

НАУБІП УКРАЇНИ

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

01.12.МКР 1856 „С“ 25.11.20.006 ПЗ

ЧУТКИЙ ТИМОФІЙ СЕРГІЙОВИЧ

2021 р.

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет (ННІ) _____

Конструювання та дизайну _____

НУБІП України

УДК 631.3-027.45

ПОГОДЖЕНО

Декан факультету

Конструювання та дизайну

(назва факультету)

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

Надійності техніки

(назва кафедри)

НУБІП України

Ружи́ло З.В.

(підпис)

(ПІБ)

2021 р.

Нови́цький А.В.

(підпис)

(ПІБ)

2021 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Формування якості ремонту дизельних двигунів при відновленні
технічного стану валів колінчастих при вторинному використанні»

НУБІП України

Спеціальність

133 – «Галузеве машинобудування»

(код / назва)

Освітня програма

«Технічний сервіс машин та обладнання
сільськогосподарського виробництва

(назва)

Орієнтація освітньої програми _____

освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

НУБІП України

Гарант освітньої програми

К.Т.Н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

Нови́цький А.В.

(підпис)

(ПІБ)

Керівники магістерської кваліфікаційної роботи:

К.Т.Н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Ревенко Ю.І.

(ПІБ)

НУБІП України

консультант, ст. викл.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

О.М. Бистрий

(ПІБ)

Виконав: _____

(підпис)

Чуткий Т.С.

(ПІБ студента)

НУБІП України

НУБІП України

КИЇВ - 2021

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИ
ІНІА УКРАЇНИ

Факультет (ННІ) _____ Констр

та дизайну _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

НУБІП України

Завідувач кафедри Надійності техніки

(назва кафедри)

к.т.н., доцент _____

Новицький А.В.

(підпис)

(ПІБ)

_____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

НУБІП України

Чуткий Тимофій Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність _____

133 – «Галузеве машинобудування»

(код і назва)

Освітня програма _____

«Техічний сервіс машин та обладнання

сільськогосподарського виробництва

(назва)

Орієнтація освітньої програми _____

освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

НУБІП України

Тема магістерської роботи: «Формування якості ремонту дизельних двигунів при відновленні технічного стану валів колінчастих при вторинному використанні»

затверджена наказом ректора НУБІП України від 25 листопада 2020р.

№1856«С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру _____

2021.11.15

(рік, місяць, число)

НУБІП України

Вихідні дані до магістерської роботи Типові технологічні процеси технічного обслуговування та ремонту дизельних двигунів. Науково-технічна література по сучасним методам та способам відновлення деталей

Навчальна і періодична література з питань ремонтного виробництва

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Визначити вплив конструктивно-технологічних факторів на ресурс колінчастих валів двигунів внутрішнього згорання.

2. На основі аналізу статистичних даних визначити причини та закономірності відмов елементів ДВЗ. Виконати класифікацію деталей за конструктивно-технологічними факторами.

3. Виконати техніко-економічну оцінку ефективності проведених досліджень.

Дата видачі завдання "15" жовтня 2020 року

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доцент _____

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Ревенко Ю.І.

(ПІБ)

старший викладач _____

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Бистрий О.М.

(ПІБ)

Завдання прийняв до виконання _____

Чуткий П.С.

НУБІП України

НУБІП України

ЗМІСТ

ВСТУП..... 6

РЕФЕРАТ 8

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ФОРМУВАННЯ ЗАВДАНЬ ДО ВИКОНАННЯ
КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ..... 10

1.1. Технічні вимоги до колінчастих валів, які надходять в ремонт..... 10

1.2. Технологічні методи відновлення шийок колінчастих валів..... 11

1.3. Типові дефекти зварних швів..... 15

1.4. Основні висновки та завдання для виконання роботи..... 17

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ РОЗРОБКИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО
ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ШИЙОК КОЛІНЧАСТОГО ВАЛА..... 19

2.1 Показники якості відновленого колінчастого вала..... 19

2.2 Структурна схема технологічного процесу..... 19

2.3 Розрахунково-теоретичний метод визначення мінімальної товщини розрізної
ремонтної втулки..... 25

2.4 Аналіз умов забезпечення праяздатного стану сполучення шийки вала –
ремонтна втулка..... 29

2.5 Методика визначення натягу у поєднанні "шийка - ремонтна втулка"..... 31

2.6 Розрахунок технологічних напружень у привареній ремонтній втулці до
шийки колінчастого вала..... 34

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ,
ЗАСТОСОВУВАНЕ ОБЛАДНАННЯ ТА ПРИБЛАДИ..... 36

3.1 Загальна методика та структура досліджень..... 36

3.2. Методика оцінки технічного стану шийок колінчастих валів..... 38

3.3 Обробка результатів вимірів..... 41

3.4 Методика експериментальних досліджень із приварювання розрізної
ремонтної втулки..... 43

3.5 Методика дослідження якості відновленої поверхні..... 51

3.5.1 Методика виміру твердості..... 51

3.5.2 Методика визначення технологічних напружень у привареній ремонтній
втулці..... 52

3.6 Методика виробничих та експлуатаційних випробувань..... 53

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ШИЙОК КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ..... 54

4.1 Оцінка технічного стану колінчастих валів, що надійшли на відновлення.. 54

4.2 Визначення напружень у поєднанні шийка вала-ремонтна втулка. 60

4.3 Дослідження деформації стінок ремонтної втулки в процесі нагрівання двигуна..... 65

НУБІП України

РОЗДІЛ 5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕНОЇ ПОВЕРХНІ..... 70

5.1 Математична модель зв'язку технологічних напружень у ремонтній втулці та основних технологічних параметрів при зварюванні..... 70

5.2 Дослідження твердості привареної сталеві втулки..... 75

5.4. Результати випробувань на знос..... 78

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ..... 79

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ..... 81

ДОДАТКИ..... 85

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

Одним з основних завдань економічного та соціального розвитку аграрного сектору є підвищення темпів та ефективності розвитку економіки на основі прискорення науково-технічного прогресу, технічного переозброєння виробництва, інтенсивного використання створеного виробничого потенціалу та досягнення на цій основі подальшого піднесення життєвого рівня народу.

Подальший підйом сільського господарства - одне з основних напрямів економічного та розвитку країни. Зростання технічної озброєності сільського господарства викликає необхідність підвищення ефективності використання машин та знарядь у тому числі покращення якості їх ремонту та відновлення зношених деталей.

Підвищення якості ремонту автомобілів, тракторів та їх агрегатів дозволяє скоротити витрати запасних частин під час їх експлуатації. Одним із основних шляхів підвищення якості ремонту тракторів та автомобілів є вдосконалення технологій відновлення їх базових деталей.

У науці, що розвивається, про ремонт машин все більшого значення набувають завдання підвищення їх надійності і довговічності, вирішення яких дозволить підвищити якість відремонтованої техніки, збільшити продуктивність праці, повніше і ефективніше використовувати її ресурс, що забезпечить значну економію матеріальних і трудових ресурсів у народному господарстві.

Відомо, що ресурс двигуна значною мірою визначається станом шийок колінчастого валу, знос яких призводить до втрати тиску оливи та виходу двигуна з працездатного стану. Колінчастий вал є однією з дорогих та відповідальних деталей двигуна, тому його якісне відновлення має велике значення для зниження витрат при капітальному ремонті автотранспортних та тракторних двигунів.

Найбільш відомими способами відновлення зношених поверхонь валів є напилення, наплавлення та наварювання різних металів. Ці способи мають ряд

НУБІП України

істотних недоліків, такі як:

- складність та велика вартість спеціального технологічного обладнання;
- низька зносостійкість відновленої шийки або сполучного з нею вкладиша;
- високі технологічні напруги, що вносяться в колінчастий вал;

НУБІП України

- сильне нагрівання валу та його деформація

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РЕФЕРАТ

Удосконалення технологій відновлення шийок колінчастих валів та пошук нових способів нанесення металопокриттів на їх зношені поверхні є актуальним завданням ремонтного виробництва.

Метою роботи:

Є розробка технології відновлення шийок автотракторних колінчастих валів шляхом локального приварювання загартованих розрізних ремонтних втулок в умовах дрібносерійного виробництва.

Об'єктом дослідження є:

Вали колінчасті, які неможливо відновити шліфуванням у черговий ремонтний розмір.

Предмет дослідження:

Технологічні операції, пов'язані з приварюванням загартованої ремонтної розрізної втулки до шийки вала, що відновлюється.

Наукова новизна роботи.

1. Розрахунково-теоретичний метод визначення мінімальної товщини ремонтної втулки, що приварюється на відновлювану поверхню шийки колінчастого валу;
2. Методика визначення натягу та напруг у привареній ремонтній втулці;
3. Технологічні фактори, що визначають технологічну напругу в привареній ремонтній втулці та умови її надійної роботи при знакопермінному навантаженні.

Практична значимість:

Розглядається технологічний процес відновлення шийок колінчастих валів локальним приварюванням загартованої ремонтної розрізної втулки для умов дрібносерійного ремонтного виробництва.

НУБІП України
Цей процес дозволяє забезпечити застосування мінімально необхідної товщини сталевих стрічки, мінімально необхідні припуски на обробку шийок валу шліфуванням, високу якість відновленої поверхні шийок (виконання

НУБІП України
вимог креслення за твердістю, шорсткістю, відхиленнями форми та розмірами), відновити не тільки аварійні шийки у необхідний розмір, а й відновити шатунні та корінні шийки колінчастого валу в номінальний розмір при їхньому граничному зносі, зберегти втомну міцність відновленого валу на попередньому рівні.

НУБІП України
Розроблено спеціальне технологічне оснащення, що дозволяє реалізувати розроблений технологічний процес.

Реалізація результатів роботи:

НУБІП України
Розроблений технологічний процес відновлення шийок колінчастих валів автотракторних двигунів із застосуванням локального приварювання загартованої розрізної ремонтної втулки пройшов досліду перевірку та впроваджено в ЦП – «Фірма Агроцентр». За цією технологією відновлено більше ста колінчастих валів.

НУБІП України
За результатами попередніх проведених досліджень було підготовлено дві доповіді на наукові конференції по відновленню шийок колінчастих валів.

