

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
« магістр »
бакалавр, магістр

на тему: «Удосконалення технології ремонту колінчастих валів
з високоміцного чавуну»»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
назва ОПП
спеціальності 133 Галузеве
машинобудування
код та найменування спеціальності
ступеня вищої освіти «магістр» групи 1
Фінтісов В.А.
Прізвище та ініціали здобувача вищої освіти
Керівник: Сайчук О.В.
Прізвище та ініціали керівника

Рецензент: Науменко А.О.
Прізвище та ініціали рецензента

ВСТУП

В останні роки майже п'ятикратний диспаритет цін на промислову й сільськогосподарську продукцію привів до різкого зниження купівельної здатності сільськогосподарських підприємств. Із цієї причини надходження тракторів у порівнянні з 2000 р. знизилося в 24 рази, зернозбиральних комбайнів в 53 рази, вантажних автомобілів в 100 раз.

У сучасних умовах на засоби, які потрібні для придбання однієї нової машини, можна відремонтувати 3-5 несправних; протягом найближчих 3 років вони можуть виконувати обсяг робіт в 2-4 рази більший, ніж одна нова машина.

Таким чином, у цей час особливо важливим завданням є підтримка наявної техніки в справному стані шляхом розробки й впровадження найбільш ефективних, і при цьому менш витратних методів відновлення базових деталей.

Колінчастий вал (КВ) двигуна - одна з основних деталей, яка визначає разом з іншими деталями шатунно-поршневої групи ресурс двигуна в цілому.

Технологічні процеси, розроблені для відновлення сталевих КВ, виявилися неприйнятними для чавунних КВ (ЧКВ) - через зміну умов експлуатації, і внаслідок властивих цьому матеріалу специфічних властивостей.

У теперішні час литі вали з високоміцного чавуну (ВЧ) установлені на двигунах більшості модифікацій автомобілів ГАЗ, які становлять значну частину автомобільного парку, використовуюваного в сільському господарстві. Також організоване масове виробництво литих валів для дизельних двигунів СМД [2]. Крім того, виробниками таких валів є Волзький автомобільний завод, а також провідні фірми Західної Європи й Америки - «Форд», «Дженерал моторз» США, «Рено» Франція, «Вольво» Швеція, «Мерседес» Німеччина й ін.

Застосування чавуну для виготовлення КВ обумовлене тим, що

зносоустійкість і втомний опір ЧКВ перебувають на рівні сталевих, а витрати на виготовлення в 2...2,5 рази нижче. Істотним недоліком ЧКВ є складність і трудомісткість відновлення, що пояснюється наявністю у великій кількості вуглецю, марганцю, кремнію, які при значних термічних впливах сприяють утворенню тріщин і пор з відповідним негативним впливом на міцнісні й триботехнічні властивості.

Ціль дослідження - підвищення міжремонтного ресурсу ЧКВ конструктивно-технологічними способами.

Об'єкт дослідження - зношені й зміцнені (такі що пройшли карбонітрацію, з кільцевою проточкою в зоні галтельного переходу) чавунні КВ ЗМЗ 24-1005011-20 і УМЗ 4173.1005011.

Наукова новизна роботи:

- обґрунтоване зниження максимальної напруги й максимальної деформації, що виникають у коліні КВ при поліпшенні механічних властивостей (модуля пружності й коефіцієнта Пуассона) тонкого поверхневого шару;

- визначені параметри розподілу зносів корінних і шатунних шийок залежно від ремонтних розмірів КВ;

- визначені структура, фази й фізико-механічні властивості зміцненого шару, отриманого карбонітрацією на поверхні ВЧ;

- визначена границя витривалості зношених і зміцнених ЧКВ (ЗМЗ-24 і УМЗ-4173) методом карбонітрації поверхні й кільцевими проточками на основі прискорених стендових випробувань на втому.

Практичну значимість представляють:

- значення поверхневої твердості корінних і шатунних шийок КВ ЗМЗ-24 і УМЗ-4173 нових і ремонтних розмірів;

- технологічний процес відновлення шийок ЧКВ, що підвищує зносоустійкість в 1,21...1,71 рази, а границя витривалості - в 1,38...1,58 рази.

1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Конструкція, особливості навантаження і застосування чавунних колінчастих валів

Високі технологічні й експлуатаційні властивості ВЧ обумовили можливість їх використання для виготовлення широкої номенклатури деталей тракторів, автомобілів і сільськогосподарських машин.

Одним з найбільш перспективних напрямків застосування ВЧ у машинобудуванні є виробництво відповідальних важконавантажених деталей, що випробовують у процесі роботи знакозмінні навантаження. Пояснюється це гарними ливарними властивостями ВЧ, що дозволяє одержувати заготовки деталей, зокрема КВ, оптимальних конструктивних форм, і, внаслідок цього, підвищити їх міцнісні характеристики при зниженні ваги [1].

У цей час для виготовлення КВ автотракторних двигунів використовується ВЧ 50, ВЧ 60 і ВЧ 70. По механічних властивостях перлітний ВЧ перевершує всі види чавуну і не уступає нормалізованій сталі 45 (табл. 1.1).

З табл. 1.2 видно, що в гладких валів із ВЧ границя витривалості на 13% менше ніж у сталевих, а в колінчастих ця різниця всього 4%. Це пояснюється властивою всім чавунам малою чутливістю до концентрації напруг.

Таблиця 1.1 - Порівняльна характеристика механічних властивостей.

Показники	Типи чавуну				Сталь 45 нормалізована
	сірий	модифікований	високоміцний		
феритний			перлітний		
σ	120...240	280...380	420...440	560...640	740
σ_{-1}	70...140	120...160	150...170	230...250	305
τ_{-1}	65...130	120...140	–	120...200	170

Таблиця 1.2 - Порівняльна характеристика границі витривалості

Матеріал	Границя витривалості, МПа	
	гладких валів	колінчастих валів
Сірий чавун	100	35
Високоміцний чавун	250	118
Сталь-45,	305	122

Необхідно також відзначити що у ВЧ: ударна в'язкість в 3...40 разів вище, ніж у сірих чавунів, відношення показників циклічної в'язкості Сталі 45:ВЧ:СЧ=7:3:1,5, модулі пружності на 10...25 % нижче в порівнянні з конструкційними сталями, що зменшує чутливість чавунних валів до неспіввісності опор [2].

Зношування нормалізованого перлітного ВЧ в 1,7...3,4 рази нижче, ніж загартованої сталі, що пояснюється рядом факторів: наявністю на поверхні розкритих графітових включень, що надають позитивний вплив на антифрикційні властивості, кількістю ферита в матриці, кращим очищенням масла у порожнистих шатунних шийках.

Фізико-механічні властивості ВЧ зв'язуються в ряді робіт з кулястою формою графіту й рівномірним розподілом елементів модифікаторів, а також структурою металевої основи. Розроблені високопродуктивні способи регулювання форми графітових включень і структури матриці, що дозволяють одержувати ВЧ із заданими властивостями.

До недоліків чавуну, як конструкційного матеріалу, слід віднести його схильність до збільшення об'єму при термічних впливах, що і протікають при цьому два протилежні процеси – відбілювання і графітизація. Чавуни відносяться до важкозварних матеріалів, схильних до утворення пор і тріщин. Це створює складність розв'язання теоретичних і технологічних завдань при розробці технології відновлення ЧКВ.

Складна конфігурація КВ внаслідок зігнутості осі валу і різкої зміни жорсткостей елементів коліна, а також малої довжини його частин у

порівнянні з розмірами поперечних перерізів, обумовлюють значну загальну нерівномірність розподілу напруг. Крім того, галтелі поряд з отворами для змащення в шатунних і корінних шийках служать джерелами високої місцевої концентрації напруг.

З аналізу конструктивних параметрів КВ сучасних автомобільних і тракторних двигунів, можна зробити висновок, що велике значення має величина перекриття:

$$\Delta = \frac{d_{\text{кш}} + d_{\text{шш}}}{2} - R \quad (1.1)$$

де $d_{\text{кш}}$, $d_{\text{шш}}$ - діаметри корінних і шатунних шийок,

R - радіус кривошипа.

При $\Delta < 0$ (рис. 1.1а), прикладені до кривошипа навантаження, перпендикулярні площині кривошипа, можуть викликати скручування щоки на довжині A і ця ж ділянка може відчувати розтягання (стиск) від поздовжньої сили. Якщо перекриття $\Delta > 0$ (рис. 1.1б), то важко виділити поперечний переріз щоки, який випробовує ці види деформації. У зв'язку із цим, напружено-деформований стан щоки слід визначати виходячи з умови, що її вигин під навантаженням у площині кривошипа проходить по перетину найменшої жорсткості 2-2, висотою h_1 : $h_1 = \sqrt{h^2 + \Delta^2}$ (рис. 1.2). Позитивне перекриття наближає КВ до балки із прямою віссю, при цьому підвищується жорсткість КВ і знижується питомий тиск у шатунній шийці.

Величина позитивного перекриття, починаючи з деякого значення, як видно з рисунку 1.3, впливає на міцність щоки (σ_3 – еквівалентна напруга).

За результатами досліджень встановлено, що при дії змінних напруг руйнування починається в місці сполучення шатунної шийки із щокою - з подальшим розвитком тріщини по перетину 2-2.

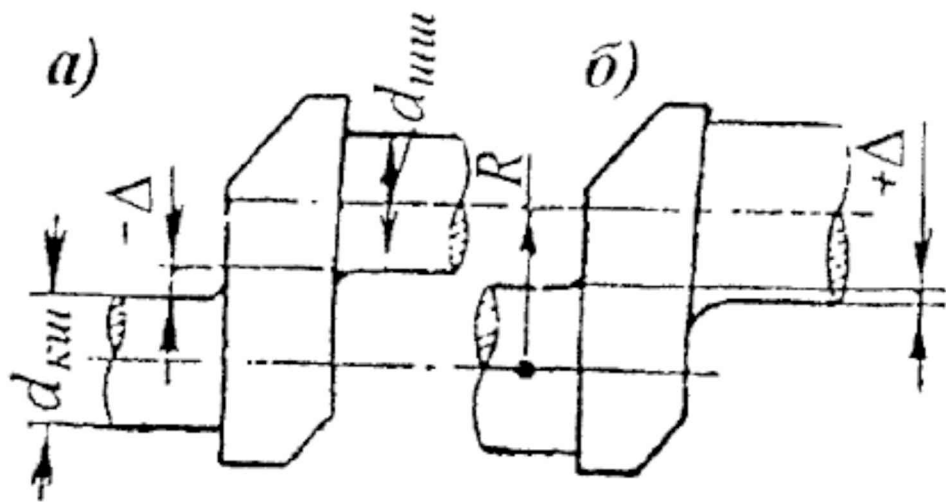


Рисунок 1.1 - Конструкція КВ з негативним (а) і позитивним (б) перекриттям.

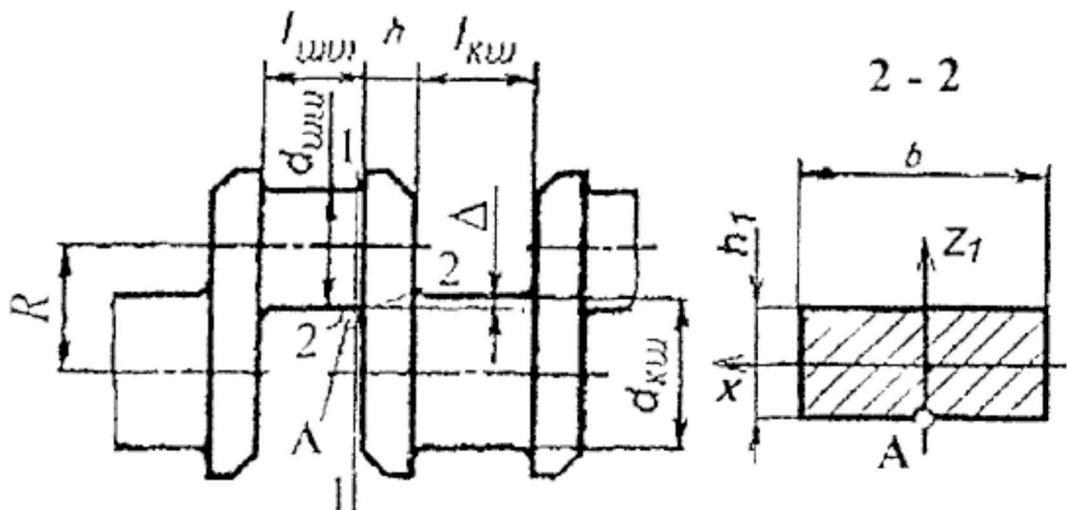


Рисунок 1.2 - Конструкція КВ з позитивним перекриттям.

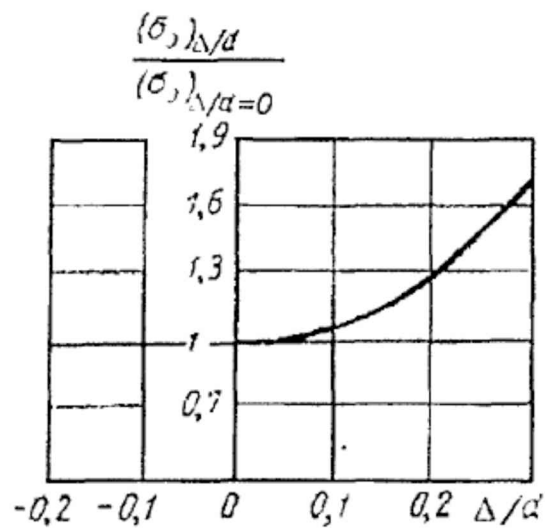


Рисунок 1.3 - Зміна міцності КВ залежно від величини перекриття.

КВ є однієї з найбільш відповідальних, напружених і дорогих деталей двигуна. Основні вимоги, пропоновані до конструкції вала: достатня міцність, жорсткість, твердість і ступінь чистоти обробки поверхні шийок, зносостійкість, надійність роботи при різних експлуатаційних умовах, висока точність виготовлення, динамічна врівноваженість і відсутність вібрацій.

