональність і високий запас надійності конструкцій дизелів будівельної й сільськогосподарської техніки.

При придбанні колінчатого вала перед складанням двигуна покупець має право (а, скоріше, обов'язок!) перевірити повністю колінчатий вал перед установкою у двигун. Така перевірка може проводитись на ремонтному підприємстві, у шліфувальній майстерні, на заводі. Навіть якщо купити абсолютно новий колінчатий вал, однаково варто перевірити його перед установкою. Але все ж дефекти нових колінчатих валів зустрічаються набагато рідше, чим дефекти ремонтних колінчатих валів [6].

1.1.1. Прискорене зношування шийок колінчатого вала

Занадто швидке зношування шийок колінчатого вала найчастіше пов'язане з проблемами блоку. Обов'язково необхідно перевірити геометрію посадкових місць блоку під підшипники. У цьому випадку колінчатий вал може «бовтатися» в постілі блоку, що призводить до істотного збільшення навантажень і швидкого зношування.

Другою причиною, що стала особливо актуальною в останні роки, може бути неякісний матеріал колінчатого вала. На ринку присутня досить велика кількість недорогих колінчатих валів імпортного виробництва. Серед них є як якісні марки, що добре зарекомендували себе, так і відверті підробки. У разі використання високоміцного чавуну, ресурс колінчатого вала залишається практично незмінним.

Наприклад, фірма BLAT використовує тільки чавун ВЧ при виробництві колінчатих валів і п'ятирічна практика показує високий ресурс деталей BLAT. Але у випадку використання більш м'якого сірого чавуну або сталі, незагартованої струмом високої частоти, тоді ресурс колінчатого вала й міжремонтні періоди суттєво зменшуються.

1.1.2. Задири на поверхнях шийок колінчатого вала

Задири на шийках колінчатого вала, як правило, пов'язані зі станом системи змащення дизеля. Тут може бути велика кількість факторів: неякісне масло, порушення строків заміни масла, засмічення масляного фільтра, недостатній тиск у системі.

Також задири можуть утворюватися внаслідок проблем з охолодженням дизеля або з порушенням температурного режиму, тому що перегрів розріджує масло. Зношування поршневих кілець приводить до влучення часточок палива або продуктів згоряння в масло, що також розріджує його.

У цьому випадку колінчатий вал шліфується, міняються вкладиші. Необхідно також перевірити систему змащення, систему охолодження, систему живлення дизеля, замінити фільтруючі елементи, перевірити масляні канали й замінити поршневі кільця при необхідності. Досить великий перелік робіт робить економічно раціональним проведення повного капітального ремонту двигуна.

1.1.3. Прискорене зношування поверхонь під півкільця осьового зсуву колінчатого вала

Зустрічається значно рідше, чим подряпини, задири або тріщини. Найбільш часта причина — несправність привода вимикання зчеплення внаслідок неправильної експлуатації водієм. У випадку такого дефекту необхідно замінити півкільця осьового зсуву й відремонтувати привод зчеплення. Слід звернути увагу на правильну експлуатацію для профілактики. Півкільця осьового зсуву, як правило, виймаються разом із вкладишами — входять у комплект корінних вкладишів. Виключення становлять півкільця осьового зсуву, на ЯМЗи і КамАЗи, які продаються окремо від корінних вкладишів .

1.1.4. Подряпини на поверхнях шийок колінчатого вала

Цей дефект зустрічається дуже часто. Слід відрізнити подряпини на шийках від втомних тріщин. Подряпина при огляді з лупою має світле дно, у той час як дно тріщини не проглядається (чорного кольору). При поліруванні подряпина починає зникати, а тріщина залишається на місці. Звичайно подряпини розташовуються прямо на шийці, а тріщини захоплюють частину галтелі. Геометрично подряпина звичайно плавна, тріщина має криву ламану форму.

Невеликі подряпини природно з'являються при довгочасній експлуатації. Також подряпини утворюються при наявності сторонніх часток у маслі. Можливі подібні ушкодження при транспортуванні. Для неглибоких подряпин буває досить відполірувати шийки колінчатого вала.

Якщо подряпина має глибину більш 3-5 мікронів, необхідно всі шийки (або всі шатунні, або корінні, залежно від того, на якій ушкодження) відшліфувати на наступний ремонтний розмір. Слід звернути увагу на всі шийки колінчатого вала й перевірити їх форму вимірами в 2-х площинах. Перевірити поверхні шатунів під вкладиш на еліпсність і конусність. Слід замінити моторне масло, масляний фільтр. Для профілактики необхідно регулярно перевіряти систе-

му змащення й міняти масло. Також важливо використовувати рекомендоване моторне масло.

1.1.5. Биття, прогин колінчатого вала

Прогин колінчатого вала часто зустрічається в довгих колінчатих валах комбайнів, будівельної техніки. Більшою мірою вигину осі піддаються вали рядних двигунів з більшою кількістю циліндрів. Також вигин частіше зустрічається в колінчатих валах, виготовлених з неякісного м'якого матеріалу. Перевірка колінчатого вала на вигин нескладна. Вал укладається на призми, установлені на рівній товстій металевій плиті. Обертаючи колінчатий вал, за допомогою індикатору перевіряється прогин осі колінчатого вала. Допускається вигин у середньому до 0,05 мм, і цей допуск пов'язаний із загальним розміром деталі. Якщо виявлений вигин більш допустимого, проводиться випрямлення колінчатого вала.

1.1.6. Відхилення шийок від розміру

Поступове зношування шийок колінчатого вала — природній процес. При установці вала у двигун існують певні вимоги до розміру. Для різних колінчатих валів вони різні. У цілому допуски для нових колінчатих валів становлять не більш 2 сотих. Допуск колінчатого вала при ремонті двигуна становить не більш 5 сотих. Колінчаті вали з відхиленнями розмірів шийок більш 5 сотих однозначно підлягають шліфуванню на наступний ремонтний розмір.

1.1.7. Тріщини колінчатого вала

Тріщина колінчатого вала — найнебезпечніший дефект, який може привести до швидкого втомного зламу, що у свою чергу виводить із ладу деталі, що сполучаються. При наявності тріщини будь-якого розміру й будь-якої лока-

лізації колінчатий вал не ремонтується. Визначити наявність або відсутність тріщин можна ретельним візуальним оглядом.

Разом із візуальним оглядом застосовують метод проливання поверхонь шийок суспензією тонкого металевого пилю в гасі або в солярці. Металевий пилю сідає на всі западини циліндричної поверхні й на силові лінії магнітного поля деталі. Далі всі ці місця витирають насухо й ретельно оглядають через лупу й визначають куди сіла пилю. Подряпини мають світле дно, лінія подряпин не має ламаного характеру, часто має плавні радіуси. Тріщини йдуть у глибину металу, заповнені брудом і не мають дна. Лінія тріщини не мінє свій напрямок плавно, може мати ламані й прямі (або слабко скривлені ділянки). Магнітні лінії зникають після збирання пилю.

Також застосовується магнітна дефектоскопія. Але для колінчатих валів ми цей метод принципово не рекомендуємо, тому що повністю розмагнітити колінчатий вал не вдається й залишкове магнітне поле збирає з масла всі дрібні металеві включення, що вкрай погано для ресурсу колінчатого вала.

Кольорова дефектоскопія в чомусь аналогічна проливанню пилом і цілком придатна для пошуку місць ретельного огляду зі збільшенням.

Ультразвукова дефектоскопія дає цілком надійні результати та не шкодить валу, але вона суттєво дорожче. Основна її перевага – визначення внутрішніх дефектів лиття й металевого прокату не актуально для колінчатих валів, тому що тут руйнування починається на поверхні й внутрішні дефекти вкрай рідкі через особливості технологій виготовлення заготовок колінчатих валів, це менше ніж 1 з 10000.

Незважаючи на те, що багато фірм беруться «полагодити» тріснутий колінчатий вал, цього робити категорично не варто. Тріснутий колінчатий вал ніколи й ні за яких умов не підлягає ремонту.

Таблиця 1.1 - Дефекти колінчатих валів і способи їх усунення

Дефекти	Способи усунення
Зношування корінної й шатунної шийки. Овальність і конусність шийки. Задири, тріщини й вм'ятини, на шейку	Див. табл. 1.2
Зношування посадкових місць під розподільну шестірню, шків і маховик	<ol style="list-style-type: none"> 1. Наплавлення з наступним обточуванням і шліфуванням. 2. Електродугове наплавлення з наступним шліфуванням
Зношування маслосгінного різьблення	Поглиблення різьблення різцем і шліфування шийки до виведення слідів зношування
Зношування й розбивка канавки шпонки	<ol style="list-style-type: none"> 1. Фрезерування під збільшений розмір шпонки. 2. Фрезерування нової канавки шпонки. 3. Наплавлення з наступним фрезеруванням канавки шпонки.
Зношування посадкового місця зовнішнього кільця шарикопідшипника в торці вала	<ol style="list-style-type: none"> 1. Розточування посадкового місця, запресування втулки, з наступним розточуванням. 2. Електродугове наплавлення з наступним шліфуванням 3. Наплавлення з наступним розточуванням
Зношування отворів під штифти кріплення маховика	Розгортання під ремонтний розмір
Зношування різьблення. Зрив більш двох ниток різьблення	1. Розточування або зенкування з наступним нарізуванням різьблення збільшеного розміру.

Дефекти	Способи усунення
	2. Поглиблення різьбових отворів з наступним нарізуванням такого ж різьблення під продовжені болти (пробка)
Скручування вала (порушення розміщення кривошипів)	1. Шліфування шийки під ремонтний розмір з наступним балансуванням. 2. Наплавлення шийки з наступним обточуванням і балансуванням
Торцеве биття маточини маховика	Підрізування торця маточини на токарському верстаті з наступним балансуванням
Дефекти	Способи усунення
Вигин вала:	1. Шліфування під ремонтний розмір 2. Виправлення під пресом
Тріщини: 1. на шийках 2. на щоках	1. Шліфування під ремонтний розмір 2. Наплавлення з наступним обточуванням і шліфуванням під нормальний розмір. Вибракування. (для кільцевої тріщини й тріщини, яка виходить на галтель). 3. Шліфування з наступним балансуванням. Вибракування для тріщини глибиною більше 4 мм).
Корозія поверхні тертя	Зачищення шкуркою, шліфування й полірування.

Дефекти	Способи усунення
Забивання масляних каналів продуктами зношування й згустками масла	Прочищення металевим шомполом або йоржем з наступним промиванням (виваренням) і продувкою стисненим повітрям.

Таблиця 1.2 - Основні способи ремонту й відновлення шийки колінчатих валів

Способи ремонту й відновлення	Можливість відновлення радіусів, галтелей	Можливість шліфування під ремонтний розмір
Шліфування під ремонтний розмір	є	є
Обдирання з наступним установленням (приварюванням) напіввтулки	немає	—
Хромування	—	немає
Залізнення з наступним хромуванням	—	—
Електрометалізація	немає	обмежена
Ручне електродугове наплавлення	є	є
Автоматичне електровібраційне наплавлення в струмені рідини	немає	—
Механізоване електродугове наплавлення під шаром флюсу з наступною високотемпературною відпусткою й загартуванням струмом високої частоти	є	—
Автоматичне наплавлення в середовищі вуглекислого газу	немає	є
Механізоване електродугове наплав-	є	—

Способи ремонту й відновлення	Можливість відновлення радіусів, галтелей	Можливість шліфування під ремонтний розмір
лення під шаром флюсу, леговане графітом		
Механізоване електродугове наплавлення під шаром флюсу, леговане графітом і ферохромом	—	—
Механізоване електродугове наплавлення	—	—
Наплавлення плазмовою дугою	—	—

Примітка:

- відношення твердості відновленої шийки до твердості шийки нового колінчатого вала;
- відношення границі втомної міцності на крутіння відновленого колінчатого вала до границі втомної міцності нового вала.

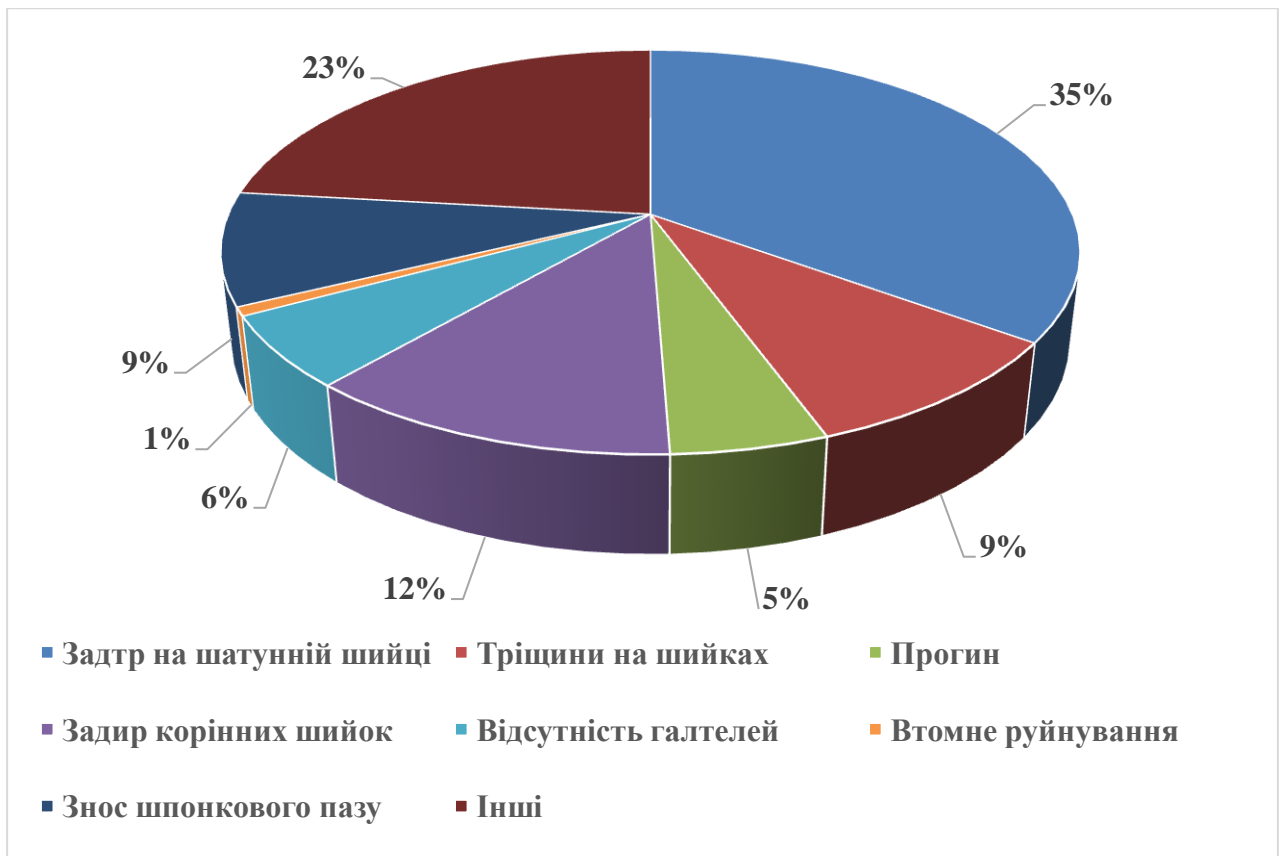


Рис. 1.1. Дефекти колінчатих валів

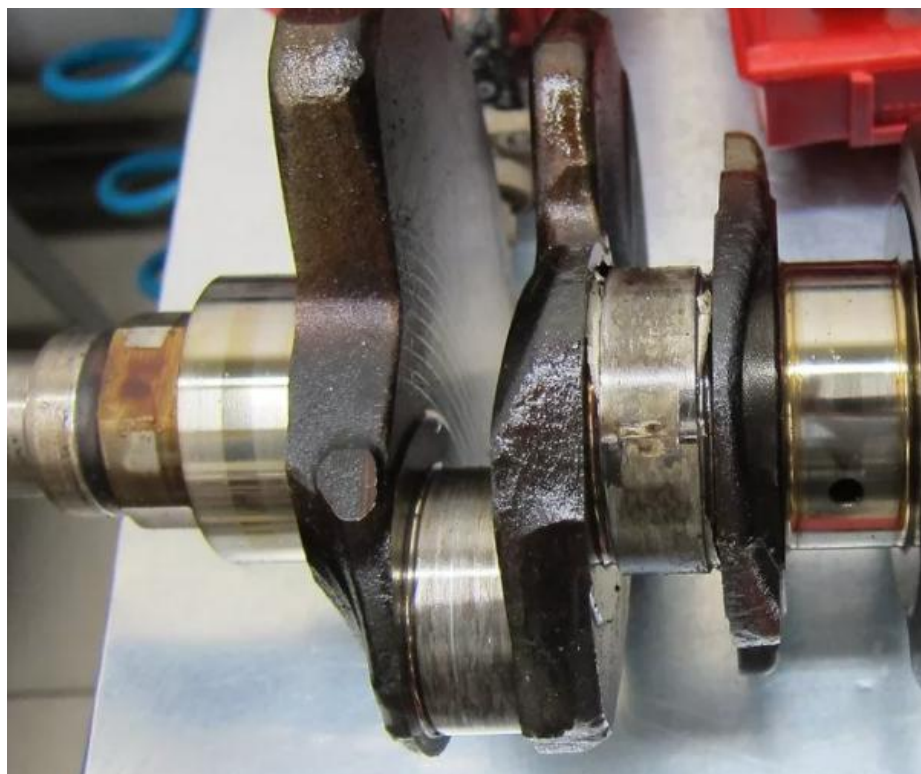
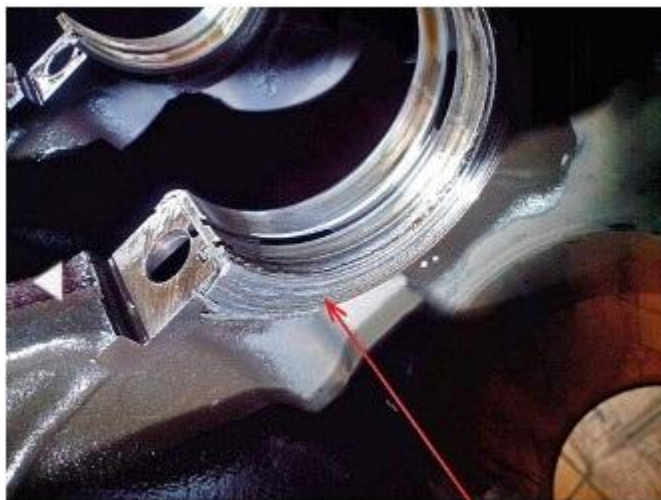


Рис. 1.2. Руйнування частини щоки валу



Рис. 1.3. Перезняття бабітового шару вкладишів на шийку валу



Задир упорного підшипника



Задир упорної поверхні вала

Рис. 1.4. Задири упорних поверхонь



Рис. 1.5. Знос шатунної шийки V подібного двигуна

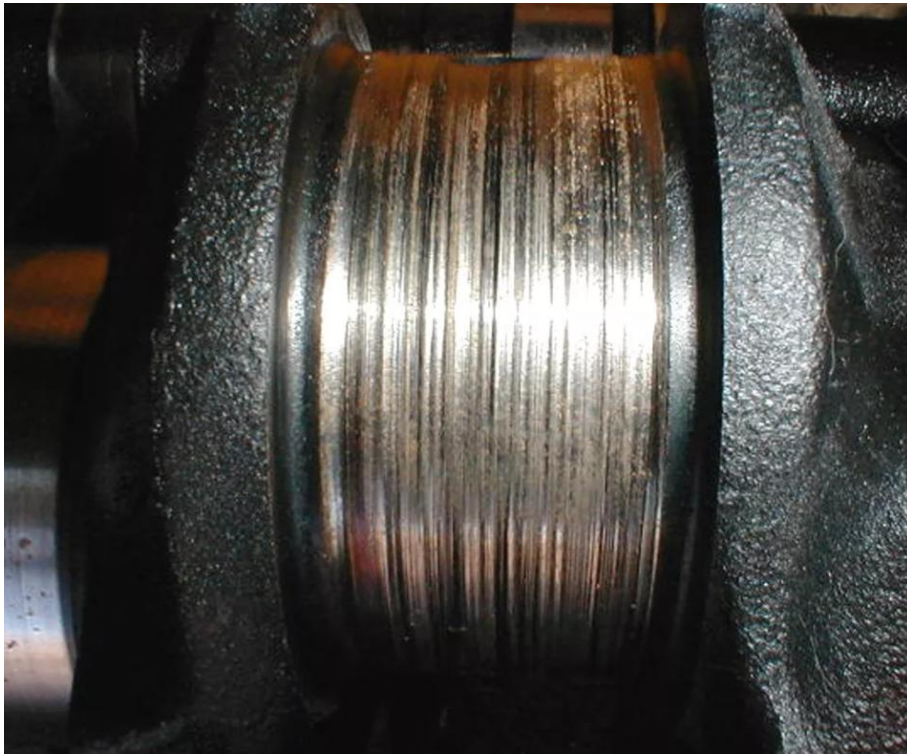


Рис. 1.6. Задир шийки вала



Рис. 1.7. Знос шпонкового пазу



Рис. 1.8. Приварювання вкладиша до шийки внаслідок проворачування валу



Рис. 1.9. Руйнування колінчатого валу

1.2. Сучасні наплавочні матеріали й технології відновлення колінчатих валів

Як ми вже відзначали вище, питаннями відновлення колінчатих валів займаються в усьому світі велика кількість компаній. Сучасна концепція відновлення заснована на тому, що сучасні підприємства з ремонту двигунів повинні бути універсальні, тобто виконувати будь-який комплекс послуг за короткий строк і за невелику плату.

Головним постачальником устаткування й матеріалів на світовий ринок є «Gleason Engineering Industries, Inc.».

Безвідмовність машин визначається стабільністю ресурсів відновлених деталей, яка залежить від правильного вибору способу відновлення й строгого дотримання технологічного процесу [7].

Промисловість використовує середню величину твердості для індукційно-загартованих поверхонь колінчатих валів 50...55 HRC на глибині до 0,05 дюйма. При цьому твердість не поширюється в радіус галтелі. Деякі колінчаті вали є індукційно-загартованими в області радіуса галтелі, що робить їх менш гнучкими й більш схильними до втоми й тріщин (проводячи аналогії з українськими технологіями можна коментувати, що в останньому випадку загартовування зазнають і внутрішні поверхні щік).

Послідовність операцій при відновленні колінчатого вала за технологією «Глісон-Процес» (компанія “Hillcrest Camshaft Service, Inc.”, США) [8]:

У зазначеному варіанті технологічного процесу на підприємстві відновлюють колінчаті вали дизельних двигунів довжиною до 120 дюймів (більш 3-х метрів):

- колінчатий вал очищають зануренням у ємність із миючим розчином, а всі масляні отвори очищаються під тиском;

- усі колінчаті вали повністю перевіряють із використанням магнітних часток;

- по двом різним методикам перевіряють твердість колінчатого вала по Роквеллу;

- колінчатий вал підігрівають для зменшення напружень і здійснюють процес виправлення

- ушкоджені шатунні або корінні шийки попередньо шліфують перед наплавочним процесом;

- проводять тест на наявність азотированого шару для забезпечення належного наплавочного процесу;

- використовують спеціальний дріт для наплавлення зон галтелей із твердістю 30 HRC;

- корінні або шатунні шийки наплавляють спеціальним дротом, що забезпечує твердість металопокриттів 47...50 HRC;

- колінчатий вал негайно правлять перед чорновим шліфуванням;

- проводять чорнове шліфування колінчатого вала й проводять повторно магнітну дефектоскопію;

- зменшують напруження в колінчатому валу нагріванням у печі шляхом витримки певний час при певній температурі, грунтуючись на розмірах колінчатого вала;

- колінчатий вал остаточно шліфують і втретє піддають магнітній дефектоскопії, а потім розмагнічують;

- усі колінчаті вали полірують відповідно до рекомендацій заводу-виготовлювача по шорсткості;

- усі колінчаті вали впаковують у дерев'яні ящики.

Послідовність операцій при відновленні колінчатого вала компанія “Azspa Machine Tools”, Італія) [9].

Технологічний процес зображений на рис.1.10. та представляє собою наступну послідовність операцій: очищення вала → магнітна дефектоскопія → якщо відсутні тріщини: виправлення на пресі, якщо є запас по ремонтних розмірах: → шліфувальна операція → балансувальна операція → якщо відсутній припуск для перешліфовки під ремонтний розмір: → наплавочна операція → термічна операція (максимальна температура нагрівання в печі становить 450 С°) → виправлення на пресі → шліфувальна операція → балансувальна операція.

Фірма «Technolaser» займається розробкою лазерних технологій для промислового застосування й медицини. Наводяться приклади лазерного наплавлення корінних шийок колінчатих валів компресорів невеликої потужності. Говориться про можливість наплавлення шийок колінчатих валів автомобілів [10].