НУБІП України
Ключові слова: двигун, колінчастий вал, методи відновлення, корпусні деталі, дефекти, технічний стан, граничний стан, граничні розміри, ремонт, відновлення, дефектація,

СКОРОЧЕНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ДВЗ – двигун внутрішнього згорання;

ДД – дизельний двигун;

ЦПГ – циліндро-поршнева група;

КШМ – кривошипно-шатунний механізм

МО – механічна обробка

МК – маршрутна карта

БП – безпека праці;

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ФОРМУВАННЯ ЗАВДАНЬ ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ.

1.1. Технічні вимоги до колінчастих валів, які надходять в ремонт.

Колінчасті вали автотракторних двигунів зазвичай мають від трьох до семи корінних шийок та від двох до восьми шатунних шийок. Діаметр корінних шийок від 70 до 105 мм за довжини від 46 до 56 мм, діаметр шатунних шийок від 65 до 88 мм за довжини від 40 до 82 мм. Радіус кривошипу зазвичай становить 60...70 мм. Довжина колінчастих валів знаходиться в межах від 450 до 865 мм. Вали виготовляють штампуванням із сталей марок 45, 45Х, 45Г2, 50Г, 40ХНМА, 18ХНВА або виливком із високоміцного чавуну з кулястим графітом твердістю HB 200...255, модифікованого магнієм.

Шийки сталевих валів піддають поверхневому гартуванню ТВЧ до твердості ПДВ 50...60 на глибину 3...5 мм. Іноді шийки сталевих валів азотують.

Колінчастий вал є дуже точною, прецизійною деталлю. Колінчасті вали автомобільних двигунів мають шийки, оброблені з допуском 0,015 мм, при відхиленнях форми 0,005 мм, і з шорсткістю $Ra = 0,16$ мкм. Для тракторних двигунів ці вимоги є менш жорсткими. Відхилення форми становить 0,015 мм, а шорсткість $Ra = 0,32$ мкм. Радіальне биття середньої корінної шийки щодо крайніх для автомобільних та тракторних валів відповідно дорівнює 0,01 мм та 0,02 мм.

Після отримання вихідної заготовки, технологічний маршрут виготовлення колінчастого валу складається з наступних основних операцій: обробка технологічних баз (фрезерування торців та свердління центрових отворів); чорнове та чистове точіння або фрезерування корінних та шатунних шийок; термічна обробка шийок (загартування струмами ТВЧ); попереднє та чистове шліфування шийок; кінцева обробка шийок (суперфінішування, полірування), балансування та магнітна дефектоскопія валу.

У процесі експлуатації колінчасті вали зношуються і набувають

законімірних дефектів. Основні дефекти колінчастого валу: знос, поява задириів та тріщин на шатунних і корінних шийках; знос шийок під шестерню та шків; знос поверхонь під штифти, шпонкових пазів; прогин колінчастого валу. При

відновленні колінчастих валів головним чином відновлюють корінні та шатунні шийки. Частота прояву інших дефектів незначна, та й їх усуненню, зазвичай, потребує не великих труднощів [11].

На першому етапі експлуатації колінчастих валів шийки шліфують у ремонтні розміри, які передбачені заводами-виробниками. На наступних етапах доцільно для багатьох валів вводити операції відновлення для продовження їх терміну служби.

1.2. Технологічні методи відновлення шийок колінчастих валів.

Найбільш відомими методами відновлення зношених поверхонь шийок валів є наплення, наплення та наварювання різних металів.

При плазмовому напленні відбувається перенесення металу (спеціального порошку) від анода до деталі через катод, що прискорює. Електрична дуга між анодом і катодом нагріває та перетворює робоче тіло установки (аргон) на плазму з температурою в кілька тисяч градусів. Виходячи з сопла установки з великою швидкістю, плазма захоплює частинки порошку, що подаються в зону дії плазмової дуги, які набувають у струмені велику швидкість і температуру. При попаданні на поверхню шийки частинки порошку, що розплавилися в струмені, зчіплюються з нагрітою поверхнею, застигають і утворюють нове покриття [8,51,53].

У процесі нанесення покриття деталей нагрівається тим сильніше, чим більша товщина покриття. Місцевий нагрів шийки призводить до деформації всього валу. Іншим серйозним недоліком плазмового наплення є суттєва різниця між напленим металом (нікель, титан та ін.) та основним металом валу (сталь, чавун).

Більше того, наплені метали погано шліфуються, швидко засолюючи абразивні круги, внаслідок чого знижується якість обробленої поверхні та збільшується частота правки шліфувального круга. Повторне відновлення

НУБІП УКРАЇНИ

утруднено, оскільки необхідно в цьому випадку знімати весь напилений шар до основного металу.

Нагрівання порошку може проводитися і в струмені полум'я ацетиленокисневого пальника. Цей спосіб простий, але має всі недоліки попереднього. Крім того, йому притаманна низька міцність зчеплення з основним металом.

Різні способи напилення мають суттєві недоліки.

- дають місцевий перегрів та деформацію валу;
- вимагають ретельної попередньої підготовки відновлюваних поверхонь;
- не вдається отримати високу міцність зчеплення з деталлю;
- матеріал покриття суттєво відрізняється від основного металу (твердість, пористість, зносостійкість тощо);
- викликають підвищений знос деталі, що сполучається (вкладиша).

Виключити деякі недоліки напилення, пов'язані з матеріалом покриття та міцністю його зчеплення з валом, дозволяють різні способи наплавлення.

На Запорізькому моторобудівному виробничому об'єднанні [25] розроблений метод, сутність якого полягає в тому, що на попередньо підготовлені та нагріті ТВЧ до 250°C шийки колінвалів наплавляють дротом Нп-30ХПСА під шаром флюсу АН-348А. Після наплавлення шийки піддають відпуску ($600\text{...}650^{\circ}\text{C}$), а потім вал правлять. Потім наплавлені шийки обробляють на токарному верстаті та попередньо шліфують. Далі струмами високої частоти (ТВЧ) шийки загартовують до HRC 44...48, правлять методом карбування і піддають відпуску низькотемпературному ($200\text{...}250^{\circ}\text{C}$), протягом 2,5 годин. Після чистового шліфування шийки піддають магнітній дефектоскопії, а потім полірують. По завершенні обробки різанням колінчасті вали балансують.

За методом фірми "Pega" [25] відновлення шийок колінчастого валу ведуть наплавленням під шаром флюсу дротяним електродом діаметром 1,2 мм. Дуга горить під шаром флюсу, що унеможливило доступ кисню та азоту з атмосфери.

НУБІП України

Метал, покритий шлаком, охолоджується порівняно повільно, що створює передумови для виходу газових бульбашок зі сплаву та знижує утворення тріщин у наплавленому шарі. Твердість наплавленого шару HRC 45...55.

НУБІП України

За запропонованою технологією цієї фірми, послідовність відновлення шийок валу наступна. Виявляють тріщини і обробляють їх або шліфувальною машинкою, або вручну. Шийки із задирками та іншими дефектами шліфують. Отвори каналів під оливу закладають спеціальним цементом. Вал встановлюють на верстат, шийку, що наплавляється, нагрівають до температури 250°C і наплавляють м'яким електродом з низьким вмістом вуглецю, а потім - легованим електродом. Наплавлення ведуть у два і більше шарів залежно від ступеня зношування поверхні шийки. Припуск на обробку різанням шийки встановлюють щонайменше 3 мм. Аналогічно виконують операції із іншими шийками.

НУБІП України

Відразу після наплавлення колінчастий вал встановлюють в рихтувальний верстат і правлять до стану, при якому биття валу не перевищує 0,1 мм. Якщо відновлювали всі шийки, то вал для зняття залишкової напруги подають у термічну пнч, а якщо відновлювали кілька шийок, то вал поміщають в енергетичну установку на 15 хвилин і піддають коливанням для зняття напруги. Потім вал охолоджують до 100°C, і наплавлені шийки попередньо шліфують, після чого на цьому ж верстаті переносним пацьником гартують оброблені шийки. За допомогою спеціальної фрези розкривають масляні канали та шліфують на їх кромках фаски. Після цього шийки колінчастого вала шліфують остаточно, а потім полірують.

НУБІП України

Усунути перегрів вала дозволяє вібро - дугове наплавлення. У цьому випадку зварювальне пристосування, що подає дріт, має спеціальний механізм, що створює коливання зварювального дроту. Перенесення металу з дроту на деталь здійснюється за рахунок чередування електричної дуги (нагрів) і короткого замикання. Цей спосіб дозволяє здійснити подачу охолодної рідини в зону наплавлення. Охолодження суттєво знижує температуру зварювального шва та деформацію вала.

НУБІП України

НУВБІП УКРАЇНИ

В даний час успішно застосовують наварювання стрічки на шийку валу. Стрічка, що наварюється, притискається до відновлюваної шийки мідними роликами. У місці контакту стрічки з валом при проходженні електричного струму кілька тисяч ампер відбувається розплавлення металу з його одночасним

пластичним деформуванням за рахунок притискання роликів стрічки до валу. Цей метод допускає подачу більшої кількості рідини, що охолоджує, в зону зварювання. В результаті метал стрічки, приварюючись до валу, загартовується і набуває високої твердості.

Стрічка для наварки може бути як сталева, так і порошкова. Товщина стрічки, що наварюється, близько 0,5 мм. Спосіб допускає наварювання послідовно двох-трьох шарів стрічки з проміжним шліфуванням та низьким відпуском вала для зняття залишкових напружень.

До основних недоліків способу наварювання стрічки слід віднести наступні

[53]:

- висока технологічна напруга в навареній стрічці;
- зміна твердості стрічки в великих межах;
- мала товщина першого шару стрічки, що наварюється;
- деформація валу, що відновлюється;
- зниження втомної міцності відновленого валу;
- наявність мікротріщин у поверхневому шарі навареної стрічки;
- висока технологічна собівартість наварювання стрічки.