Втомна довговічність КВ залежить від багатьох факторів: складу сплаву матеріалу; методу і якості виробництва напівфабрикатів; форми; розмірів; технології і якості виготовлення; характеру зовнішнього середовища, у тому числі її складу, температури і її зміни в часі; умов навантаження (спектра навантаження, повторюваності навантажень, напруженого стану тощо). Іншою рисою, притаманною процесу втоми, є значне розсіювання втомної довговічності навіть для зовсім ідентичних КВ, виготовлених з одного екземпляра напівфабрикату (кування). Це розсіювання сильно зростає у зв'язку з можливими коливаннями в технологічних режимах, у допусках на розміри, а також стану поверхні.

Необхідно відзначити функціональну залежність втомної довговічності від знакозмінних циклічних напружень. Найнебезпечнішими відносно втоми є зони концентрації напружень. У цих зонах навіть при помірних навантаженнях має місце локальна пластична деформація. При розвантаженні в пластично деформованій зоні утворюються напруги зворотного знаку, тому що основна навантажена пружна частина перетину повертає цю зону у вихідний стан. Таким чином, локальна зона, де має місце пік напружень і де утворюється втомна тріщина, працює в умовах відмінних від основної частини перетину. Напруги розтягання при їхньому багаторазовому повторенні надають більш шкідливу дію, ніж напруги стиску. При знакозмінному навантаженні створюване ушкодження залежить від рівня та співвідношення напружень розтягання і стискання в циклі.

Розвиток процесу втоми відбувається шляхом нагромадження ушкоджень у структурі матеріалу з утворенням мікропор і зародженням мікротріщин. Основними в процесі на цьому етапі є поява порушення

суцільності металу, зародження й розвиток субмікротріщин до мікротріщин. Цей період характеризується зниженням мікротвердості щодо вихідного значення й незначною зміною фізико-механічних властивостей матеріалу. Надалі відбувається розвиток втомної тріщини до мікротріщини критичного розміру, що супроводжується інтенсивним: зниженням міцності й пластичності, електропровідності: і магнітної проникності, а також підвищенням рівня: внутрішнього тертя. При досягненні тріщиною свого критичного значення: відбувається інтенсивне руйнування.

По виду руйнування валу можна точно судити про те, який тип навантаження з'явився його причиною. При вигині руйнування відбувається по щогі із зародженням втомної тріщини в галтелі сполучення шатунної шийки й щоки з боку перекриття. Полонки при крутінні часто починаються із тріщин, що виникають у зоні отворів для змащення шийки вала або в зоні галтелі. У цьому випадку руйнування відбувається по перетину шийки.

1.2 Аналіз особливостей експлуатації і виникаючих дефектів чавунних колінчастих валів

Дослідження експлуатаційної надійності двигунів ЗМЗ-53 показали, що через дефекти КВ в 1-ий капітальний ремонт надходять 47,4 % двигунів, а в 4-ий - уже 69,4% (табл. 1.3).

Таким чином, з таблиці видно, що з ростом величини зношування шийок границя витривалості КВ поступово знижується у зв'язку з нагромадженням ушкоджень. Останні - у вигляді подряпин, ступінчастості при зношуванні, слідів глибинного виривання при схоплюванні й глибинних структурних змін у мікрообсягах створюють додаткові концентратори напруг.

Процеси зношування й деформації приводять до значного розсіювання вихідних параметрів робочих поверхонь валів. Вони втрачають свої розміри, форму й взаємне розташування.

Таблиця 1.3 - Показники довговічності КВ двигунів ЗМЗ-53

Пробіг і характер дефекту	Капітальні ремонти			
	1	2	3	4
Міжремонтний пробіг, тис. км.	155,9	86,9	65,5	59,5
Двигуни, що поступили через дефекти КВ, %	47,4	53,3	67,1	69,4
У тому числі: через знос і деформації	34,1	36,2	38,9	34,1
через задири і схоплювання	10,3	12,3	21,1	28,3
через втомне руйнування	3,0	4,8	7,1	7,1
Зноси, мм.: корінних шийок	0,095	0,099	0,101	0,087
шатунних шийок	0,054	0,051	0,051	0,054
Темп зношування, мкм/тис.км.: корінних шийок	0,61	1,14	1,50	0,51
шатунних шийок	0,35	0,59	0,76	0,93
Прогин валів, мм.	0,132	0,267	0,257	0,310

Шейки КВ зношуються як по довжині, так і по окружності. Причому це зношування нерівномірне: по довжині шийки приймають форму конуса, а також бочкоподібність, а по окружності форму овалу. Найбільше зношування шатунних і корінних шийок відбувається в паралельній площині, а найменший - у площині, перпендикулярної кривошипам вала. Дані науково-дослідних робіт говорять про те, що темп зношування шийок КВ відлитих із чавуну, значно менше зносів сталевих валів (табл. 1.4), а темп випередження зношування корінних або шатунних шийок залежить від конкретної марки двигуна.

Так для двигуна ЗМЗ-53 середні зноси як корінних, так і шатунних шийок у різні міжремонтні періоди приблизно однакові (табл.1.3) - відповідно 0,087...0,101 мм і 0,051...0,054 мм. Зноси корінних шийок в 1,61...1,98 рази вище в порівнянні із шатунними, підтверджуючи дані роботи.

Спостереження показують, що на ремонтних підприємствах при дефектації КВ кутове положення шатунних шийок не контролюється, і

скрученість виявляється, як правило, тільки на стадії його шліфування, що приводить до додаткових коректувань по базуванню й часто до перешліфовки через один і більш ремонтних розмірів.

Порушення просторового положення шатунних шийок приводить до збільшення дисбалансу, росту динамічних навантажень, швидкому зношуванню й підвищенню ймовірності аварійного зношування (задир, схоплювання) і - як наслідок - зниженню ресурсу вала. Крім того, втрата точності координатних розмірів шатунних шийок веде не тільки до порушення робочого циклу, рівномірності роботи циліндрів, погіршенню врівноваженості двигуна, підвищеному зношуванню ЦПГ і, як наслідок, зниженню ресурсу двигуна, але й до зменшення його ефективної потужності і паливної економічності.

Аналіз досліджень показав, що скрученість має як експлуатаційну, так і технологічну спадковість, і проявляється в 2,7 рази частіше на ЧКВ, ніж на сталевих.

Перевищення від припустимого відхилення радіуса кривошипа КВ двигунів ЗМЗ на 0,05 мм збільшує дисбаланс в 2,2 рази. Установлено також, що зниження точності координатних розмірів (прогин) корінних шийок КВ двигуна ЗМЗ-53 підвищує дисбаланс до 60 г·мм. При збільшенні дисбаланса в 1,6...2,2 рази динамічні навантаження підвищуються в 1,1...1,5 рази при значному зниженні ресурсу.

Тріщини на поверхнях шийок КВ розділені за причинами їх виникнення на дві групи: технологічні і експлуатаційні. Технологічні тріщини виникають у процесі виготовлення та ремонту. Сюди відносяться кувальні тріщини, флокени, гартівні тріщини, поверхневе розтріскування при високому нагріванні, зварювальні тріщини (гарячі, холодні непровари), тріщини, що утворюються при механічній обробці й інше. Експлуатаційні тріщини, що виникають у процесі роботи й зберігання вала. До них відносяться тріщини вповільненого руйнування при тривалому вилежуванні напружених (як зовнішніми, так і залишковими напруженнями) валів, теплові тріщини, що

виникають при різких, особливо багаторазових змінах температури і втомні тріщини.

При дефектації деталей двигуна ЗМЗ-53 5...13 % КВ вибраковуюються у зв'язку з втомними тріщинами.

Задири через відносно невисоку пластичність ВЧ приводять до утворення тріщин і зниженню границі витривалості. Кількість, що зруйнувалися від втоми КВ ЗМЗ-53 зростає в 4-у міжремонтному періоді до 7,1 % у порівнянні з 3,0 % у доремонтній експлуатації (табл. 1.3). Характер зміни кількості задирів шийок і втомних поломок залежно від тривалості експлуатації, вказує на необхідність уведення технологічних операцій відновлення працездатності КВ ЗМЗ-53 уже при перших ремонтних впливах.

Радіуси галтельних переходів корінних і шатунних шийок КВ ЗМЗ-53, зменшені в порівнянні зі сталевими валами, у зв'язку з відомим, положенням про меншу чутливість ВЧ до концентрації напруг у порівнянні зі сталлю. Однак установлено, що зменшення радіуса галтелей ЧКВ викликає значне зниження їх границь витривалості. Отже, ріст концентрації напружень через зменшення радіусів галтелей при ремонтних операціях підвищує небезпеку втомного руйнування ЧКВ.

Рівень напруженості КВ в експлуатації постійно росте. Причиною цього є зміна зазорів між валом і корінними вкладишами внаслідок нерівномірного зношування, що веде до неспіввісності корінних шийок і корінних опор блоку, що супроводжується додатковим вигином валу і зниженням його запасу міцності. Крім того, відбувається нагромадження ушкоджень у вигляді субмікроскопічних тріщин, сліди глибинного виривання при схоплюванні, структурні зміни в мікрообсягах. Збільшення тиску в сполученні «вал – вкладиш» при деформації блоку циліндрів і КВ викликає ріст знакозмінних напруг, температури масла, підвищує ймовірність розриву масляної плівки [3]. Зростають ударні навантаження. Ці причини поряд зі збільшенням продуктів зношування в маслі сприяють підплавленню вкладишів, задирам шийок і схоплюванню, що викликають значне перевантаження і руйнування валів. При

кожному капітальному ремонті двигуна міжремонтний ресурс КВ по зношуванню відновлюється перешліфовкою на ремонтні розміри або нарощуванням металопокриття, у той час як нагромадження втомних ушкоджень відбувається безупинно, тобто ресурс по втомі - не відновлюється.

Високі фізико-механічні і експлуатаційні властивості ВЧ обумовили відносні рідкі поломки нових ЧКВ в експлуатації.

Звичайно втомне руйнування починається з поверхні, де в результаті зміцнення в шарах створюється залишкова напружка стиску, яка зрушує цикл напружки від зовнішнього навантаження убік стиску, що сприяє збільшенню втомної довговічності кривошипів КВ.

Границя витривалості нових, перешліфованих під ремонтний розмір таких, що мають задири КВ двигунів ЗМЗ-53 наведені на рис. 1.4. Вони свідчать, що при перешліфовці вала границя витривалості знижується на 21...57%, це викликане утворенням тріщин при деформації через невисоку пластичність ВЧ.

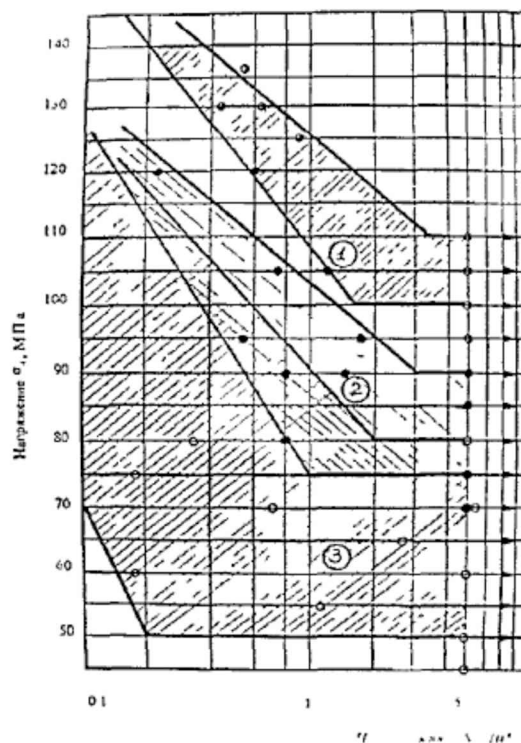


Рисунок. 1.4 - Криві границі витривалості КВ двигуна ЗМЗ-53:

1 - нові; 2 - перешліфовані на ремонтний розмір Р5; 3 - із задирами.

Незабезпеченість вихідних зазорів у сполученні «шийка-вкладиш», зміна макрогеометрії (некруглість) шийок ведуть до різкого погіршення умов роботи сполучення.

1.3 Аналіз методів відновлення чавунних колінчастих валів

Оптимальним є такий спосіб відновлення зношеної деталі, який дозволяє усунути її дефекти при найменших матеріально-трудових витратах і відновити її працездатність до рівня нової деталі.

Аналіз стану капітально-відремонтованих двигунів показує, що вони комплектується новими КВ у середньому на 10 %, на 75 % - шліфованими на ремонтні розміри і на 15 % - відновленими [4].

Відновлення шийок КВ можна забезпечити двома методами:

1. Механічною обробкою шийок до ремонтних розмірів.
2. Нанесенням металопокриття на шийку до ремонтних або номінальних розмірів.

Метод ремонтних розмірів.

КВ шліфують під номінальний або ремонтний розмір. Однойменні шейки (шатунні або корінні) шліфують на один розмір.

У КВ слід спочатку шліфувати шатунні, а потім корінні шейки [1]. При шліфуванні шатунних шийок після корінних співвісність корінних шийок порушується, радіус кривошипа збільшується.

Методи нанесення металопокриття до номінальних або ремонтних розмірів

Проблема нанесення металопокриттів на зношені шейки КВ виникає тоді, коли повністю використані ремонтні розміри.

Більш 85 % об'єму відновлення шийок КВ виконують зварювально-наплавочними методами, але необхідно враховувати, що нерівномірне нагрівання і охолодження наплавлених деталей змінюють структуру і властивості чавуну в зоні розплавлення і навколошовної зоні настільки, що

одержати наплавлений шар без дефектів з необхідним рівнем властивостей досить важко.