Крім того, в Україні існують фірми, де пропонується технологічний варіант відновлення шийок колінчатого вала шляхом контактної приварки стрічки, попередньо спеченою з твёрдосплавної композиції [11].

Компанія «Технологічні системи захисних покриттів» займається газотермічним напилюванням. Найбільш технологічними для відновлення є посадкові місця й робочі поверхні колінчатих валів, бабітові підшипники, штоки й плунжери насосно-компресорної техніки, штоки гідравліки, кришки електродвигунів.

Температура поверхні деталі при напилюванні не перевищує 120 С°, що виключає можливість термічного жолоблення. Перевагою в порівнянні з гальванічною обробкою є можливість локального ремонту поверхонь деталей, у тому числі одиночних, і широкий спектр напилюваних матеріалів [12].

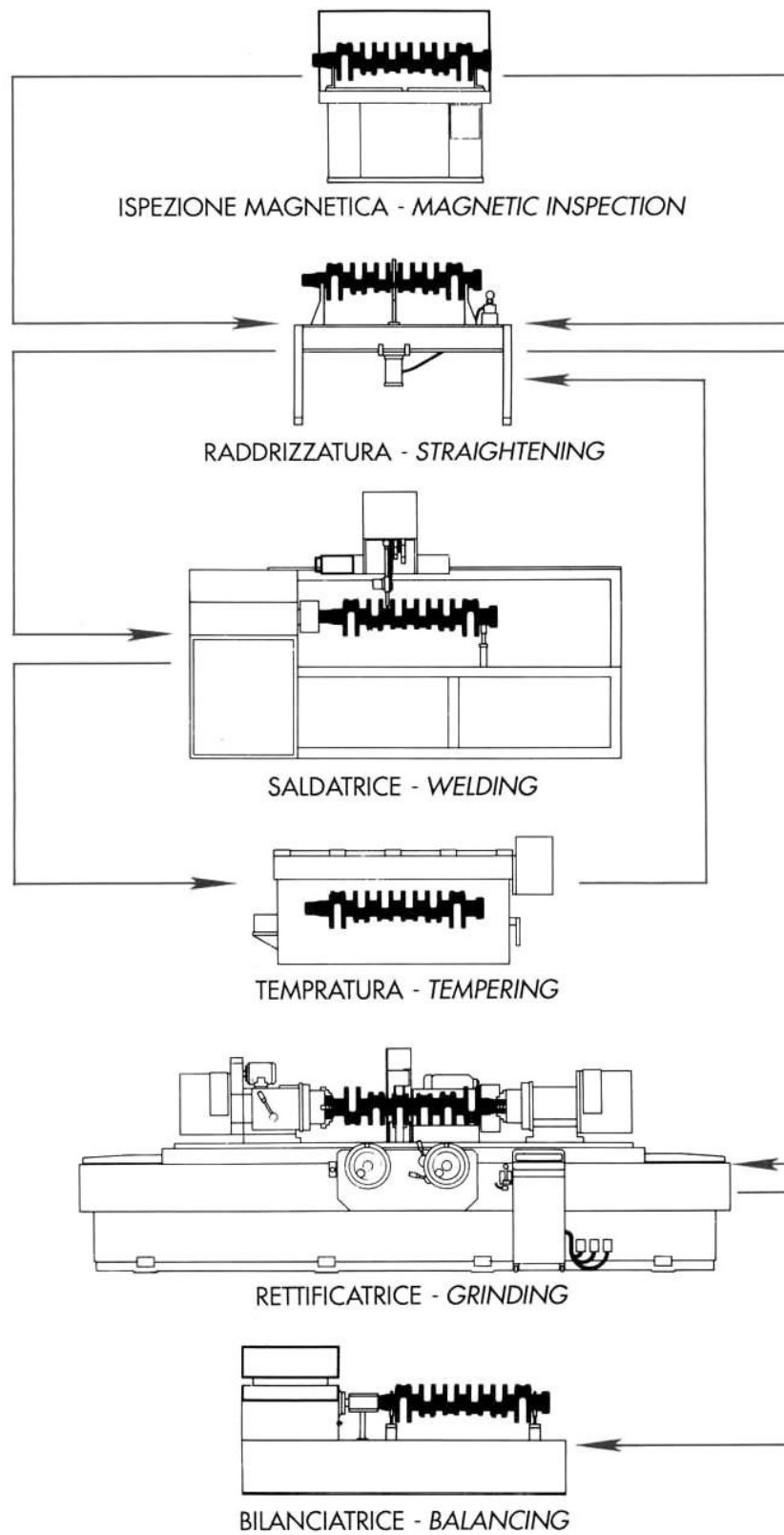


Рис. 1.10. Схема технологічного процесу відновлення колінчатого вала від компанії «Azsra» [13]

Загальним недоліком газотермічних покриттів, одержуваних за допомогою таких традиційних способів, як електродугове й Газополуменеве дротове напилювання, є їх відносно невисока адгезійна міцність. Крім того, використання монолітних дротів для напилювання дає покриття з відносно невисокою твердістю. Плазмові й детонаційні порошкові покриття мають значно більш високі аналогічні показники, однак установки для їх нанесення відрізняються великою складністю.

Детонаційне напилювання має ряд інших недоліків: низька продуктивність, висока вартість спеціального й додаткового устаткування. Процес екологічно шкідливий, тому що відрізняється високим рівнем шуму, виділенням пилу та аерозолів металів. Крім того, дослідження показали, що при нанесенні детонаційних покриттів товщиною більш 0,7...0,8 мм відбувається їх розміцнення.

Є наступні переваги газопламеневого «холодного» шнурового напилювання в порівнянні з іншими методами газотермічного напилювання [14]: підвищення коефіцієнта використання напилюваного матеріалу, підвищення адгезії й когезії, зниження пористості одержуваних покриттів, можливість механізації й автоматизації операції напилювання.

Газополуменеве «холодне» шнурове напилювання може виконуватися з до - і надзвуковими швидкостями нанесення напилюваних часток. Важливим є той факт, що при напилюванні деяких шнурових матеріалів можливе одержання стискаючих залишкових напружень у покритті. Проте, вказаний спосіб дає металопокриття з відносно малою твердістю.

За кордоном у цей час широко застосовують лазерне відновлення прецизійних деталей (рис. 1.11), його застосовують скрізь, де потрібна підвищена твердість і зносостійкість шару, надійність і довговічність, у тому числі для колінчатих валів. На відміну від напилювання, при лазерному наплавленні створюється монолітний бездефектний шар, який має металургійний зв'язок з основою. Економічний ефект від відновлення одного колінчатого вала дизеля М756, наприклад, для локомотивного депо становить близько 2500 доларів США [15].

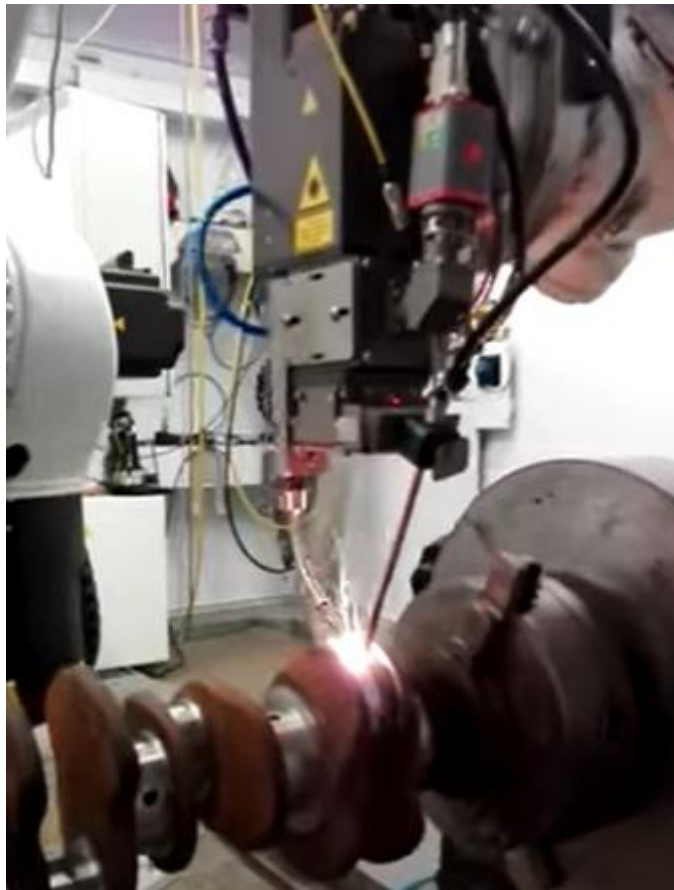


Рис. 1.11. Відновлення колінчатого вала дизеля лазерним наплавленням

Також у закордонній практиці працюють такі основні елементи технології відновлення колінчатого вала дизеля:

1. При зношуванні корінних і шатунних шийок застосовується електродугове наплавлення Нп-30ХГСА або плазмо-дугове наплавлення матеріалом ПХ20Н80 1,5 [16];

2. При зношуванні поверхонь під шківів і шестірні застосовують напівавтоматичне наплавлення в середовищі вуглекислого газу дротом Св-18ХГСА.

Ще застосовують Газополуменеве напилювання. Міцність зчеплення - 30 МПа, твердість - до 35 НРС. Відновлення корінних і шатунних шийок проводиться шляхом напилювання металу з наступним шліфуванням у необхідний розмір. Відновленню підлягають колінчаті вали судів, тепловозів, дизелів, вантажних автомобілів. Однак, відновлення колінчатих валів легкових автомобілів економічно не ефективно.

1.3 Основні завдання, які розв'язуються при відновленні колінчатих валів

Найбільш повне використання закладеного при конструюванні та виготовленні двигуна ресурсу, можливо при правильній експлуатації та якісному ремонті (рис. 1.12). Якість капітального ремонту та його технологія багато в чому визначаються дефектами основних елементів двигуна, наприклад колінчатих валів [17].

При роботі колінчатий вал зазнає дії радіальних і тангенціальних складових сил, прикладених до його шатунних шийок, відцентрових сил обертових мас, реакцій опор, а також моменту опору обертанню трансмісії, періодична дія яких викликає поява пружних коливань колінчатого вала (вигинаючих і крутильних). Особливо високі навантаження несуть шатунні шийки й щоки.

При нормальних умовах експлуатації основний дефект колінчатого вала - це зношування. Перевантаження й втома металу, порушення змащення тертьових поверхонь викликають нагрівання й деформацію деталі, інтенсивне зношування, задири й схоплювання на поверхнях тертя. Наслідком втоми матеріалу може бути поломка. Велика різноманітність зовнішніх факторів, що впливають на умови роботи деталі, призводить до зміни швидкості зношування їх поверхонь і випадковій комбінації дефектів.

Основними ушкодженнями колінчатих валів є: злам вала по шийках або щоках (рис. 1.4, 1.5, 1.6), тріщини в шийках вала (рис. 1.3), задир шийок вала, підвищена овальність корінних або шатунних шийок, ушкодження елементів з'єднання вала із приводом насосів і розподільних валів, вигин вала [18]. Важливо так само відзначити, що наявність дефектів (пор, тріщин) у металопокриттях, наплавлених на робочі поверхні КВ у процесі його відновлення, є головним критерієм оцінки якості й прийнятності технологічного процесу відновлення. Слід також зазначити, що поломки колінчатих валів зустрічаються нерідко у світовій практиці, однак імовірність цього явища різна. Питання прогнозування поломок колінчатих валів вимагають вивчення на сучасному комп'ютерному

рівні з використанням чисельного моделювання й порівняння з реальними експлуатаційними результатами.

Відомо, що більш 50% ушкоджених деталей носять втомлюваний характер [19].



Рис. 1.12. Злам колінчатого вала через множинні втомлювані тріщини в області щоки



Рис. 1.13. Злам колінчатого вала двигуна «RABA-MAN» по щоках від дії нормальних напружень

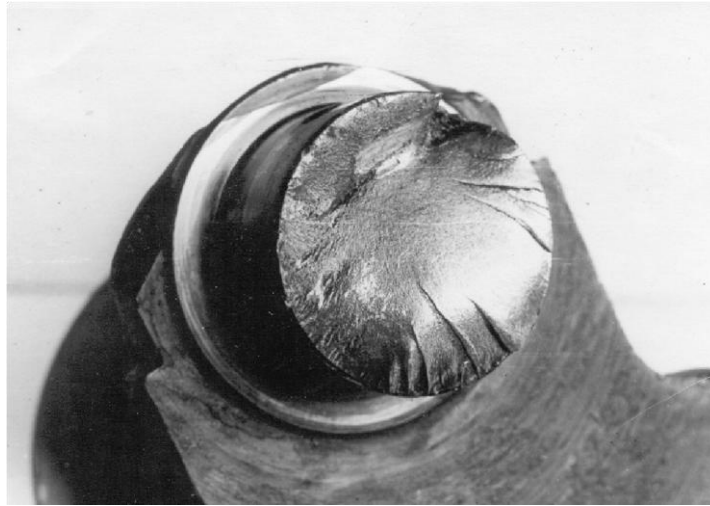


Рис. 1.14. Злам шийки колінчатого вала від напружень вигину



Рис. 1.15. Тріщина в шийці колінчатого вала двигуна КамАЗ-740

Тріщини на шийках деталей є однією з основних причин їх вибракування. Так, наприклад, для колінчатих валів це приблизно - 9...16 % валів, у ряді випадків – 40...50 % (колінчаті вали двигуна КамАЗ-740), що надходять у капітальний ремонт. Колінчаті вали можуть вибраковуватися з наступними тріщинами: на галтелях корінних і шатунних шийок; на циліндричній частині шийок на відстані менш 6 мм від торців шийок; на крайках отворів масляних каналів; тріщини, що перебувають на відстані один від одного менш 10 мм і розташовані під кутом більш 30° до осі вала; більш восьми тріщин довжиною менш 5 мм на циліндричній частині шийок і в крайок отворів масляних каналів; більш трьох тріщин довжиною понад 5 мм.

Зношування поверхонь деталі усувається різними способами — обробкою під ремонтний розмір, установкою додаткової ремонтної деталі, наплавленням, напилюванням металів та інше. Існує безліч різних способів ремонту й відновлення колінчатого вала (рис. 1.16). На вибір способу відновлення поверхонь деталей впливають умови роботи деталі, якість її поверхні, виробнича програма й економічна доцільність.

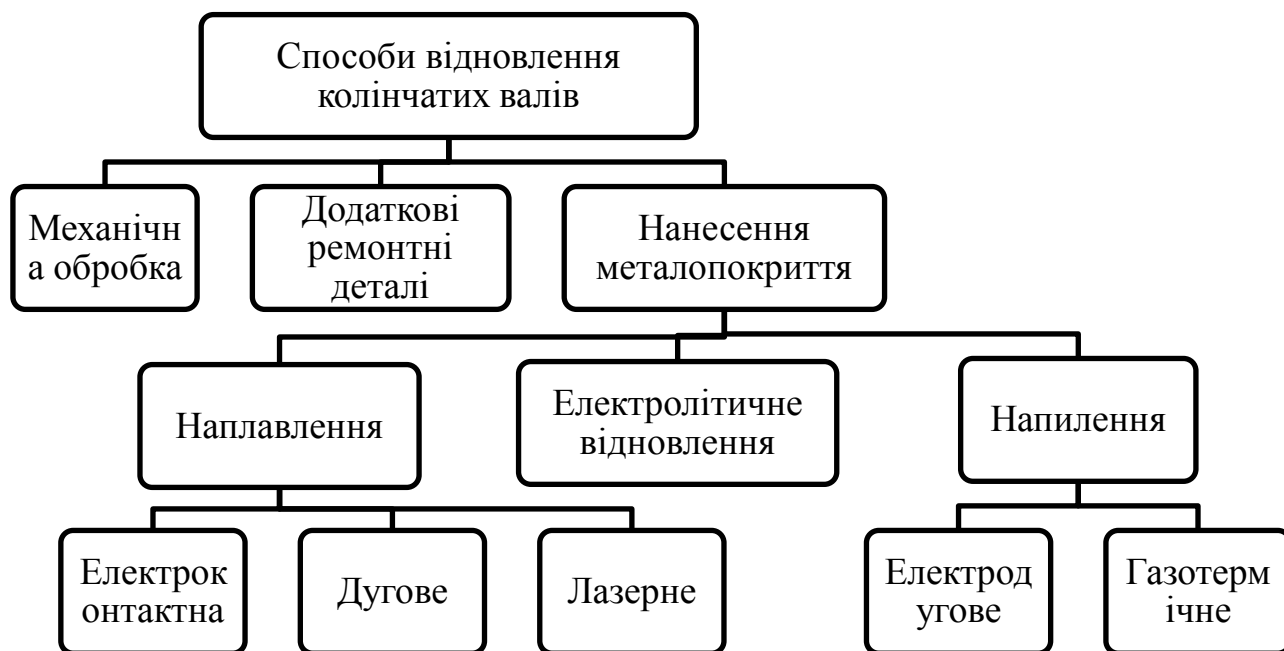


Рис. 1.16. Класифікація способів ремонту і відновлення кривошипів колінчатих валів дизельних двигунів

1.4. Постановка основних завдань роботи

За результатами аналізу матеріалів розділу 1 можна зробити наступні висновки:

1. Колінчаті вали є тяжконавантаженими робочими елементами дизельних двигунів.
2. Ремонт і відновлення колінчатих валів комплексно є найбільш складними операціями в технологічних варіантах ремонту деталей.

3. Основним і найпоширенішим на теперішній час способом ремонту й відновлення колінчатих валів, які вичерпали свій запас ремонтних розмірів, є спосіб відновлення із застосуванням наплавлення металопокриття під шаром флюсу.

4. Більшість із існуючих вітчизняних технологій відновлення не забезпечують необхідний ресурс відновленої деталі кривошипа й не можуть конкурувати із західними технологіями (ресурс вала та його характеристики після відновлення не наближаються до нового вала).

5. Проведений аналіз усіх відомих способів і технологій відновлення колінчатих валів дизелів показав, що доцільно здійснювати нанесення металопокриття методом наплавлення під шаром флюсу різними дротами на шийки та галтель колінчатого вала.

Відповідно до поставленої мети приймаємо наступні завдання дослідження:

1. Провести аналітичне дослідження відмов колінчатих валів їх дефектів та способів відновлення.

2. Розробити фізичну й математичну моделі колінчатого вала для визначення внутрішніх напружень на основі методу кінцевих елементів і методу фотопружності для прогнозування місць початку руйнування шийок вала;

3. Обґрунтувати режим термічної операції при нанесенні наплавочного металопокриття для великогабаритних колінчатих валів з урахуванням особливостей розподілу температур з метою мінімізації концентраторів напружень;

4. Проаналізувати зміни мікротвердості по глибині металу колінчатого вала при нанесенні різних наплавочних покриттів, що є підставою для формування технологічного процесу відновлення й обробки вала;

5. Виявити особливості макро- і мікроструктури металопокриттів, на основі рентгенографічних методів проаналізувати залишкові внутрішні напруження другого роду;

6. Розробити комплекс технологічних операцій, необхідних для досягнення високої якості відновлених великогабаритних колінчатих валів і дати техніко-економічну оцінку підвищення їх довговічності.

РОЗДІЛ 2.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВТОМНОГО РУЙНУВАННЯ КОЛІНЧАТИХ ВАЛІВ

2.1 Використання методу кінцевих елементів і прогнозування місць руйнування в колінчатих валах

Головним критерієм аналізу в досліджуваній області є відповідність характеру руйнування реального об'єкта з характером прогнозованого руйнування моделі [20]. Об'єктом дослідження є колінчатий вал двигуна Deutz TCD 2012, відновлений з використанням наплавочної технології, виконаної під шаром флюсу АН-348А дротом 1,6 Нп-30ХГСА.

Вал був наплавлений та прошліфований (рис. 2.1), після чого проводились експлуатаційні випробування до моменту його руйнування. Руйнування відбулось у двох місцях: поперек четвертої кривошипної шийки з боку заднього торця деталі та в зоні прилягаючої щоки з боку переднього фланця вала (рис. 2.2).

Класична схема навантаження для розрахунків колінчатого вала [21] представлена на рис. 2.3. При проектуванні колінчатого вала його розміри намічають на підставі орієнтовних емпіричних співвідношень, погоджуючи з компоновальними розмірами двигуна. Після складання ескізу колінчаті вали розраховують на міцність і зношування, у результаті чого розміри окремих його елементів визначають остаточно. Розрахунковими навантаженнями при цьому є радіальна Z і тангенціальна T (діюча на плечі, рівному радіусу кривошипа r) складові сумарних сил. Точні розрахунки колінчатого вала на міцність, внаслідок складності його форми, практично неможливі [21]. Застосовують, головним чином, розрахунки колінчатого вала як плоскої двохопорної рами, один кінець якої опирається на рухливий шарнір, а іншої – на нерухливий. Осьові навантаження при цьому відсутні.

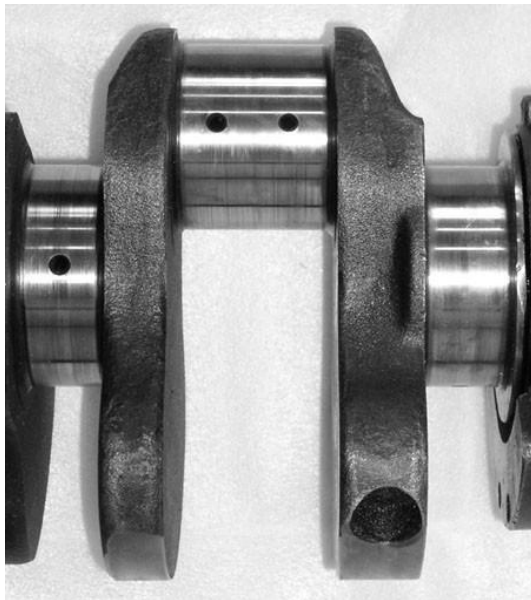


Рис. 2.1. Четверта кривошипна шийка колінчатого вала до руйнування



Рис. 2.2. Характер руйнування шийки колінчатого вала в результаті експлуатаційних випробувань

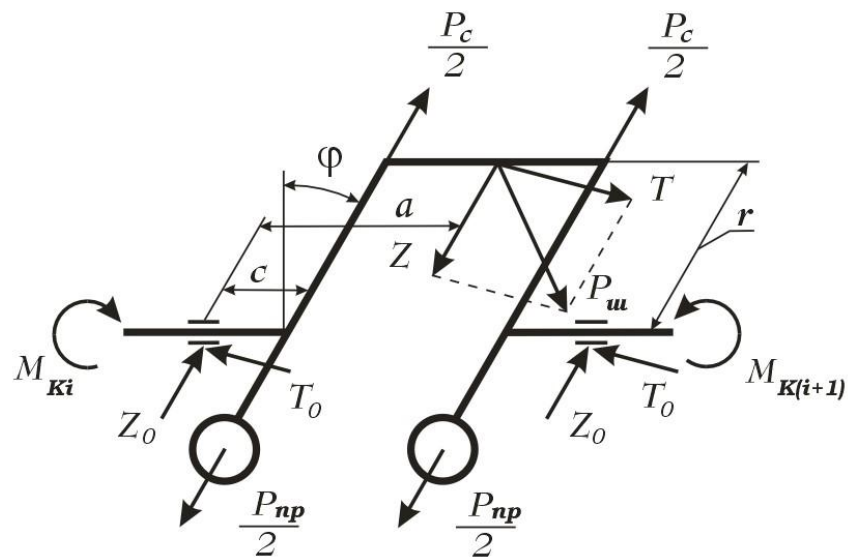


Рис. 2.3. Класична розрахункова схема колінчатого вала [21]

Вивчення причин поломок колінчатих валів показує, що в більшості випадків вони є наслідком втоми матеріалу деталі [22]. Елементи фрактографічного дослідження наведені на рис. 2.4, 2.5.



Рис. 2.4. Макроструктура зламу в щоці: перехід із зони розвитку втомленої тріщини в зону тендітного руйнування (50:1)

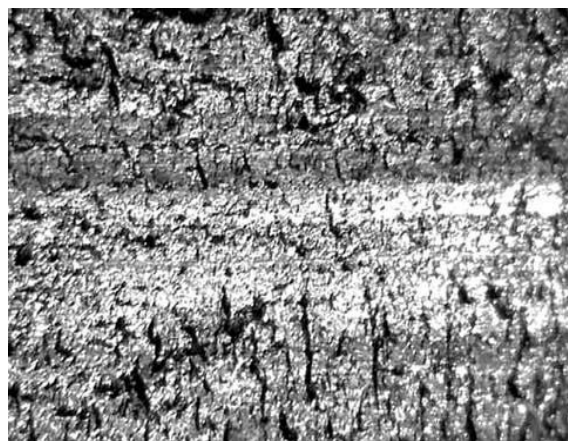


Рис. 2.5. Макроструктура поперечного зламу шийки: зона розвитку тріщини (50:1)

Найнебезпечнішими щодо цього ділянками колінчатого вала є ті, де може виникнути значна концентрація напружень. Відомо, що в шатунних і корінних шийках небезпечними місцями є краї отворів для змащення, а в щоках – сполучення їх із шейками. Практичний досвід лабораторних випробувань і експлуатації показує, що в граничному стані колінчатий вал, як правило, буває зруйнований у результаті дії нормальних напружень, викликаних згинаючими навантаженнями в площині кривошипа. Укraj рідко колінчаті вали мають характерний вигляд руйнування від крутіння.