Оцінку якості (за твердістю за шкалою HRC та межі витривалості в відновленні [колінчастих валів] різними методами нарощування металу порівняно з новими (індекс «Н») дають дані, наведені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1

Властивості колінчастих валів після відновлення різними способами

Спосіб нарощування	ШСр/ШСн	@ уа.ін
1. Хромування	0,4...1,2	0,5...0,8
2. Вібродугове наплавлення в рідині	0,7...0,9	0,4...0,5
3. Автоматична наплавка серед CO ₂	0,8...0,9	0,6...0,7
4. Автоматичне наплавлення порошковим дротом	0,9...1,0	0,6...0,7
5. Автоматична наплавка під флюсом з додаванням ферохрому та графіту	0,8...1,1	0,7...0,8

6. Автоматична наплавка під флюсом з високотемпературною відпусткою та загартуванням ТВЧ після обробки різанням	0,9...1,0	1,0
---	-----------	-----

1.3. Типові дефекти зварних швів.

Дефекти зварних швів можна поділити на дві групи. До першої групи відносяться дефекти, викликані металургійними, термічними та гідродинамічними явищами, що відбуваються у процесі утворення шва. Це гарячі (кристалізаційні) та холодні тріщини в металі шва та навколошовній зоні, пори, шлакові включення, флокени, зона несплавлення, а також несприятливі зміни властивостей металу навколошовної зони. До другої групи дефектів, що утворюються при формуванні шва, відносяться непровари, підрізи, напливи, пропалювання, кратери та ін.

Виникнення гарячих тріщин пов'язане з хрущенням металу при високотемпературному нагріванні. Температурний інтервал крижкості залежить від режиму зварювання. Розрізняють відповідно нижню T_n та верхню T_v температурні точки початку та кінця утворення тріщини. Вище T_v метал знаходиться в рідко-твердому стані і має високу пластичність в результаті циркуляції рідкої фази між кристалами. Нижче T_v у шві кристали утворюють каркас, і міцність шва підвищується, а пластичність знижується. Це призводить до загартовування кристалів при деформації в процесі охолодження і крижкому руйнуванню металу по рідких рідких плівках при охолодженні до T_n . Оскільки кристалізація металу шва починається з дна зварювальної ванни, рідка фаза в міру утворення кристалітів переходить до поверхні, на якій виявляються гарячі тріщини.

Гарячі тріщини іноді виникають у навколошовній зоні, при температурах нижче за точку плавлення основного металу, коли на межах зерен збираються поверхнево-активні речовини, у тому числі і шкідливі домішки.

Зниження небезпеки утворення гарячих тріщин може бути досягнуто раціональним легуванням сталі, використанням способів та режимів зварювання з мінімальним тепловим впливом на зварювальний шов.

НУБІП УКРАЇНИ

Холодні тріщини - локальне руйнування металу в процесі міжкристалітних та структурних перетворень у твердому стані. Вони утворюються безпосередньо після закінчення зварювання при охолодженні нижче 200... 100°C або післязварювальний період протягом декількох діб, а також, якщо метал в одній із зон зазнає загартування.

НУБІП УКРАЇНИ

На ділянці вогнища руйнація відбувається за межами зерен, але в ділянці розвитку - як в межах, так і по тілу зерен, і супроводжується пластичною деформацією навколишнього металу. Виникнення тріщин за межами зерен є наслідком високої концентрації дефектів кристалічної решітки та накопичення атомів домішок.

НУБІП УКРАЇНИ

Для підвищення стійкості сталей утворенню холодних тріщин існують різні способи. Основні з них наступні.

1. Вплив на структуру металу зварного з'єднання тепловим впливом - попереднім, супутнім підігрівом та подальшою відпусткою.

2. Застосування при зварюванні матеріалів з нижчою температурою кристалізації шва, ніж у основного металу.

3. Ретельне очищення кромки стрічки, що зварюються, і присадного дроту від жирів, іржі, вологи.

4. Повільне охолодження зварного шва супутнім підігрівом та подальшою відпусткою при температурі 280°C

5. Зниження рівня зварювальної напруги карбуванням, прокаткою шва.

6. Суворе дотримання встановленого технологічного режиму зварювання.

Пори в зварних швах виникають при первинній кристалізації розплавленого металу в результаті виділення газів і розташовуються по осі шва, його перерізу або поблизу межі сплавлення. Пори можуть виходити чи виходити поверхню шва. Основними газами, що утворюють пори, є водень, азот та окис вуглецю.

Якщо утворення цих газів відбувається коли метал у зварювальній ванні знаходиться в рідкому стані, то вони встигають виділитися з нього у вигляді пухирців. Пори з'являються в тих випадках, коли метал починає

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП України

кристалізуватись і гази залишаються всередині зварного шва.

Технологічні дефекти суттєво знижують працездатність зварного з'єднання.

Концентрація напруг у зварних з'єднаннях за наявності пор, непроварів, підрізів та інших дефектів значно знижує їхню втомну міцність. При цьому чим більше розмір дефекту, тим нижче межа витривалості. Так, непровари в 10% товщини перерізу шва знижують втомну міцність з'єднання наполовину. Пори стають осередками втомних руйнувань на ділянках високих розтягуючих залишкових напружень.

НУБІП України

1.4. Основні висновки та завдання для виконання роботи.

З проведеного аналізу літературних джерел можна зробити певні висновки та сформулювати наступні завдання

1. Основною причиною, що викликає потребу у відновленні шийкоколінчастих валів, є їх аварійне зношування (1...4 ремонтних розміри) та досить висока вартість колінчастих валів.

2. Незважаючи на велику різноманітність способів нанесення металопокриттів на зношені шийки колінчастого валу, проблема їх відновлення, особливо в умовах дрібносерійного ремонтного виробництва, залишається актуальною.

3. Серед існуючих способів нанесення металопокриттів найбільш перспективним є спосіб електроконтактного приварювання сталеві стрічки, однак, і він містить істотні недоліки і вимагає вдосконалення.

Виходячи із загальних висновків, метою даної роботи є вдосконалення технології відновлення шийок колінчастих валів автотракторних двигунів шляхом локального приварювання загартованої розрізної ремонтної втулки в умовах дрібносерійного виробництва. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання.

1. Розробити ефективний спосіб відновлення шийок колінчастих валів для умов дрібносерійного виробництва.

2. Розробити розрахунково-теоретичний метод визначення мінімальної

НУБІП України

НУБІП України

товщини сталеві стрічки виготовлення розрізної ремонтної втулки.

3. Розробити розрахунково-експериментальний метод визначення натягу у поєднанні шийка - ремонтна втулка та технологічних напруг у ремонтній втулці.

НУБІП України

4. Дослідити фізико-механічні властивості зварного шва та стінок ремонтної втулки.

5. Розробити технологічний процес для реалізації запропонованого способу відновлення шийок колінчастих валів.

6. Розрахувати техніко-економічні показники ефективності відновлення колінчастих валів за розробленою технологією.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ РОЗРОБКИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ШИЙОК КОЛІНЧАСТОГО ВАЛА.

2.1 Показники якості відновленого колінчастого вала.

У даній роботі поставлена мета розробки нового технологічного методу відновлення шийок колінчастого вала ДВЗ, при цьому у формі технічного завдання встановлюються показники якості відновленої деталі, які мають бути забезпечені відповідним технологічним процесом.

Для відновленого колінчастого вала із застосуванням запропонованого методу показниками якості будуть:

- точність розмірів шийок;
- шорсткість поверхні шийок;
- твердість поверхні шийок;
- межа втомної міцності вала;
- ремонтна технологічність вала;
- довговічність відновлених шийок.

Кожен показник якості ПК_i відновленого колінчастого вала характеризується певними технологічними параметрами, які можна подати у вигляді аналітичної функції

$$ПК_i F(X_1; X_2; \dots; X_m) \quad (2.1)$$

де i – відповідний показник якості

$X_1; X_2; \dots; X_m$ - технічні параметри кожного показника якості ПК_i;

m – кількість технічних параметрів.

Вираз (2.1) слід як систему рівнянь щодо параметрів при відомих значеннях показників якості ПК_i;

Розв'язання цих рівнянь виконується аналітично з використанням конструкторсько-технологічного підходу та шляхом розробки структурної схеми технологічного процесу відновлення колінчастого вала.

2.2 Структурна схема технологічного процесу.

На основі аналізу сучасних технологій відновлення шийок колінчастих валів автотракторних двигунів було запропоновано та досліджено

вдосконалений технологічний процес, що містить у своїй основі приварювання загартованої розрізної ремонтної втулки на шийку, що відновлюється.

Розглядається технологічний процес пов'язані з усуненням тільки зносів шатунних і корінних шийок колінчастих валів. Маршрут містить технологічні операції, які мають виконуватися у строго певній послідовності.

Колінчастий вал, що відновлюється, розглядали як "заготівлю" на всіх стадіях технологічного процесу. На кожній операції в певній послідовності змінювалися встановлені вхідні параметри, що характеризують певні властивості заготівлі. При завершенні технологічного маршруту всі параметри якості відновленого колінчастого валу, що розглядаються, повинні відповідати заводським параметрам.

Розглянемо структурну схему пропонованого технологічного процесу відновлення шийок колінчастого валу, наведену на рис. 2.1. На операції 1 виконують дефектацію валів, що надійшли відновлення.

В процесі дефектації визначають основні вхідні параметри якості заготовки валу, які виражені величинами $X_1^1, X_1^2, X_1^3, X_1^4, X_1^5$. Потім заготовка послідовно проходить через всі технологічні операції 2,3,4,5,6,7,8,9,10 і 12 маршрутами в результаті виконання яких змінюються величини якості, з'являється ряд нових операційних показників якості і, в кінцевому підсумку, на останній операції 12 в результаті контролю встановлюють усі значення показників якості, які повинні перебувати у встановлених заводом-виробником межах.

Кожна технологічна операція характеризується величинами параметрів режимів різання, температурами нагріву, умовами її виконання тощо, які на структурній схемі позначені через Z_1, Z_2, \dots, Z_{12} .

Через зазначені змінні фактори здійснювався вплив при кожній операції на об'єкт дослідження.