Високі швидкості охолодження наплавленого металу приводять до появи ділянок з виділенням цементиту, тієї або іншої форми в різній кількості, і ледебуриту. Крихкі структури в наплавленому металі знижують пластичність чавуну і знижують його стійкість проти утворення тріщин. Разом з тим нерівномірне нагрівання обумовлює появу зварювальних напруг, які приводять до утворення тріщин у шві й навколошовній зоні. Поява вибілених ділянок, що мають більшу щільність, ніж основа, пояснюють виникнення додаткових структурних напруг, що сприяють тріщиноутворенню.

Гарячі тріщини виникають при температурі 1100...1150 °С, залежать від післяусадного розширення, величини й швидкості протікання доперлітної лінійної усадки. ВЧ має велике передусадне розширення і тому, у порівнянні з іншими чавунами, має порівняно невелику схильність до утворення гарячих тріщин.

Інтенсивне газовиділення зі зварювальної ванни, викликане наявністю розчиненого в розплаві водню, триває на стадії кристалізації. Це приводить до утворення пор у металі шва. Підвищення змісту кремнію й деяких інших елементів у металі шва еквівалентно збільшенню кількості розчиненого водню. Це сприяє утворенню на поверхні тугоплавких окислів, пор і підсилює неоднорідність. Підвищена текучість чавуну утрудняє втримання розплавленого металу від витікання й формування шва.

Відомі технології з погляду звареного з'єднання можна розділити на дві групи: 1) сталь - чавун (основний матеріал); 2) чавун – чавун [5]. Уперше відновлення ЧКВ проводилося вібродуговим наплавленням і наплавленням у середовищі вуглекислого газу. Надалі були розроблені технології наплавлення в середовищі рідини й пари, повітря, кисню, водокисневого середовища, з накладенням ультразвуку.

Відомий спосіб наплавлення суцільним дротом Св-15 (ЕП-439) у струмені повітря. Наявність у дроті цирконію й цезію перешкоджає утворенню

тріщин і пор і сприяє одержанню дрібнозернистої структури в наплавленому шарі. Твердість наплавлених поверхонь досягає HRC 56...59. Зносостійкість наплавлених шийок КВ в 1,5...2 рази вище, ніж у ненаплавлених, а границя витривалості не вище 30...57 % від нових.

Для зниження термічного впливу й запобігання відбілювання досліджувалися процеси двошарового наплавлення порошковим дротом під легуючим флюсом. Наплавлення першого шару проводиться маловуглицевим дротом ПП-08-00 із внутрішнім захистом, а другого - дротом ПП-В2Х2 під флюсом АН-348А (у ряді випадків дротами ППАН122 або ППЗК2В8, розробленими в ІЕЗ ім. Е.О.Патона). Метал першого шару має ферито-перлітну структуру з твердістю 22...23 HRC, другого шару - трооститну з залишковим аустенітом і твердістю 48...51 HRC. У наплавленому шарі є тріщини. По зносостійкості наплавлені вали не уступають новим, а границя витривалості перебуває в межах 56...64 %.

Технологія відновлення КВ ЗМЗ-53 передбачає для зменшення впливу на деталь уведення в зону дуги додаткового присадкового дроту, що забезпечує примусовий відвід тепла зі зварювальної ванни.

Спосіб відновлення ЧКВ наплавленням по гвинтовій лінії маловуглицевим дротом під легуючим флюсом (або порошковим - під керамічним) по металевій оболонці для захисту чавуну від прямого впливу дуги. У якості флюсу використовується суміш, що складається з 92 % флюсу АН-348А, 2,5 % ферохрому і 2,0...2,5 %, феромарганцю, решта - рідке скло. Наплавлений шар при охолодженні на повітрі має мартенситну структуру з твердістю HRC 48...56. Оболонка сприяє зменшенню глибини проплавлення, знижує дифузію вуглецю, марганцю, кремнію, сірки, фосфору з основного металу. У шарі і зоні термічного впливу є пори і тріщини. Зносостійкість відносно висока і коливається - від 0,81 до 1,23 у порівнянні з новими КВ. Істотний недолік технології полягає в тому, що різні способи притиснення не забезпечують щільного прилягання оболонок до шийок, внаслідок чого при наплавленні часто відбувається спучування металу і скочування його убік, що

викликає, несплавку шару та непровар поверхні вала.

Широке поширення при відновленні КВ знайшли дугове наплавлення під флюсом. У практиці одержали поширення два підходи. Перший - з післянаплавочною термічною обробкою (відпуск і загартування СВЧ) і другий - без термообробки. В останньому утворення мартенситу забезпечується за рахунок легування наплавленого шару легуючими (ферохромом або феромарганцем) сумішами. До числа найпоширеніших технологій останнього способу відноситься наступна.

Двошарове наплавлення шийок суцільним дротом під легуючим флюсом. Наплавлення першого шару проводиться маловуглецевим дротом Св-08А під флюсом АН-348А. Після шліфування наплавляють другий шар під флюсосумішю, що полягає з 100 масових частинах флюсу АН-348А, 2,5 - графіту, 2 - ферохрому, замішаної на рідкім склі. Як правило, метал першого шару має феритно-перлітну структуру, а другого шару - мартенситну із твердістю 38...60 НРС. У наплавленому металі утворюється значна кількість кристалізаційних тріщин. В експлуатації, це приводить до задирів і підвищеному зношуванню поверхонь, що сполучаються. Зносостійкість КВ ЗМЗ-53 становить 18...46 %, а границя витривалості - 61...74 % від рівня нових.

Лазерне наплавлення дозволяє одержувати поверхні із твердістю до 60...62 НРС і зносостійкістю в 1,5...1,8 рази вище, ніж у загартованої сталі 45. Границя витривалості КВ до 75...80 % від нових.

Існує технологія відновлення. ЧКВ із автономною термічною обробкою наплавлених галтелей дротом Св-08Г2С у захисному середовищі $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ (після наплавлення галтелей проводиться об'ємне відпалювання 2-го роду). Потім нарощують шийку вала зносостійким дротом і роблять механічне деформування металу на границі ділянок, наплавлених різним способом.

З метою одержання наплавленого металу у вигляді чавуну, розроблена технологія широкошарової наплавки дротом Св-08А подачею в зону дуги порошкової феромагнітної шихти. Зносостійкість у такому випадку на 18,3% вище, ніж у нових валів. Однак значний тепловий вплив приводить до

короблення. При цьому їх довжина зменшується на 2,5...3,0 мм, а границя витривалості знижується до 32 % від рівня нових.

Дослідження показали, що в ЧКВ відновлених різними методами електродугового наплавлення втомні властивості перебувають приблизно на одному досить низькому рівні, границя витривалості знижується на 38...45 %. Ресурс по втомі таких валів практично повністю вичерпаний.

Повторне відновлення КВ методами електродугового наплавлення знижує їхню відносну границю витривалості додатково до першого відновлення на 3...9 %. Крім того, при повторному відновленні валів значно збільшується дефектність покриття, що підвищує ймовірність руйнування валу по втомі.

Досить великий обсяг проведених випробувань, і широка номенклатура перевірених методів дозволяє зробити висновок, що ремонтному виробництву, без використання спеціальних ефективних методів зміцнення шийок і галтелей рекомендується відмовитися від відновлення ЧКВ методами електродугового наплавлення.

Широко розповсюджена технологія для відновлення – це електроконтактна приварка металевого шару (стрічки, дроту, порошкових матеріалів). Вона має наступні переваги: відсутність нагрівання деталей; можливість приварки шару сталевих стрічки, дроту і твердих сплавів; загартування шару безпосередньо в процесі приварки; відсутність вигорання легуючих елементів. Основним недоліком є складність контролю якості з'єднання привареного шару з поверхнею деталі. Оскільки нагрівання і охолодження зони зварювання відбуваються зі швидкістю тисячі градусів у секунду на поверхні практично холодної масивної деталі і в умовах водяного охолодження, то в тонкому поверхневому шарі відновленої деталі фіксується високий рівень внутрішніх напружень, що мають, у тому числі і розтягувальні компоненти. Наступні технологічні операції не передбачають якого-небудь значного нагрівання деталі, здатного привести до релаксації внутрішніх напружень. У результаті, в привареному шарі часто спостерігається сітка

мікротріщин.

При проведенні втомних випробувань, відновлених КВ ЗМЗ-53 електроконтактною приваркою дроту, виявилось, що, вали руйнувалися не по щоці, а по шийці, яка номінально має значно більший момент опору, ніж щока. Це пов'язане з тим, що в силу особливості зварювального процесу максимальне порушення структури металу і максимальна кількість поверхневих дефектів має місце в центральній частині шийки.

Технологічні варіанти відновлення КВ із ВЧ методами порошкової металургії має ряд істотних переваг у порівнянні з наплавленням: зменшений термічний вплив на деталь, можливість одержання оптимальної мікропористості і малих припусків на наступну обробку, високу зносостійкість сполучення. Серед недоліків можна відзначити, що навіть при незначних порушеннях оптимальних режимів напікання відбувається оплавлення основного металу, збільшення вуглецю в напеченому шарі, формується зона відбілювання, з'являються тріщини, відбувається короблення виробу. При недогріванні зони спікання різко знижується міцність зчеплення шару з основним металом.

Відновлення шийок ЧКВ може бути здійснене гальванічними покриттями. Відомі технології відновлення шийок електролітичним залізненням у проточному електроліті періодичним струмом зі зворотним регульованим імпульсом а також холодним саморегулюючим електролітом. При цьому забезпечується задовільна зносостійкість і немає короблення валів, але границя витривалості знижується на 25...37 %, що пояснюється появою на границі основного металу і покриття розтягувальних напружень.

Технологічні процеси відновлення ЧКВ напилюванням і металізацією знаходять обмежене застосування в ремонтному виробництві через складність технологічного процесу та устаткування, а також дефіцитності і високої вартості захисних газів (аргону).

Детонаційне напилювання забезпечує високу якість [6]. По щільності покриттів, міцності зчеплення їх з основним металом, термостійкості, опору

ударним навантаженням, зносостійкості, експлуатаційним властивостям детонаційні покриття значно вище, ніж при газополуменеву і плазмовому напилюванні. Але висока вартість і технологічна складність устаткування, його низька надійність, а також дефіцитність і висока вартість присадкових матеріалів є стримуючими факторами поширення способу.

Зі збільшенням товщини нанесеного шару різко зменшується його зчеплення з основою. Достовірні дані за результатами експлуатаційних випробувань КВ, відновлених цим способом, відсутні.

Плазмове напилювання дротовими електродами незначно (на 12...15 %) підвищує міцність шару і його зчеплення з деталлю.

Плазмове напилювання, як «холодний» метод відновлення, шийок КВ не знижує їхньої границі витривалості, що говорить про значну його перевагу перед методами наплавлення. Однак зниження границі витривалості відбувається при підготовці поверхні шийок під відновлення через порушення мікро- і макрогеометрії галтельних переходів (зменшення радіуса, зниження чистоти поверхні). Це вимагає при використанні даного методу відновлення додаткової зміцнюючої обробки вала.

Дугова й плазмове металізація виявляють незначний термічний вплив на деталь. При напилюванні ЧКВ ЗМЗ-53 дротами Нп-80 і Х2Н80 забезпечувалася висока продуктивність (до - 21 кг/год), можливість нанесення покриттів товщиною 2...3 мм [43]. Зносостійкість нанесеного покриття в 1,5...2 рази вище, а границя витривалості – до 72...85 % від рівня нових валів. Технологія передбачає спеціальну підготовку поверхні, строге дотримання режимів наступної механічної обробки. Міцність зчеплення напиленого шару з основою шийок не вище 150...200 МПа.

Електродугова металізація, маючи ті ж переваги по втомі в порівнянні з методами наплавлення, що і плазмове напилювання, проводиться при значно менших капітальних витратах, що дозволяє знизити собівартість відновлення.

При всіх перевагах з погляду відновлення і збереження втомної довговічності КВ, даний метод вимагає доробки по відновленню їх

триботехнічних властивостей.

Розроблена і впроваджена у виробництво технологія відновлення зношених шийок КВ ЗМЗ-53 приваркою сталевих півкілець. Відновлення ЧКВ забезпечує збереження їх стійких властивостей за рахунок невеликих тепловкладень при приварці півкілець. Границя витривалості в основному визначається залишковими властивостями вала перед відновленням шийок і втратами цих властивостей при підготовці шийок до відновлення. Метод на сьогоднішній день має ряд недоробок, що перешкоджають його широкому поширенню в ремонтнім виробництві. Основними з них є: поява тріщин у зоні зварювального шва (по стикові півкілець) і руйнування шва, що приводить до зриву півкілець; нещільне прилягання півкілець до шийки, що веде до порушення гідродинамічних умов змащення сполучення.

Використання сталевий холоднокатаної, термообробленої, полірованої накладної стрічки дозволяє суттєво спростити технологічний процес і оснащення для відновлення валів. Повністю виключається зварювально-термічні впливи на вал, суттєво зменшується об'єм шліфувальних робіт, при цьому необхідність у фінішному процесі полірування відпадає.

Більшість вивчених методів відновлення КВ знижує границю витривалості й тим самим не забезпечує його 100 % ресурс. Враховуючи це, виникає необхідність застосування методів зміцнення ЧКВ у міжремонтному періоді.

1.4 Аналіз способів зміцнення чавунних колінчастих валів

КВ схильні вигину й крутінню, при яких напруження ростуть у напрямку до поверхні. Руйнування деталей у процесі експлуатації, як правило, починається з поверхні, де розташовані основні джерела концентрації напружень. Тому особливо важливо підвищувати міцність саме поверхневих і приповерхніх шарів. Ефект поверхневого зміцнення складається із власного зміцнення поверхневого шару й створення в ньому залишкових стискаючих напружень.

На практиці застосовуються різні способи зміцнення поверхні: пластичним деформуванням (зміцнення тиском), термомеханічною, термічною і хіміко-термічною обробкою.

Підвищення довговічності деталей машин методом поверхневого пластичного деформування (ППД) широко використовується в промисловості для поліпшення якості поверхні, підвищення зносостійкості, втомної міцності деталей машин [7]. Технологічними перевагами зміцнення ППД є мала трудомісткість процесу, можливість застосування для зміцнення зовнішніх і внутрішніх поверхонь деталей складної форми й будь-яких розмірів.