Теоретично процес розподілу внутрішніх напружень колінчатого вала можна описати, застосовуючи сіткові або варіаційні методи розрахунків. Метод кінцевих елементів ставиться до розряду варіаційних. Були припущення:

- по-перше, ми розглянули плоску модель, що має обриси проекції фрагмента реального колінчатого вала на площину паралельну площини кривошипа;
- по-друге, у силу закономірності з [21]:

$$M_{zm} = Z_0 a - \left(\frac{P_{np}}{2} - \frac{P_c}{2} \right) (a - c), \quad (2.1)$$

де M_{uz} – величина згинального моменту,
 Z_0 – реакція опори в площині кривошипа,
 a - відстань від опори до середини кривошипної шийки,
 P_{np} – відцентрова сила інерції від обертання противага,
 P_c – відцентрова сила інерції від обертання кривошипа,
 c - відстань від опори до щоби вала, ми знехтували складовими P_{np} і P_c ,
умовно вважаючи, що вони врівноважують один одного;

- по-третє, навантаження на кривошипну шийку від двох шатунів ми замінили рівномірно розподіленим навантаженням і прирівняли її до одиниці, останнє, у межах закону Гука, не веде до зміни співвідношень між собою величин внутрішніх напружень, тому картина розподілу їх у деталі залишається колишньою;

- по-четверте, концентровані опори по серединах корінних шийок ми замінили розподіленими опорами з тими ж ступенями свободи, що й на схемі, зображеній на рис. 2.3;

- по-п'яте, враховуючи, що максимальне навантаження від тиску газів передається через шатун при куті повороту колінчатого вала, що дорівнює φ , приблизно, 15° від верхньої мертвої крапки такту стискання, практично все це навантаження $P_{ш}$, у силу малості зазначеного кута, прикладається в якості сили, що перерізує, до кривошипної шийки, а тангенціальна складова T досить невелика, як і T_0 , з цієї ж причини ми не розглядаємо M_{Ki} , що набігає, та $M_{K(i+1)}$ що збігає крутні моменти.

Таким чином, ми використовували 2D (англ. "Two Dimensions") модель (рис. 2.6). Апроксимація проводилась трикутними елементами. Розбивка на кінцеві елементи презентована на рис. 2.7. Схема передбачала 194 вузла, що було цілком достатньо для візуалізації результатів.

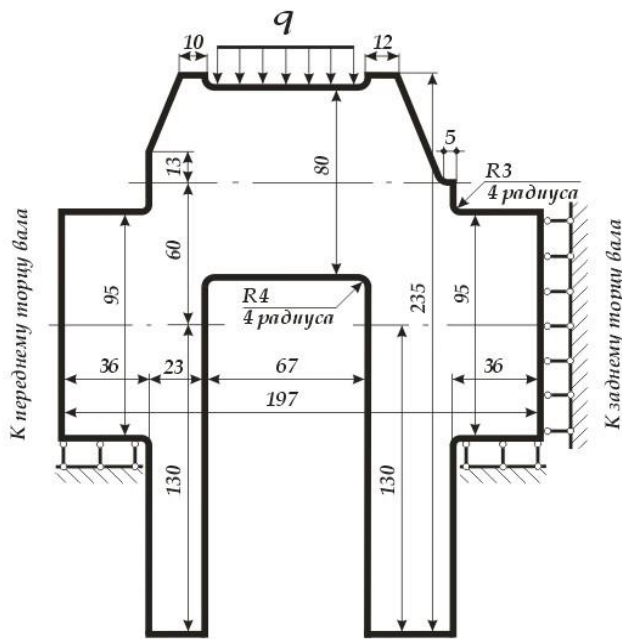


Рис. 2.6. Схема навантаження моделі четвертого кривошипа колінчатого вала двигуна Deutz TCD 2012

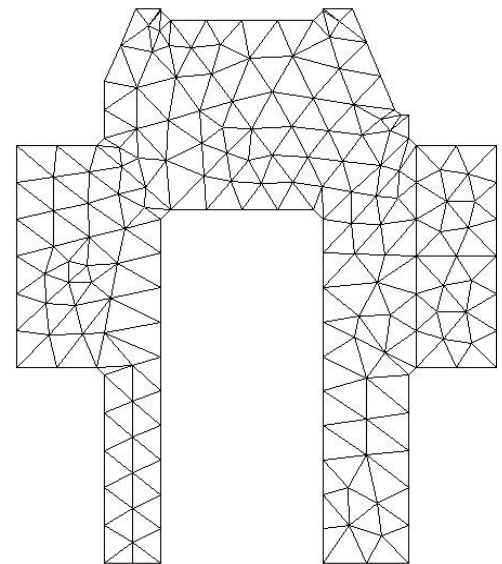


Рис. 2.7. Схема кінцевих елементів

Розрахунки здійснювались в середовищі програми Mathcad. Оцінка напруженого стану проводилася за критерієм фон Мизеса σ_e , для якого формула в загальному виді виглядає так:

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}, \quad (2.2)$$

де σ_1 , σ_2 і σ_3 – головні напруження, упорядковані за зменшенням.

При цьому в конкретно розглянутому двовимірному випадку $\sigma_3 = 0$. Результати розрахунків представлені на рис. 2.8.

Тепер можна порівняти дані рис. 2.2 і рис. 2.8. На обох праворуч (з боку заднього торця вала) видно характерну S - подібну область, що проходить поперек кривошипної шийки. Розташування на рис. 2.8 області напруженого стану ліворуч від кривошипної шийки (з боку переднього торця вала) також близька до картини профілю зламу, зображеного на рис. 2.2.

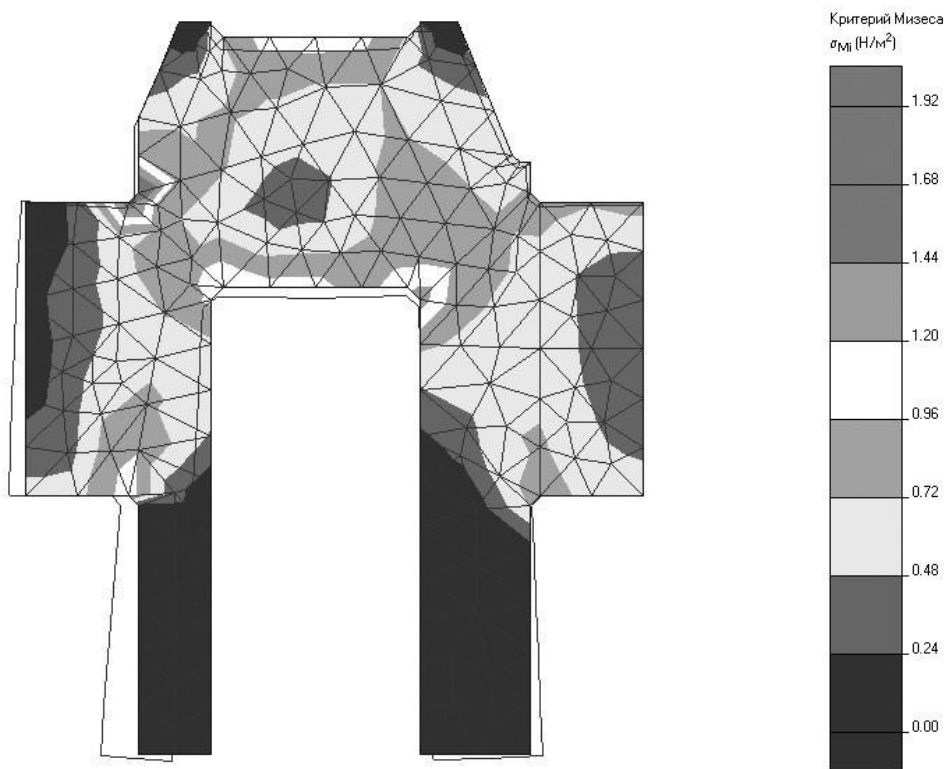


Рис. 2.8. Результати розрахунків

Якщо зменшити розв'язну здатність результатів розрахунків, то можна виділити області, у яких будуть виникати значні напруження (рис. 2.9).

Ідентифікація цих областей необхідна для проведення досліджень втомлених тріщин при діагностиці технічного стану колінчатого вала як при експлуатації так і при ремонті. Щоб уникнути похибки забезпечити повторюваність результатів, ми провели аналогічні дослідження ще двох випадків, документальних і фотографічно зафіксованих у джерелах, один з яких є раритетом. При цьому отримані досить задовільні результати, близькі до розглянутих вище, що робить доступним для прогнозування та візуалізації таке явище, як руйнування колінчатого вала.

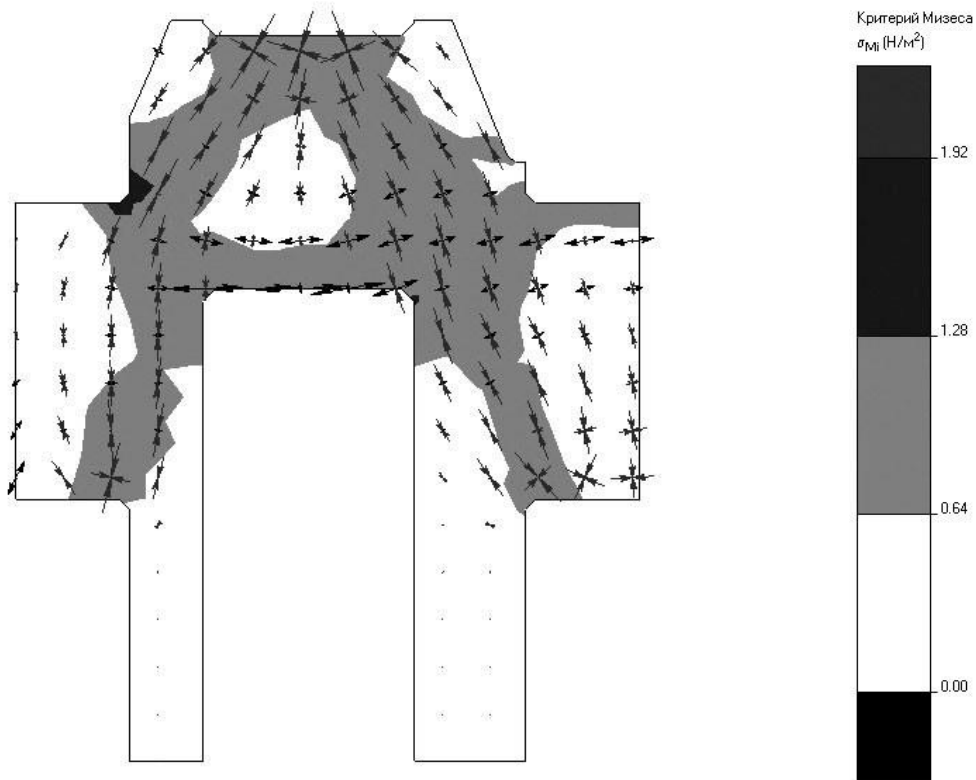


Рис. 2.9. Области значних напружень у кривошипі

Після наплавочної операції рекомендується застосування механічної обробки поверхонь лезвійним інструментом. Силова взаємодія різального інструменту й оброблюваної деталі представлено на малюнку 2.10.

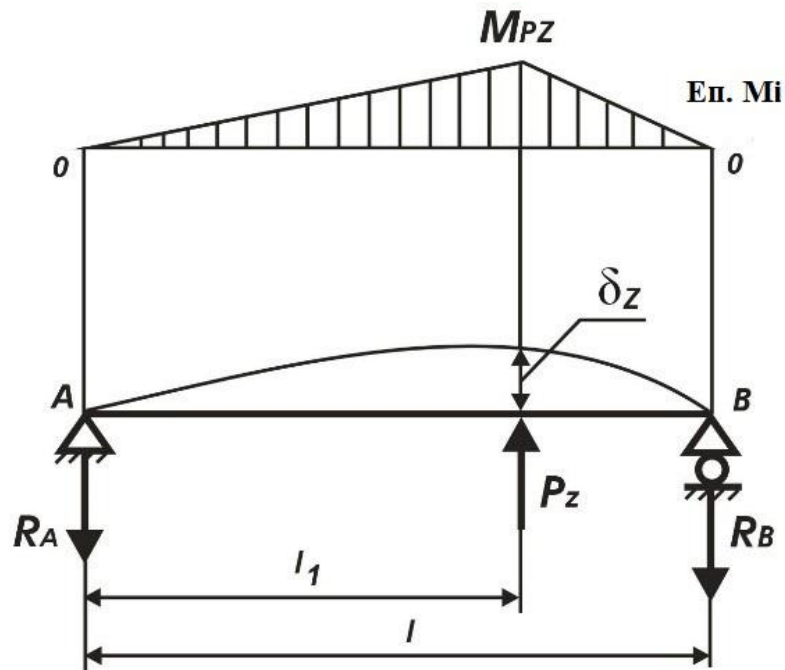


Рис. 2.10. Схема навантаження колінчатого вала тангенціальною силою різання при механічній обробці

Реакції опор при базуванні у верстаті:

$$R_A = P_Z - R_B, \quad (2.3)$$

де P_Z – тангенціальна сила різання;

$$R_B = \frac{P_z \cdot l_1}{l}, \quad (2.4)$$

де l_1 – відстань від лівої опори до зони різання; l – довжина оброблюваної деталі.

Згинальний момент M_{PZ} від тангенціальної сили різання P_Z :

$$M_{PZ} = P_z \cdot l_1 \left(1 - \frac{l_1}{l}\right), \quad (2.5)$$

Згинальний момент M_{IZ} від одиничної сили:

$$M_{IZ} = l_1 \cdot \left(1 - \frac{l_1}{l}\right), \quad (2.6)$$

Максимальна деформація прогину δ_z від тангенціальної сили різання:

$$\delta_z = \frac{1}{EJ} \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot l_1 \cdot M_{PZ} \cdot \frac{2}{3} \cdot l_1 \cdot \left(1 - \frac{l_1}{l}\right) \right] + \frac{1}{EJ} \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (l - l_1) \cdot M_{PZ} \cdot \frac{2}{3} \cdot l_1 \cdot \left(1 - \frac{l_1}{l}\right) \right], \quad (2.7)$$

де E – модуль Юнга; J – момент інерції перетину деталі.

2.2 Висновки

1. На підставі методу кінцевих елементів розроблена фізична й математична моделі кривошипа з метою визначення внутрішніх напружень.
2. Розроблена плоска двовимірна модель шатунної шийки колінчатого вала Deutz TCD 2012, плоска модель небезпечного перерізу й схема її навантаження.
3. Запропонована оригінальна модель кривошипа у вигляді стрижневої системи, яка дозволила розрахувати розподіл внутрішніх зусиль у зоні перекриття шатунної та корінної шийок.
4. Отримані розрахункові результати, що підтверджують статистику руйнування реальної деталі в експлуатації.

РОЗДІЛ 3.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ РЕЗУЛЬТАТИ

3.1 Загальна методика дослідження

У зв'язку із широким колом факторів, що визначають якість відновлення колінчатих валів дизелів, дана робота будувалася на підставі системного підходу до питань, обумовлених завданнями дослідження.

Загальна методика передбачала комплексний підхід до вивчення основних факторів технологічного процесу в їх функціональному зв'язку з об'єктами, якими є властивості відновлюваних поверхонь самих деталей у цілому, а також з елементами якості відновлення.

Роботи проводились на підприємствах Bosch service (м. Павлоград) [23] та Impulse 4 (м. Запоріжжя) [24] з якими співпрацює компанія "Альбїон".

Структура проведеного дослідження зображена на рис. 3.1. Відповідно до цієї схеми, керований технологічний процес відновлення представлено двома взаємозалежними модулями, а саме: теоретичними й експериментальними модулями. Причому, експериментальний модуль залежить від теоретичного. Кожний модуль характеризується рядом основних параметрів. На виході - технологічний процес, який тісно взаємозалежний з техніко-економічною ефективністю.

На підставі загальної методики дослідження були розроблені приватні методики, такі як: методика дослідження стану ремонтного фонду й утворення тріщин в колінчатих валах, методика дослідження розподілу температур при нанесенні наплавочних металопокриттів, методика дослідження внутрішніх напружень методом фотопружності, методика дослідження мікротвердості, методика дослідження макро- і мікроструктури, методика рентгенографічного аналізу: дослідження внутрішніх напружень другого роду й визначення періодів

кристалічних ґрат, а також методика дослідження основних характеристик ризику при обробці наплавлених шарів.



Рис. 3.1. Загальна структура проведення досліджень

3.1.1. Наплавочне устаткування

Технологічна операція нанесення металопокриттів на поверхні колінчатих валів дизельних двигунів проводилася на переустаткованому токарно-гвинторізному верстаті моделі 1К62 з наплавочною головкою А-580М та джерелом живлення дуги ВДУ-506 (рис.3.2. а та рис. 3.2. б).

Об'єкт дослідження – колінчатий вал двигуна Deutz TCD 2012, матеріал – сталь 42ХМФА, що має наступний хімічний склад: вуглець – 0,40...0,45%; кремній – 0,27...0,37%; марганець – 0,5...0,8%; ванадій – 0,08...0,12%; хром – 1,0...1,8%; молібден – 0,35...0,45%; сірка – 0,01...0,035%; фосфор – 0,025%; мідь – 0,35%; нікель – 0,3%; решта – залізо, відновлений методом наплавлення

під флюсом АН-348А ДСТУ 9087-95 наступного хімічного складу [8]: $\text{SiO}_2 = 41...44\%$; $\text{MnO} = 34...38\%$; $\text{CaO} = < 6,5\%$, $\text{MgO} = 5 - 7,5\%$, $\text{Al}_2\text{O}_2 = <4,5\%$, $\text{CaF}_2 = 4 - 5\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = \leq 2,1\%$, $\text{S} = \leq 0,15\%$, $\text{P} = \leq 0,12\%$.

3.1.2. Матеріали та зразки

Для нанесення металопокриттів застосовували наплавочні матеріали у вигляді дротів суцільного перетину: Св-08Г2С, Св-08Х20Н9Г7Т, Св-15ГСТЮЦА (ДСТУ 2246-96), Нп-30ХГСА (ДСТУ 10543-98), а також порошкового дроту Пп-Нп-35В9Х3СФ (ДСТУ 26101-94). Хімічний склад використовуваних наплавочних матеріалів наведений у табл. 3.1.

Покриття наносили на зразки, якими слугували корінні й шатунні шийки колінчатих валів дизельних двигунів марки Deutz TCD 2012.



Рис. 3.2 а. Переустаткований токарно-гвинторізний верстат моделі 1К62 з наплавочною головкою А-580М и джерелом живлення дуги ВДУ-506 (загальний вид)

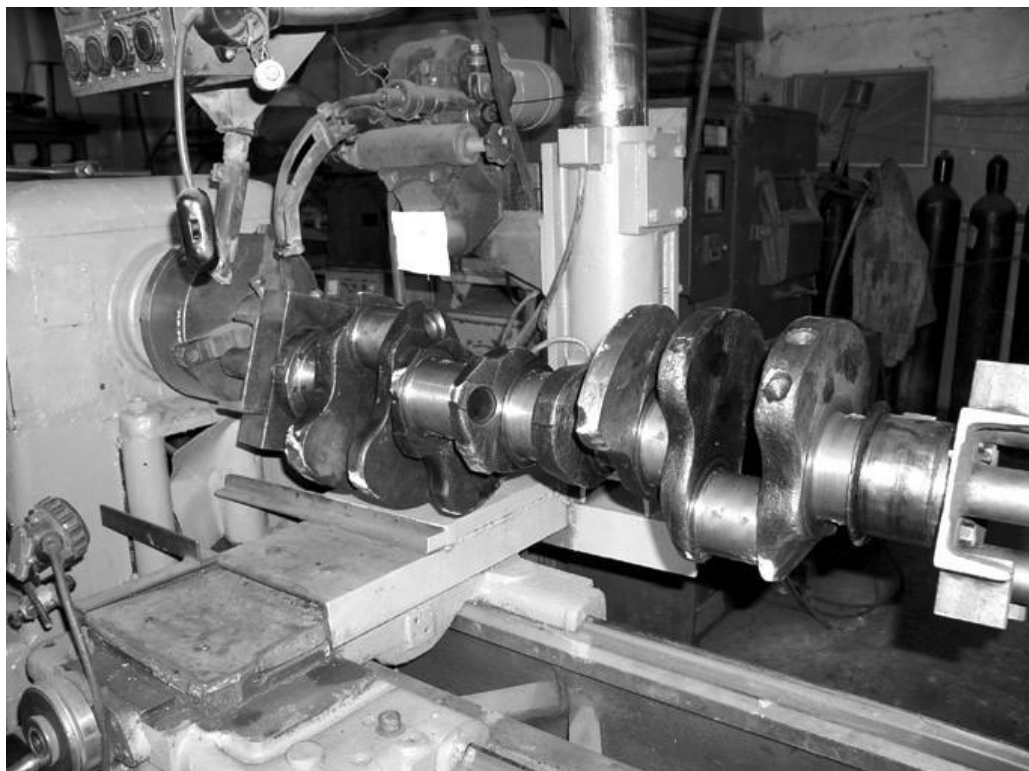
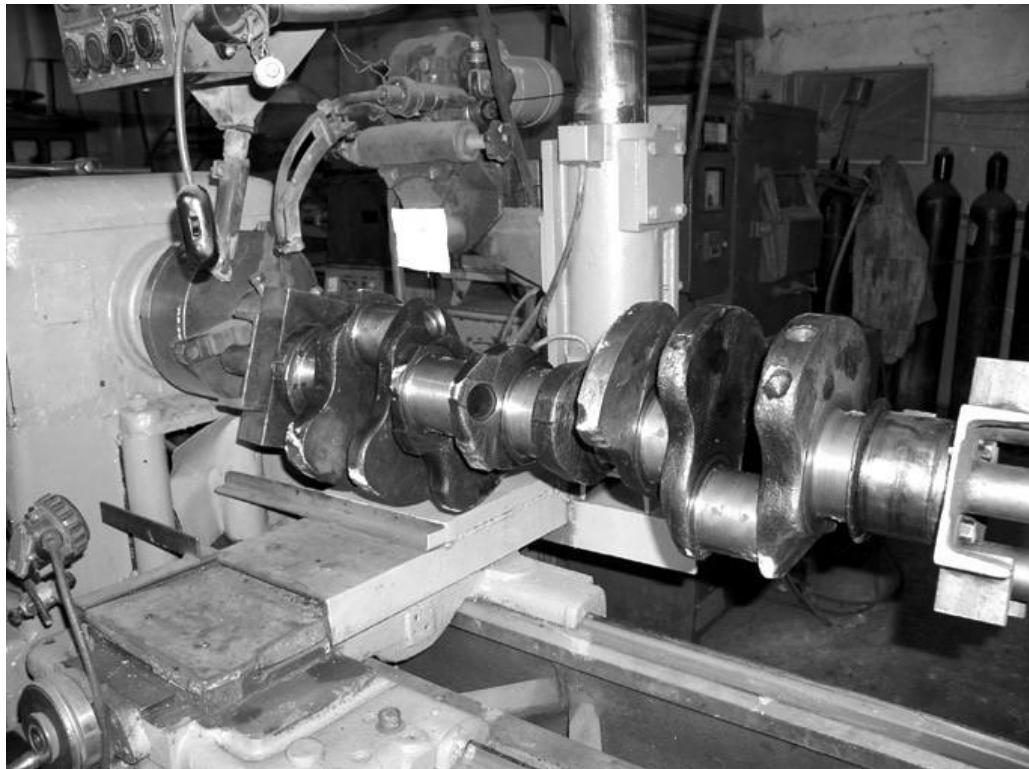


Рис. 3.2 б. Переустаткований токарно-гвинторізний верстат моделі 1К62 з наплавочною головкою А-580М і джерелом живлення дуги ВДУ-506 (вид із центрозміщувач й наплавлюваним колінчатим валом)

Таблиця 3.1 - Хімічний склад використовуваних наплавочних матеріалів

Найменування матеріалу	Зміст хімічних елементів, %								
	Вуглець	Марганець	Кремній	Хром	Нікель	Титан	Сірка	Фосфор	Інші елементи
СВ-08Г2С	0,10 ... 0,15	1,80 ... 2,00	0,90 ... 1,10	-	-	-	-	-	-
СВ-08Х20Н9Г7 Т	0,8 ... 0,10	6,90 ... 7,10	-	19,00 ... 20,00	8,00 ... 9,00	0,9	-	-	-
Нп-30ХГСА	0,3 ... 0,33	0,95 ... 1,07	0,95 ... 1,20	-	-	-	-	-	-
ПП- Нп-35В9Х3СФ	0,30 ... 0,43	0,30 ... 0,80	0,30 ... 0,80	2,20 ... 3,50	-	-	-	-	-
СВ-15ГСТЮЦА	0,12 ... 0,18	0,60 ... 1,00	0,45 ... 0,85	0,30	0,40	0,05 ... 0,02	0,25	0,025	≥ 0,04 Ce _{0,05-0,15} Zr _{0,2-0,50} Al

3.2. Дослідження стану ремонтного фонду та утворення тріщин в колінчатих валах

Аналіз твердості шийок колінчатого валу ремонтного фонду (28 штук) показав конкретні особливості. На нормально зношених шийках середня твердість змінюється по ремонтних розмірах незначно з 56,5 до 54 одиниць HRC (4...5%) при допуску 47...63 одиниць HRC [25]. Усі шийки без задирів мають твердість у межах поля допуску, у середньому 57 одиниць HRC.