Аналіз структурної схеми технологічного процесу дозволяє вирішувати численні технологічні завдання:

- оцінювати похибки окремих операцій;

НУБІП України

- вивчати технологічну спадковість;
- закони трансформації похибок від операції до операції;
- розробляти статистичний аналіз точності на будь-якій операції;
- призначати операційні та загальні допуски та припуски;

НУБІП України

- складати моделі технологічних операцій та всього маршруту;
- визначати кореляційні залежності між входними та вихідними параметрами якості деталей, що відновлюються;
- визначати статистичні характеристики розподілу входів та виходів.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

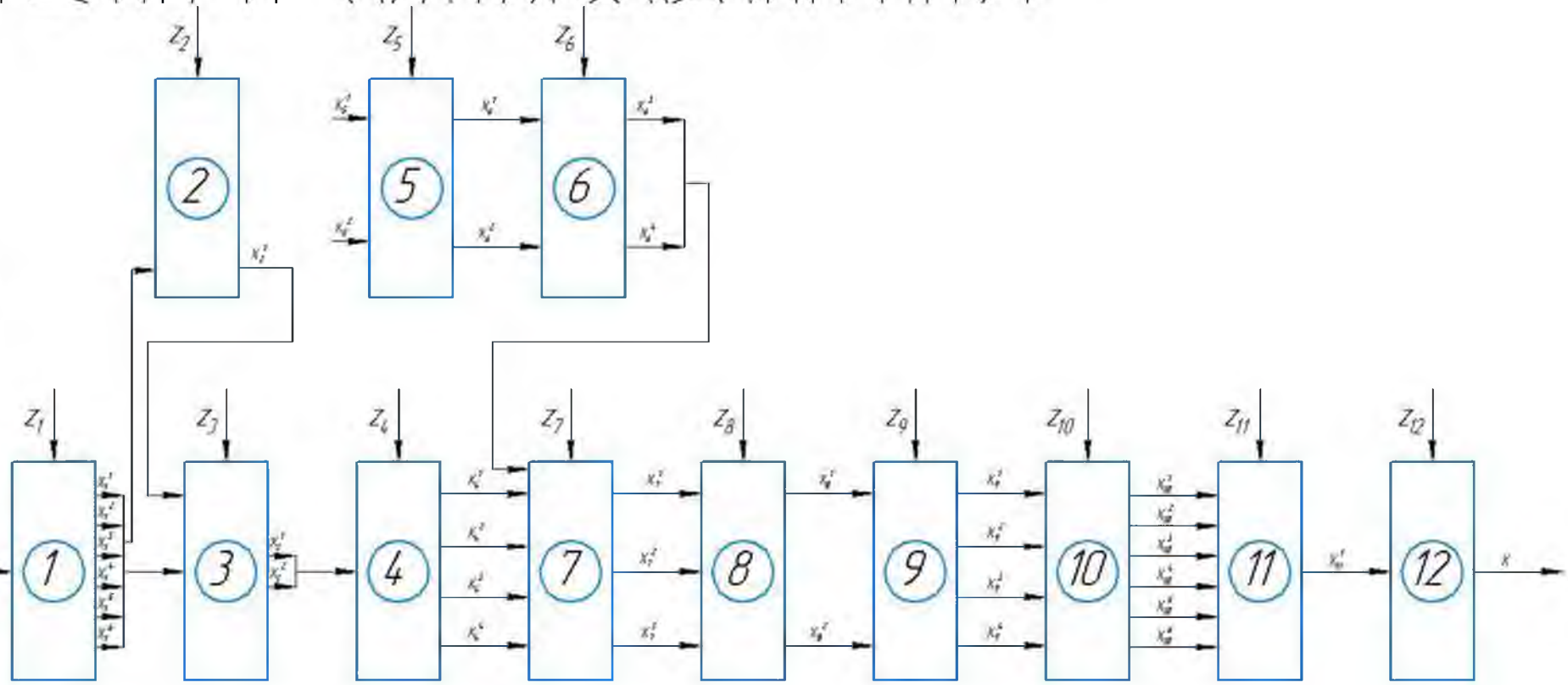


Рисунок 2.1 - Структурна схема технологічного процесу відновлення шийок колінчастих валів

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 - відповідно технологічні операції: дефектувальна, термічна, слюсарна, шліфувальна (попередня); 5а, б - слюсарна, термічна; 5 - слюсарна; 6 - зварювальна; 7 - термічна; 8 - шліфувальна (остаточна), полірувальна; 9 - контрольна; 10 - шліфувальна; 11 - слюсарна; 12 - контрольна.

$X^1, X^2 \dots X^{10}$; $X_1, X_2 \dots X_{11}$ - параметри, що оцінюють якість заготовки валу на відповідних технологічних операціях маршруту відновлення; p - кількість технологічних операцій; $X^1, X^2 \dots X^{10}$ - кількісні характеристики параметрів якості заготовки на відповідних технологічних операціях відновлення; $Z_1, Z_2 \dots Z_{12}$ - технологічні фактори, визначальні умови виконання технологічних операцій

НУБІП України

X_0 - технічні вимоги до креслення

X_1^1 - розміри шийок

X_1^2 - знос

НУБІП України

X_1^3 - прогин

X_1^4 - наявність тріщин

X_1^5 - наявність дефектного поверхневого шару (припали, термічні тріщини)

X_1^6 - контроль масляних каналів

НУБІП України

X_2^1 - прогин вала

X_3^1 - прогин вала

X_3^2 - радіус кривошипу

X_4^1 - Розміри шийок

НУБІП України

X_4^2 - радіус жолобиків

X_4^3 - радіус кривошипу

X_4^4 - наявність тріщин

X_5^1 - матеріал стрічки

НУБІП України

X_5^2 - товщина стрічки

X_6^1 - розміри стрічки

X_6^2 - гранність розрізної втулки

X_6^3 - твердість стрічки

X_6^4 - чистота поверхні

НУБІП України

X_7^1 - якість зварних швів

X_7^2 - прилягання стінок втулки до вала

X_7^3 - наявність зварювальних тріщин

X_8^1 - наявність тріщин

НУБІП України

X_8^2 - прогин

НУБІП україн

X_8^3 - прилеглість втулки

X_9^1 - виступання швів

X_9^2 - прогин шва

НУБІП україн

X_9^3 - наявність тріщин

X_9^4 - контроль масляного каналу

X_{10}^1 - розмір шийок

X_{10}^2 - відхилення форми шийок

НУБІП україн

X_{10}^3 - радіус жолобників

X_{10}^4 - шорсткість поверхні

X_{10}^5 - прогин

X_{10}^6 - наявність тріщин

X_{11}^1 - заокруглення гострих кромок

НУБІП україн

НУБІП україн

НУБІП україн

НУБІП україн

2.3 Розрахунково-теоретичний метод визначення мінімальної товщини розрізної ремонтної втулки.

При розробці технологічного процесу відновлення шийок колінчастого валу для виконання жорстких технічних вимог креслення за точністю геометричних параметрів шийок, за якістю їхньої поверхні, точності розташування та радіального биття важливе значення має визначення мінімально необхідних як між операційних припусків та допусків на всіх стадіях технологічного маршруту відновлення, так і загальний припуск і допуск металопокриття, що наноситься. Встановлена величина загального припуску доведе мінімально необхідну товщину сталевий стрічки, що використовується для виготовлення розрізної ремонтної втулки, скоротить трудомісткість відновлення, витрата матеріалів та електроенергії.

У технології машинобудування глибоко розроблено методику розрахунку технологічних припусків на технологічні операції з обробки матеріалів різанням. Професором А.А. Зуєвим запропоновано поняття ремонтно-технологічного припуску та ремонтного припуску, які враховують специфіку відновлення зношених деталей.

Розглянемо маршрут обробки різанням відновлюваних шийок колінчастого валу двигуна, що мають після останнього ремонтного розміру експлуатаційні зноси $\Delta_{\text{знос}}$. Маршрут містить наступні технологічні операції (за змістом)

- шліфувальну (попереднє шліфування шийок у розрахунковий розмір);
- зварювальну (приварювання загартованих розрізних ремонтних втулок);
- шліфувальну (остаточне шліфування шийок у номінальний - встановлений розмір);
- полірувальну (полірування шийок).

На рисунку 2.2 наведена схема розташування полів припусків і допусків на обробку різанням шийок колінчастого валу, що відновлюються, в номінальний розмір нового (заводського валу d_1). У схемі прийнята система відліку припусків і допусків від номінального значення діаметра $D_1 \rightarrow 0 - \theta$. Основними

НУБІП УКРАЇНИ

параметрами у схемі є номінальний діаметр D_1 , номінальний діаметр відновленої шийки $D_4 = D_1$ та номінальний розмір нарощеної шийки D_3 , щодо

яких мінімальний припуск на попереднє шліфування шийок дорівнює

$$Z_{\min} = 2(R_{ZE} + T_E + \sqrt{\Delta_{крп}^2 + \Delta_{y1}^2}) \quad (2.2)$$

де R_{ZE} , T_E - відповідно висота нерівностей шорсткості та дефектний шар поверхні шийки після експлуатації валу;

$\Delta_{крп}$ - кривизна валу;

Δ_{y1} - похибка установки валу на шліфувальній операції.

Похибка установки колінчастого валу, що відновлюється, на шліфувальній операції:

$$\Delta_{y1} = \sqrt{\Delta_{\delta}^2 + \Delta_3^2 + \Delta_{np}^2} \quad (2.3)$$

де Δ_{δ} - похибка базування, мм;

Δ_3 - похибка закріплення валу;

Δ_{np} - похибка пристосування, мм.

Мінімальний припуск на остаточне шліфування дорівнює

$$Z_{\min} = 2(R_{ZH} + T_g + \sqrt{\Delta_{крп}^2 + \Delta_{y1}^2}) \quad (2.4)$$

де R_{ZH} - висота нерівностей навареної втулки;

T_g - дефектний шар навареної втулки;

$\Delta_{крп}$ - кривизна валу після наварювання втулок;

Δ_{y1} - похибка установки валу на другій шліфувальній операції

Після зварювальної операції, на якій до попередньо оброблених шийок валу будуть приварені розрізні ремонтні втулки, виконують шліфувальну операцію, на якій шийки валу шліфують у номінальний (ремонтний) розмір, а потім полірують.

НУБІП УКРАЇНИ

Для виконання цієї обробки у схемі полів припусків та допусків (рисунк 2.2) передбачено технологічний припуск Z_T , який дорівнює

$$Z_T = T_{d3} + Z_{2min} + T_{d4} + T_{d5}, \quad (2.5)$$

де T_{d3} – допуск на наросену сталевую втулкою шийку;

Z_{2min} – припуск на остаточне шліфування;

T_{d4} – допуск на розмір шийки після остаточного шліфування;

T_{d5} – допуск на відновлену шийку.