Поверхнєве зміцнення досягається дробеструйним або відцентрово-кульковим наклепом, накочуванням сталевую кулькою або роликом, дорнуванням (продавлюванням інструмента через отвір), алмазним вигладжуванням, карбуванням, обробкою різанням спеціальними різцями. Поверхнєве деформування підвищує щільність дислокацій у зміцненому шарі, подрібнює субструктуру (величину блоків), формує залишкові стискаючі напруги, а при обробці загартованих поверхонь зменшує кількість залишкового аустеніту.

Гарні результати відносно зміцнення поверхні й одержання наплавленого шару без пор і раковин дає термомеханічна обробка. При цьому сполучаються напавлення й зміцнення поверхні. Напавлений шар безпосередньо за зварювальною ванною піддається накочуванню роликом або ударом бойка.

Технологічна операція поверхневого загартування призначена для зміцнення й зміни напруженого стану поверхневих шарів деталей за рахунок нагрівання тонкого поверхневого шару й швидкого охолодження. Залежно від температури й тривалості нагрівання, а також від швидкості охолодження на поверхні можна формувати зміцнені шари з відмінними структурою й властивостями. Крім поверхневого нагрівання під загартування полум'ям газового пальника й СВЧ усе більший інтерес викликають більш сучасні способи нагрівання за допомогою лазера й енергії плазми. Використання

лазерів для загартування засноване на трансформації світлової енергії при питомій потужності $10^3 \dots 10^4$ Вт/см² у теплову в тонкому поверхневому шарі виробів. Оскільки швидкість нагрівання при лазерному опроміненні сплавів дуже висока, тонкі поверхневі шари встигають за короткий час не тільки нагрітися, розплавитися, але й перегрітися. Охолодження відбувається також з дуже великою швидкістю (приблизно в 1000 разів швидше, ніж при звичайному загартуванні). У результаті утворюються «понад загартовані» зони (білі шари), що мають дрібнокристалічну субструктуру, підвищену твердість і високотемпературні зміцнюючі фази. У цілому можна вважати, що структурні зміни при лазерному загартуванні подібні, що відбуваються після загартування з наступним пластичним деформуванням.

Для деталей обертання, до яких- ставляться КВ, особливе значення має питання впливу лазерного зміцнення на втомні властивості. Лазерне загартування залежно від режимів обробки, наявності оплавлення, розміщення зон зміцнення може приводити як до підвищення, так і до зниження границі витривалості залізовуглецевих сплавів. На границю витривалості поряд з міцністю великий вплив здійснюють інші фактори: мікрогеометрія поверхні, величина й знак залишкових напруг, наявність дефектів у поверхневому шарі. Останнє особливо важливо для чавунів, тому що наявність графіту може служити дефектом, який ініціюють зародження втомної тріщини. Лазерне загартування чавуну з кулястим графітом впливає на втомну міцність, незалежно від глибини зміцненої зони.

Плазмове загартування реалізується за рахунок енергії плазмового струменя, який являє собою спрямований потік частково або повністю іонізованого газу (аргон або його суміш із гелієм) з температурою 10...20 тис.°С. Глибина загартованого шару може бути від декількох міліметрів до декількох мікронів.

Переваги лазерного й плазмового нагрівання перед іншими методами поверхневого загартування полягають у можливості зміцнення локальних ділянок поверхні деталей, у тому числі важкодоступних порожнин і

поглиблень; одержанні при необхідності заданої шорсткості; відсутності деформації деталі після загартування; простоті автоматизації технологічного процесу.

Одним з найпоширенішим процесом хімікотермічної обробки є азотування, що полягає в дифузійному насиченні поверхневого шару азотом при нагріванні у відповідному середовищі (звичайно в дисоційованому аміаку NH_3).

При азотуванні вироби завантажують у герметичні печі, куди надходить аміак з певною швидкістю. При нагріванні аміак дисоціює. Атомарний азот поглинається поверхнею й дифундує вглиб виробу. Мікроструктура азотованого шару складається з поверхневого шару нітридів Me_2N і Me_4N і азотистого фериту або тільки з азотистого ферита.

Значне скорочення часу азотування досягається при іонному азотуванні, коли між катодом (деталлю) і анодом (контейнерною установкою) збуджується тліючий розряд. Відбувається іонізація азотовмісного газу, і іони, бомбардуючи поверхню катода, нагрівають його до температури насичення.

Азотуванням вдається одержати твердість поверхневого шару деталей, в 1,5...2 рази більшу, ніж загартуванням. Причому твердість, отримана без застосування термічної обробки, зберігається при нагріванні деталей до 500...600 °С. Крім того, при азотуванні різко підвищуються корозійна стійкість, зносостійкість і втомна міцність деталей.

Одним з методів подальшого розвитку процесу азотування, є розроблена професором Д.А. Прокошкіним технологія рідинної карбонітрації [7]. Сутність методу полягає в тому, що деталі машин з різних видів сталі і чавуну піддають нагріванню в розплаві солей на основі ціанату і карбонату калію при 540...600 °С з витримками 5...40 хв. для різального інструменту і 1...6 годин для деталей машин і штампового інструмента, залежно від необхідної товщини зміцненого шару.

Варто відзначити, що процес карбонітрації протікає за законами азотування, тобто з двох елементів (азот і вуглець), здатних насичувати метал

у поверхні, переважно (до 90%) дифундує азот, формуючи при цьому фази на своїй основі. Залізо в тонкому поверхневому шарі (до 15 мкм), в основному, перебуває у зв'язаному стані у вигляді карбонітридів, розподіл яких по шару характерно для дифузійних методів зміцнення.

Властивості деталей після карбонітрації багато в чому залежать від ступеня легірованості сталі й чавуну. Чим більше, легуючих: нітридоутворюючих елементів (*Cr, V, Mo, Al, Ti, W, Mn*), тим менше товщина шару; і вище його твердість. На формування структури дифузійного шару нелегованих сталей впливає швидкість охолодження після карбонітрації. Після швидкого охолодження у воді азот залишається в складі твердого розчину, тобто; формування зміцненого шару йде як по дифузійному механізму (утворення твердих розчинів і нітридів), так і по бездифузійному (гартівному), що призводить до додаткового підвищення твердості зміцненого шару. У випадку повільного охолодження або наступного відпустку в зовнішній області дифузійного шару на нелегованих сталях частина азоту може виділятися у вигляді прожилок нітриду заліза. Завдяки цьому практично не спостерігається крихкість поверхневого шару.

Технологія використовується для підвищення зносостійкості, втомної міцності і, у комбінації з оксидуванням, збільшення корозійної стійкості.

1.5 Висновки і постановка завдань дослідження

Аналіз літературних джерел показав, що використання ВЧ для виробництва КВ має широке поширення, у силу високих технологічних і експлуатаційних властивостей. Гарантія заводів-виготовлювачів на нову продукцію не перевищує 60000 км пробігу (близько року середньої експлуатації комерційного транспорту), а пробіг до капітального ремонту не перевищує 150000 км (2...3 року експлуатації). У міжремонтних пробігах довговічність ще нижче.

Було встановлено, що однією з основних причин виходу двигуна з ладу

(від 45 до 70 %) є дефекти КВ: зноси шийок, задири і схоплювання, втомне руйнування. Крім того, показано, що за рахунок нагромадження втомних ушкоджень знижується втомна міцність КВ.

Аналіз літературних джерел показав, що застосування різних способів відновлення дозволяє відновити міжремонтний ресурс по зношуванню, але призводить до значного зниження границі витривалості, внаслідок нагромадження КВ втомних ушкоджень.

Отже, виникає необхідність застосування методів зміцнення поверхні чавунних КВ у міжремонтному періоді. Одним з перспективних методів є технологія рідинного азотування -карбонітрація.

Виходячи з вищевикладеного, поставлені наступні завдання дослідження:

1. Досліджувати параметри працездатності ЧКВ у доремонтному й міжремонтному періодах експлуатації.
2. Розробити технологічний процес зміцнення й відновлення ЧКВ.

2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для розробки рекомендацій з підвищення міжремонтного ресурсу чавунних колінчастих валів були використані матеріали досліджень, проведені мікрометражні дослідження, визначена поверхнева твердість валів, що були в експлуатації, проведені втомні випробування з метою оцінки накопичених ушкоджень, проведені металографічні й мікрогеометричні дослідження, вивчені триботехнічні характеристики відновлених робочих поверхонь КВ [8].

Розроблені технологічні процеси зміцнення КВ із ВЧ 50 методом карбонітрації і відновлення КВ ЗМЗ 24-1005011-20 і КВ УМЗ 4173.1005011.

2.1 Методика мікрометражних досліджень шийок колінчастого валу

Досліджувані КВ повноопорні, мають п'ять корінних і чотири шатунні шейки. Шейки порожні. Порожнини в шатунних шейках закриті різьбовими пробками й призначені для додаткового очищення масла. Діаметр корінних шийок – $\varnothing 64_{-0,02}$, шатунних - $\varnothing 58_{-0,02}$. Зношені шатунні і корінні шейки шліфують до найближчого ремонтного розміру: 1-й (-0,25 мм), 2-й (-0,50 мм), 3-й (-0,75 мм) з допуском, установленим для шийок номінального розміру (всі шийки шліфують на один ремонтний розмір).

Через неможливість припущення теоретичного закону розподілу інформації, кількість об'єктів дослідження, яке дає необхідну точність одержуваних значень при довірчій імовірності $\beta_0=0,95$ визначали по рівнянню:

$$N = \frac{\ln(1 - \beta_0)}{\ln P(t)}, \quad (2.1)$$

де $P(t)$ - імовірність безвідмовної роботи в перебігу часу t , $P(t)=0,9$.

$$N = \frac{\ln(1 - 0,95)}{\ln 0,9} = 28,4 \approx 30.$$

Для перевірки вал установлювався на призми крайніми корінними шийками, а в середньої - за допомогою стояку з індикатором вимірювали биття. Перевіряли також биття хвостовика й поверхонь сальників. Згідно ТУ

заводів-виготовлювачів, такі биття не повинні перевищувати 0,010 мм.

Для визначення величини зношування заміряли діаметри шийок у трьох перетинах (порядковий номер шийки й номер перетину відраховували від переднього кінця КВ) і двох площях (у площині кривошипа й у площині перпендикулярній площині кривошипа) (рис. 2.1).

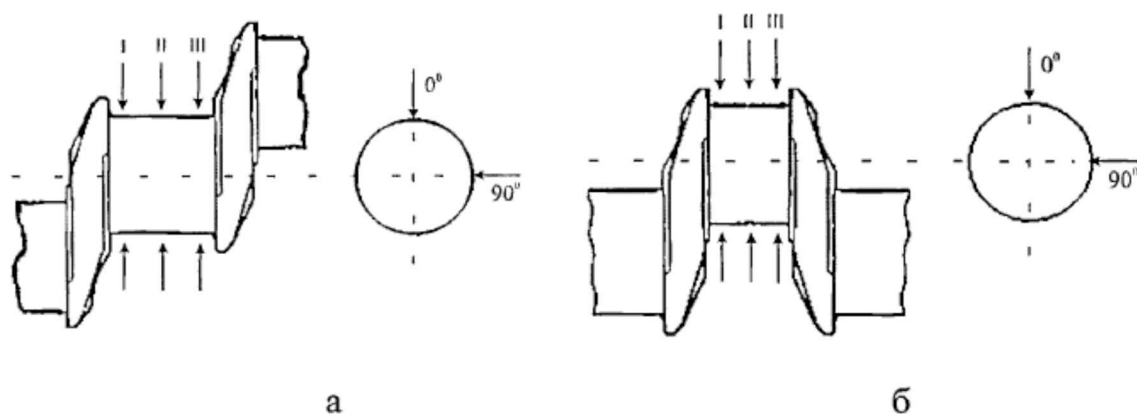


Рисунок. 2.1 - Схема вимірювання корінної (а) і шатунної (б) шийок КВ

Через відсутність відомостей про первісні розміри вивчали умовні зноси, тобто знайдені за умови, що зношуванням по поверхні з максимальним діаметром можна зневажити, а максимальні зноси:

$$U_{max} = D_{max} - D \quad (2.2)$$

де D_{max} - максимальний діаметр шийки вала;

D - поточний діаметр шийки вала.

2.2 Методика досліджень поверхневої твердості шийок колінчастих валів

Дослідження поверхневої твердості проводилося в трьох перетинах (порядковий номер шийки й номер перетину відраховували від переднього кінця колінчастого вала) і двох площинах (у площині кривошипа й у площині перпендикулярній площині кривошипа) у трьох повторах (рис. 2.1).

Вимірювання проводилися за допомогою твердомера ТР 5009 (рис. 2.2). визначалася поверхнева твердість зразків в одиницях НВ.

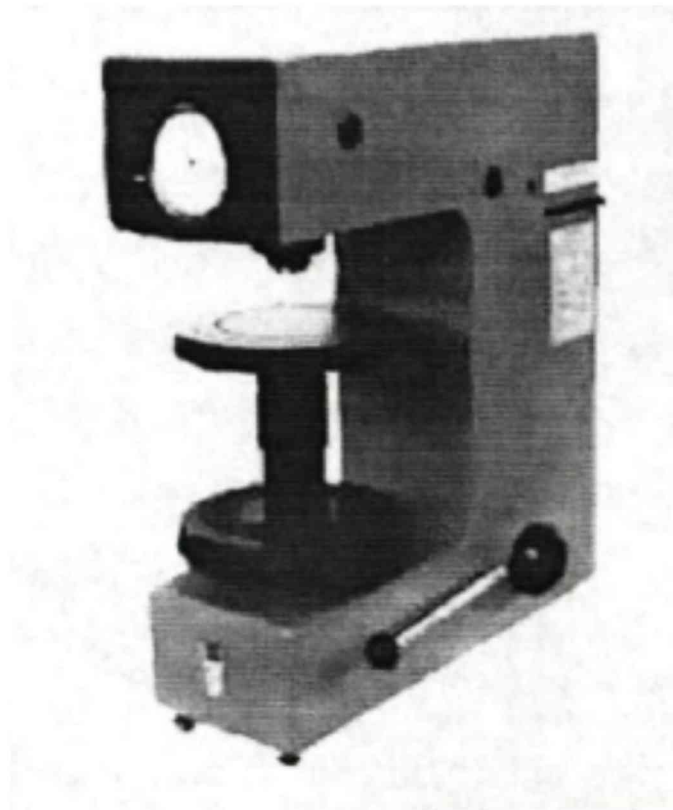


Рисунок. 2.2 - Застосовуваний твердомір

Для програмування твердоміру було виготовлено три зразки із ВЧ 50 з різною поверхневою твердістю. Потім за допомогою твердоміра ТР 5009 (рис. 2.2б), а твердоміром ТЭМП 2 в одиницях НL за кожним зразком.