На шийках із задирами середня твердість становить 45 одиниць HRC, причому нижче граничної перебувають 64% шийок. Тому після перешліфування таких шийок потрібно їх зміцнення. При перешліфуванні шийок під ремонтний розмір порушуються допуски на радіус галтелей. Якщо на нових колінча-

тих валах радіус галтелей шатунних шийок перебував у межах 3,5...4 мм (у середньому 3,98 мм) при припустимому $4 \pm 0,15$ мм, а радіус галтелей корінних – у межах 2,5...3 мм (у середньому 2,94 мм) при припустимому $3 \pm 0,15$ мм, то на перешліфованих колінчатих валах відповідно на шатунних шийках від 2 до 4,5 мм (у середньому 3,8 мм, за межами поля допуску 15% галтелей), а по корінних від 2 до 3,5 мм (у середньому 2,66 мм, за межами поля допуску 22%). Крім того, є випадки виконання некругових галтелей (5%). Усе це підвищує концентрацію напружень і знижує втомлювану міцність колінчатих валів.

Аналогічні результати показали також втомлювані випробування на симетричне крутіння, які зображені на рис. 3.3 і в табл. 3.2. На рис. 3.3 заштрихована довірча область при довірчій ймовірності $p = 0,9$.

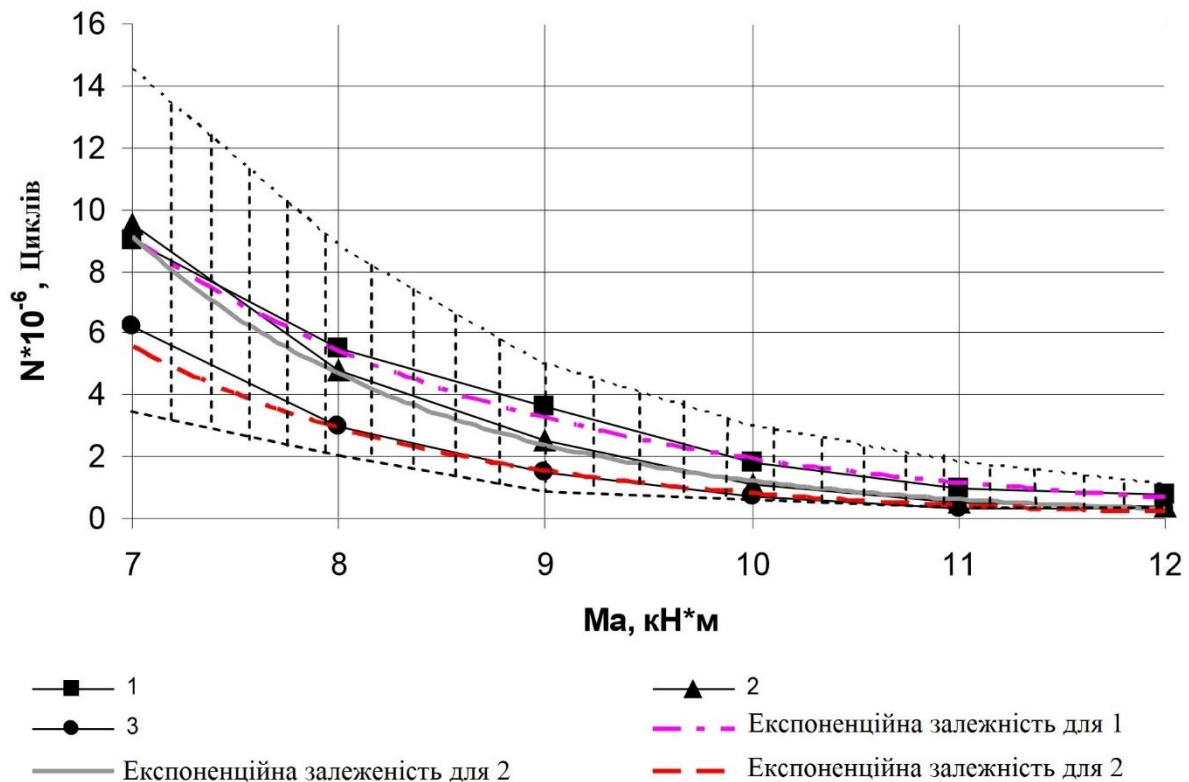


Рис. 3.3. Криві втоми колінчатого вала при крученні:
1- нові; 2- нормально зношені; 3 - аварійно зношені

З рис. 3.3 видно, що всі три криві входять в 90 % довірчу область. Отже, відмінність у параметрах незначне. У нормально зношених колінчатих валів

граничний момент витривалості на крутіння в середньому на 3 % нижче, ніж у нових, а в аварійно зношених – на 10 %.

Таблиця 3.2 - Параметри експонентної залежності числа циклів до руйнування від амплітуди крутного моменту

Характеристика валів	Число валів	Параметри			
		$N_0 \cdot 10^6$	b	r^2	$M-I^\infty$, кН·м
Нові	32	381,14	0,5155	0,984	6,90
Нормально зношені	13	1129,9	0,6889	0,998	6,70
Аварійно зношені	15	917,34	0,713	0,967	6,29

Отже, основний вплив на залишковий ресурс виявляє втомлювана міцність колінчатого вала при вигині. Таким чином, у результаті втомлюваних ушкоджень колінчатого вала в процесі експлуатації зменшується їх втомлювана міцність і залишковий ресурс. Особливо знижується втомлювана міцність і залишковий ресурс колінчатого вала при аварійних ушкодженнях шийок (на 44 %). Так само на втомлювану міцність суттєво впливає якість шліфування шийок при ремонті (радіус галтелей).

Характеристики кривих втоми мають варіацію, обумовлену відмінністю в поставках сталі, й в технологічних режимах. Ці фактори необхідно враховувати при визначенні загальної довговічності вала.

Колінчаті вали з різною межею втоми мають різну глибину загартованого шару галтелі по $R4$ під кутом 45° до поверхні ($R4\ 45^\circ$). У межах однієї шийки також відзначається відмінність по глибині загартованого шару по $R4\ 45^\circ$. Фокус розвитку тріщини також бере свій початок по радіусу $R4\ 45^\circ$. Глибина загартованого шару галтелі h по $R4\ 45^\circ$ відповідна до валів із границею витривалості дорівнює: $2M_{из} = 9$ кН·м, $h = 2,4$ мм; $2M_{из} = 7$ кН·м, $h = 0,9$ мм. При цьому глибина загартованого шару відповідає вимогам креслення заводу-виробника, $h = 0,8 \dots 3,0$ мм.

Таким чином, виявлена залежність границі витривалості колінчатого вала на вигин від глибини загартованого шару по галтелі, навіть у випадку виготов-

лення вала з якісного металу. У межах глибини загартованого шару галтелі, закладеного в креслення, не забезпечується стабільність якості колінчатого вала. У зв'язку з цим мінімальна глибина загартованого шару галтелі під кутом 45° до поверхні шийок повинна бути не менше 2 мм.

Розглянуті міцнісні характеристики колінчатих валів Deutz TCD 2012 відповідають застосовуваній технології зміцнення – індукційному загартуванню шийок (СВЧ). Запаси по межі витривалості колінчатих валів нефорсованих дизелів розподілилися залежно від постачальників металу: запас по межі витривалості на вигин $n_\sigma = 3,3 \dots 4,4$; запас по межі витривалості на крутіння $n_\tau = 2,9 \dots 3,75$.

Застосовувана сталь 42ХМФА розроблена для виготовлення азотованих колінчатих валів. Однак на Deutz TCD 2012 при масовому виробництві двигунів перевага була віддана зміцненню колінчатого вала індукційним загартуванням. Це має ряд переваг: у виробництві – простота й висока продуктивність; в експлуатації – ремонтпридатність. Однак для високофорсованих дизелів Deutz TCD 2012 необхідно підвищити втомлювану міцність та зносостійкість шийок колінчатого вала. Цим вимогам відповідає застосування об'ємного азотування колінчатого вала зі сталі 42ХМФА.

На рис. 3.4 наведені результати дослідження мікротвердості колінчатого вала при різних видах поверхневого зміцнення. Тут використані результати досліджень отриманих Петрідісом А.В. та Толкушевим А.А. [26].

Виміри мікротвердості $HV0,3$ виконані по перетинах, які перпендикулярні досліджуванім поверхням. З погляду забезпечення ремонтпридатності мінімальна припустима твердість поверхні $HV0,3$ дорівнює 453 кгс/мм^2 (45 HRC).

Іонне азотування має найменшу глибину обробки. Колінчаті вали, піддані іонному азотуванню можуть бути відновлені перешліфовкою на категорію ремонтного розміру 0,5 при природньому зношуванні в експлуатації. При задири перешліфовка неможлива.

Каталітичне азотування (карбонітрування) із твердістю серцевини HB5/750/10-255 забезпечує мінімально припустиму мікротвердість на глибині

близько 0,4 мм, що вище, ніж для іонного азотування. Відновлення колінчатих валів у цьому випадку можливе на категорії ремонтного розміру 0,5... 1 як при природньому зношуванні, так і при задири вкладишів в експлуатації.

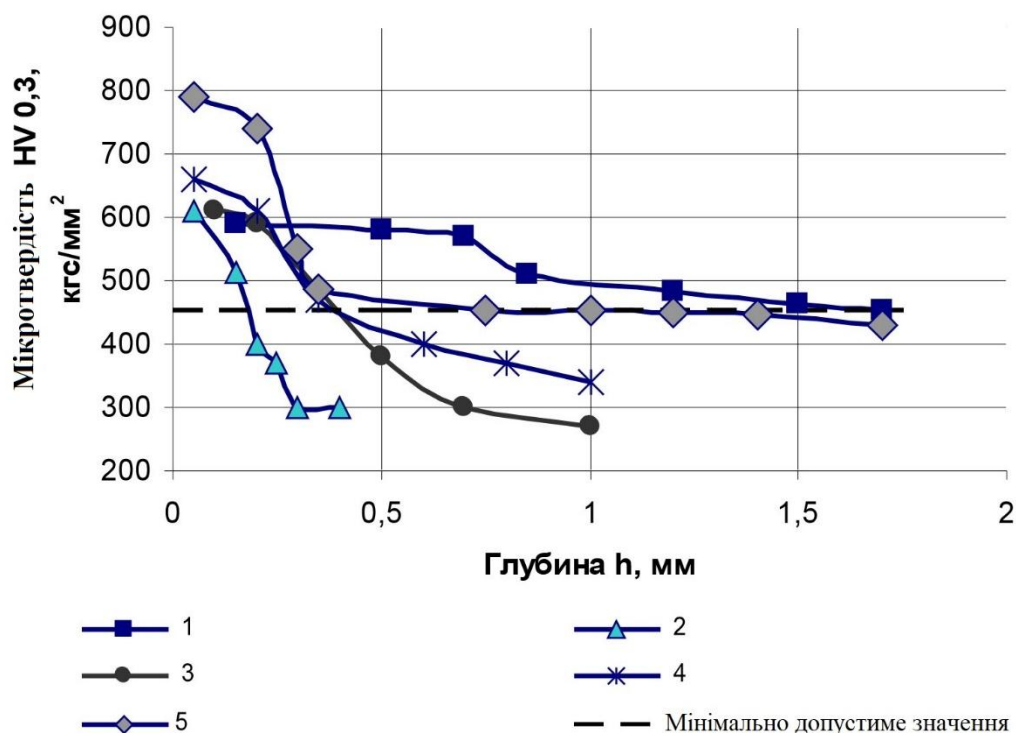


Рис. 3.4. Залежність мікротвердості від глибини зміцненого шару:

1 – загартування СВЧ; 2 – іонне азотування, серцевина *HV 10/3000-248*; 3 – карбонітрування, серцевина *HV 5/750/10-255*; 4 – карбонітрування, серцевина *HV 5/750/10-341*; 5 – комбіноване зміцнення (СВЧ + відпуск при $t = 600 \pm 10^\circ\text{C}$ 4 години + іонне азотування), серцевина *HV 5/750/10-241*.

Підвищення твердості серцевини до *HV5/750/10-341* збільшує категорію ремонтного розміру до 1,5. Найкращі результати за критерієм ремонтпридатності забезпечує комбіноване зміцнення (індукційне загартування + стабілізуючий відпуск при температурі 600°C протягом 4 годин + іонне азотування) із твердістю серцевини *HV5/750/10-241*. Перешліфовка допускається на категорії ремонтного розміру 0,5...3. Колінчаті вали з радіусом кривошипа *R65* і *R60* зазнали іонного азотування шийок. При цьому твердість серцевини дорівнювала *HV 321*. Аналіз виявив, що застосування азотування шийок для вала *R60* збільшує межу витривалості на 11 %.

Для вала з радіусом кривошипа $R65$ без грязевловлювачів межа витривалості на крутіння підвищується на 21 %. Запас міцності шатунної шийки на крутіння для високофорсованого дизеля Deutz TCD 2012 дорівнює $n_{кр} = 3,9$. Основним дефектом колінчатих валів залишаються тріщини шатунної шийки.

Зібрані статистичні дані по кількості втомлюваних тріщин і їх середня довжина на колінчатому валу двигунів Deutz TCD 2012 залежно від наробітку (проаналізовано близько 450 колінчатих валів) підтверджують експонентний характер втомлюваного руйнування колінчатого вала (рис. 3.5, 3.6, табл. 3.3). У процесі аналізу технічного стану двигунів Deutz TCD 2012, що потребували капітального та поточного ремонту визначали також кількість поламаних колінчатих валів.

Кількість поламаних валів збільшується з ростом наробітку також по експонентній залежності (рис. 3.7, табл. 3.3). Судячи з коефіцієнта r^2 експонентна залежність має близькість до експериментальних даних. Наведені на рис. 3.5...3.7 дані свідчать також про значний вплив матеріалу колінчатого вала та умов роботи щодо інтенсивності втомлюваного руйнування. Колінчатий вал двигунів Deutz TCD 2012 виготовлено зі штампової сталі 42ХМФА, яка має схильність до тріщиноутворення при достатній зносостійкості.

Крім того, номінальна частота обертання колінчатого вала двигунів Deutz TCD 2012 - 2600 хв^{-1} , що суттєво підвищує в останніх рівень амплітуди циклічних навантажень.

Таблиця 3.3 - Параметри залежності показників втомлюваного руйнування колінчатого вала від наробітку двигунів згідно досліджень [26]

Показники технічного стану	Параметри		
	y_0	b	r^2
Кількість тріщин, шт.:			
КамАЗ-740	0,793	0,0075	0,984
ЯМЗ-238	0,076	0,0125	0,966
Середня довжина втомлюваної тріщини, мм:			

КамАЗ-740	0,805	0,0090	0,993
ЯМЗ-238	0,428	0,0089	0,958
Середня частка поламаних колінчатих валів, %:			
КамАЗ-740	0,264	0,00128	0,962
ЯМЗ-238	0,088	0,0118	0,987

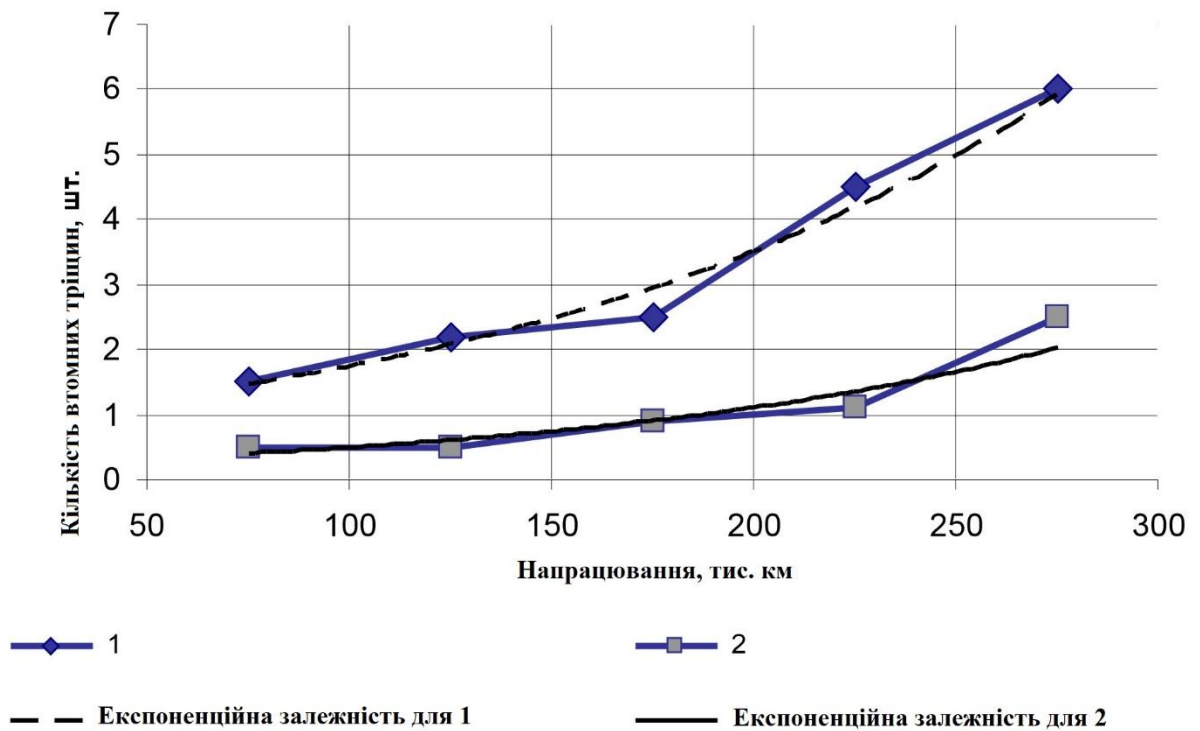


Рис. 3.5. Залежність кількості втомлюваних тріщин на колінчатому валу двигунів КамАЗ-740 (1) і ЯМЗ-238 (2) від наробітку

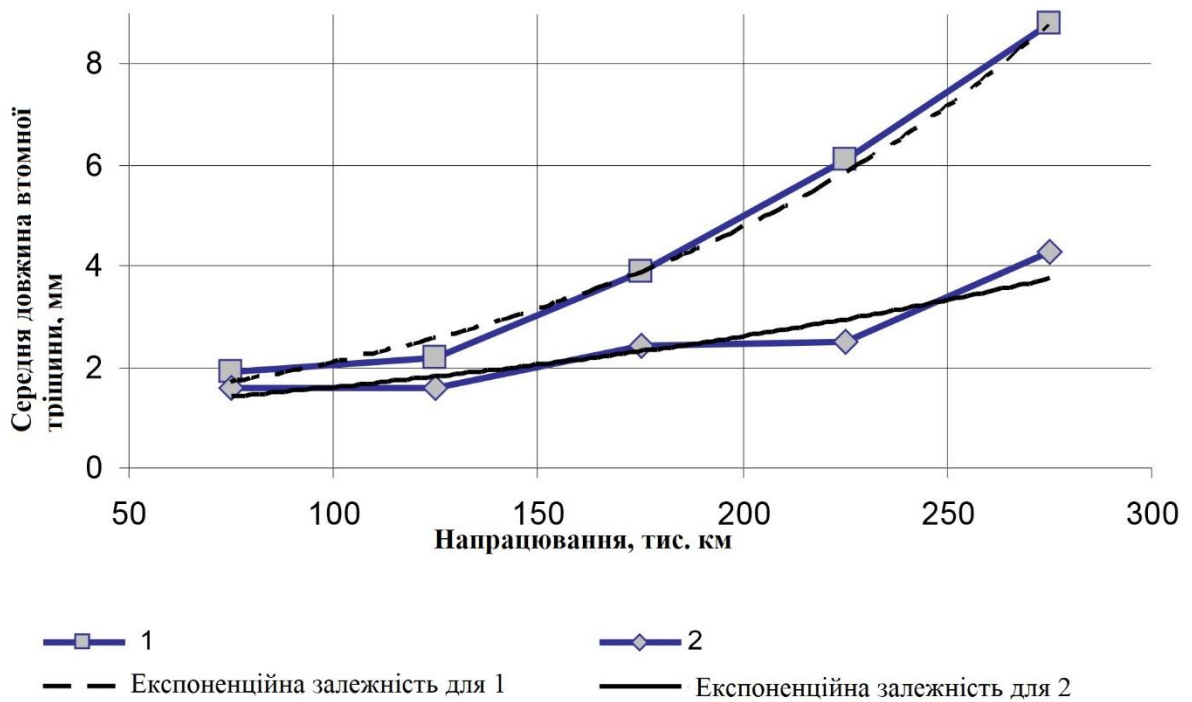


Рис. 3.6. Залежність середньої довжини втомлюваної тріщини на колінчатому валу двигунів КамАЗ-740 (1) і ЯМЗ-238 (2) від наробітку

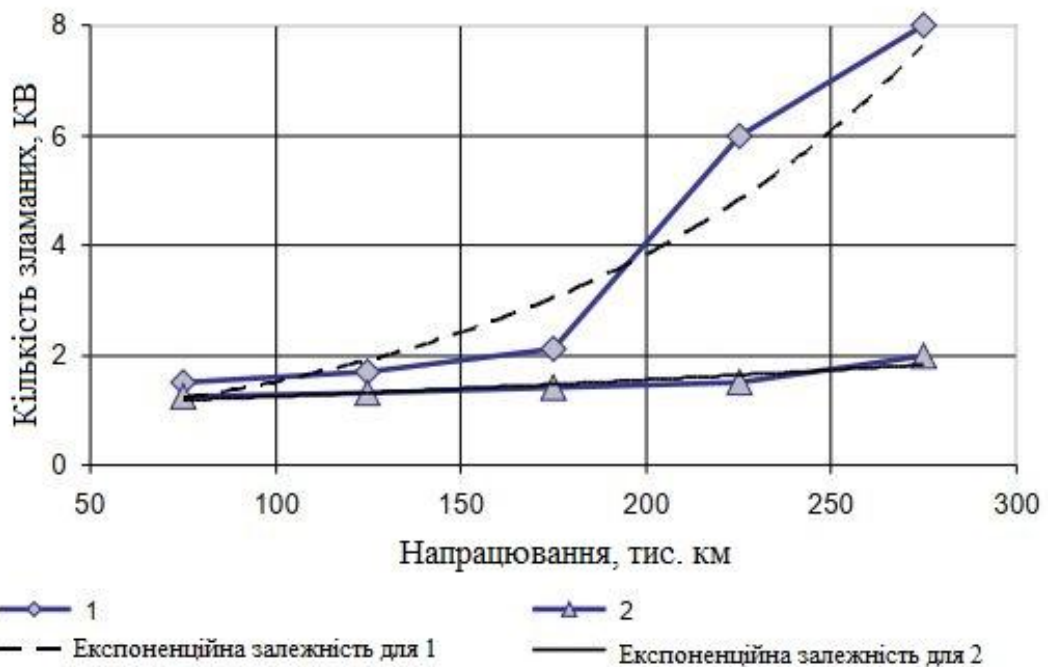


Рис. 3.7. Залежність частки поламаних колінчатих валів двигунів КамАЗ-740 (1) і ЯМЗ-238 (2) від наробітку

Усі ці фактори обумовлюють велику інтенсивність втомлюваних руйнувань колінчатих валів двигунів КамАЗ-740, ніж ЯМЗ-238 від 2-х до 4-х разів. У результаті до наробітку колінчатого вала двигуна Камаз-740 близько 200 тис. км, середня довжина тріщин досягає граничних значень 4 мм (рис. 3.6), при яких звичайно вал ремонтують. По двигуну Deutz TCD 2012 ситуація дуже схожа але по дуже малому статистичному напрацюванню поки, що важко стверджувати, що тріщиноутворюваність такаж як і у КамАЗ.

Перешліфування їх під черговий ремонтний розмір лише в половині випадків усуває ці тріщини. До цього ж наробітку кількість поламаних колінчатих валів сягає 4 % (рис. 3.7). Навіть при відновленні цих колінчатих валів наплавленням при дефектуванні відбраковується більше половини ремонтного фонду з наробітком більше 200 тис. км.