Для забезпечення якості відновлення шийок колінчастого валу на рівні нового валу

поля відповідних допусків розташовані у металі.

Зі схеми на рисунку 2.2 видно, що ремонтно-технологічний припуск $Z_{p.m}$ дорівнює:

$$Z_{p.m} = Z_p + Z_m - T_{d1}, \quad (2.6)$$

де Z_p – ремонтний припуск;

Z_m – технологічний припуск;

T_{d1} – допуск на номінальний діаметр.

Ремонтний припуск Z_p містить сумарний шар металу шийки, призначений для ремонтних розмірів. Їх кількість може бути 4; 5 і більше і вони можуть розташовуватися одне від одного через 0,25 або 0,5 мм. Крім того, він повинен враховувати експлуатаційне зношення $\Delta_{знос}$, припуск на попереднє шліфування Δ_{1min} . Для усунення дефектів зношення шийок, а також шар металу, який в подальшому при експлуатації відновленого колінчастого валу після всіх ремонтних розмірів забезпечить залишкову товщину стрічки та її відповідну механічну міцність $Z_{ост}$. Таким чином, ремонтний припуск дорівнює

$$Z_p = Z_{\Sigma p.p} + \Delta_{знос} + Z_{1min} + Z_{зали} + T_{d1}, \quad (2.7)$$

де $Z_{\Sigma p.p}$ – сумарний припуск на ремонтні розміри;

$\Delta_{знос}$ – знос шийки валу, що підлягає відновленню;

Z_{1min} – мінімальний припуск на попереднє шліфування;

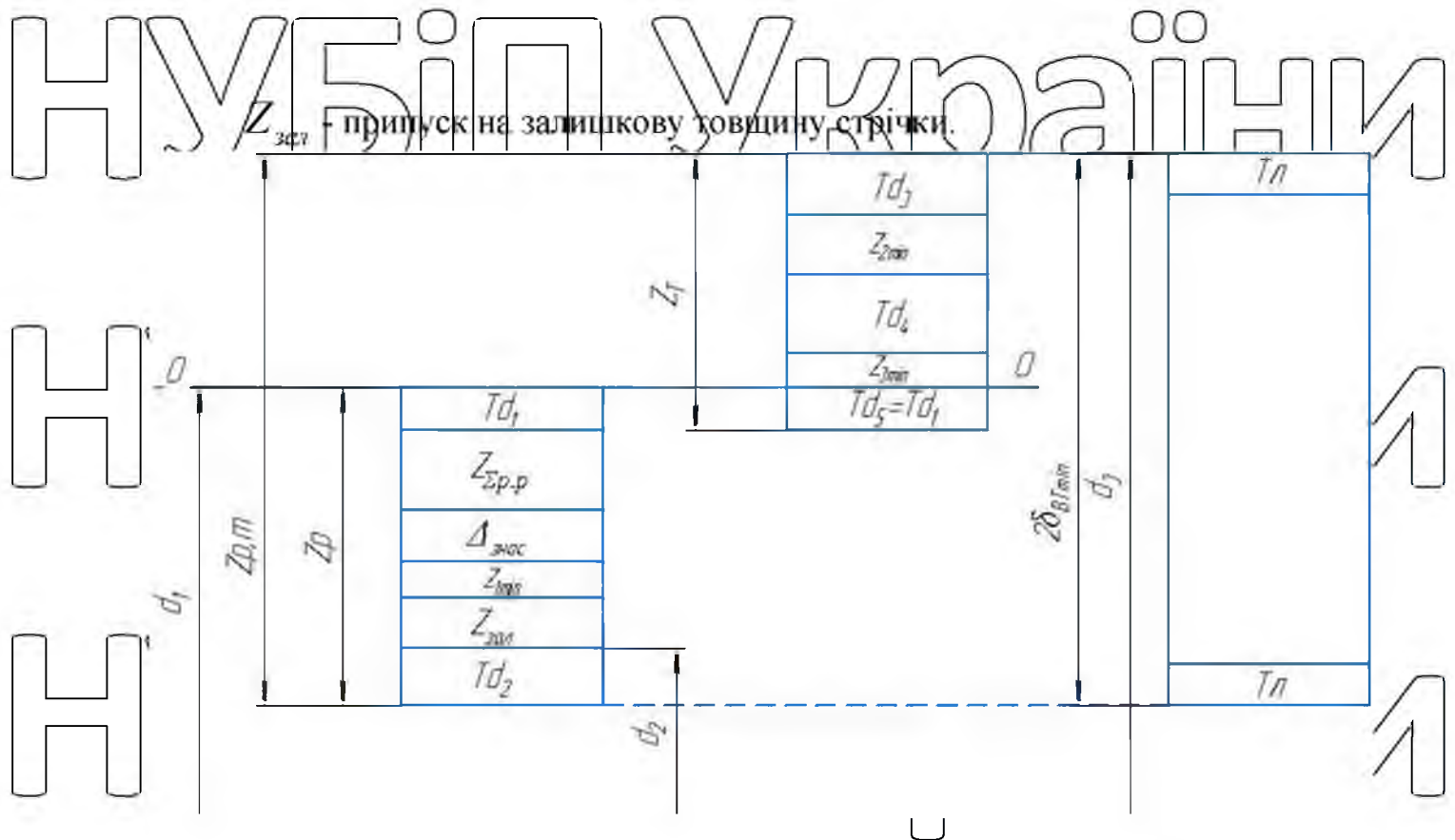


Рисунок 2.2 Схема полів припусків та допусків на обробку різанням

відновлюваних шийок колінчастого валу

d_1, d_2, d_3 - відповідно номінальний, розрахунковий та нарощений діаметри шийки; $Td_1, Td_2, Td_3, Td_4, Td_5$ - відповідно допуски на номінальний, розрахунковий, нарощений діаметри та на діаметри шийок після шліфувальної та полірувальної операцій; $Z_{1min}, Z_{2min}, Z_{3min}$ - відповідно мінімальні припуски на попереднє та остаточне шліфування та на полірування; $\Delta_{знос}$ - знос шийки при останній експлуатації; $Z_{\Sigma p-p}$ - сумарний припуск на ремонтні розміри; $Z_{зал}$ - припуск на залишкову товщину ремонтної втулки; $\delta_{ст}$ - товщина стінок ремонтної втулки; T_l - допуск на товщину ремонтної втулки.

Запропонована схема полів припусків і допусків на обробку різанням шийок колінчастого валу, що відновлюються, дозволяє вивести розрахункову формулу для визначення мінімальної товщини сталевий стрічки, що використовується для виготовлення різних ремонтних втулок, що приварюються до відновлюваних шийок колінчастих валів у номінальний розмір.

Вона буде рівна

НУБІП України

$$S_{BT_{min}} = 0,5(Z_p + Z_T - Td_1) = 0,5Z_{PT} \quad (2.8)$$

Викладена методика визначення міжопераційних припусків і допусків на шийки колінчастого валу, що відновлюються, дозволяє виявити технологічні фактори, враховуючи які, можна забезпечити високу якість його відновлення на рівні нового з мінімальними витратами на обробку різанням і високою продуктивністю.

2.4 Аналіз умов забезпечення працездатного стану сполучення шийка валу – ремонтна втулка.

Працездатний стан сполучення шийка валу - ремонтна втулка залежатиме від натягу та технологічних напруг у стінках ремонтної втулки.

Натяг у парі створюється в процесі зварювання стикового зварного шва вздовж осі шийки. У стиковий зазор розрізної ремонтної втулки вводять присадний метал і за допомогою плазми в середовищі аргону його разом з поверхневим шаром шийки валу розплавляють до утворення рідкої ванни, яка при швидкому відведенні теплоти в тіло валу застигає, при цьому відбувається її усадка і натягування ремонтної втулки валу. В результаті зазначеного процесу довжина ремонтної втулки по колу зменшується і у сполученні формується натяг. На рисунку 2.3 показано схему полів допусків утвореного при відновленні шийки валу сполучення.

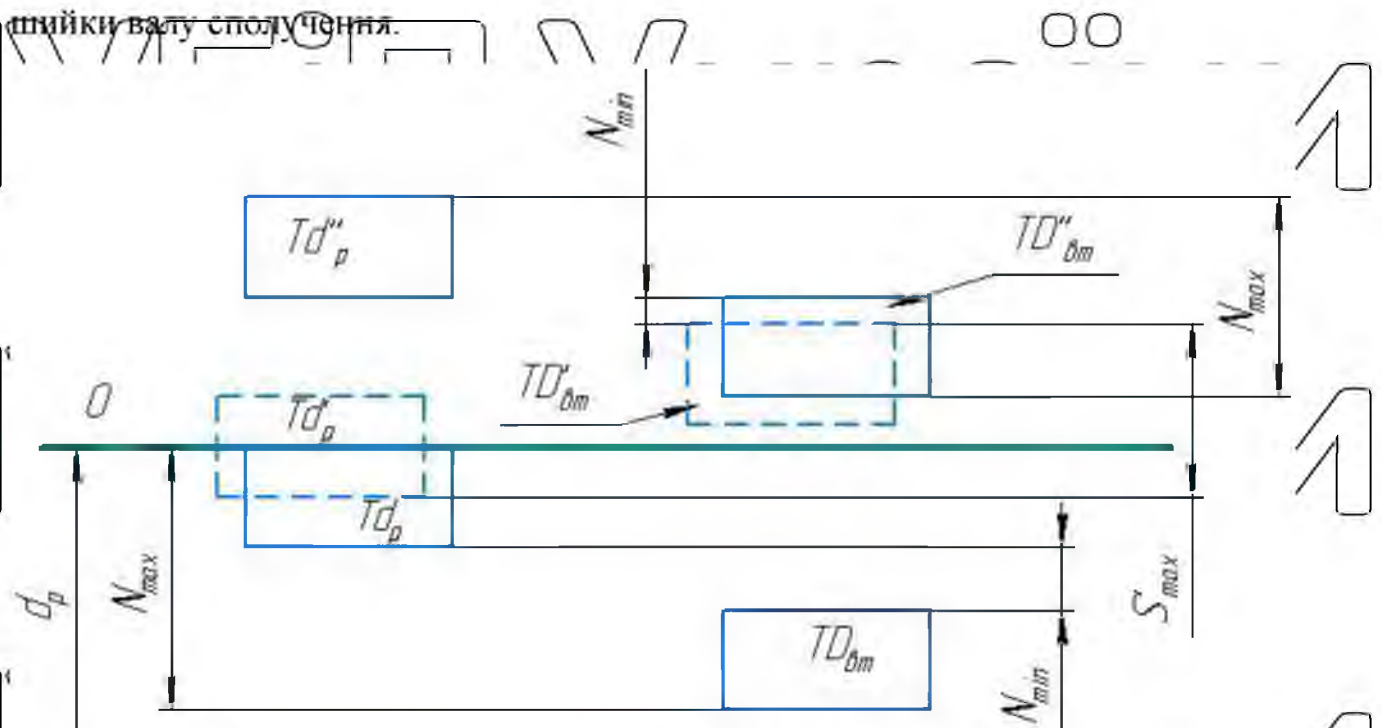


Рисунок 2.3 - Схема полів допусків у поєднанні шийка валу - ремонтна втулка при запуску холодного двигуна:

d_p – розрахунковий діаметр шийки;