На основі отриманих значень методом апроксимації проводилося програмування твердоміра ТЭМП 2 для виміру поверхневої твердості ВЧ в одиницях твердості НВ.

2. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Результати мікрометражних досліджень шийок колінчастого вала

Для вивчення надійності, відповідно до методики, викладеної в п. 2.1 проведені мікрометражні дослідження 47 КВ ЗМЗ-24 і УМЗ-4173, які поступили для шліфування на ремонтні розміри [9, 10].

На шліфування надходять досить «молоді» вали. Так 21 вал (45%) надійшов перший раз у ремонт, 6 валів (13 %) - на повторне шліфування маючи номінальний розмір корінних шийок і перший ремонтний шатунних шийок, 5 валів (11 %) - на повторне шліфування маючи перший ремонтний розмір корінних шийок і номінальний шатунних.

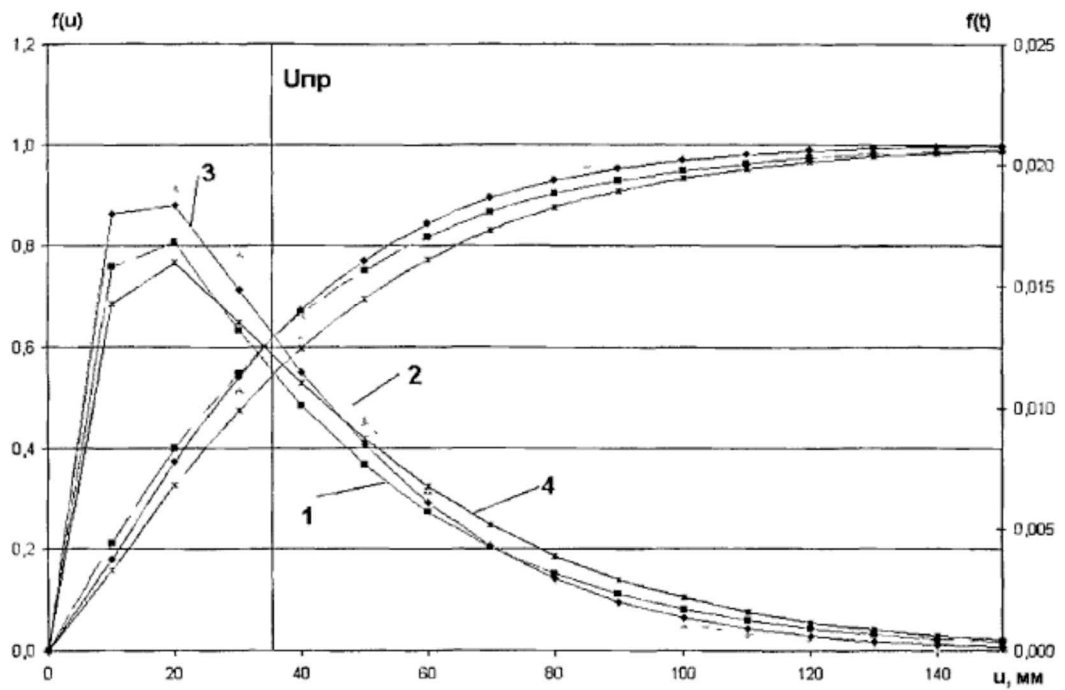
Дослідження показали, що зношування шатунних і корінних шийок КВ найкраще описується законом розподілу Вейбулла. Значення зносів наведено в таблиці 3.1.

Становить інтерес вивчення статистики зношування однойменних шийок. Найбільшу середню величину зношування спостерігають у першій (72 мкм) і п'ятої (62 мкм) корінних шийок, менше інших зношуються друга - (53 мкм) і четверта (56 мкм) корінні шейки. Серед шатунних шийок найбільш піддана зношування четверта (41 мкм) і перша (35 мкм), менше друга й третя (34 мкм). Основні статистичні характеристики в зонах найбільшого зношування наведені в таблиці 3.1. Аналогічна картина спостерігається у валів будь-якого ремонтного розміру: крайні шейки зношуються інтенсивніше, ніж шейки, що розташовуються в середині. Крім того, інтенсивність зношування шийок у площині кривошипа (площина 0°) в 1,12 рази вище ніж площини перпендикулярної площини кривошипа (площина 90°).

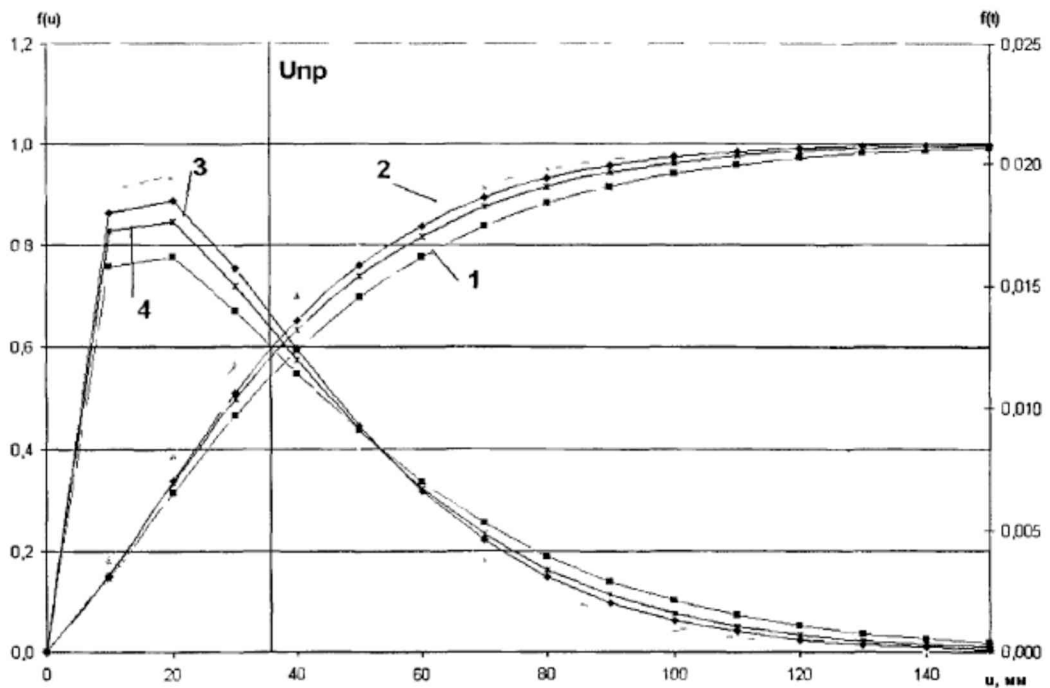
Величина зносів після застосування ремонтних впливів зростає, так у валів першого ремонтного розміру середня величина зношування 45 мкм, у валів другого ремонтного розміру - 69 мкм, третього - 75 мкм.

Функції розподілу зносів корінних і шатунних шийок представлено на рисунках 3.1 і 3.2.

Рисунок. 3.1 - Функція розподілу зносів « u » шатунних шийок у площині кривошипа (а) і в площині перпендикулярної площини кривошипа



а

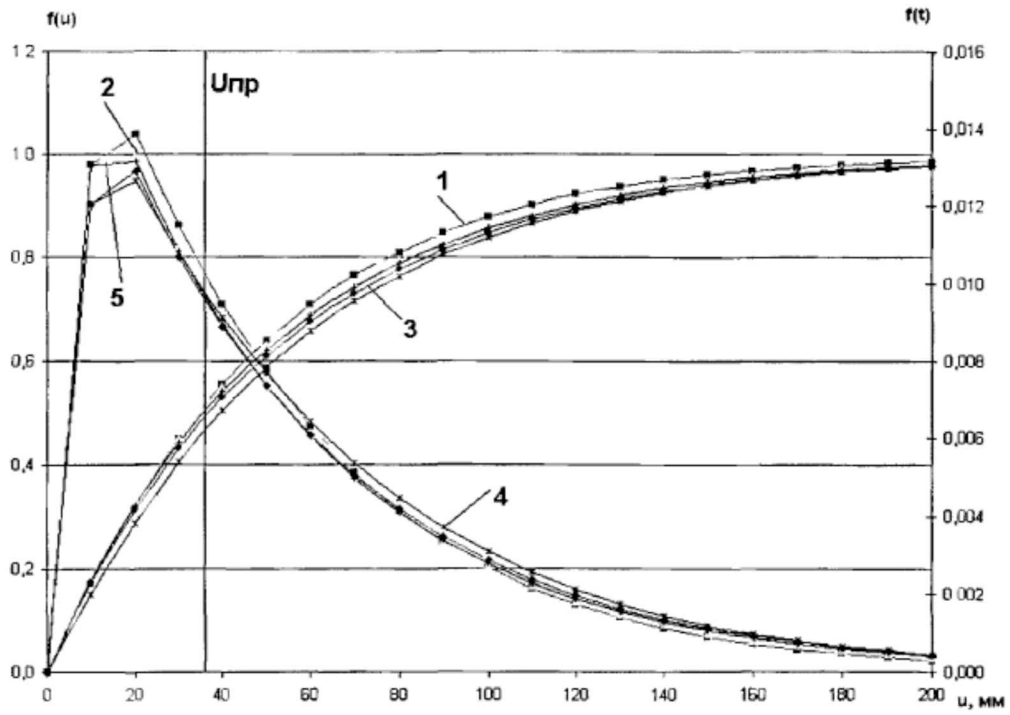


б

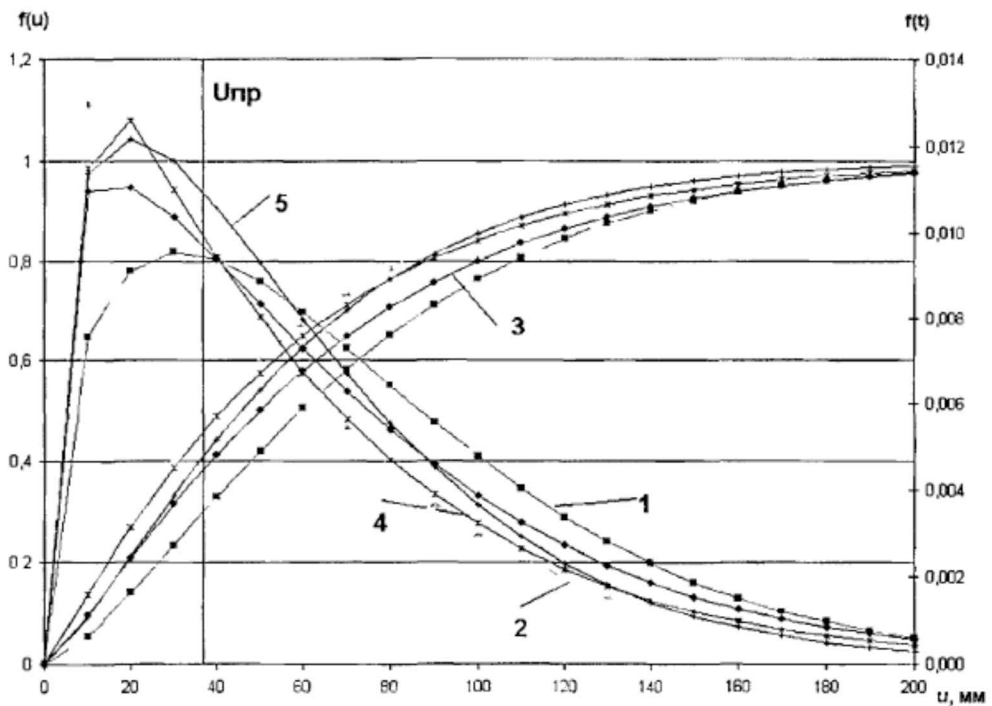
(б):

1, 2, 3, 4 - 1-ая, 2-я, 3-я й 4-я шийки;

$u_{пр}$ - гранично припустиме зношування



а



б

Рисунок. 3.2 - Функція розподілу зносів « u » корінних шийок у площині кривошипа (а) і в площині перпендикулярної площини кривошипа (б):

1, 2, 3, 4, 5 - 1-ая, 2-я, 3-я, 4-я й 5-я шейки;

$u_{пр}$ - гранично припустиме зношування

Таблиця 3.1 - Величина зношування шийок КВ ЗМЗ-24 і УМЗ-4173

	Шатунні шийки				Корінні шийки				
	1	2	3	4	1	2	3	4	5
Номінальний розмір площина 0°									
величина зношування, мкм	10..170	10..160	10..170	10..180	10..210	10..240	10..220	10..210	10..210
середнє значення, мкм	35	34	34	41	72	53	57	56	62
площина 90°									
величина зношування, мкм	10..180	10..170	10..190	10..170	10..220	10..220	10..220	10..210	10..240
середнє значення, мкм	40	32	36	36	49	50	51	55	52
1 ремонтний розмір площина 0°									
величина зношування, мкм	10..200	10..250	10..210	10..220	10..220	10..210	10..200	10..200	10..210
середнє значення, мкм	68	74	66	83	80	67	71	74	86
площина 90°									
величина зношування, мкм	10..180	10..180	10..190	10..220	10..200	10..210	10..200	10..220	10..210
середнє значення, мкм	49	50	52	68	75	77	67	69	72
2 ремонтний розмір площина 0°									
величина зношування, мкм	10..210	10..240	10..210	10..210	10..240	10..220	10..220	10..210	10..250
середнє значення, мкм	75	77	70	81	82	75	77	81	87
площина 90°									
величина зношування, мкм	10..200	10..190	10..200	10..220	10..210	10..230	10..220	10..230	10..220
середнє значення, мкм	61	59	64	71	79	75	76	77	78

Проведений аналіз показує, що зношування корінних шийок відбувається в 1,21 разів швидше, ніж шатунних. Більше зношування корінних шийок можна пояснити більш важкими умовами роботи відносно навантаження й змащення. Отримані дані показують, що ресурс КВ ЗМЗ-24 і УМЗ-4173 лімітує зношування корінних шийок, як найбільш зношуваних у процесі експлуатації.