Втомлювана міцність відновлених наплавленням колінчатих валів двигунів Deutz TCD 2012 ще нижче, чим не відновлених, тому що в елементах вала вже накопичені значні втомлювані ушкодження, які не завжди можливо виявити при дефектуванні.

Таким чином, основними напрямками підвищення якості колінчатого вала є: вибір хімічного складу металу й способу його одержання; вид і якість хіміко-термічної обробки; зниження концентрацій напружень за рахунок поліпшення механічної обробки й конструкції елементів (галтелі, масляні канали); удосконалення методів втомлюваних випробувань; забезпечення ремонтпридатності протягом усього експлуатаційно-ремонтного циклу.

3.3. Дослідження розподілу температури при нанесенні наплавочного металопокриття

При наплавленні корінних шийок колінчатого вала без попереднього підігріву деталі можна виявити наступні закономірності: підвищення температури кожної наступної корінної шийки від наплавлення попередньої відбувається на лівих щоках у середньому на 12 °С, а на правих щоках у середньому на 7 °С, що

в остаточному підсумку не задовольняє рекомендаціям з попереднього підігріву відновлюваного вала, тому що температури корінних шийок безпосередньо перед наплавленням перебувають в інтервалі від 21°C до 83 °C при необхідному діапазоні в 100...250 °C.

За експериментальним даними можна зробити висновок про необхідність додаткового попереднього підігріву колінчатого вала до температур від 100 °C до 250 °C перед його наплавленням, що дозволить зменшити ймовірність виникнення тріщин.

Також досліджувався розподіл температури в реальному технологічному процесі наплавлення шатунних і корінних шийок колінчатого вала двигуна Камаз-740 [26]. Елементи наплавочної операції технологічного процесу наведені на рис. 3.8 і 3.9.

Експерименти проводилися на чотирьох наплавлюваних колінчатих валах Deutz TCD 2012, що забезпечувало повторюваність результатів.

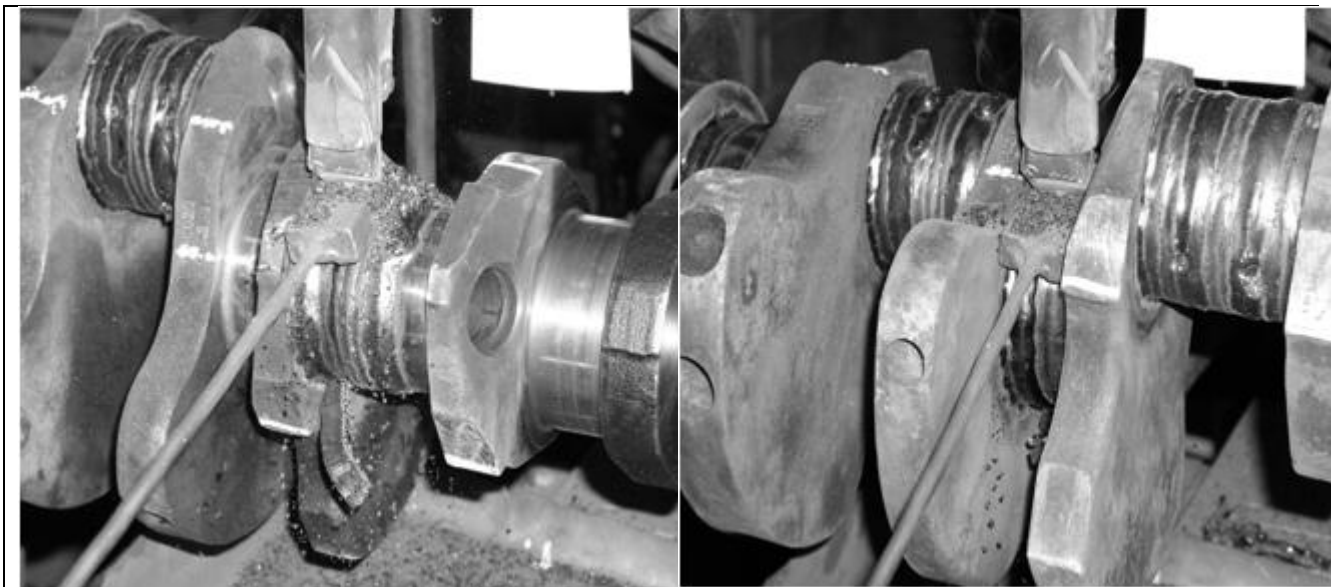


Рис. 3.8. Процес наплавлення шатунної шийки колінчатого вала

Рис. 3.9. Процес наплавлення корінної шийки колінчатого вала

Результати експерименту показали:

1. При наплавленні без попереднього підігріву, навіть на раціонально обраних режимах важко, а на деяких переходах просто неможливо одержати

класично необхідну температуру підігріву наплавлюваної деталі за рахунок власної потужності дуги;

2. Необхідний діапазон, при якому можливе наплавлення без тріщин 100...250 °С.

За результатами експерименту можна зробити висновок про необхідність додаткового попереднього підігріву колінчатого вала до температур від 100 °С до 250 °С перед його наплавленням, що дозволить зменшити ймовірність виникнення тріщин.

3.4. Дослідження мікротвердості

При наплавленні дротом Св-15ГСТЮЦА (рис. 3.10) спостерігається зростання значень мікротвердості від поверхні наплавленого металу (1900 МПа) до перехідної зони, де вона ухвалює максмальні значення (3000 МПа), потім мікротвердість поступово знижується та за межами зони термічного впливу має найнижчі значення (1800 МПа) Слід зазначити, що поняття межі в цьому випадку досить умовно, тому що перехід однієї зони в іншу характеризується поступовою зміною мікроструктури й різкі межі наплавленого металу та основи відсутні. Це стосується також зразків із дроту Св-08Г2С.

У зразку, наплавленому дротом Св-08Г2С (рис. 3.11), також спостерігається невелике зростання значень мікротвердості (від 1600 МПа) в зоні наплавленого металу та (до 2000...2100 МПа) у перехідній зоні й зоні термічного впливу.

У зразку, наплавленому дротом Св-08Х20Н9Г7Т (рис.3.12), показники мікротвердості мають незначне зниження від поверхні наплавленого металу до основи (від 1700 до 1500 МПа), за винятком сплеску на межі наплавленого металу й основи (2400 МПа), на окремих ділянках у зоні термічного впливу досягає значень 3000 МПа й вище). При цьому спостерігається різко позначена межа між наплавленим металом і основою.

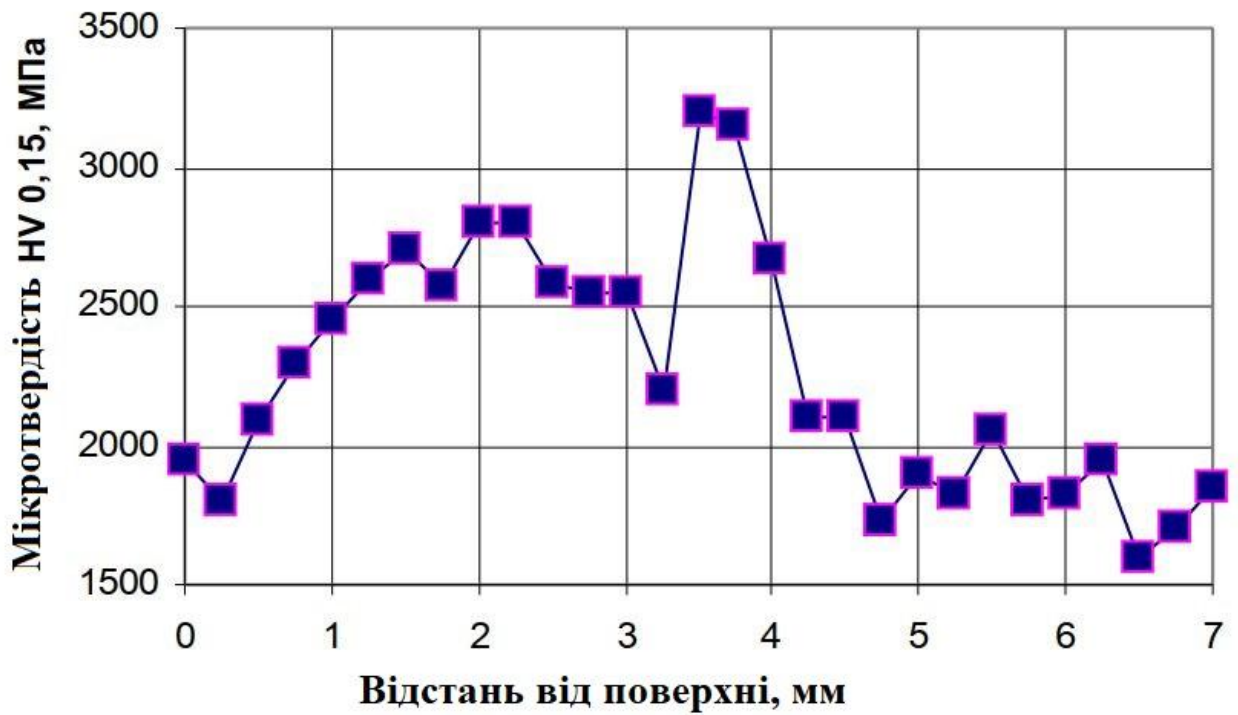


Рис. 3.10. Розподіл мікротвердості за глибиною зразка наплавленого дротом Св - 15ГСТЮЦА

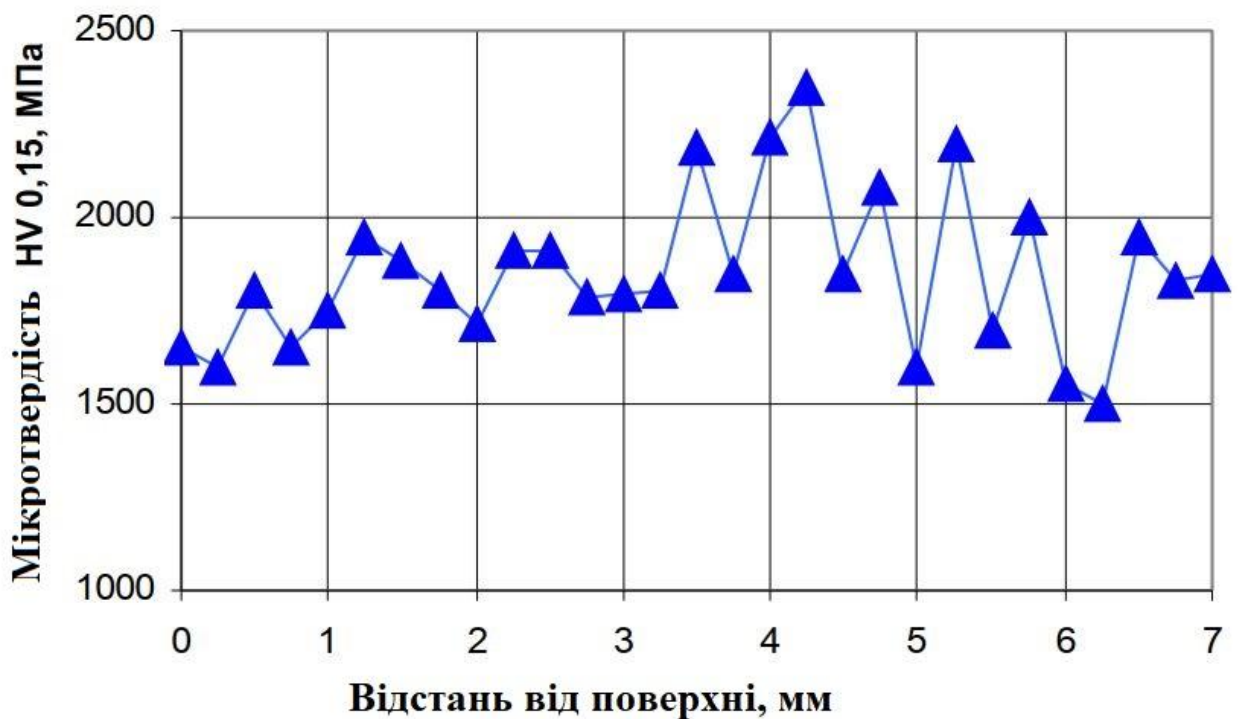


Рис. 3.11. Розподіл мікротвердості за глибиною зразка, що наплавлений дротом Св-08Г2С

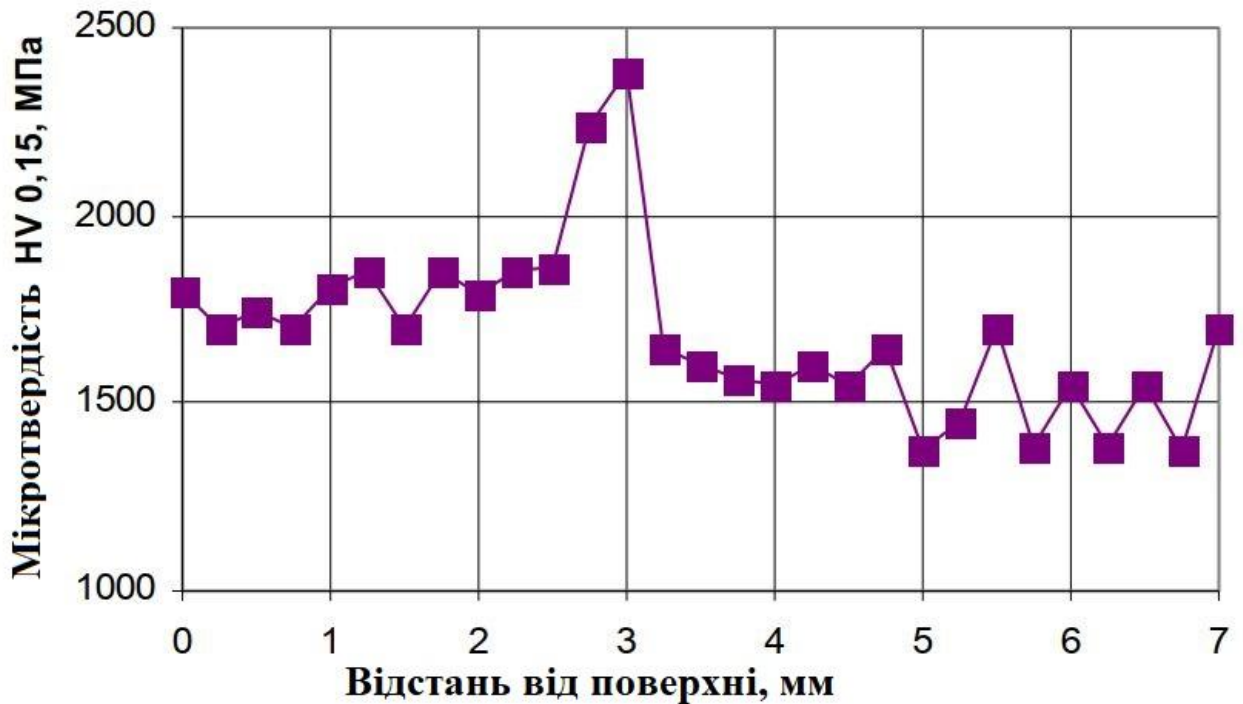


Рис. 3.12. Розподіл мікротвердості за глибиною зразка, що наплавлений дротом Св-08Х20Н9Г7Т

Було проведено дослідження з наплавлення колінчатого вала двигуна Deutz TCD 2012 для порівняння двома різними дротами:

1. Шийки валів наплавлялися порошковим дротом Нп-35В9Х3 Т-Ф-3,6 під флюсом АН-348-А, зразки зазнали наступного відпуску при 500 °С протягом 1 години.
2. Галтелі наплавлялися на попередньо підігріту до 200...230°С поверхню дротом 1,6 Нп-30ХГСА.

3.5. Дослідження макро- і мікроструктури

Результати дослідження мікрошліфа колінчатого вала Deutz TCD 2012, що наплавлений дротом 1,6 Нп-30ХГСА, під флюсом АН-348А наведені на рис. 3.13 і 3.14.

При аналізі мікрофотографій мікро- і макроструктури мікрошліфа шатунної шийки колінчатого вала двигуна можна навести наступне: зона термічного впливу має структуру сорбіту із вкрапленням альфа заліза, зона наплавленого металу – тростит, а зона основного металу – сорбіт.

Аналіз мікроструктури зразків з наплавленими металопокриттями (рис. 3.15 – 3.17) дозволив виявити загальні закономірності, характерні для всіх досліджуваних зразків незалежно від наплавочного матеріалу, які полягають у наступному.

1. Основа, на яку проводилося наплавлення, має структуру сорбіту (3.15 в). На відстані понад 3-4 мм від межі наплавлення феррит представлений крупними зернами (рис. 3.16 б, 3.17 б), які в міру наближення до зони наплавлення стають дуже дрібними. Мікротвердість структурних складових в окремих зернах і в колоніях зерен – 2300-2500 МПа.

У зоні термічного впливу, сорбіт зникає, а перліт стає зернистим і вискодисперсним (рис. 3.17). Мікротвердість таких зон у всіх зразків зростає, досягаючи 2700 МПа, а в деяких місцях до 3000 МПа й вище (наприклад, у зразку, наплавленому дротом 08Х20Н9Г7Т).

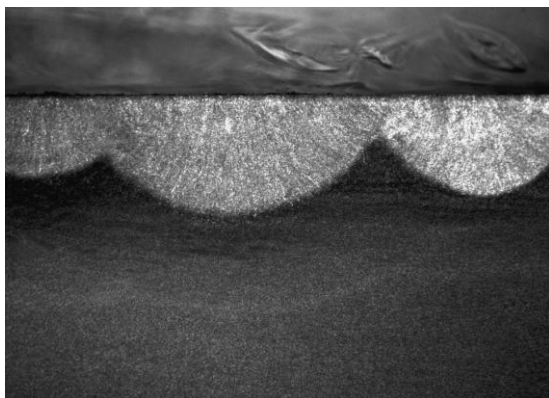


Рис. 3.13. Фотографія макроструктури шийки колінчатого вала двигуна, наплавленого дротом 1,6 Нп-30ХГСА, під флюсом АН-348А (50:1)

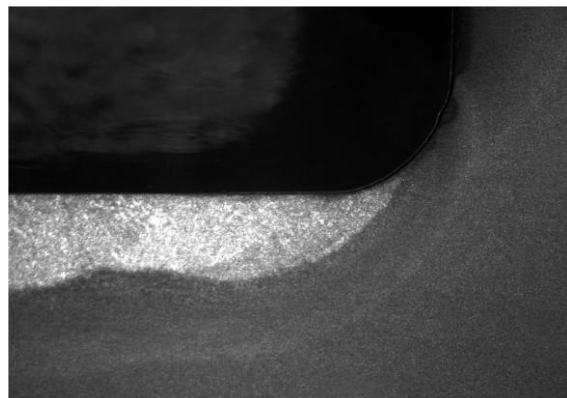


Рис. 3.14. Фотографія макроструктури зони галтелі колінчатого вала двигуна, наплавленим дротом 1,6 Нп-30ХГСА, під флюсом АН-348А (50:1)

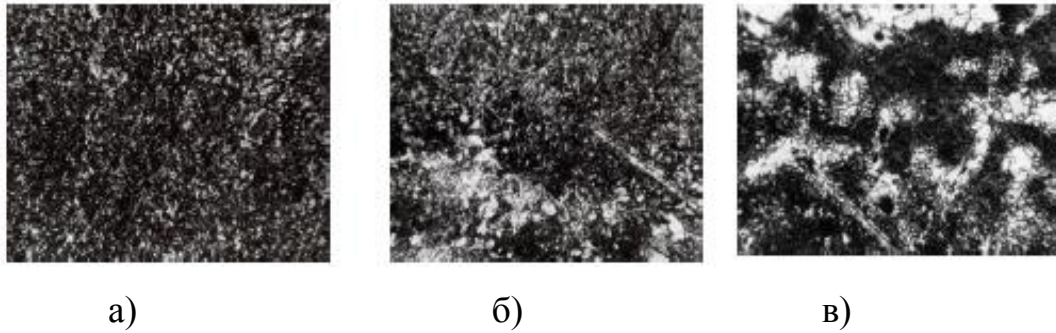


Рис. 3.15. Мікроструктура зразка, що наплавлений дротом 15ГСТЮЦА (200:1): а – зона наплавлення; б – перехідна зона; в – зона термічного впливу

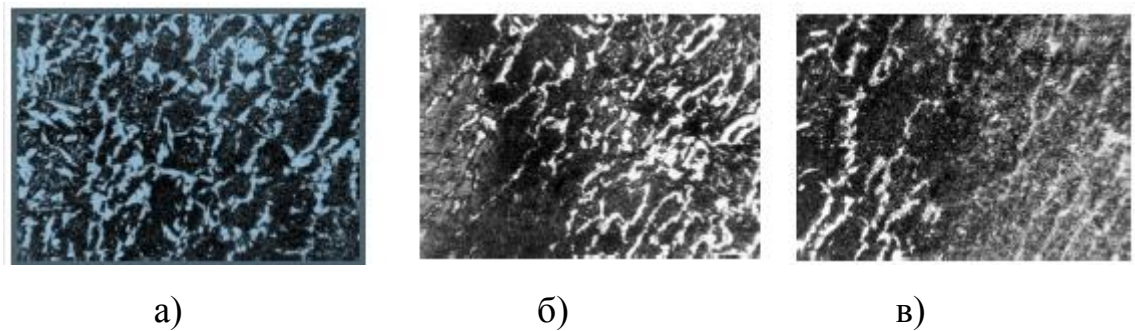


Рис. 3.16. Мікроструктура зразка, що наплавлений дротом 08Г2С (200:1): а – зона наплавлення; б – перехідна зона; в – зона термічного впливу

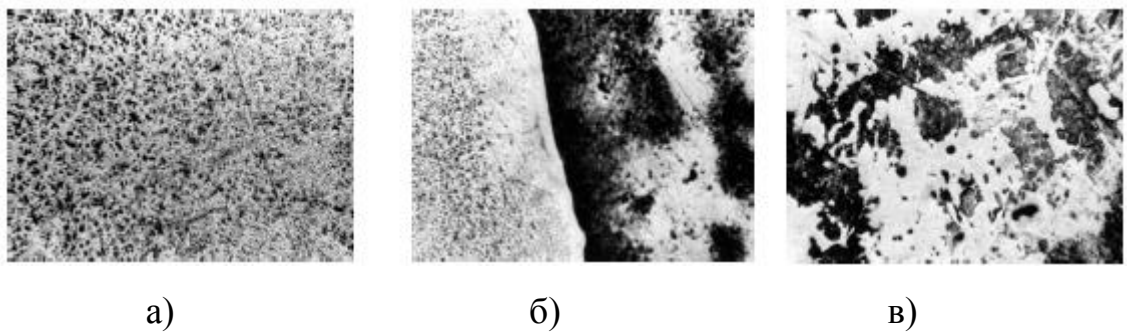


Рис. 3.17. Мікроструктура зразка, наплавленого дротом 08Х20Н9Г7Т (200:1): а – зона наплавлення; б – перехідна зона; в – зона термічного впливу

2. У зоні наплавлення спостерігаються наступні структури:

15ГСТЮЦА. Дисперсна перлітна структура зернистої будови (рис. 3.15 а). Враховуючи величину мікротвердості (1900-2800 МПа) близької до сорбіту. У зоні, близької до перехідної, за рахунок більш низької швидкості охолоджен-

ня можлива більш повна сфероїдизація цементиту підвищувальна мікротвердість (рис. 3.15 б).

08X20H9Г7Т. Структура легованого аустеніту (рис. 3.17 а, б). Високі швидкості охолодження зберігають аустенітну структуру, де елементи, що легують, розчинені в гранецентрованих кубічних ґратах аустеніту. У зоні, що прилягає до основи (і в перехідній зоні) за рахунок порівняно повільного охолодження можуть виділятися мілкодисперсні карбіди, що приводять до стрибка мікротвердості (рис. 3.17 в).

08Г2С. Присутні зони з відманштеттовою структурою й мілкодисперсним перлітом (рис. 3.16 а). Відманштеттова структура розташована головним чином по периферії наплавлення. Мілкодисперсний перліт перебуває в середній частині наплавлення, причому в окремих місцях видно зони ферриту, що повторюють напрямок плину металу (напрямок кристалізації) (рис. 3.16 б, в).

3. Перехідна зона зразків, наплавлених 15ГСТЮЦА, 08Г2С представляє сукупність феррито-перлітної відманштеттової структури й феррито-перлітної структури звичайної будови (рис. 3.16 в). Перліт цих зон має зернисту будову. Очевидно, у процесі наплавлення температура перехідної зони та час її остигання достатні для сфероїдизації цементиту перліту та його розсмоктуванню по межах зерен феррита. Тому в перехідній зоні перліт виглядає "розмазаним" за структурою, а в деяких перехідних зонах зразків 08Г2С и 30ХГСА високодисперсний зернистий перліт займає досить великі площі. Ці області мають найвищу мікротвердість (до 3000 МПа).