Td_p, TD_{BT} - відповідно поля допусків шийки валу та ремонтної втулки;

Td'_p, TD'_{BT} - відповідно поля допусків шийки валу та ремонтної втулки при нагріванні олії до нормальної температури ($90^\circ C$);

Td''_p, TD''_{BT} - відповідно поля допусків шийки валу та ремонтної втулки при нагріванні валу до встановленої температури;

$N_{min}; N_{max}$ - натяг у з'єднанні;

S_{max} - зазор у з'єднанні.

При запуску холодного двигуна картерна олія швидко нагрівається до $70-90^\circ C$, при цьому колінчастий вал, що має велику масу, нагрівається значно повільніше.

Якщо припустити, що тонкостінна ремонтна втулка нагрівається швидше за вал, то її нагрівання призведе до порушення посадки шийка - ремонтна втулка.

Прискорений нагрівання ремонтної втулки призведе до збільшення її внутрішнього діаметра та зміщення полів допуску TD'_{BT} вгору (див. рисунок 2.3), та утворення посадки із зазором.

При нагріванні ремонтної втулки довжина внутрішнього кола збільшується:

$$\Delta L_{BT} = \alpha \cdot L_{BT} \cdot t_{BT} \quad (2.9)$$

де α - коефіцієнт лінійного розширення

L_{BT} - довжина внутрішнього кола ремонтної втулки при нормальній температурі

t_{BT} - температура нагріву ремонтної втулки

З урахуванням температури колінчастого валу отримаємо формулу для розрахунку максимальної різниці температур ремонтної втулки та валу, при якій збережеться встановлений у поєднанні, що відновлюється, натяг:

НУБІП України

$$\Delta t_{\text{дон}} \leq \frac{N}{\alpha \cdot d_p} \quad (2.10)$$

де $\Delta t_{\text{дон}}$ - допустима різниця температур ремонтної втулки та шийки

колінчастого валу

d_p - діаметр шийки валу.

Розглянемо приклад

У поєднанні шийка валу - ремонтна втулка діаметром 060 мм встановлений натяг $N = 0,02$ мм. Визначити, за якої різниці температур валу та ремонтної втулки натяг $N=0$

$$\Delta t_{\text{дон}} \leq \frac{0,02}{11,8 \cdot 10^{-6} \cdot 60} = 28,2^{\circ}\text{C}$$

Таким чином, при різниці температур валу та ремонтної втулки

$\Delta t > 28,2^{\circ}\text{C}$ у з'єднанні утворюється зазор.

2.5 Методика визначення натягу у поєднанні "шийка - ремонтна втулка".

Відомо, що натяг N у з'єднанні - це різниця фактичних розмірів валу та отвору до складання, якщо розмір валу більший за розмір отвору. Натяг забезпечує взаємну нерухомість деталей після їх збирання.

У аналізованому способі відновлення шийок колінчастих валів натяг у поєднанні «шийка - ремонтна втулка» створюють на зварювальній операції (див. рисунок 2.1, операція 6). Розрізну ремонтну втулку після термічної обробки розтискають, одягають на шийку, що відновлюється, і за допомогою хомути стягують з певним зусиллям, забезпечуючи встановлений зазор δ в стикі ремонтної втулки (рисунок 2.4).

У процесі плазмового зварювання в зоні зварного шва метали шийки валу, край ремонтної втулки та присадковий матеріал розплавляються, перемішуються та застигають. При охолодженні зварного шва обсяг його металу зменшується, створюючи зусилля розтягування у стінці втулки $P_{\text{роз}}$, під впливом яких стрічка натягується, створюючи у поєднанні натяг.

Натяг у поєднанні визначатиметься величиною пружного подовження валу, що огинає валу ремонтної втулки (рисунк 2.46), оскільки її скорочення призведе до номінального зменшення внутрішнього діаметра встановлюваної втулки. До виконання зварювальної операції після встановлення розрізної ремонтної втулки на шийку

$$d_B = D_{BT}, \text{ а натяг } N = 0,$$

де D_{BT} і d_2 - відповідно фактичні діаметри поверхонь, що сполучаються ремонтної втулки і шийки валу.

Відомо, що довжина внутрішнього кола втулки дорівнює

$$L_{BT} = \pi \cdot D_{BT} \quad (2.11)$$

де L_{BT} - довжина внутрішнього кола втулки.

В результаті остигання зварного шва довжина внутрішнього кола втулки номінально скоротиться до L'_{BT} , а її діаметр зменшиться до D'_{BT} .

Тоді натяг у парі буде дорівнює

$$N = D'_{BT} - d_2, \quad (2.12)$$

де D'_{BT} - номінальний внутрішній діаметр ремонтної втулки після остигання зварних швів;

d_2 - діаметр шийки валу

Віставляючи формули (2.10) і (2.12), можна стверджувати, що натяг у парі чисельно дорівнює зменшенню діаметра втулки D_{BT} після зварювання стиковим швом.

$$N = D_{BT} - D'_{BT} \quad (2.13)$$

і відповідно

$$N = \frac{(L_{BT} - L'_{BT})}{\pi} = \frac{\Delta L}{\pi} \quad (2.14)$$

де ΔL - номінальна величина скорочення внутрішнього кола втулки після остигання зварного шва.

НУБІП УКРАЇНИ

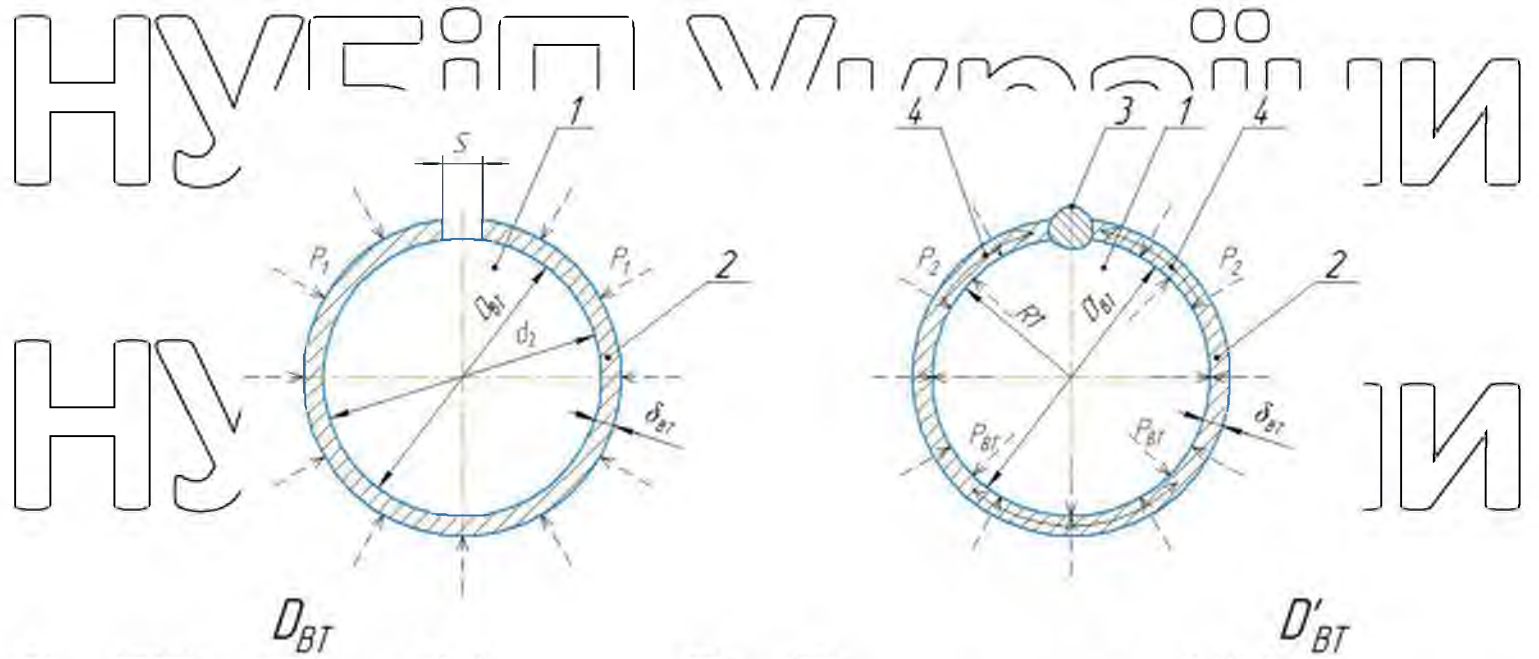


Рисунок 2.4 Схема установки загартованої розрізної ремонтної втулки на шийку валу:

а - створення натягу зовнішніми силами (хомутом);

б - створення посадки з натягом з використанням усадки зварного шва під час остигання;

1 - шийка валу; 2 - розрізна ремонтна втулка; 3 - стиковий зварний шов;

P_1 - зовнішні сили притиску розрізної втулки, створювані хомутом;

P_{BT} - тиск шийки валу на ремонтну втулку під впливом натягу;

S - зазор у стикі розрізної ремонтної втулки;

d_2 - діаметр шийки валу;

D_{BT} - внутрішній діаметр втулки при стягуванні хомутом;

D'_{BT} - номінальний внутрішній діаметр ремонтної втулки після її

приварювання до шийки валу.