Аналіз; максимальних зносів показує, що в шийок усіх ремонтних

розмірів спостерігаються зноси понад 200 мкм, що приводить до шліфування через ремонтний розмір і до значного зниження ресурсу вала.

3.2 Результати досліджень поверхневої твердості- шийок колінчастих валів

Проведені дослідження показують (табл. 3.2), що поверхнева твердість шийок ЧКВ, що перебувають в експлуатації, не має сильного розкиду в межах, ремонтних розмірів, але суттєво нижче значень запропонованих технічною документацією.

Таблиця 3.2 - Поверхнева твердість шийок КВ

		1	2	3	4	1	2	3	4	5	Середнє значення
		шат.	шат.	шат.	шат.	кор.	кор.	кор.	кор.	кор.	
Номінальний розмір	Середнє	192,0	193,9	194,0	193,7	193,0	191,3	197,4	195,9	194,4	194,0
	Ст. відх.	8,1	10,5	8,3	8,3	8,6	9,4	11,3	7,7	7,7	8,9
1 ремонтний розмір	Середнє	187,8	188,9	191,0	194,0	188,1	187,0	190,9	188,1	189,8	189,5
	Ст. відх.	9,6	8,0	8,0	27,5	5,2	3,6	8,3	6,1	11,5	9,7
2 ремонтний розмір	Середнє	201,9	199,1	204,7	199,1	193,4	196,2	200,6	196,4	198,1	198,8
	Ст. відх.	23,3	10,6	20,3	8,3	7,2	7,1	13,6	8,0	8,7	11,9
3 ремонтний розмір	Середнє	192,0	193,9	193,8	200,4	192,1	195,2	198,8	198,0	198,3	195,8
	Ст. відх.	6,1	6,2	7,8	11,6	8,2	9,9	12,2	10,0	9,5	9,1
УМЗ	Середнє	512,2	481,3	547,9	548,5	486,1	513,3	499,5	517,6	486,1	506,9
	Ст. відх.	120,2	160,0	71,7	95,9	119,5	87,8	127,3	89,5	129,8	111,3

3.3 Результати фізико-хімічних, металографічних і мікрогеометричних досліджень

Вихідними матеріалами при проведенні досліджень служили зразки із ВЧ 50 зміцнені карбонітрацією.

На рис. 3.3 - 3.6 представлена мікроструктура зміцненого шару при різному збільшенні. На рис. 3.7 представлений хімічний склад, а рис. 3.8 рентгенограма поверхні зразків. Розподіл мікротвердості по товщині зміцненого шару представлений на рис. 3.9 [11].

При застосуванні карбонітрації, на поверхні зразків (деталей) із ВЧ утворюється зміцнений шар товщиною порядку 15...20 мкм твердістю більш 600 HV (> 61 HRC), під яким розташовується дифузійна зона глибиною до

400...450 мкм.

Зміцнений шар складається з декількох зон: спочатку йде тонкий оксидний шар (Fe_3O_4) порядку 5...7 мкм, далі зона ϵ -карбонітрида типу Fe_3N , під яким розташовується зона γ' -фази типу Fe_4N . Дифузійна зона (гетерофазний шар) складається із твердого розчину вуглецю й азоту в залізі із включеннями карбонітридних фаз. На поверхні утворюється легковидаляемий сажистий наліт.

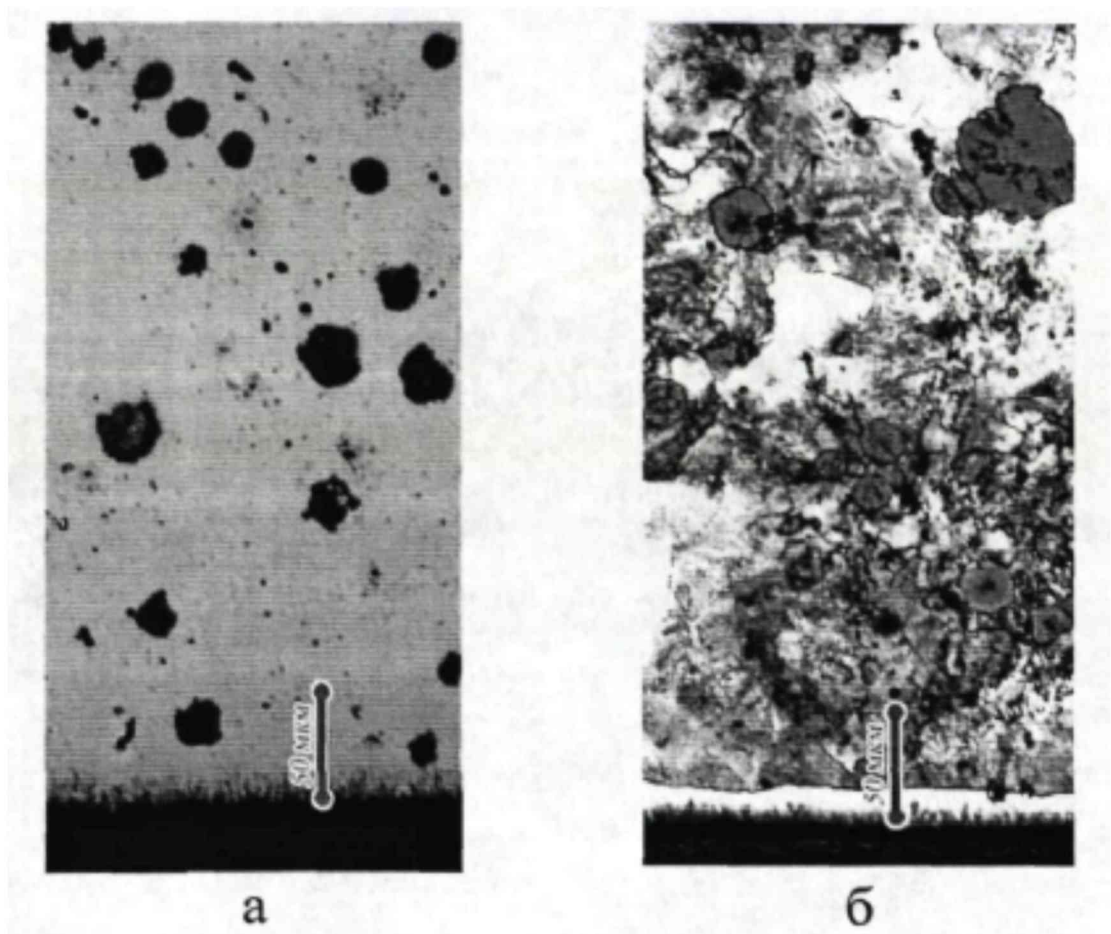


Рисунок 3.3 - Фотографії шліфа зразка із ВЧ 50 після карбонітрації при 100 - кратному збільшенні: а - нетравлений, б - травлений

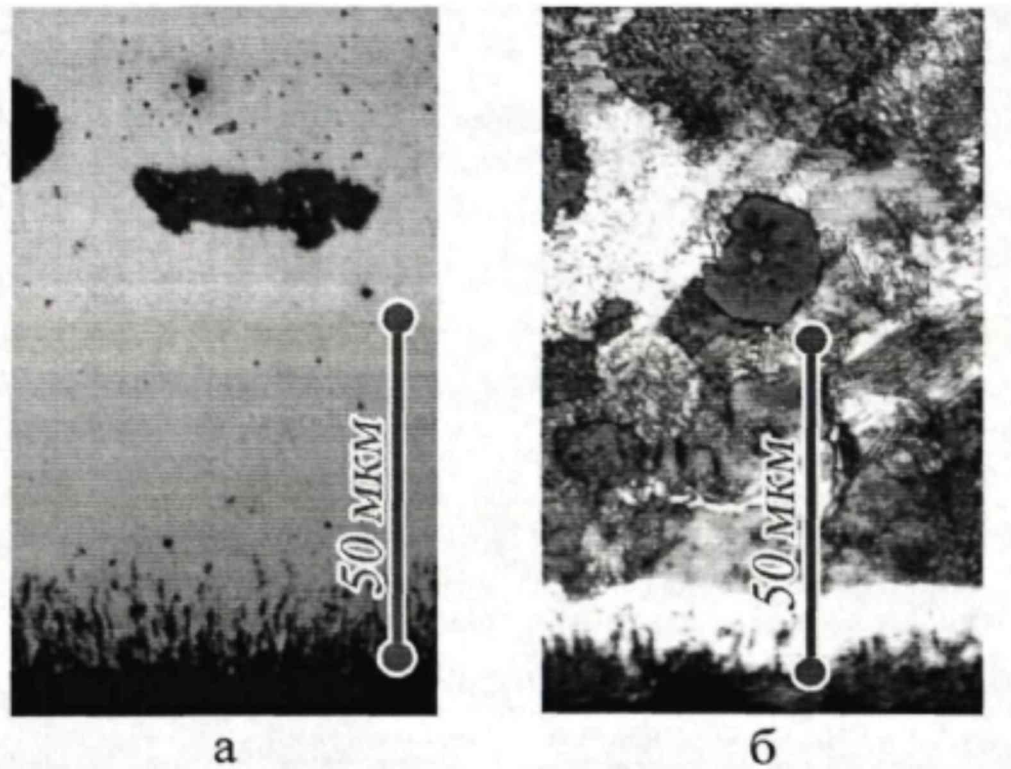


Рисунок 3.4 - Фотографії шліфа зразка із ВЧ 50 після карбонітрації при 400 - кратному збільшенні: а - нетравлений, б – травлений

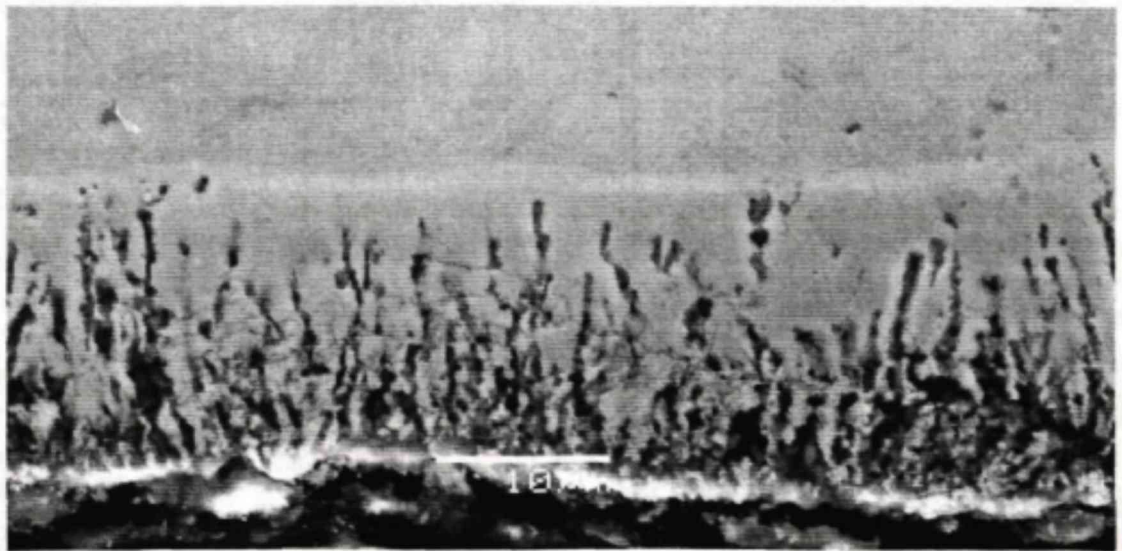


Рисунок 3.5 - Фотографія шліфа зразка із ВЧ 50 після карбонітрації, зроблена в режимі вторинних електронів.