Слід зазначити, що перехідна зона в зразках 08Г2С, 30ХГСА, 15ГСТЮЦА не має чітких меж, тобто спостерігається поступовий перехід структур (рис. 3.15, 3.16), що свідчить про міцний зв'язок основи й наплавленого металу.

Перехідна зона зразка, наплавленого 08X20H9Г7Т (рис. 3.17 в) має різку межу. Метал, що наплавляється, практично мало з'єднався з металом основи, що цілком природно при такій великій різниці в ізоморфності кристалічних ґрат гранецентрованих кубічних і об'ємноцентрованих кубічних.

Під час наплавлення були створені такі температурні умови, що на межі поділу основа-наплавлення перліт розосередився по структурі основи й утворював тонку перехідну зону високодисперсного перліту по всій межі (рис. 3.17 в).

3.6. Розробка плану операцій раціонального технологічного процесу

На основі проведеного комплексу теоретичних та експериментальних досліджень розроблений технологічний процес відновлення колінчатих валів дизельних двигунів. Послідовність операцій технологічного процесу наведена в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 - Технологічний процес відновлення

Номер з/п.	Найменування операції	Мета технологічної операції
005	Мийна	Ретельне очищення колінчатого вала
010	Слюсарна	Зачищення шийок перед дефектоскопією
015	Дефектувальна 1. 2.	1. Магнітна дефектоскопія; 2.Контроль-Сортування
020	Кругошліфувальна	Попереднє шліфування з мінімальним припуском або на 0,5 мм менше останнього ремонтного розміру
025	Слюсарна	Видалення, якщо можливо, тріщин
030	Дефектувальна	Контрольна магнітна дефектоскопія
035	Термічна	Попередній підігрів шийок колінчатого вала до температури від 100 °С до 250 °С
040	Наплавочна	Наплавлення шийок вала (центральної частину шийки - порошковим дротом марки Пп-Нп-35В9Х3СФ, галтелі - дротом суМетаного перетину марки Нп-30ХГСА

Номер з/п.	Найменування операції	Мета технологічної операції
045	Термічна	Відпуск при температурі 500 °С протягом 1 години
050	Токарно-гвинторізна	Чорнове гостріння шийок у межах 0,5 мм до номінального розміру
055	Слюсарна	Розкриття й зенкування масляних отворів
060	Термічна	Нагрівання колінчатого вала в межах 340...400 °С
065	Пресова	Виправлення вала в гарячому стані
070	Дефектувальна	Магнітна дефектоскопія
075	Кругошліфувальна	<ol style="list-style-type: none"> 1. Відновлення поверхні шліфувального кола до встановленого заводом-виготовлювачем розміру радіуса галтелі; 2. Чистове шліфування шийок колінчатого вала; 3. Полірування шийок колінчатого вала
080	Слюсарна	Монтаж знімних противаг, заглушок і інших деталей
085	Балансувальна	Динамічне балансування колінчатого вала
090	Дефектувальна	Остаточна магнітна дефектоскопія
095	Мийна	Мийка із продувкою маслосканалів
100	Контрольна	Контроль основних геометричних параметрів колінчатого вала (діаметрів корінних і шатунних шийок, величини биття центральної корінної шийки)
105	Пакувальна	Упакування з консервацією

Розподіл наробітку до ремонту колінчатого вала, отримане за результатами статистичної обробки по 80 нових і 80 відновлених колінчатих валах. Результати обробки наведені на рис. 3.18 а, 3.18 б, а параметри розподілу наведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 - Параметри розподілу міжремонтного ресурсу великогабаритних колінчатих валів

Найменування валів	Середні значення, L (тис. км)	стандартне відхилення, σ (тис. км)	Коефіцієнт варіації	Відносний вторинний ресурс (L2/L1)
Нові	195,2	106,2	0,544	—
Відновлені	157,4	84,54	0,537	0,806

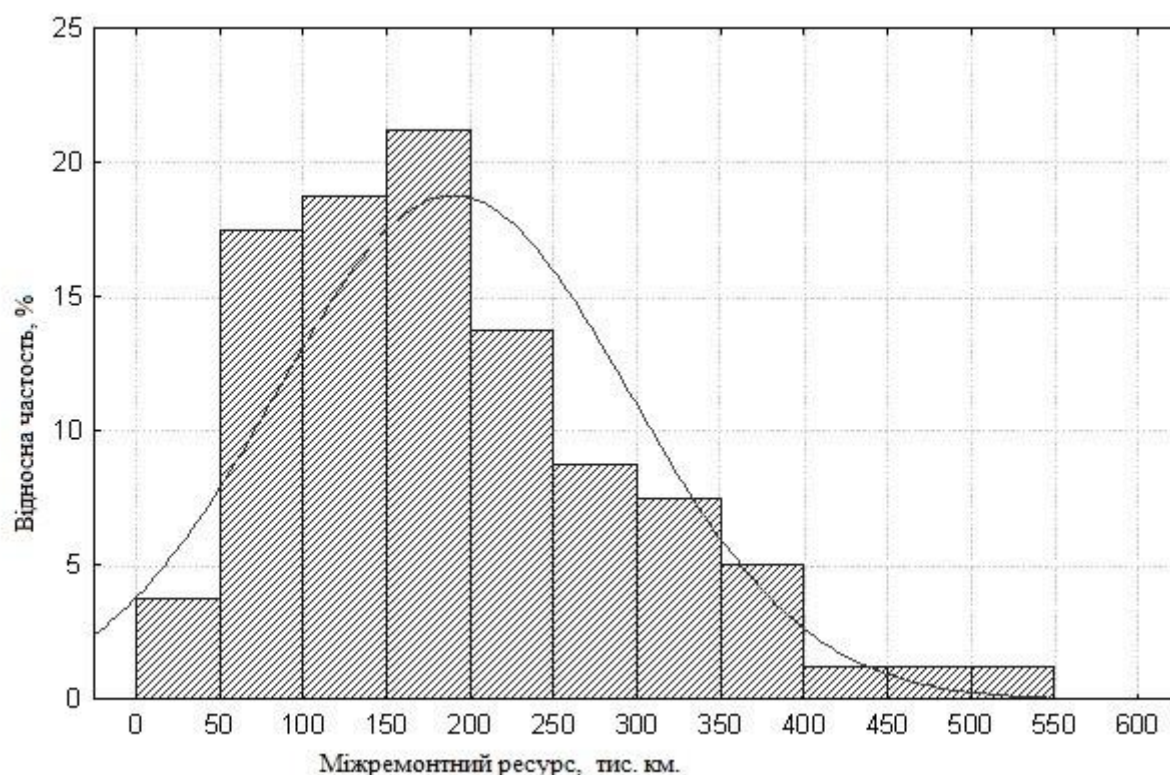


Рис. 3.18 а. Параметри розподілу для нових валів

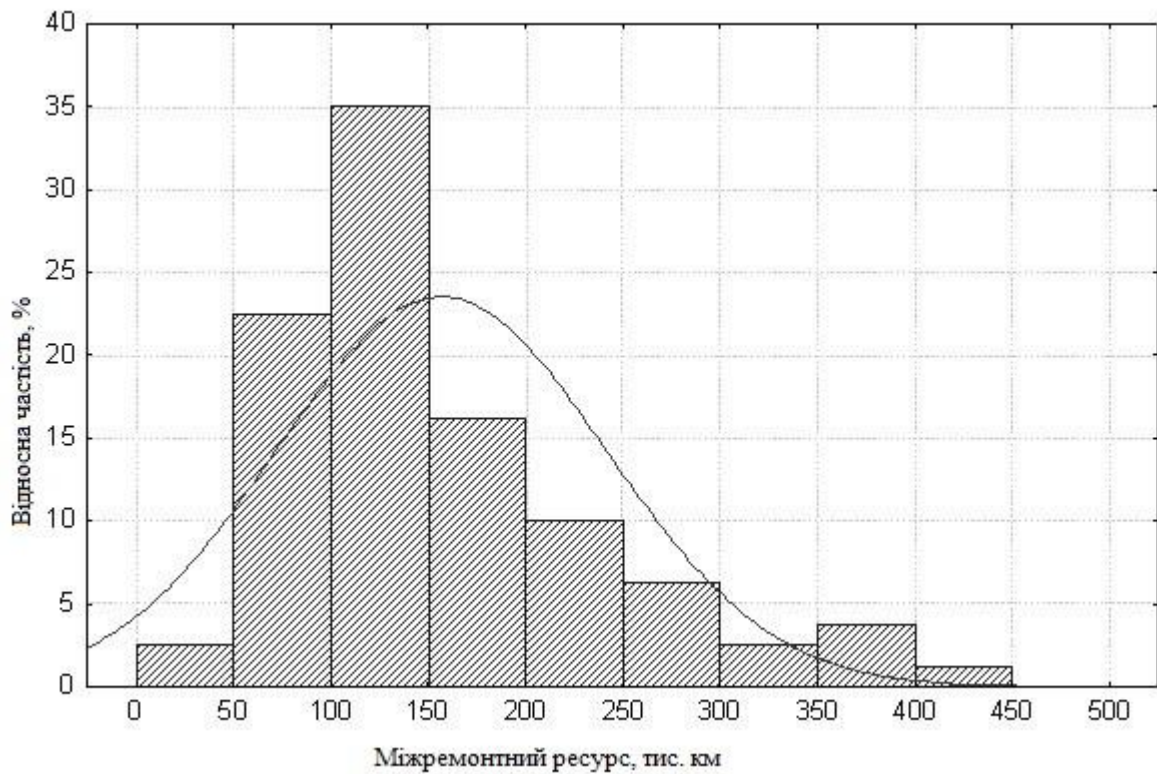


Рис. 3.18 б. Параметри розподілу для відновлених колінчатих валів

Порівняльна характеристика технологій відновлення наведена в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Порівняльна характеристика технологій відновлення колінчатого валу

Технологія відновлення	Механічні характеристики		Триботехнічні характеристики				Технологічні характеристики	
	Твердість, HRC	Шорсткість, R_a мкм	Коефіцієнт тертя, f	Навантаження задирування, кН	Знос, мГ	Припрацювання, год	Кількість технологічних операцій	Час на проведення операцій, год
Існуюча технологія	54-58	0,7-0,72	0,8-0,12	1,7	30-33	8,5	Однакова	0,2
Розроблена технологія	60-64	0,6-0,65	0,02-0,05	2,0	13-16	6,0		0,15

3.7. Висновки

1. За розподілом температур при нанесенні наплавочних металопокриттів встановлено, що при наплавленні без попереднього підігріву, навіть на раціонально обраних режимах важко, а на деяких переходах просто неможливо одержати класично необхідну температуру підігріву (100...200°C) деталі, що наплавляється за рахунок власної потужності дуги.

2. Аналізом внутрішніх напружень методом фотопружності, встановлена подібність реальних руйнувань із висновками фізичної та математичної моделей.

3. Аналіз мікротвердості зразків різних наплавочних матеріалів, показав, що є високі піки мікротвердості, що виникають від контрасту температур самої шийки й наплавлюваного металу, а в зоні галтелі піки знижуються, так як на момент наплавлення галтель вже підігріта, що говорить про необхідність попереднього підігріву деталі. При відсутності наступної термообробки в зоні сплавної спостерігається «пік» твердості, порядку 6800 МПа, що свідчить про наявність дуже тендітних структур, що є неприйнятним для подальшої експлуатації деталі, але відпуск при 500 °С протягом 1 години після наплавлення повністю ліквідує підвищену твердість, а от додавання операцій загартування з наступним відпуском не призвели до істотного вирівнювання мікротвердості по глибині деталі в зоні наплавочного металопокриття. При цьому оптимальна мікротвердість із позицій експлуатації спостерігалася при наплавленні центральної частини шийки колінчатого вала порошковим дротом марки Ппнп-35В9Х3СФ із наступною відпусткою при 500 °С протягом 1 години й наплавленням галтелей дротом суцільного перетину марки Нп-30ХГСА з попереднім підігрівом деталі до 200...230 °С.

4. Особливості макро- і мікроструктури різних металопокриттів, рентгенографічний аналіз і аналіз внутрішніх напружень другого роду, періоди кристалічних ґрат, а також основні характеристики різання при обробці наплавлених шарів. Фазовий рентгенівський аналіз зразків з наплавленими металопок-

риттями показали, що основа й наплавочні метали марки Св -08Г2С, Нп-30ХГСА й Св-15ГСТЮЦА є $\lambda - Fe$ і мають структуру типу об'ємноцентрованого куба. Наплавочний матеріал Св-08Х20Н9Г7Т являє собою $\gamma - Fe$ і має структуру типу гранецентрованого куба.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ

4.1. Загальні відомості про охорону праці на підприємстві ТОВ "Альбїон"

Товариство з обмеженою відповідальністю "Альбїон" це одна із провідних компаній в Україні з продажу та сервісного обслуговування техніки сільськогосподарського призначення [27]. Структура компанії наведено на рис. 4.1.

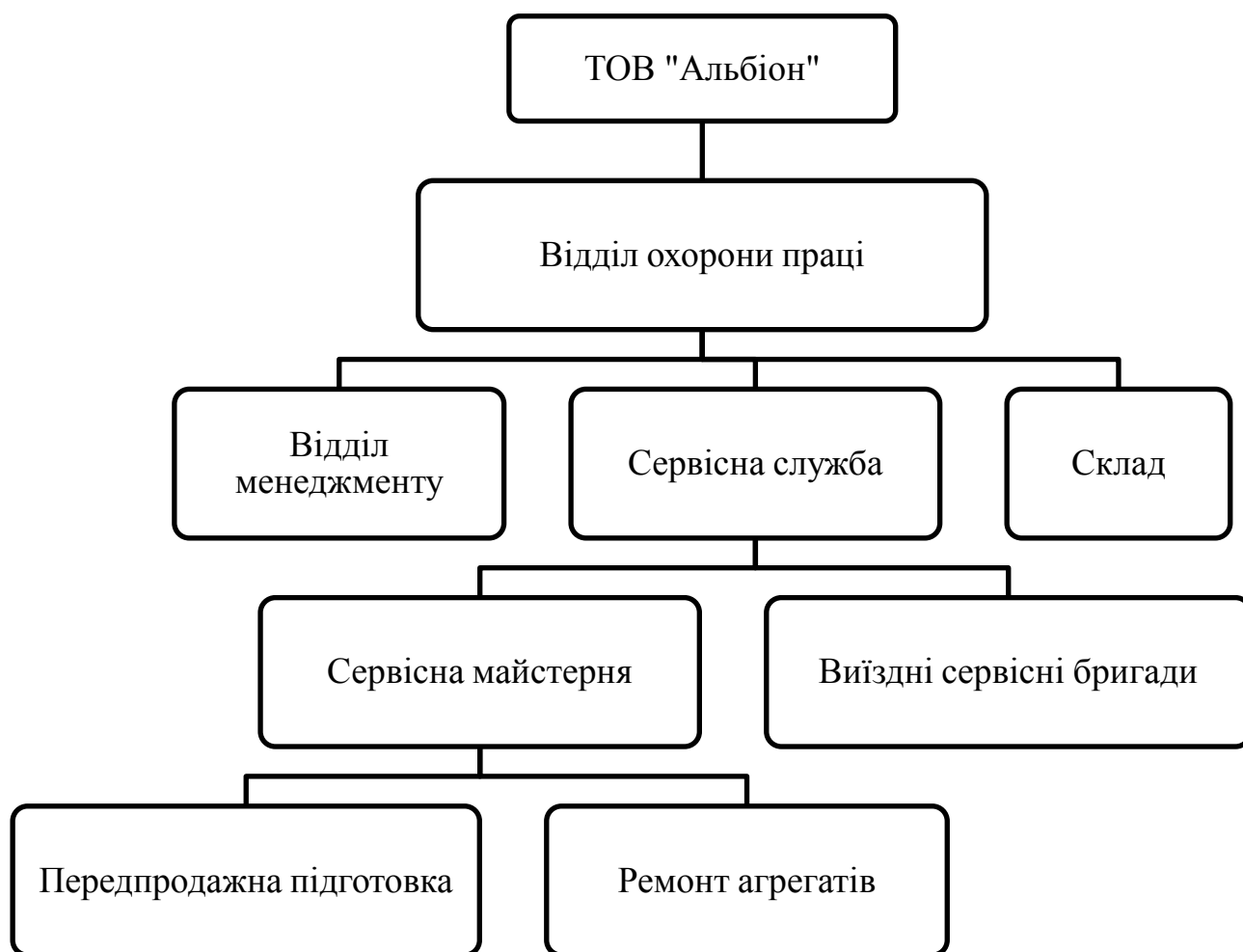


Рис. 4.1. Структура служби охорони праці в ТОВ Альбїон

"Охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у

процесі трудової діяльності" [28].

За стан охорони праці в ТОВ "Альбїон" відповідає керівник підприємства та спеціаліст з охорони праці, (на підприємстві працює працює 59 чоловік і тому в компанії є постійна штатна одиниця спеціаліста з охорони праці).

Спеціаліст готує звітну документацію, розроблює плани з поліпшення охорони праці, забезпечує робочих методичною документацією, контролює дотримання правил охорони праці на робочих місцях, аналізує роботу робітників та дає рекомендації керівництву по поліпшенню умов праці. Він постійно приймає участь у роботі профспілки в плані заключення трудових угод, та страхування робітників [29].

Спеціаліст проводить вступний інструктаж та інструктажі керівників підрозділів, всі інші інструктажі проводяться на робочих місцях керівниками підрозділів.

4.2. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів на ділянці з відновлення деталей зварюванням та наплавленням

У приміщенні майстерні можуть бути такі шкідливі та небезпечні фактори:

- шум, що утворюється машинами які ремонтуються та обладнанням на якому проводяться ремонтні роботи.
- загазованість приміщення, внаслідок роботи двигунів машин.
- ультрафіолетове випромінювання при проведенні зварювальних робіт.
- вібрації.

На ділянці з наплавлення колінчатих валів в основному діють такі фактори, як загазованість приміщення внаслідок потрапляння диму, ультрафіолетове випромінювання та шум.

4.3. Заходи по забезпеченню захисту працівників від дії шкідливих та небезпечних факторів

Розробка організаційно-технологічної карти безпечної роботи на робочому місці по наплавленню валів

При проведенні робіт по відновленню посадкових місць під підшипники методом наплавлення виникають небезпечні зони та фактори які можуть призвести до травмування робітника, тому при організації робіт на такому робочому місці необхідно врахувати небезпечні фактори та розробити заходи по їх усуненню.

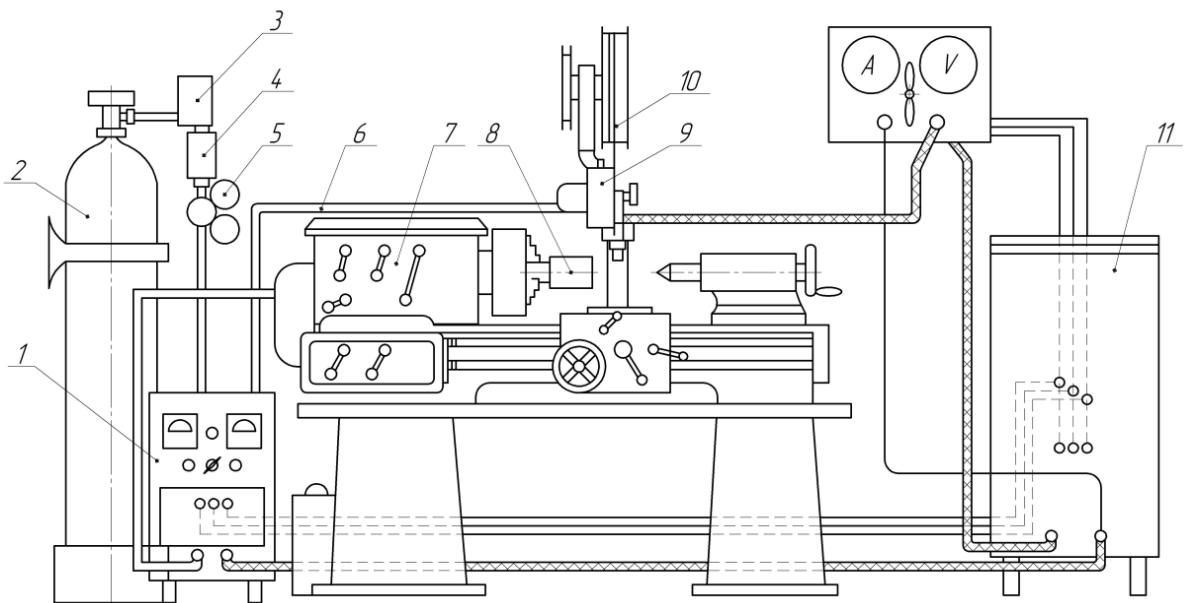


Рис. 4.2. Схема установки для автоматичного наплавлення деталей в захисному середовищі вуглекислого газу:

- 1 – апаратна шафа; 2 – балон з вуглекислотою; 3 – електричний підігрівач; 4 – осушувач; 5 – редуктор; 6 – шланг підведення газу; 7 – токарний верстат; 8 – деталь; 9 – механізм подачі електродного дроту; 10 – касета з дротом; 11 – селеновий випрямляч.

Карта небезпечних зон та вимоги безпечної роботи на установці ГМВК – 1 наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Карта небезпечних зон та вимоги безпечної роботи на уста-

№	Небезпечна зона	Небезпечний фактор	Вимоги безпечної роботи
1	Зона наплавлення	Ураження електричним струмом, ураження очей та шкіри зварювальною дугою та краплями металу, ураження шкідливими випаровуваннями	<ol style="list-style-type: none"> 1. Забороняється обслуговувати верстат якщо він увімкнений в мережу; 2. Не допускати роботу без захисної маски чи спеціального щитка з захисним склом. 3. Верстат повинен бути заземлений. 4. Забороняється робити будь які маніпуляції з дугою під час наплавлення. 5. Робоче місце повинно бути оснащено місцевою вентиляцією.
2	Деталь, що оброблюється	Травмування кінцівок, та органів зору	<ol style="list-style-type: none"> 1. Вал повинен бути надійно закріплений у патроні. 2. Обов'язково вал повинен кріпитись центром задньої бабки. 3. При наплавленні деталей довжина яких перевищує 1 м використовувати люнет.
3	Наплавлювальна головка	Травмування кінцівок, органів зору та ураження електричним струмом	<ol style="list-style-type: none"> 1. Заправляти касету дротом з використанням спеціальних пристосувань та рукавиць. 2. Головку надійно кріпити до установочних плит токарно-гвинторізного верстату. 3. Зміну швидкості подачі дроту проводити при вимкненому верстаті. 4. Не допускати зменшення зазору між мундштуком і валом менше 7 мм.

4	Зварювальний трансформатор	Ураження електричним струмом	<ol style="list-style-type: none"> 1. Забороняється вмикати трансформатор при непрацюючій системі охолодження. 2. Контактні кабелі повинні надійно кріпитись до відповідних виходів "+, -". 3. Обслуговування трансформатора проводити при відключенні від мережі.
5	Балон з CO ₂	Ураження кінцівок	<ol style="list-style-type: none"> 1. При отриманні балону зі складу перевірити його цілісність. 2. Слідкувати за проходженням перевірок балонів на герметичність. 3. При відігріванні замерзлого редуктора балона не допускається перевищення температури води вище + 25 0С. 4. Відстань від балонів до найближчого джерела випромінювання тепла повинно бути не менше 5 м.
6	Шланги та кабелі	Ураження кінцівок та електричним струмом	<ol style="list-style-type: none"> 1. Шланги для подачі вуглекислоти повинні бути цілими і надійно закріплені на балоні та на входному парубку в мундштук. 2. Електрокабелі повинні бути надійно закріплені, не мати оголених частин. 3. Кабелі та шланги повинні бути прокладені у безпечному місці, потрапляння крапель металу на них не допускається.

При дотриманні вимог безпечної роботи на установці можна уникнути травмувань та зробити процес наплавлення обробки швидким, безпечним, високотехнологічним з мінімальним використанням ручної праці.

4.4. Дії у разі настання надзвичайної ситуації

Якщо на підприємстві виникає надзвичайна ситуація, а враховуючи сферу діяльності компанії це може бути:

- ураження електричним струмом;
- травмування важкими предметами (падіння машини з підйомника, падіння агрегату чи інших деталей);
- пожежа;
- отруєння випаруваннями при проведенні зварювальних робіт;
- отруєння чадним димом при проведенні технічних обслуговувань;
- травмування при роботі на верстатах та інше.

При виявленні загоряння повідомите по телефону 101.

Реагувати на пожежу швидко, використовуючи всі доступні способи для гасіння вогню (пісок, воду, вогнегасники і т.д.). При евакуації палаючі приміщення й задимлені місця проходити швидко, затримавши подих, захистивши ніс і рот вологою щільною тканиною.