НУБІП УКРАЇНИ

2.6 Розрахунок технологічних напружень у привареній ремонтній втулці до шийки колінчастого валу.

Після виконання стикового зварного шва у поєднанні «ремонтна втулка - шийка» в результаті пружних деформацій стрічки при остиганні зварного шва утворюється натяг. Оскільки сполучення перебуватиме в рівноважному стані, то можна уявити, що поверхня шийки валу буде впливати на внутрішню поверхню встановленої ремонтної втулки із зусиллям P_{BT} (див. рисунок 2.46). Під впливом цих сил у стінах ремонтної втулки створюється напружений стан.

Тиск P_{BT} на внутрішню поверхню втулки дорівнює [41]:

$$P_{BT} = \frac{N \cdot 10^{-3}}{D_{BT} \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right)}, \quad (2.15)$$

де N - натяг у сполученні, мкм.

C_1 і C_2 - коефіцієнти, рівні

$$C_1 = 1 - \mu_1; \quad C_2 = \frac{D'_{BT}{}^2 + d_B^2}{D'_{BT}{}^2 - d_B^2} + \mu_2 \quad (2.16)$$

E_1 та E_2 , μ_1 та μ_2 - відповідно модулі пружності (кг/мм^2) та коефіцієнти

Пуассона матеріалів валу та втулки; d_2 - діаметр шийки валу; D_{BT} - діаметр ремонтної втулки.

Ремонтну втулку, виготовлену з тонкостінної стрічки по відношенню до шийки валу, що відновлюється, можна прийняти за тонку симетричну оболонку і застосувати теорію розрахунку тонкостінних оболонок з усіма припущеннями [41].

Для оболонки, що має форму тіла обертання, при симетричному навантаженні осьова напруга може бути знайдена з умов рівноваги частини оболонки, що відсічена нормальним круговим перетином, а окружна напруга (рисунок 2.5) - з рівняння Лапласа:

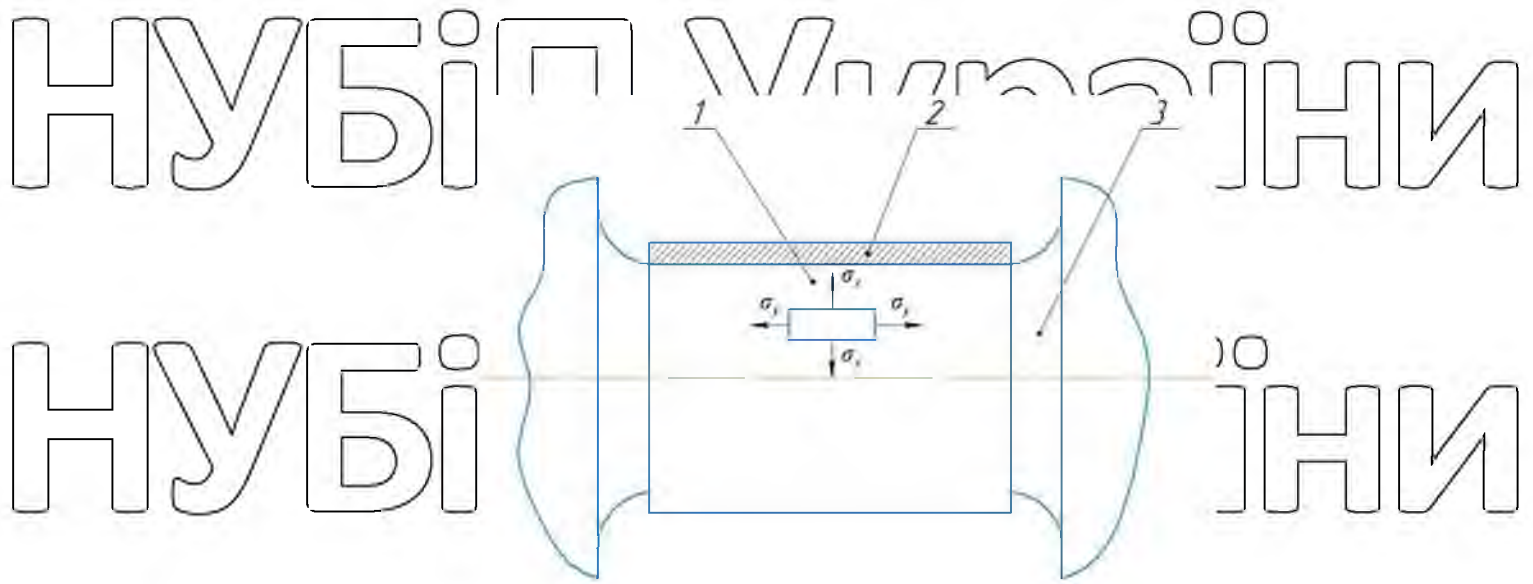


Рисунок 2.5 – Схема дій напружень в привареній ремонтній втулці

СТИКОВИМ ШВОМ:

- 1 – ремонтна втулка;
- 2 – стиковий зварний шов;
- 3 – шийка колінчастого валу.

$$\frac{\sigma_x}{R_1} + \frac{\sigma_y}{R_2} = \frac{P_{BT}}{\delta_{BT}}, \quad (2.17)$$

- де P_{BT} – тиск на внутрішню поверхню ремонтної втулки;
- δ – товщина ремонтної втулки;
- R_1 та R_2 – головні радіуси кривизни;
- σ_x – нормальна напруга у круговому перерізі;
- σ_y – нормальна напруга в осьовому перерізі.

Для форми оболонки та виду навантаження, наведеного на рисунку 2.4, маємо:

$$\sigma_x = \frac{P_{BT} \cdot R}{2\delta_{BT}}; \quad \sigma_y = \frac{P_{BT} \cdot R}{\delta_{BT}}, \quad (2.18)$$

де $R = \frac{D_{BT}}{2}$

R – радіус ремонтної втулки;

Таким чином, аналіз формул показує, що нормальні напруги в осьовому перерізі вдвічі перевищують напруги в круговому перерізі при фіксації втулки

СТИКОВИМ ШВОМ.

$$\sigma_y = 2\sigma_x$$

НУБІП України

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ, ЗАСТОСОВУВАНЕ ОБЛАДНАННЯ ТА ПРИЛАДИ.

3.1 Загальна методика та структура досліджень.

На основі вивчення літературних джерел, розрахунково-теоретичних досліджень та виходячи із завдань дослідження, загальною методикою передбачалося проведення експериментальних досліджень з наступних питань:

1. Оцінка технічного стану шийок колінчастих валів, що надійшли на відновлення.
2. Оцінка технічного стану шийок відновлених колінчастих валів.
3. Експериментальні дослідження окремих технологічних операцій маршруту відновлення шийок колінчастих валів із метою оптимізації технологічних параметрів.
4. Розробка та вибір раціонального маршруту відновлення шийок колінчастого валу.
5. Дослідження фізико-механічних властивостей та якості відновленої поверхні.
6. Дослідження натягу у поєднанні шийка - розрізна ремонтна втулка.
7. Експлуатаційні випробування відновлених шийок колінчастих валів автотракторних двигунів.

На рисунку 3.1 наведено структурну схему досліджень, які були виконані для вирішення поставленої в темі магістерської роботи мети.

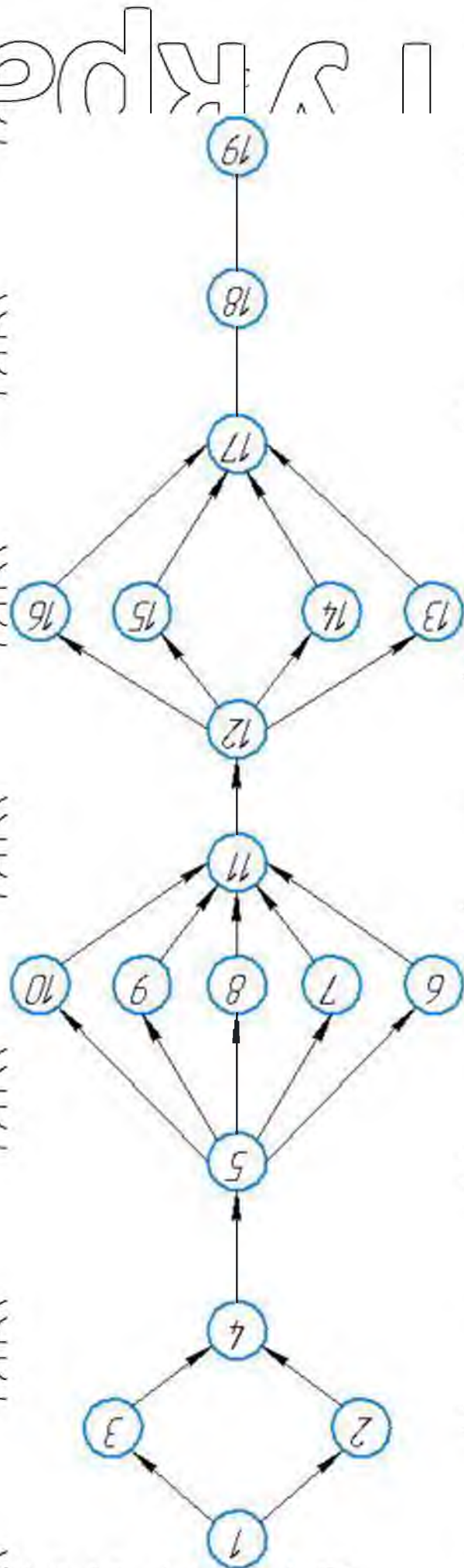


Рисунок 3.1 Структурна схема досліджень.