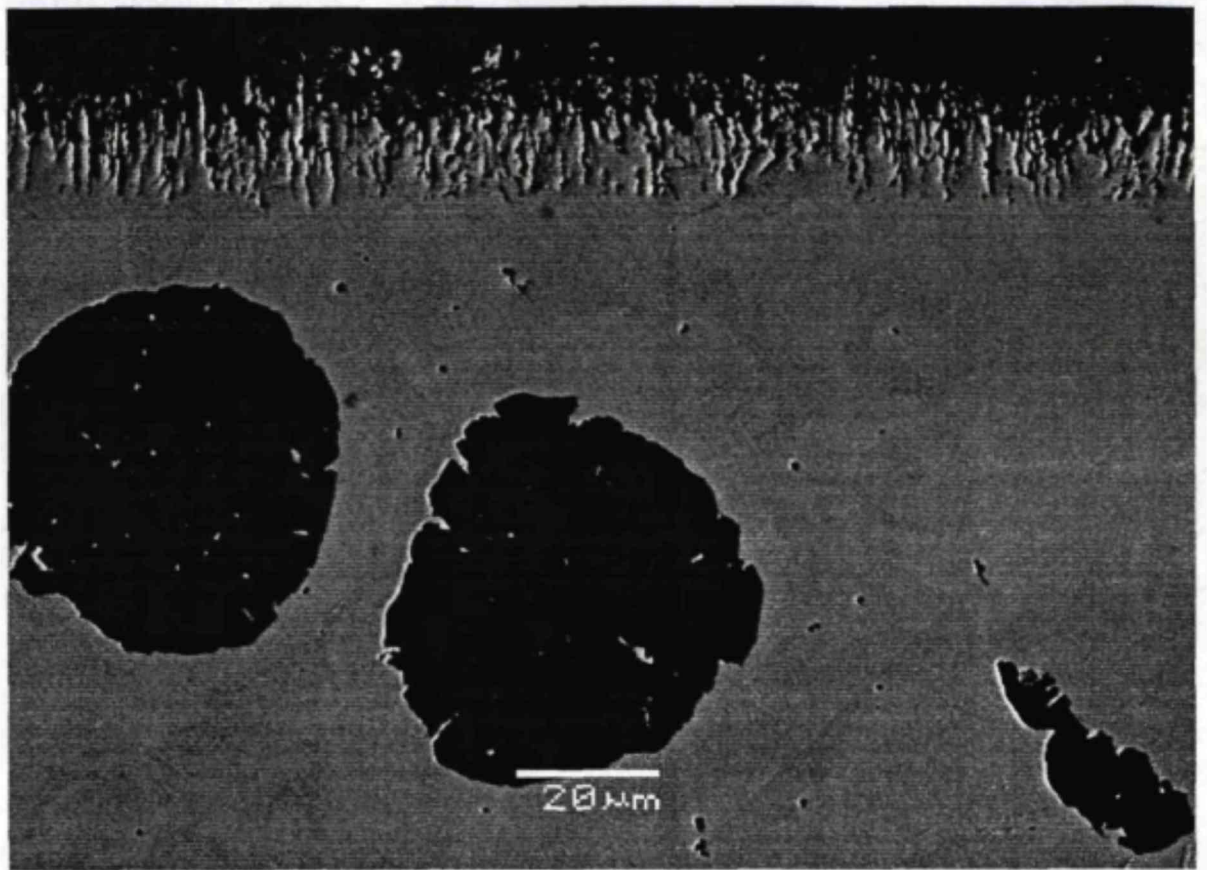


Рисунок 3.6 - Фотографія шліфа зразка із ВЧ 50 після карбонітрації, зроблена в режимі обернено-розсіяних електронів.

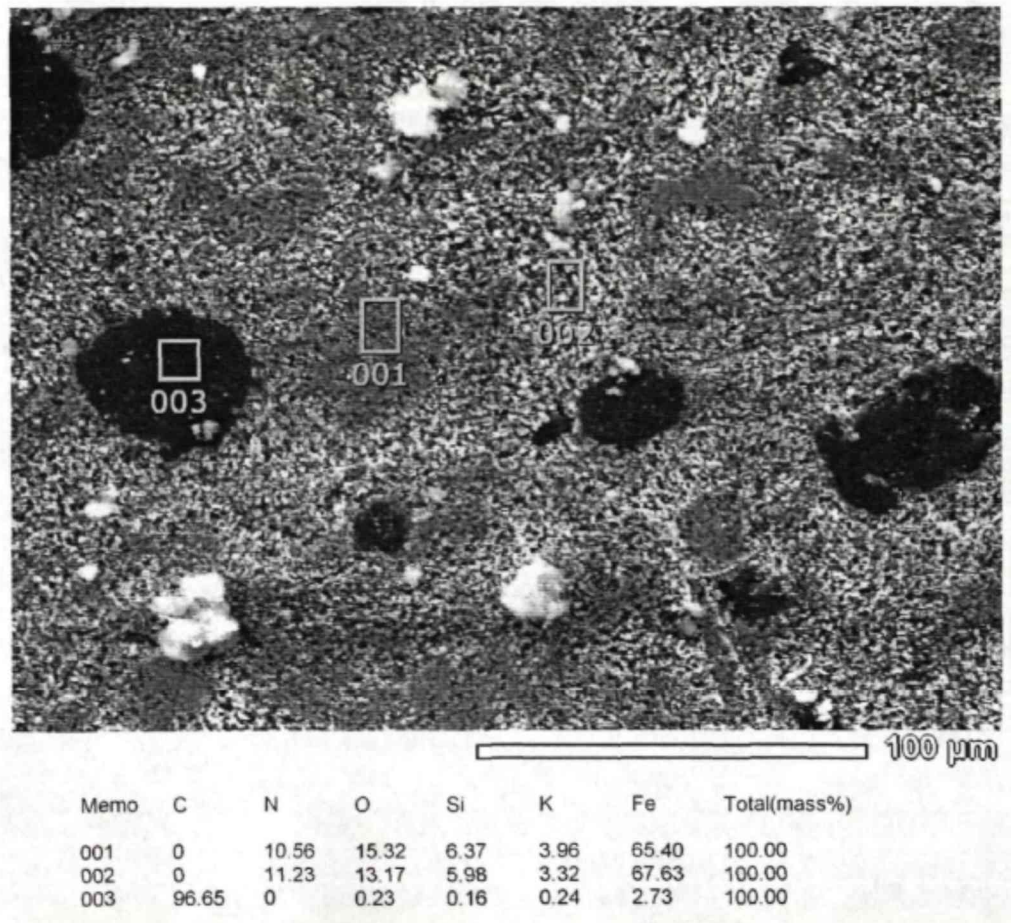


Рисунок 3.7 - Визначення елементного складу поверхні зразків із ВЧ 50 після карбонітрації

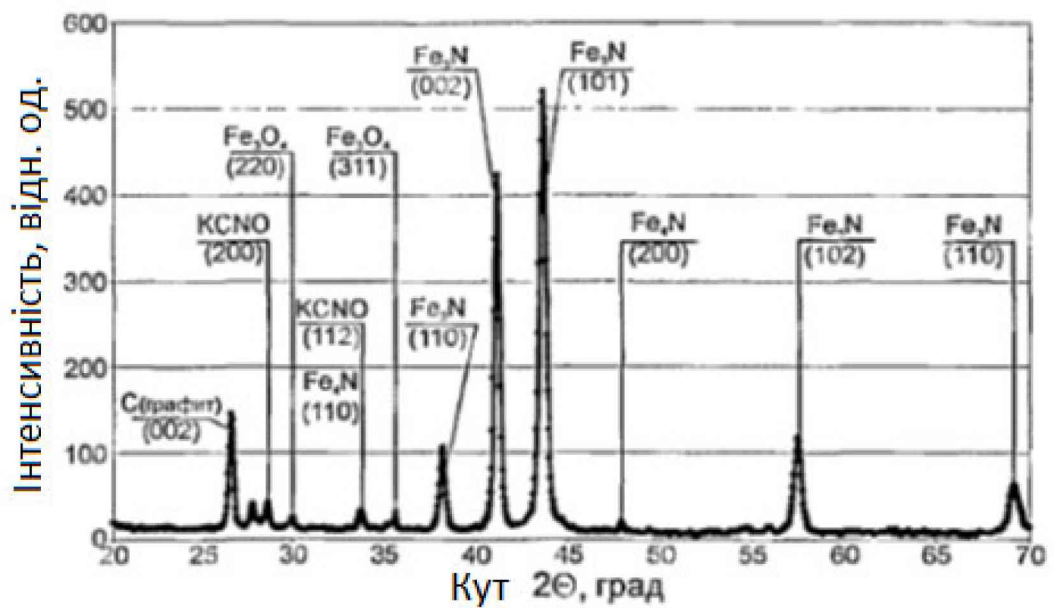


Рисунок 3.8 - Рентгенограма з поверхні зразка із ВЧ 50 після карбонітрації

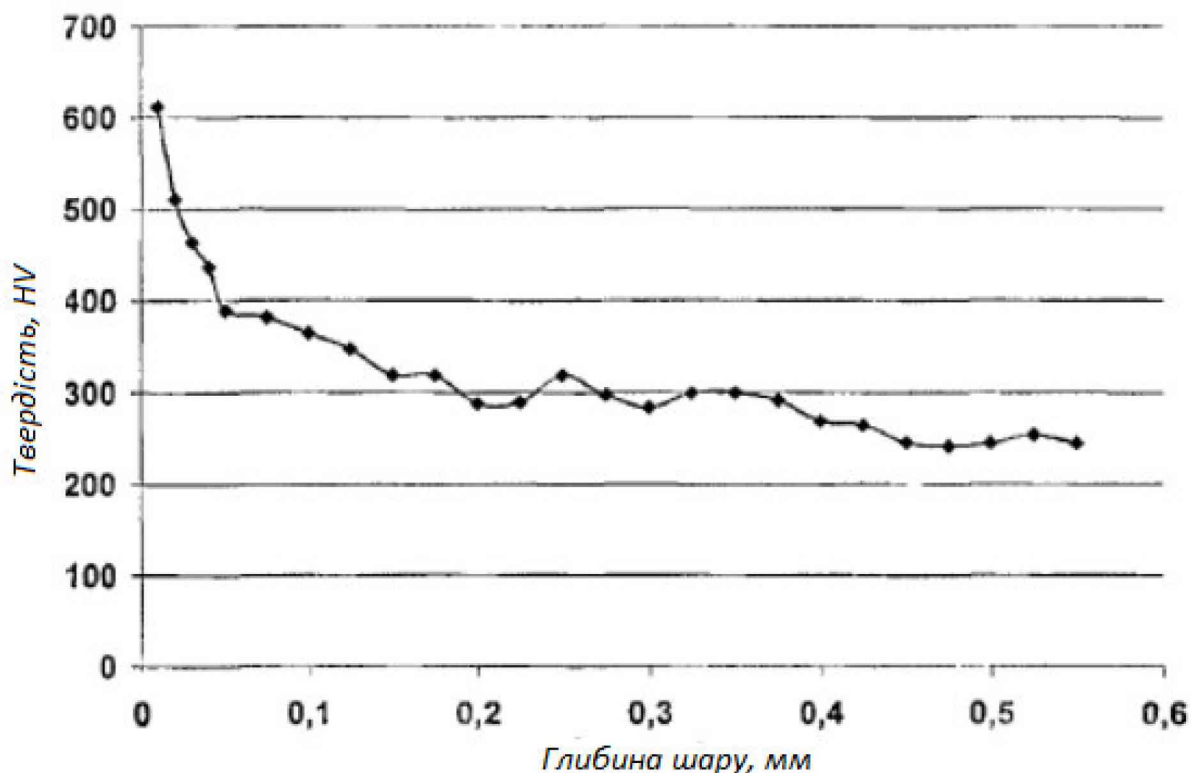


Рисунок 3.9 - Розподіл мікротвердості по товщині зразка із ВЧ 50 після карбонітрації

Після карбонітрації деталей із ВЧ у тонкому поверхневому шарі присутні карбонітридні фази, що викликають викривлення кристалічних решіток заліза, що й створюють значні стискаючі напруги, які в умовах вигину зменшують розтягувальні напруги від зовнішнього навантаження. Максимальна величина стискаючих напруг перебуває в поверхневій нітридній зоні на глибині не більш 20 мкм. Стискаючі напруги в дифузійній зоні, незважаючи на меншу величину, вносять основний вклад у підвищення границі витривалості через велику довжину зони по глибині [12].

На рентгенограмі крім перерахованих вище фаз виявляються лінії від ціанату калію (KCNO), який імовірно був погано вилучений з пористої зони під час промивання.

Розподіл мікротвердості по товщині зміцненого шару характерно для дифузійних шарів (плавно знижується від 600 НV на поверхні до 250 НV у серцевині) і відповідає зміні вмісту азоту в карбонітрованому шарі [13].

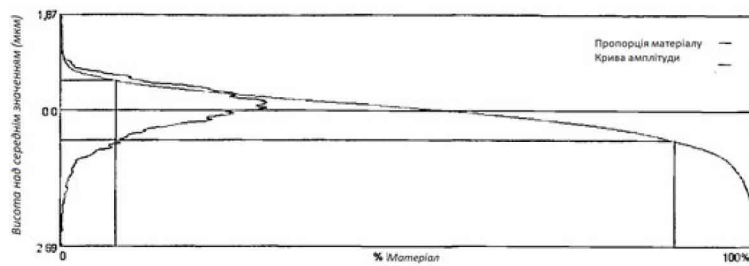
Присутність ϵ -карбонітрида Fe_3N і γ' -фази типу Fe_4N є обов'язковою, умовою для поліпшення триботехнічних властивостей зміцненого шару.

Для оцінки впливу процесів зміцнення на шорсткість зразків була виготовлена партія зразків із ВЧ 50 з параметрами шорсткості зазначеними в таблиці 3.3. Потім вони були піддані загартуванню СВЧ і карбонітрації. Результати вимірів також зведені в таблицю 3.3.

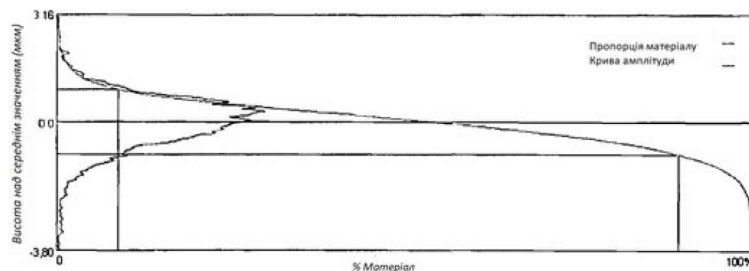
Таблиця 3.3 - Зміна шорсткості.