Якщо необхідно проходити приміщення які сильно задимлені треба їх проходити дуже швидко, необхідно закрити рот і ніс тканиною (по можливості вологою).

Треба відімкнути обладнання від електромережі. Намагатися без ризику для життя врятувати майно.

Якщо є потерпілі, то їм треба надати першу медичну допомогу та викликати швидку допомогу за номером 103.

4.5. Висновок

Аналізуючи стан охорони праці на підприємстві, можна говорити, що роботи на подальше покращення умов праці проводяться, але не дуже ефективно. Є ще резерви, щоб підвищити умови праці, оздоровити їх, усунути недоліки.

Впровадження заходів з охорони праці дозволять уникнути травмувань

робітників. Створення гідного мікроклімату в приміщенні майстерні підвищить продуктивність працівників та якість ремонту.

Також необхідно виконати такі рекомендації:

1. Завідуючому ремонтною майстернею, укомплектувати виробничі підрозділи засобами медичної допомоги (аптечками).
2. Начальнику ПСО, укомплектувати приміщення порошковими вогнегасниками.
3. Встановити освітлення в коридорах майстерні – головний енергетик.

РОЗДІЛ 5
РОЗРАХУНКИ ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ
ТЕХНОЛОЛГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ КОЛІНЧАТОГО
ВАЛУ

Розрахунок економічної ефективності виконуємо для річної програми відновлення валів $W = 100$ шт.

Вартість технічного оснащення технологічного процесу становить [32]:

$$\Phi_{oc} = C_{об} + C_{осн} + C_{птз} \quad (5.1)$$

де $C_{об}$ – питома вартість обладнання (40000 ... 45000 грн. на одного робітника), грн.;

$C_{осн}$ – вартість технологічного оснащення, грн..

$C_{птз}$ – вартість підйомно-транспортних засобів, грн.

$$C_{осн} = 0,2 \cdot C_{об} = 0,2 \cdot 40000 = 8000 \text{ грн.}$$

$$C_{птз} = 0,25 \cdot C_{об} = 0,25 \cdot 40000 = 10000 \text{ грн.}$$

$$\Phi_{oc} = 40000 + 8000 + 10000 = 58000 \text{ грн.}$$

Розрахунок собівартості виконання ремонтних робіт виконуємо за формулою:

$$C_{п} = C_{зпн} + A_{об} + C_{р.об.} + C_{м} + C_{е} . \quad (5.2)$$

Заробітна платня основних виробничих працівників становить:

$$C_{з.п.н.} = C_0 + C_{дод} + C_{нрх}, \quad (5.3)$$

$$C_0 = T \cdot C_{\text{год}} \cdot W = 0,88 \cdot 85 \cdot 100 = 7480 \text{ грн.} \quad (5.4)$$

де T – трудомісткість виконання робіт, люд.-год,

$C_{\text{год}}$ – середня погодинна ставка робітника, грн.;

W – річна програма робіт, шт.

$$C_{\text{дод}} = C_0 \cdot K_{\text{дод}} = 0,08 \cdot 7480 = 598 \text{ грн.} \quad (5.5)$$

$$C_{\text{нрх}} = 37\% (C_0 + C_{\text{дод}}) = 0,37(7480 + 598) = 2989 \text{ грн.} \quad (5.6)$$

$$C_{\text{зпн}} = 7480 + 598 + 2989 = 11067 \text{ грн.}$$

Відрахування на амортизацію обладнання становлять:

$$A_{\text{об}} = K \cdot C_{\text{об}} = 0,1 \cdot 40000 = 4000 \text{ грн.} \quad (5.7)$$

Відрахування на ремонт обладнання становлять:

$$C_{\text{р.об.}} = K \cdot C_{\text{об}} = 0,035 \cdot 40000 = 1400 \text{ грн.} \quad (5.8)$$

Відрахування на ремонтні матеріали становить:

$$C_{\text{м}} = 0,15 \cdot C_0 = 0,15 \cdot 7480 = 1122 \text{ грн.} \quad (5.9)$$

Витрати на електроенергію становлять:

$$C_e = W_{e.p.} \cdot C_e = 704 \cdot 3,26 = 2295 \text{ грн.} \quad (5.10)$$

де $W_{e.p.}$ - витрата електроенергії на технологічний процес, кВт.

C_e - вартість кВт/год. електроенергії, грн.

$$C_n = 11067 + 4000 + 1400 + 1122 + 2295 = 19884 \text{ грн.}$$

Витрати на одну деталь становлять:

$$B_o = \frac{C_n}{W} = \frac{19884}{100} = 198,8 \text{ грн} \quad (5.11)$$

Приведені витрати становлять:

$$B_{np}^1 = B_o + (K_n + K_o) = 198,8 + (0,15 \cdot 580) = 285,8 \text{ грн} \quad (5.12)$$

де K_n – нормативний коефіцієнт відрахунків, $K_n = 0,15$

K_o – капіталовкладення на одну деталь, грн.

$$K_o = \frac{\Phi_{oc}}{W} = \frac{58000}{100} = 580 \text{ грн} \quad (5.13)$$

З урахуванням ПДВ витрати на одну деталь становить:

$$B_{np} = B_n^1 + (20\% \cdot B_n^1) = 285,8 + (0,2 \cdot 285,8) = 343 \text{ грн.} \quad (5.14)$$

Прейскурантна ціна на одну деталь становить:

$$C_d = 2000 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект складе

$$E_p = (C_d - B_{np}) \cdot W = (2000 - 343) \cdot 100 = 165700 \text{ грн} \quad (5.16)$$

Термін окупності витрат складає:

$$O_p = \frac{\Phi_{oc}}{E_p} = \frac{58000}{165700} = 0,4 \text{ року} \quad (5.17)$$

Оцінку доцільності використання розробленої технології відновлення деталі виконуємо за технічно-економічним критерієм і співставленням значень O_p та коефіцієнта ефективності K_e з нормативними ($K_{e.н.} > 0,15$, $O_{p.н.} < 6,6$ років).

$$K_e = \frac{(C_d - B_{np}) \cdot W}{\Phi_{oc}} = \frac{(2000 - 343) \cdot 100}{58000} = 2,8 \quad (5.18)$$

На підставі аналізу проведених розрахунків можна зробити висновок про доцільність використання розробленого технологічного процесу відновлення колінчатого валу.

Таблиця 5.2 - Техніко-економічні показники відновлення вала зчеплення

Показники	Значення показників
Об'єм впровадження, шт.	100
Об'єм капіталовкладень, грн.	58000
Загальна трудомісткість, люд.-год.	88
Виробничі витрати, грн..	19884
Витрати 1 деталь з врахуванням ПДВ, грн.	343
Прейскурантна ціна на 1 деталь, грн.. (наплавлення)	2000
Коефіцієнта ефективності	2,8
Річний економічний ефект, грн.	165700
Термін окупності капіталовкладень, рок.	0,4

5.1. Висовок

Наведені в таблиці 5.2. розрахунки вказують на доцільність впровадження заходів, направлених на удосконалення технології відновлення колінчатих валів в ремонтній майстерні, а саме впровадження відновлення валів наплавленням, оскільки її реалізація дозволяє отримати річний економічний ефект 165700 грн., а термін окупності додаткових матеріальних затрат складає 0,4 роки.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Ремонт і відновлення колінчатих валів комплексно є найбільш складними операціями в технологічних варіантах ремонту деталей.

Проведений аналіз усіх відомих способів і технологій відновлення колінчатих валів дизелів показав, що доцільно здійснювати нанесення металопокриття методом наплавлення під шаром флюсу різними дротами на шийки та галтель колінчатого вала.

На підставі методу кінцевих елементів розроблена фізична й математична моделі кривошипа з метою визначення внутрішніх напружень.

Розроблена плоска двовимірна модель шатунної шийки колінчатого вала Deutz TCD 2012, плоска модель небезпечного перерізу й схема її навантаження.

Отримані розрахункові результати, що підтверджують статистику руйнування реальної деталі в експлуатації.

За розподілом температур при нанесенні наплавочних металопокриттів встановлено, що при наплавленні без попереднього підігріву, навіть на раціонально обраних режимах важко, а на деяких переходах просто неможливо одержати класично необхідну температуру підігріву (100...200оС) деталі, що наплавляється за рахунок власної потужності дуги.

Аналізом внутрішніх напружень методом фотопружності, встановлена подібність реальних руйнувань із висновками фізичної та математичної моделей.

Аналіз мікротвердості зразків різних наплавочних матеріалів, показав, що є високі піки мікротвердості, що виникають від контрасту температур самої шийки й наплавлюваного металу, а в зоні галтелі піки знижуються, так як на момент наплавлення галтель вже підігріта, що говорить про необхідність попереднього підігріву деталі. При відсутності наступної термообробки в зоні сплавки спостерігається «пик» твердості, порядку 6800 МПа, що свідчить про наявність дуже тендітних структур, що є неприйнятним для подальшої експлуатації деталі, але відпуск при 500 °С протягом 1 години після наплавлення повністю

ліквідує підвищену твердість, а от додавання операцій загартування з наступним відпуском не призвели до істотного вирівнювання мікротвердості по глибині деталі в зоні наплавочного металопокриття.

Особливості макро- і мікроструктури різних металопокриттів, рентгенографічний аналіз і аналіз внутрішніх напружень другого роду, періоди кристалічних ґрат, а також основні характеристики різання при обробці наплавлених шарів. Фазовий рентгенівський аналіз зразків з наплавленими металопокриттями показали, що основа й наплавочні метали марки Св -08Г2С, Нп-30ХГСА й Св-15ГСТЮЦА є $\lambda - Fe$ і мають структуру типу об'ємноцентрованого куба. Наплавочний матеріал Св-08Х20Н9Г7Т являє собою $\gamma - Fe$ і має структуру типу гранецентрованого куба.

Аналізуючи стан охорони праці на підприємстві, можна говорити, що роботи на подальше покращення умов праці проводяться, але не дуже ефективно. Є ще резерви, щоб підвищити умови праці, оздоровити їх, усунути недоліки.

Впровадження заходів з охорони праці дозволять уникнути травмувань робітників. Створення гідного мікроклімату в приміщенні майстерні підвищить продуктивність працівників та якість ремонту.

Впровадження заходів, направлених на удосконалення технології відновлення колінчатих валів в ремонтній майстерні, а саме впровадження відновлення валів наплавленням, оскільки її реалізація дозволяє отримати річний економічний ефект 165700 грн., а термін окупності додаткових матеріальних затрат складає 0,4 роки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Головчук А.Ф. Експлуатація і ремонт сільськогосподарської техніки: підручник: У 3 кн./ Головчук А.Ф., Орлов В.Ф., Строконов О.П.; – К.: Грамота, 2003 Кн.1: Трактори. – 336 с.
2. Ремонт машин та обладнання: підручник для вищих навчальних закладів / [Дирда В.І., Мельянцов П.Т., Калганков, Є.В. та ін.]. – Дніпропетровськ: Журфонд, 2015. – 292 с.
3. Калганков Є.В. Деякі проблеми гідроабразивно-втомного зносу деталей об'ємного гідроприводу мобільних машин / Є.В. Калганков // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. — Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ. – 2013. – №108. – С. 133-142.
4. Калганков Є.В. Технічне діагностування об'ємних гідроприводів трансмісії як об'єктивна необхідність / Є.В. Калганков // Матеріали III Всеукраїнської науково-практичної заочної конференції «Сучасна наука: теорія і практика» (м. Запоріжжя, 28–30 листопада 2012 р.) / Всеукраїнське громадське об'єднання «Нова освіта». – Запоріжжя.: 2012. – Том II. – С. 88–90.
5. Мельянцов П. Т. Організація використання техніки за умов дефіциту матеріально - технічних ресурсів / П. Т. Мельянцов, Є. В. Калганков. // Zbiór raportów naukowych. „Inżynieria i technologia. Teoria. Praktyk Sp. z o.o. «Diamond trading tou. – 2010. – С. 84–87.
6. Горященко Д.В. Визначення показників надійності колінчатих валів двигунів / Горященко Д.В. // матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції. Перспективи розвитку сучасної науки (частина I): Київ : МЦНД, 2021. – С. 47-49.
7. Армашов Ю.В. Надійність сільськогосподарської техніки: навчальний посібник / Ю.В. Армашов, П.К. Охмат. – Дніпропетровськ.: РВВ ДДАУ, 2008. – 208 с.
8. Patent 3694620 (US) / Dual Welding Wire Feed For ARC Welder / W.-Gleason, 1972. 5 p.

9. Patent 1489699 (US) / Method Of Balancing Machine Parts / С.Е. David, 1924. 3 р.

10. Основи надійності і довговічності транспортних машин: навчально-методичний посібник з практичних робіт. Для студентів технологічного факультету / Укл. Л.М. Бивалькевич, Люлька В.С. Чернігів : НУЧК імені Т.Г. Шевченка, 2019. 120 с.

11. Божидаркін В.В. Основи технології виробництва і ремонту автомобілів: навчальний посібник / В.В. Божидаркін, А.П. Гусєв. – Луцьк: Надстиря, 2007.-320 с.

12. Масино М.А. Организация восстановления автомобильных деталей / Масино М.А. – М.: Транспорт, 1981. – 176 с.

13. AZ spa Machine Tools [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.azspa.it> (дата звернення: 20.11.2021)

14. Витязь П.А. Теория и практика газопламенного напыления / Витязь П.А., Ивашко В.С., Мануйло Е.Д. // – Минск: Наука і техніка, 1993. – 295 с.

15. Государственное научное учреждение Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [http:// phti.belhost.by/](http://phti.belhost.by/).

16. ГОСТ 13084-88 Порошки высоколегированных сталей и сплавов. Технические условия. – Введ. 01.01.1990 Взамен ГОСТ 13084-67. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1988. – 17 С.

17. Новая технология "Плазер" реновации деталей для железных дорог / Коржик В. Н., Кривцун И. В., Петров С. В., Харламов М. Ю. // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2009, № 1. – С. 20-22.

18. Нижняк Д.В. Визначення показників надійності колінчатих валів автотракторних двигунів / Нижняк Д.В., Калганков Є.В., Дирда В.І. // Inżynieria i technologia. 2014. osiągnięć, projektu hipotezę. (29.12.2014 -30.12.2014) – Warszawa: – 2014. – С. 8-13.

19. Власовец В.М., Новиков А.В., Харьяков А.В. Оценка запаса прочности коленчатых валов при их восстановлении методом плазменной наплавки.

Повышение надежности восстанавливаемых деталей машин. Сб. научн. тр. ХГТУСХ, Харьков, 1999. - с. 31 - 35.

20. Азаматов Р.А., Дажин В.Г., Кулаков А.Т., Модин А.И. Восстановление деталей автомобиля КамАЗ. Набережные Челны: КамАЗ, 1994. 215 с.

21. Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Харьяков А.В., Науменко А.А. Восстановление эксплуатационных свойств деталей машин нанесением износостойких покрытий плазменно-порошковым методом. Вісник Полтавської державної аграрної академії. - Полтава. № 4, 2006. - С. 90 - 92.

22. Калганков Є. В. Особливості фрактального аналізу поверхні руйнування гумових футерівок, що працюють в умовах абразивно-втомного зносу / Є. В. Калганков. // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. — Дніпропетровск: ІГТМ НАНУ. – 2017. – №133. – С. 66–74.

23. Bosch service [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.boschcarservice.com/ua/uk>.

24. Ремонт деталей двигателей. Передовые технологии [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://impuls4.com.ua/>.

25. Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Харьяков А.В., Власовец В.М. Обеспечение необходимых показателей качества и надежности коленчатых валов, восстановленных плазменным методом. Высокоэффективные технологии в машиностроении. Материалы конференции, 28 - 30 октября, Киев. - 1998 - С.81.

26. Петридис, А. В. Исследование относительной износостойкости покрытий шеек коленчатых валов, полученных с использованием твердосплавных порошков / А. В. Петридис, А. А. Толкушев, Е. В. Агеев // Известия Курск. гос. техн. ун-та. 2007. – №1 (18). – С.12–14.

27. Хлудеев Б.С. Шляхи оптимізації роботи дилерсько-сервісних центрів техніки John Deere / Б.С. Хлудеев, Є.В. Калганков // Інтеграція світових наукових процесів як основа суспільного прогресу: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції ГО "Інститут інноваційної освіти" Науково-навчальний центр прикладної інформатики НАН України. – 2019. – С. 180–185.

27. Сільськогосподарська техніка від компанії “Альбїон” [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.albion.biz.ua/>.

28. Закон України “Про охорону праці” / Законодавство України про охорону праці. - К. Нова редакція 2002 р.

29. Закон України "Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування" [Електронний ресурс] // Відомості Верховної Ради України (ВВР). - 1999, - № 46-47, - с. 403. - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1105-14#Text>

30. ДБН В.2.5-28-2018 "Природне і штучне освітлення".

31. ДНАОП 0.00-1.21-98 „Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів”.

32. Вініченко І.І. Методичні рекомендації з економічного обґрунтування дипломних робіт для студентів факультету механізації сільського господарства / І.І Вініченко, А.О. Сітковська. Дніпропетровськ: ДДАЕУ, 2016. – 27 с.

33. Калганков Є.В. Методичні рекомендації до виконання і оформлення дипломних проектів ОС "Бакалавр" за спеціальністю 208 "Агроінженерія" і дипломних робіт ОС "Магістр" за спеціальністю 208 "Агроінженерія" / Калганков Є.В. – Д.: ДДАЕУ, 2021. – 36 с.

34. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення ДСТУ3008 – 95. - [Чинний від 1996-01-01]. — К. : Держстандарт України 1995. – 37 с. – (Національний стандарт України).

35. Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання (ГОСТ 7.1–2003, ІДТ) ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 48 с. - (Національний стандарт України)."

ДОДАТКИ

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра надійності і ремонту машин

**ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО
ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ КОЛІНЧАТИХ ВАЛІВ
АВТОТРАКТОРНИХ ДВИГУНІВ**

Доповідач: Горященко Д.В.

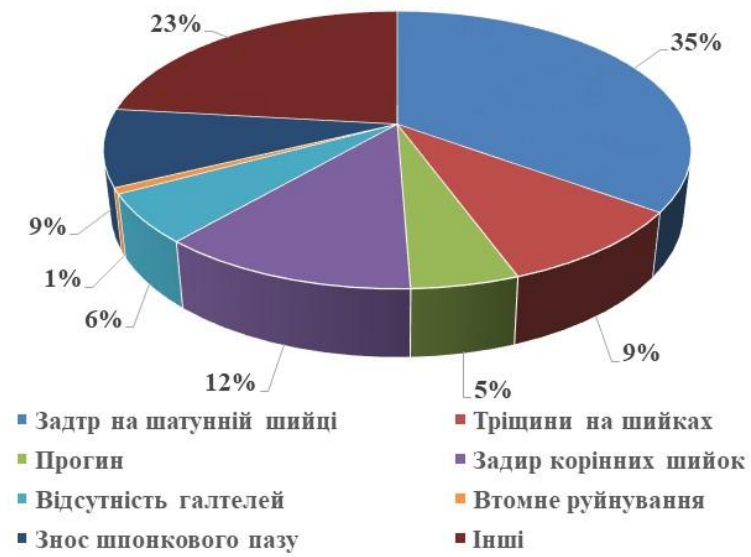
Керівник д.т.н. доц. Васильєв Д.Л.

МЕТА РОБОТИ

Обґрунтування раціонального методу відновлення колінчатого валу та підвищення довговічності великогабаритних колінчатих валів на основі аналізу напружено-деформованого стану й удосконалення технологічного забезпечення їх відновлення.

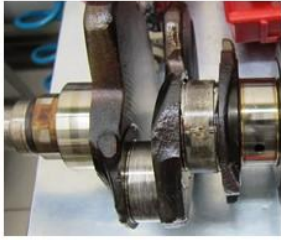
ЗАДАЧІ РОБОТИ

1. Провести аналітичне дослідження відмов колінчатих валів їх дефектів та способів відновлення.
2. Розробити фізичну й математичну моделі колінчатого вала для визначення внутрішніх напружень на основі методу кінцевих елементів і методу фотопружності для прогнозування місць початку руйнування шийок вала;
3. Обґрунтувати режим термічної операції при нанесенні наплавочного металопокриття для великогабаритних колінчатих валів з урахуванням особливостей розподілу температур з метою мінімізації концентраторів напружень;
4. Проаналізувати зміни мікротвердості по глибині металу колінчатого вала при нанесенні різних наплавочних покриттів, що є підставою для формування технологічного процесу відновлення й обробки вала;
5. Виявити особливості макро- і мікроструктури металопокриттів, на основі рентгенографічних методів проаналізувати залишкові внутрішні напруження другого роду;
6. Розробити комплекс технологічних операцій, необхідних для досягнення високої якості відновлених великогабаритних колінчатих валів і дати техніко-економічну оцінку підвищення їх довговічності.



4

Аналіз дефектів колінчатого валу



Руйнування частини шпоки валу



Перезняття бабітового шару вкладишів на шийку валу



Задир упорного підшипника

Задир упорної поверхні вала

Задири упорних поверхонь



Знос шагунної шийки V подібного двигуна



Задир шийки вала



Руйнування колінчатого валу

5

Технологічний процес ремонту колінчатого валу від фірми Azspa

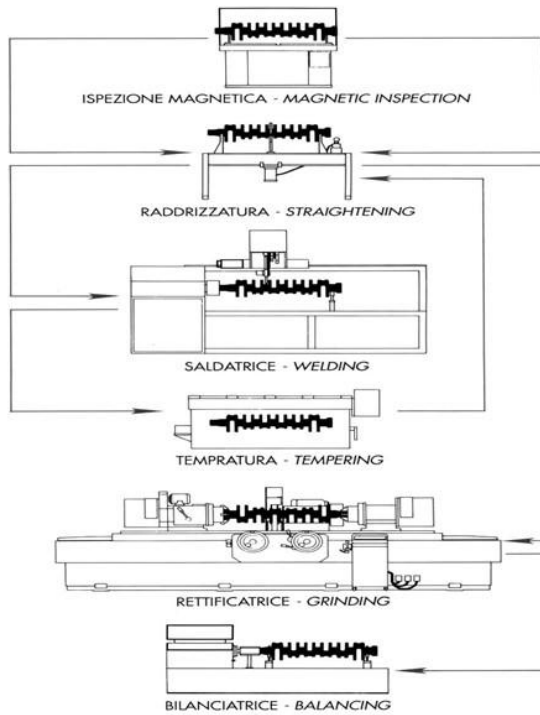
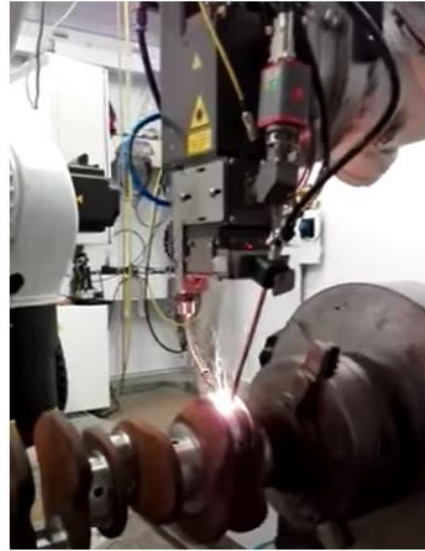
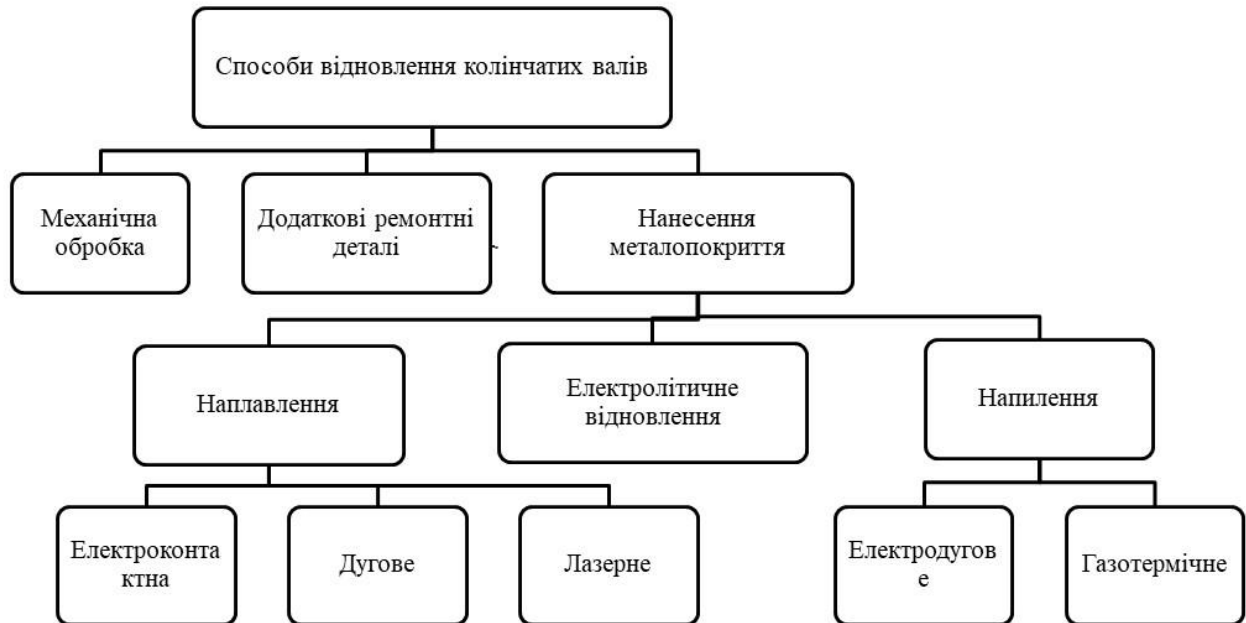