Параметр	ВЧ 50	ВЧ 50+карб.+сажа	ВЧ 50+карб	ВЧ 50+ТВЧ
R_a , мкм	0,38	0,73	0,83	0,81
R_p , мкм	1,50	2,80	3,09	3,75
R_z , мкм	4,13	7,28	6,49	7,83
h_{80} , мкм	1,21	2,27	2,64	2,49

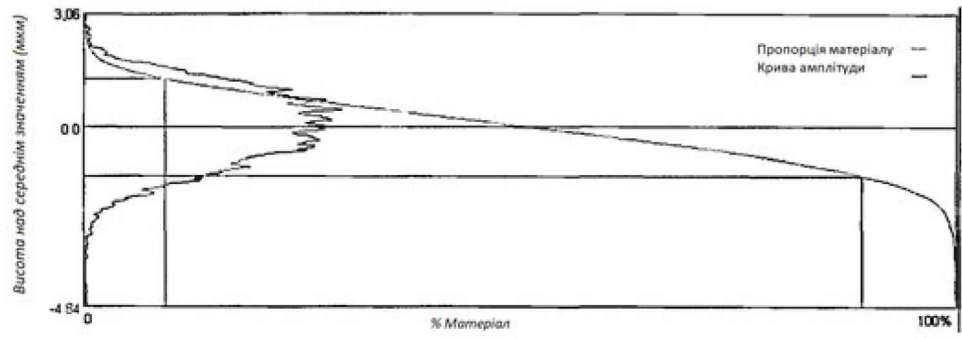
Як видно з отриманих даних застосування методів зміцнення погіршує параметри шорсткості, тому потрібно додаткові операції шліфування або полірування. На рис. 3.10 представлено характерний розподіл параметрів шорсткості для досліджуваних зразків.



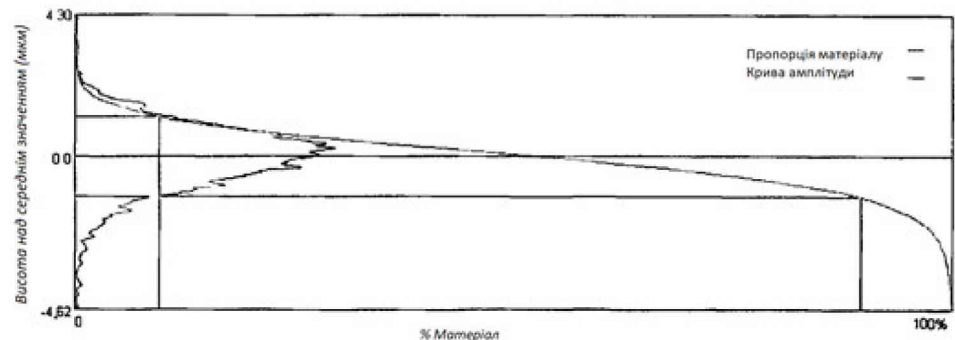
а



б



В



Г

Рисунок 3.10 - Розподіл параметрів шорсткості зразків з: а) ВЧ 50, б) ВЧ 50 + карб + (сажа), в) ВЧ 50 + карб, г) ВЧ 50 + СВЧ

3. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ З ПІДВИЩЕННЯ МІЖРЕМОНТНОГО РЕСУРСУ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ З ВИСОКОМІЩНОГО ЧАВУНУ

4.1 Обґрунтування режимів карбонітрації для зміцнення чавунних КВ

У сучасному машинобудуванні завдання комплексного поліпшення експлуатаційних властивостей металевих матеріалів у значній мірі пов'язана з розробкою нових технологічних процесів поверхневого зміцнення деталей.

Одним з таких процесів є технологія рідинної карбонітрації. Варто відзначити, що процес карбонітрації протікає за законами азотування, тобто із двох елементів (азот і вуглець), здатних насичувати метал у поверхні, переважно (до 90%) дифундує азот, формуючи при цьому фази на своїй основі. Залізо в тонкому поверхневому шарі в основному перебуває у зв'язаному стані у вигляді карбонітридів, розподіл яких по шару характерно для дифузійних методів зміцнення.

У зв'язку з відсутністю досліджень з визначення оптимальних режимів карбонітрації для ВЧ і з метою підвищення границі витривалості й зносостійкості, користувалися відомими залежностями для азотування [14].

Азотування знайшло широке застосування в промисловості й ремонтному виробництві для підвищення зносостійкості й антифрикційності. Процес являє собою насичення поверхні азотом у середовищі азотовмісного газу. Тому що насичення проводиться при відносно низьких температурах (від 520 до 620°C), процес азотування є малопродуктивним.

Глибина й поверхнева твердість покриття на основі азоту залежать від ряду факторів, з яких основними є температура й тривалість насичення, а також склад матеріалу, що насичується. Глибина дифузійної зони із за низьких температур процесу невелика й підкоряється параболічній залежності від часу (оптимальна глибина до 500 мкм). Швидкість нарощування покриття зростає з підвищенням температури, але цей технологічний напрямок обмежений необхідністю зберігати при азотуванні високу твердість. Підвищена твердість азотованих шарів обумовлена одержанням тонкодисперсних нітридів і суттєво

залежить від температури насичення.

В азотованому покритті залежно від температури процесу присутні різні азотисті фази. При температурах насичення нижче 590°C воно складається із трьох фаз: ϵ , γ' і α . При азотуванні в інтервалі температур $600\text{...}650^{\circ}\text{C}$ можливо додаткове утворення азотистого аустеніту, який при повільному охолодженні насичених сталей розпадається на $(\alpha + \gamma')$ - евтектоїд.

При азотуванні формуються покриття, що полягають із декількох різних по типу шарів. В випадку насичення нижче 560°C формується твердий α - шар з виділенням дисперсних нітридів: Шар - фази при цьому занадто тонкий, а ϵ - прошарок неміцний і крихкий. Насичення вище зазначеної температури формує поліфазну систему з нітридів і твердих розчинів із вторинним евтектоїдом. Для підвищення зносостійкості необхідним є формування двофазного $(\epsilon+\gamma')$ -покриття, дифузійно пов'язаного з гетерогенним α -азотистим нітридом.

З урахуванням вищевикладеного, а також з урахуванням відомих характеристик зміцненого шару для різних сталей, що пройшли карбонітрацію й режимів зміцнення для проведення експериментальних досліджень були прийняті наступні режими: температура - 570°C , час витримки - 3 години з наступним охолодженням у воді .

Проведені експериментальні дослідження показали, що застосування карбонітрації на даних режимах дозволило значно підвищити границю витривалості й зносостійкість ЧКВ, тому їх можна рекомендувати для впровадження.

4.2 Використане устаткування і особливості застосування процесу карбонітрації

У сучасному машинобудуванні завдання комплексного поліпшення експлуатаційних властивостей металевих матеріалів у значній мірі пов'язана з розробкою нових технологічних процесів поверхневого зміцнення деталей.

В основі всіх розроблених і застосовуваних у нас у країні і за рубежом технологій низькотемпературних процесів поверхневого зміцнення

закладений головний, принцип – окиснення ціанідів і ціанатів з утворенням активних атомів азоту й вуглецю в робочому розплаві, який уперше був реалізований у МГТУ ім. Н. Є. Баумана в методі карбонітрації й надалі під різними назвами став широко поширюватися по усьому світу.

Розроблений Д.А. Прокошкіним технологічний, склад розплаву для процесу карбонітрації (75...85 % KCNO + 15...25 % K_2CO_3) узятий за основу з невеликими змінами рядом закордонних фірм. Зокрема, визнаний світовий лідер у рідинних процесах поверхневого зміцнення німецька фірма «Durferrit» активно просуває технологію «Tenifer» по усьому світу.

Слід зазначити, що при проведенні процесу карбонітрації за рахунок окиснення ціанатів у ванні відбувається нагромадження карбонатів, що значно знижує активність розплаву і його текучість. Регенерація ванни є одним із ключових моментів при використанні технології карбонітрації на промислових підприємствах. Основним компонентом регенеруючих складів, є амонівуглицеві з'єднання: меламін, мелон, дициандіамід, які відновлюють карбонати до ціанатів.

Схематично реакцію регенерації можна представити в наступному виді:
карбонат (CO_3^{2-}) + регенератор \rightarrow ціанат (CNO^-).

Контроль і своєчасна регенерація розплаву приводить до одержання зміцнених шарів високої якості. Для реалізації даної технології розроблено й випускається технологічне устаткування, представлене на рис. 4.1.



Рисунок 4.1 - Схема технологічного устаткування для процесу карбонітрації.

При відсутності очисних споруджень на підприємствах дане устаткування може бути укомплектоване випарником промислових стоків. У цьому випадку технологія поверхневого зміцнення не має рідких відходів. Тверді відходи, що утворюються, у результаті випару відповідають 3-му класу (по 5-тибальній шкалі) небезпеки, самому безпечному для промислових відходів, які можуть бути утилізовані на будь-якому полігоні промислових відходів.

4.3 Розробка технологічного процесу зміцнення чавунних КВ

Технологічні процеси проектують відповідно до вимог стандартів ЕСКД і ЕСТД, а також з урахуванням доповнень, роз'яснень і обмежень, викладених у керівних технічних матеріалах і галузевих стандартах [15, 16].

При використанні даного технологічного процесу допускається заміна (у тому числі і для наведених у дужках варіантів заміни), зазначених у ньому обладнання та оснащення (приспосувань, інструменту тощо) іншими обладнанням та оснащенням, що забезпечують задані параметри хіміко-термічної обробки колінчастого валу.

005 Мийна

Промивання колінчастого валу

010 Дефектувальна

Огляд колінчастого валу на наявність дефекту

015 Слюсарна

Складання колінчастого валу

020 Термічна

Попередній підігрів садки з колінчастим валом

025 Карбонітрація

Витримка садка у розплаві солей

030 Гартузова

Охолодження садки з колінчастим валом

035 Мийне Промивання садки з колінчастим валом

040 Слюсарна Розбирання садки

045 Сушильна Просушування колінчастого валу

050 Контрольна Перевірка на дефекти поверхні колінчастого валу

Чавун високоміцний ВЧ 50-2 ГОСТ 7293-85

005

Мийна Ванна попереднього промивання М3312-Н-Д

Миючий засіб МС-8

Промити вал у гарячому розчині миючого засобу концентрацією 20 г/л

Чавун високоміцний ВЧ50-2 ГОСТ 7293-85

010 Дефектувальна

Стіл УЧ 20.00.00.000

Вимоги до поверхні основного металу колінчастого валу, підготовленого для карбонітрації:

- Колінчасті вали поставляються на карбонітрацію в механічно обробленому стані відповідно до вимог креслення;

- на поверхні колінчастого валу, що поставляються на карбонітрацію, не допускаються: забоїни, задирки, подряпини, закатана окалина, розшарування та тріщини, залишки стружки в отворах, корозійні пошкодження, шліфувальні припали, пори та раковини, у тому числі, що виявились у процесі шліфування, полірування;

- Допускаються подряпини та інші дефекти на поверхнях колінчастого валу, що не впливають на експлуатаційні властивості;

- Підготовку поверхні слід проводити в умовах, що виключають попадання на їхню поверхню пилу, сажі, гару, атмосферних опадів.

015 Слюсарна Пристрій лінії ТЛЖК

1. Зібрати колінчастий вал у садку на пристосуваннях.

020 Термічна

Пекти підігріву СШО-П-220/7.

1. Прогріти пекти до 350 0С.
2. Помістити садку у піч.
3. Витримати протягом години.
4. Вивантажити садок із печі.

025 Карбінтрація

Піч-ванна карбонітрації СШО-К-220/К

1. Прогріти пекти до 570 0С.
2. Помістити прогріту садку в піч.
3. Витримати у розплаві солей протягом 3 годин.
4. Вивантажити садку із печі-ванни карбонітрації.

030 Гартузова

Ванна промивки МЗ12-Н-Д

Набір технологічних інструментів ТЛЖК.

1. Помістити садку у ванну з температурою води 40-600С.
2. Витримати садку протягом 3-5 хвилин.
3. Вийняти садок із ванни.

035 Мийна

Ванна попереднього промивання МЗ12-Н-Д

Миючий засіб МС-8

1. Промити садку у гарячому розчині миючого засобу концентрацією 20 г/л.

040 Слюсарна

Пристосування лінії ТЛЖК

1. Розібрати садку з колінчастим валом.

045 Сушильна

Апарат високого тиску АВД

Набір технологічного інструменту

1. Просушити вал стисненим повітрям.

Чавун високоміцний ВЧ 50-2 ГОСТ 7293-85

050 Контрольна

Стіл УЧ 29.00.00.000

Набір технологічного інструменту ТЛЖК

Вимоги до зовнішнього вигляду карбонірованого шару:

- карбонірований шар повинен бути суцільним без сколів, лущення, тріщин, відшарувань, здуття та інших дефектів поверхні;
- колір покриття може мати матово-чорний або чорно-блискучий;
- колір покриття може мати поверхні у вигляді смуг, плям, що не є ознаками.

Допускається наліт коричневого кольору.

ВИСНОВКИ

1. Дослідження працездатності валів, що перебувають в експлуатації, показують, що ресурс КВ лімітує зношування корінних шийок, зношування яких відбувається в 1,21 рази швидше, ніж шатунних. Середня величина зносів становить 45...75 мкм у валів різних ремонтних розмірів. Поверхнева твердість шийок валів ЗМЗ 24-1005011-20 становить 191...205 НВ, що суттєво нижче значень, запропонованих технічною документацією, - 207...249 НВ. У той же час у валів УМЗ 4173.1005011 що пройшли загартування СВЧ твердість значно вище (481...548 НВ або 50...57,5 HRC) і відповідає вимогам на виготовлення даних валів.

2. При застосуванні карбонітрації на поверхні високоміцного чавуну утворюється зміцнений шар товщиною порядку 15...20 мкм і твердістю більш 600 НВ, що представляє собою ϵ -карбонітрид типу Fe_3N , під яким розташовується зона γ' -фази типу Fe_4N із - оксидним шаром (Fe_3O_4) товщиною близько 5...7 мкм і дифузійною зоною глибиною 400...450 мкм, що складається із твердого розчину вуглецю й азоту в залізі із включеннями карбонітридних фаз.

3. Розроблений технологічний процес зміцнення колінчастих валів з ВЧ 50 методом карбонітрації.

4. Розроблений технологічний процес зміцнення шийок колінчастих валів ЗМЗ 24-1005011-20, УМЗ 4173.1005015 карбонітрацією.