Схема технологічного процесу відновлення колінчатого валу від компанії «Azspa» з використанням лазерного наплавлення





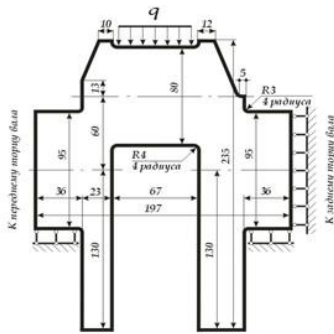


Схема навантаження моделі четвертого кривошипа колінчатого вала двигуна Deutz TCD 2012

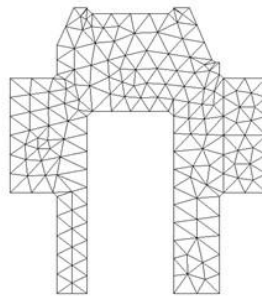
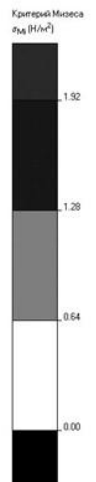
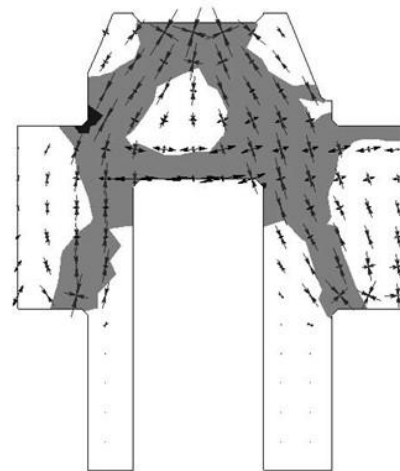


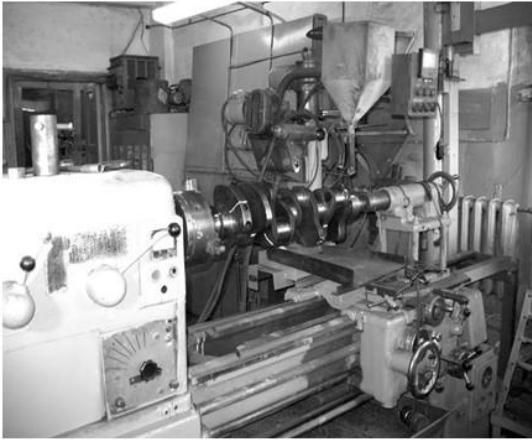
Схема кінцевих елементів



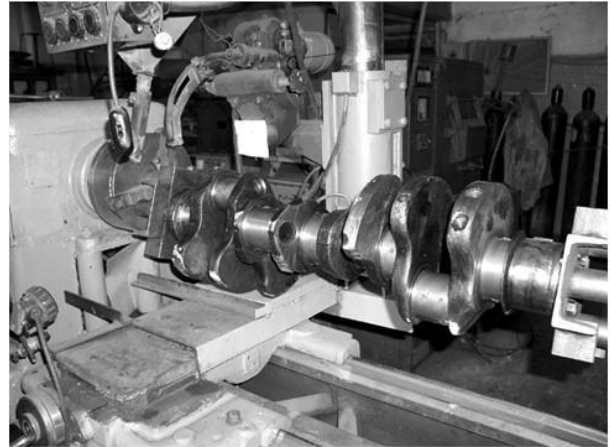
Результати розрахунків, темним позначено найбільш напружені зони



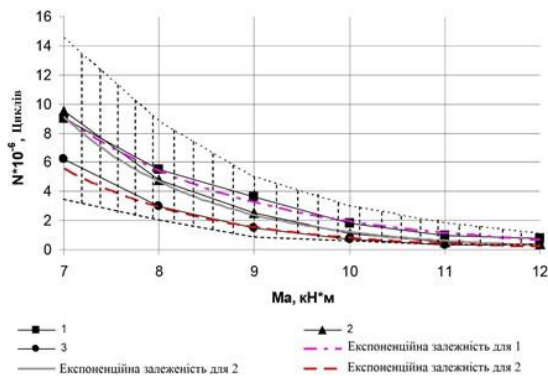
Місця руйнування реальних деталей



Переустаткований токарно-гвинторізний верстат моделі 1К62 з наплавочною головкою А-580М і джерелом живлення дуги ВДУ-506

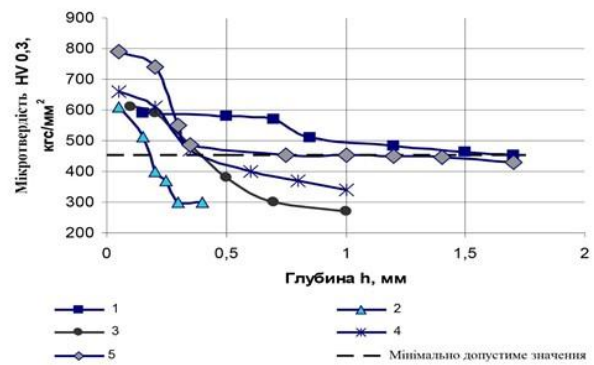


Переустаткований токарно-гвинторізний верстат моделі 1К62 з наплавочною головкою А-580М і джерелом живлення дуги ВДУ-506 (вид із центрозміщувач і наплавлюваним колінчатим валом)



Криві втоми колінчатого вала при крученні:
1- нові; 2- нормально зношені; 3 - аварійно зношені

З рисунку видно, що всі три криві входять в 90 % довірчу область. Отже, відмінність у параметрах незначне. У нормально зношених колінчатих валів граничний момент витривалості на крутіння в середньому на 3 % нижче, ніж у нових, а в аварійно зношених – на 10 %.

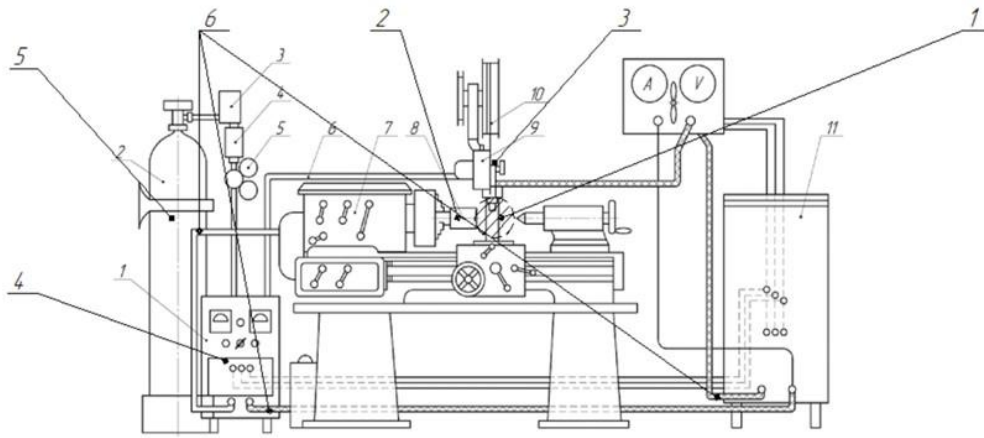


Залежність мікротвердості від глибини зміцненого шару:

1 – загартування СВЧ; 2 – іонне азотування, серцевина $\text{HB } 10/3000-248$; 3 – карбонітрування, серцевина $\text{HB } 5/750/10-255$; 4 – карбонітрування, серцевина $\text{HB } 5/750/10-341$; 5 – комбіноване зміцнення (СВЧ + відпуск при $t = 600 \pm 10^\circ\text{C}$ 4 години + іонне азотування), серцевина $\text{HB } 5/750/10-241$.

Порівняння процесів відновлення колінчатих валів

Технологія відновлення	Механічні характеристики		Триботехнічні характеристики				Технологічні характеристики	
	Твердість, HRC	Шорсткість, R_a мкм	Коефіцієнт тертя, f	Навантаження задиротворення, кН	Знос, мг	Припрацювання, год	Кількість технологічних операцій	Час на проведення операцій, год
Існуюча технологія	54-58	0,7-0,72	0,8-0,12	1,7	30-33	8,5	Однакова	0,2
Розроблена технологія	60-64	0,6-0,65	0,02-0,05	2,0	13-16	6,0		0,15



1 – апаратна шафа; 2 – балон з вуглекислою; 3 – електричний підігрівач; 4 – осушувач; 5 – редуктор; 6 – шланг підведення газу; 7 – токарний верстат; 8 – деталь; 9 – механізм подачі електродного дроту; 10 – касета з дротом; 11 – селеновий випрямляч.

Ремонт і відновлення колінчатих валів комплексно є найбільш складними операціями в технологічних варіантах ремонту деталей.

Проведений аналіз усіх відомих способів і технологій відновлення колінчатих валів дизелів показав, що доцільно здійснювати нанесення металопокриття методом наплавлення під шаром флюсу різними дротами на шийки та галтель колінчатого вала.

На підставі методу кінцевих елементів розроблена фізична й математична моделі кривошипа з метою визначення внутрішніх напружень.

Розроблена плоска двовимірна модель шатунної шийки колінчатого вала Deutz TCD 2012, плоска модель небезпечного перерізу й схема її навантаження.

Отримані розрахункові результати, що підтверджують статистику руйнування реальної деталі в експлуатації.

За розподілом температур при нанесенні наплавочних металопокриттів встановлено, що при напавленні без попереднього підігріву, навіть на раціонально обраних режимах важко, а на деяких переходах просто неможливо одержати класично необхідну температуру підігріву (100...200оС) деталі, що наплавляється за рахунок власної потужності дуги.

Аналізом внутрішніх напружень методом фотопружності, встановлена подібність реальних руйнувань із висновками фізичної та математичної моделей.

Аналіз мікротвердості зразків різних наплавочних матеріалів, показав, що є високі піки мікротвердості, що виникають від контрасту температур самої шийки й наплавлюваного металу, а в зоні галтелі піки знижуються, так як на момент напавлення галтель вже підігріта, що говорить про необхідність попереднього підігріву деталі. При відсутності наступної термообробки в зоні сплавки спостерігається «пик» твердості, порядку 6800 МПа, що свідчить про наявність дуже тендітних структур, що є неприйнятним для подальшої експлуатації деталі, але відпуск при 500 °С протягом 1 години після напавлення повністю ліквідує підвищену твердість, а от додавання операцій загартування з наступним відпуском не призвели до істотного вирівнювання мікротвердості по глибині деталі в зоні наплавочного металопокриття.

Особливості макро- і мікроструктури різних металопокриттів, рентгенографічний аналіз і аналіз внутрішніх напружень другого роду, періоди кристалічних ґрат, а також основні характеристики різання при обробці напавлених шарів. Фазовий рентгенівський аналіз зразків з напавленими металопокриттями показали, що основа й наплавочні метали марки Св -08Г2С, Нп-30ХГСА й Св-15ГСТЮЦА є $\lambda - Fe$ і мають структуру типу об'ємноцентрованого куба. Наплавочний матеріал Св-08Х20Н9Г7Т являє собою $\gamma - Fe$ і має структуру типу гранецентрованого куба.

Аналізуючи стан охорони праці на підприємстві, можна говорити, що роботи на подальше покращення умов праці проводяться, але не дуже ефективно. Є ще резерви, щоб підвищити умови праці, оздоровити їх, усунути недоліки.

Впровадження заходів з охорони праці дозволять уникнути травмвань робітників. Створення гідного мікроклімату в приміщенні майстерні підвищить продуктивність працівників та якість ремонту.

Впровадження заходів, направлених на удосконалення технології відновлення колінчатих валів в ремонтній майстерні, а саме впровадження відновлення валів напавленням, оскільки її реалізація дозволяє отримати річний економічний ефект 165700 грн., а термін окупності додаткових матеріальних затрат складає 0,4 роки.



*Міжнародний Центр Науки і Досліджень
International Center for Science and Research
Международный Центр Науки и Исследований*

Матеріали

VI Міжнародної науково-практичної конференції

«ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СУЧАСНОЇ НАУКИ»

Частина I

(м. Київ)

30-31 жовтня 2021 року

**Міжнародний центр науки і досліджень
(м. Київ)**

**МАТЕРІАЛИ VI МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

«ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СУЧАСНОЇ НАУКИ»

30-31 жовтня 2021 року

(частина I)

**Київ
МЦНід
2021**

УДК 005
ББК 66.3(0)

Перспективи розвитку сучасної науки (частина I): матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції м. Київ, 30-31 жовтня 2021 року. – Київ: МЦНІД, 2021. – 64 с.

У даному збірнику представлені тези доповідей учасників Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи розвитку сучасної науки». Висвітлюються актуальні проблеми розвитку науки на сучасному етапі розвитку. Розглядаються актуальні механізми та інструменти забезпечення перспектив наукових досліджень.

Збірник призначений для студентів, здобувачів наукових ступенів, науковців та практиків.

Всі матеріали представлені в авторській редакції. За повноту та цілісність яких автори безпосередньо несуть відповідальність.

МЦНІД 2021

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ НАУКИ	38
<i>Саснко С.Р.</i> НАЙРЕНТАБЕЛЬНІШІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ ПОЛЬОВІ КУЛЬТУРИ В УКРАЇНІ.....	38
<i>Шкурка В.А.</i> ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ НАСІННОГО РОЗМНОЖЕННЯ ДЕЯКИХ ВИДІВ РОДУ PINUS L.	40
<i>Ян Д.О.</i> ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ ПОЛІПШЕННЯМ УМОВ МАШЕННЯ	41
СОЦІОЛОГІЧНІ НАУКИ	44
<i>Грищенко Н.І.</i> ПРОБЛЕМИ СОЦІАЛІЗАЦІЇ МОЛОДІ В СОЦІОЛОГІЧНИХ КОНЦЕПЦІЯХ.....	44
ТЕХНІЧНІ НАУКИ	47
<i>Горяченко Д.В.</i> ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ КОЛІНЧАТИХ ВАЛІВ ДВИГУНІВ СІМЕЙСТВА ЯМЗ-238	47
<i>Сергієнко А.В., Бондаренко В.М.</i> ТЕХНОЛОГІЇ ГОЛОСОВОГО ТА ВІДЕО ЗВ'ЯЗКУ В ІР-МЕРЕЖАХ.....	49
ФІЛОЛОГІЧНІ НАУКИ	51
<i>Безушко О.А.</i> ФУНКЦІЇ ВОКАТИВА В СУЧАСНІЙ УКРАЇНСЬКІЙ МОВІ	51
<i>Гарцунова Л.І.</i> ФРАЗЕОЛОГІЧНІ ЗАСОБИ РЕПРЕЗЕНТАЦІЇ ЕГОЦЕНТРИЧНОЇ КАТЕГОРІЇ «НЕДОВІРА» В СУЧАСНОМУ АНГЛІЙСЬКОМУ ДИСКУРСІ	54
ЮРИДИЧНІ НАУКИ	56
<i>Паламар С.Б.</i> ДОГОВІР СТРАХУВАННЯ ЖИТТЯ ЯК ВИД ОСОБИСТОГО СТРАХУВАННЯ В УКРАЇНІ.....	56
<i>Романюк Ю.І.</i> ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ УЧАСНИКІВ ПРОЦЕСУ ПРИ ПРЕД'ЯВЛЕННІ ВПІЗНАННЯ	58
<i>Стрекотенко Л.В.</i> НЕЗАКОННА ЕКСПРОПРІАЦІЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ДЕРЖАВНОГО МАЙНА УКРАЇНИ В КОНТЕКСТІ АГРЕСІЇ РОСІЙСЬКОЇ ФЕДЕРАЦІЇ.....	61

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

Горященко Д.В.,

магістр кафедри надійності і ремонту машин
Дніпровського державного аграрно-економічного університету

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ КОЛІНЧАТИХ ВАЛІВ ДВИГУНІВ СІМЕЙСТВА ЯМЗ-238

Числові значення показників надійності визначають за результатами спостережень за випробуваннями однотипних виробів (колінчаті вали двигуна ЯМЗ-238) у заданих умовах, фіксуючи наробіток конкретних виробів до першої відмови в годинах роботи під навантаженням. Результати спостережень представляємо у вигляді інтервального статистичного ряду розподілу наробітку до першої відмови.

Інтервальний статистичний ряд емпіричного розподілу наробітку T_i для заданих умов представлений в табл. 1. У цій же таблиці представлені значення частостей m_i/N і сума частостей $\Sigma m_i/N$ по окремим i -м інтервалам.

Таблиця 1

Інтервальний статистичний ряд емпіричного розподілу
колінчатих валів до першої відмови

Границі часткових інтервалів	0,5-1,6	1,6-2,7	2,7-3,8	3,8-4,9	4,9-6,0	6,0-7,1
Середини інтервалів, T_i , год.	1,05	2,15	3,25	4,35	5,45	6,55
Частоти m_i	2	3	13	17	3	2
Частоти m_i/N	0,05	0,075	0,325	0,425	0,075	0,05
Накопичені частоти $\Sigma m_i/N$	0,05	0,125	0,45	0,875	0,95	1

Числові значення статистичних характеристик розподілу випадкової величини, таких, як середнє арифметичне значення T_1 , вибіркове середнє квадратичне відхилення δ розраховуємо по наступних формулах [1]:

$$T_1 = \Sigma T_{ci} \cdot \frac{m_i}{N} = 210 \text{ г.} \quad (1)$$

$$\delta = \sqrt{\Sigma (T_{ci} - T)^2 \cdot \frac{m_i}{N}} = 73,42 \text{ г.} \quad (2)$$

Розрахунок цих параметрів робимо за допомогою ПЕОМ. Результати розрахунків статистичних характеристик представлені в табл. 2.

Ступінь розсіювання випадкової величини визначаємо безрозмірною числовою характеристикою – коефіцієнтом варіації:

$$v = \frac{\delta}{(T - t_{ex})} = \frac{73,42}{210 - 0} = 0,349, \quad (3)$$

де t_{ex} – величина зсуву зони розсіювання T_1 щодо нульового значення.

У нашому випадку ми застосовуємо закон розподілу Вейбулла.

Статичні оцінки ймовірності безвідмовної роботи $P(t)$ і інтенсивності відмов $\lambda(t)$, колінчатих валів для i -го інтервалів підраховуємо по наступних рівняннях:

$$P(t)_i = \frac{N - \sum m_i}{N}, \quad (4)$$

$$\lambda(t)_i = \frac{m_i}{\Delta t \cdot N(t)_i}, \quad (5)$$

де N - число виробів на початку випробувань, N = 40;

$\sum m_i$ – число виробів, що доробили, до кінця i-го інтервалу;

Δt - значення наробітку в частковому інтервалі;

$N(t)_i$ – число працездатних виробів до початку i-го часткового інтервалу.

Вихідні дані для розрахунків і результати розрахунків наведені в табл. 2.

Графік зміни довірчої ймовірності безвідмовної роботи P(t) будемо з використанням відповідних значень для статичних інтервалів з табл. 2.

Між показниками ймовірності безвідмовної роботи інтегральною функцією розподілу існує зв'язок, обумовлений рівнянням

$$P(t)_i = 1 - \frac{\sum m_i}{N}, \quad (6)$$

Теоретична функція у випадку розподілу Вейбулла має вигляд:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{T_i}{a}\right)^b}, \quad (7)$$

По [6] визначаємо значення коефіцієнтів $B=3,14$, $C_a=0,314$, $K_a=0,89$.

Таблиця 2

Визначення статистичних оцінок P(t)_i і λ(t)_i

Показники	Значення показників по часткових інтервалах					
	0,5-1,6	1,6-2,7	2,7-3,8	3,8-4,9	4,9-6,0	6,0-7,1
Число відмов за інтервал, m _i	2	3	13	17	3	2
Число виробів, що відмовили до кінця інтервалу, m _i	2	5	18	35	38	40
Число не робоздатних виробів до кінця інтервалу, N(t) _i	40	38	35	22	5	2
Статистична оцінка, P(t) _i	0,95	0,875	0,55	0,125	0,05	0
Статистична оцінка, λ(t) _i	0,04545	0,07177	0,33766	0,70248	0,54545	0,90909

Коефіцієнт a визначається з виразу

$$A = \delta / C_a = 1,18 / 0,314 = 3,75 \quad (8)$$

Значення теоретичної функції розподілу по часткових інтервалах представлені в табл. 3.

Таблиця 3

Значення F(t) при нормальному розподілі

Часткові інтервали	0,5-1,6	1,6-2,7	2,7-3,8	3,8-4,9	4,9-6,0	6,0-7,1
Значення F(t)	0,021	0,171	0,489	0,809	0,964	0,997

Перевірку обраним законом і емпіричним розподілом наробітку до першої відмови можна провести з використанням одного із критеріїв згоди, що підтверджує або спростовує статичну гіпотезу про вид обраного теоретичного закону розподілу із прийнятим рівнем значимості β. Звичайно в розрахунках β приймають рівним 0.1, тобто допускають тим самим в 10 випадках з 100 можливість помилки першого роду, пов'язаної з ризиком відкинути правильну

статистичну гіпотезу. Проводимо перевірку відповідності теоретичного й емпіричного розподілу за критерієм Колмогорова А.Н. Для цього визначаємо максимальне абсолютне значення різниці D_{\max} між емпіричною й теоретичною функціями розподілу, тобто

$$D_{\max} = \max |F_n(t) - F(t)| = |0,875 - 0,809| = 0,066 \quad (9)$$

У нашому випадку $D_{\max} = 0,066$. Тоді розрахункове значення критерію

$$\lambda = D_{\max} \cdot \sqrt{N} = 0,066 \cdot \sqrt{40} = 0,46 \quad (10)$$

При цьому критерій Колмогорова становить $P(t) = 0,99 > 0,1$ що говорить про правильність вибору закону розподілу.

Таблиця 4

Перевірка відповідності емпіричного й теоретичного розподілу наробітку виробів до першої відмови

Границі часткових інтервалів, г	0,5-1,6	1,6-2,7	2,7-3,8	3,8-4,9	4,9-6,0	6,0-7,1
Значення функції F(t)	0,021	0,171	0,489	0,809	0,964	0,997
Значення експериментальної функції, F _n (t)	0,05	0,125	0,45	0,875	0,95	1
Різниця, D	0,029	0,046	0,039	0,066	0,014	0,003

При визначенні довірчих границь розсіювання середнього значення показника надійності для розподілу Вейбулла - Гнеденко скористаємося рівняннями:

$$T_{\alpha 1} = T_1 \sqrt[r_3]{\alpha} = 3,855 \cdot \sqrt[3]{0,83} = 3,632 \text{ тис.г.} \quad (11)$$

$$T_{\alpha 2} = T_1 \sqrt[r_1]{\alpha} = 3,855 \cdot \sqrt[3]{1,24} = 4,128 \text{ тис.г.} \quad (12)$$

де r_1 і r_3 – коефіцієнти Вейбулла, обумовлені по [2] залежно від α і N.

Висновок. Таким чином, з імовірністю 0,9 можна стверджувати, що значення середнього наробітку колінчатого валу до ремонту буде лежати в інтервалі 3,632...4,128 тис. г.

Література:

1. Армашов Ю.В. Надійність сільськогосподарської техніки [Навчальний посібник] / Ю.В. Армашов, П.К. Охмат Дніпропетровськ РВВ ДДАУ, 2008. – 208 с.
2. Гранкін С.Г. Надійність сільськогосподарської техніки / С.Г. Гранкін, В.С. Малехов, М.І. Черновой та інші. – К.: Урожай, 1998. – 208 с.

Сергієнко А.В.,

студент,

Бондаренко В.М.,

к.т.н., доцент,

*Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського"*

ТЕХНОЛОГІЇ ГОЛОСОВОГО ТА ВІДЕО ЗВ'ЯЗКУ В ІР-МЕРЕЖАХ

Актуальність. На сьогодні ІР-телефонія є досить перспективною складовою телекомунікацій, оскільки надає вигідну альтернативу класичній телефонії.

ІР-телефонія є частиною технології VoIP – Voice over Internet Protocol [1], яка поєднує в собі останні досягнення в областях цифрової обробки сигналів (DSP), аудіокодування,

Наукове видання
Українською, англійською та російською мовами

Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції

«ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СУЧАСНОЇ НАУКИ»

(частина I)

(м. Київ, 30-31 жовтня 2021 року)

Підписано до видання 2.11.2021 р.