1 – вибір об'єкта досліджень; 2 – аналіз способів відновлення; 3 – аналіз способів зварювання; 4 – оцінка якості відновлення відомими способами; 5 – постановка завдань досліджень; 6 – розробка маршруту відновлення; 7 – розрахунок припусків на обробку різанням шийки, що відновлюється; 8 – розрахунок товщини сталеві втулки; 9 – розробка методики визначення натягу у поєднанні "шийка - втулка"; 10 – розробка методики визначення внутрішніх напружень у стінках втулки; 11 – експериментальні дослідження технологічних операцій; 12 – методика експериментальних досліджень; 13 – дослідження стану шийок до відновлення; 14 – дослідження стану шийок після відновлення; 15 – дослідження фізико-механічних властивостей відновленої поверхні; 16 – дослідження якості відновленої поверхні; 17 – уточнення маршруту відновлення; 18 – техніко-економічні показники розробленої технології; 19 – експлуатаційні випробування.

3.2. Методика оцінки технічного стану шийок колінчастих валів.

Як об'єкти дослідження прийняті колінчасті вали автотракторних дизельних двигунів (Д-65, Д-240, СМД-60(62,64), А-41, ЯМЗ-238НБ, ЯМЗ-240, КАМАЗ-740...).

Аналіз зносів шийок колінчастих валів широко освітлений у працях Кривенко П.М., Поляченко А.В., Кряжкова В.М., Ульмана І.Є., Левитського І.С., Казарцева тощо. Тому в цій роботі це питання не висвітлено. Основна увага приділена оцінці технічного стану шийок на окремих операціях технологічного маршруту відновлення шийок та остаточній оцінці на його завершення. Крім того, слід зазначити, що в цій роботі піддавалися дослідженню колінчасті вали з аварійним зношуванням окремих шийок, або вали з граничним зношуванням шийок, що не допускають обробку шліфуванням у ремонтний розмір. Геометричні параметри шийок валу (розмір, евальність, конусоподібність, биття корінних шийок щодо крайніх) вимірювали універсальними вимірювальними засобами.

Вибір вимірювального засобу проводили у наступній послідовності.

Значення похибки вимірювального засобу згідно з ГОСТ 8 051-81 для 5-7 класу точності (шійки валів) приймали:

$$\Delta_{зм.доп} \leq 0,35Td,$$

де Td – допуск на діаметр шійки.

Похибка вибраного вимірювального засобу повинна дорівнювати

$$\Delta_{зм.сер} \leq \Delta_{зм.доп}$$

Цій нерівності відповідають мікрометри гладкі - МК-75, МК-100, МК-125

з ціною розподілу 0,01 та 1 класу точності. Їхня похибка становила $\pm 0,002 \dots \pm 0,0025$ мм.

Для вимірювання биття шийок колінчастих валів індикаторна голівка ГЧ-10 ТУ 2.034.0221071.027-90 з ціною поділу 0,01.

Колінчастий вал у працюючому двигуні піддається значним циклічним навантаженням, які в процесі експлуатації підвищують у ньому внутрішні напруження.

Циклічні навантаження на колінчастий вал призводять до зниження його втомної міцності. Перевищення внутрішніми напруженнями втомної міцності призводить до появи втомних тріщин і згодом до його швидкого руйнування. Рівень внутрішньої напруження в колінчастому валі з певною ймовірністю оцінює його залишковий ресурс.

З іншого боку, відомо, що перерезподіл внутрішньої напруження в деталі призводить до її пластичної деформації.

Можна припустити, що чим вище пластична деформація деталі після зняття внутрішньої напруження, тим більше значення вони приймали в деталі.

Тому, якщо у відновлюваному колінчастому валі в результаті термічної обробки (нагріву в печі) усунути внутрішні напруження або їх істотно знизити, то вал в результаті цієї операції повинен зазнати пластичної деформації (вигину), за величиною якої можна судити про його внутрішні напруження, накопичені в процесі експлуатації. Піч для нагрівання колінчастих валів наведено на рисунку 3.2. Вона викладена з вогнетривкої цегли, має розміри внутрішнього об'єму 2,0 x 0,4 x 0,6 м з верхнім завантаженням колінчастих валів.



Рисунок 3.2 Піч для нагрівання кошчастих валів

Дверці з тепло ізолюючим матеріалом спереду закриває внутрішній простір печі. По внутрішнім стінкам викладені ніші, у яких встановлені спіралі з ніхрому. Для вимірювання температури печі були використані термоелектричні пірометри. Термоелектричні пірометри, що ґрунтуються на використанні властивостей термоелектрорушійної сили (т.е.р.с.) реагувати на зміну температури, складаються з двох приладів: термопари та гальванометра, з'єднаних в одну систему – термоелектричний пірометр. Принцип дії пірометра ось у чому: з підвищенням температури печі в термопарі зростає т.е.р.с., яка передається гальванометру, взаємодіючи з постійним магнітом гальванометра, т.е.р.с. відхиляє стрілку, пов'язану з рамкою, що показує температуру.

У дослідженнях застосовували хромово-копелеву термопару (ХК), що вимірює температуру до 600°C максимальною т.е.р.с. Як гальванометр був використаний мілівольтметр МНБ-48/ клас точності 2,5. Термоелектричні пірометри встановлювали на різних рівнях та перерізах внутрішнього простору печі.

3.3 Обробка результатів вимірів.

Методику статистичної обробки результатів вимірювань переважно використовували для оцінки технічного стану шийок колінчастих валів (діаметрів, овальності, конусоподібності, биття тощо).

Точність відліку приймалася рівною половині ціни розподілу шкали (мікрометра, індикагорної голівки).

Шийки вимірювали в тому самому перерізі, дотримуючись сталості умов вимірювання.

Розташувавши отримані дійсні розміри шийок валів у порядку зростання їх значення, отримали ряд випадкових дискретних величин. Різниця між найбільшим та найменшим розмірами шийок визначить величину розмаху Δ (після розсіювання).

Різницю між D_{\max} і D_{\min} розбивають на p інтервалів. Підраховуємо число

шийок у кожному інтервалі n_1, n_2, \dots, n_k та частоти $\frac{n_1}{N}; \frac{n_2}{N}; \dots; \frac{n_k}{N}$;

Частина події A дорівнює

$$W(A) = \frac{n}{N}$$

При великій кількості випробувань N частина події A стає стійкою, і значення $W(A)$ коливатиметься біля деякого постійного числа. Це число менше одиниці і називається ймовірністю $P(A)$ появи події A .

У міру збільшення N частоти з великим наближенням виражає ймовірність.

Відповідна цьому інтервалу задана ймовірність називається довірчою ймовірністю β .

При законі нормального розподілу довірчі інтервали для $M(X)$ з ймовірністю $\beta = 0,9973$, визначені межами

$X \pm 3 \sigma_x$ де σ_x - середнє відхилення для розподілу середніх арифметичних

величин X :

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{S_i}{N-1}} \quad (3.1)$$

Отже, межі довірчого інтервалу f лежать у межах

$$X \pm \frac{3S_i}{\sqrt{N-1}} \quad (3.2)$$

У загальному випадку за різної ймовірності P довірчі інтервали для $M(X)$

$$x - z\sigma_x < M(X) < x + z\sigma_x \quad (3.3)$$

Зазвичай задають довірчу ймовірність β , що дорівнює 0,9; 0,95; 0,99, що відповідає значенням Z : 1,645; 1,960; 2,576.

Для вибірок малих обсягів множників Z повинен бути замінений множником t_p , який знаходять за таблицями розподілу Стюдента.

Характер розсіювання значень випадкової величини (діаметра шийок) наочно визначається гістограмою, що складається з прямокутників, або емпіричною кривою (полігоном) розподілу.

По осі абсцис відкладають інтервали дійсних розмірів шийок у міліметрах, а по осі ординат – висоти прямокутників (для гістограм) або відрізки (для кривої), величини яких при рівних інтервалах пропорційні кількості деталей у кожному інтервалі, тобто пропорційні n_i , або $\frac{n_i}{N}$.

Для аналізу результатів виміру випадкових величин необхідно знати, якому теоретичному закону розподілу ймовірностей випадкової величини відповідає емпіричний розподіл. Для цього, виходячи з форми емпіричної кривої, висувається гіпотеза про відповідність її тому чи іншому теоретичному закону розподілу. Відповідність емпіричного розподілу передбачуваного теоретичного розподілу встановлювали за допомогою критеріїв χ^2 та ін.

Параметри X , S і S^2 , визначені за даними вибірки, дають наближену характеристику теоретичного розподілу відповідно до математичного очікування $M(X)$, середнього його квадратичного відхилення σ_x , дисперсії $D(X)$. За результатами вибірок та їх обсягу можна встановити межі, всередині яких з певною ймовірністю будуть знаходитись значення $M(X)$; σ_x та $D(X)$, що

характеризують результати багаторазових вимірювань. Ці межі визначають довірчий інтервал.

Випадковими величинами вважатимемо розміри X_i , рівні середньому арифметичному з діаметрів кожного інтервалу.

Далі знаходимо середнє арифметичне значення дійсних розмірів:

$$\bar{x} = \frac{x_1 \cdot n_1 + x_2 \cdot n_2 + \dots + x_k \cdot n_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k} = \sum_{i=1}^k x_i \cdot \frac{n_i}{N} \quad (3.4)$$

З виразу (3.4) видно, що \bar{x} дорівнює сумі творів значень середин інтервалів X_i на їх частоті $\frac{n_i}{N}$.

Величину \bar{x} іноді називають середньозваженою, вона визначає емпіричний центр групування. Алгебраїчна сума відхилень від середнього дорівнює нулю.

Розсіювання значень випадкових величин у вибірці щодо центру групування характеризується емпіричним середнім квадратичним відхиленням

$$S \approx \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2 \frac{n_i}{N}} \quad (3.5)$$

При вибірці менше 30 шт.

$$S \approx \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2 \frac{n_i}{N-1}} \quad (3.6)$$

Що менше величина S , то вище точність виготовлення (відновлення), тим менше величина випадкових похибок діаметра шийки. Параметр S використовуємо як міру точності обробки різанням шийок колінчастих валів, що відновлюються.

3.4 Методика експериментальних досліджень із приварювання розрізної ремонтної втулки.

Методика містила два етапи досліджень. На першому етапі всі експериментальні дослідження проводили на зразках. Використовувався круглий прокат діаметром 80 мм із сталі 45 без термообробки. На окремо виділені шийки після їх шліфування на різних режимах та умовах плазмовим зварюванням у присутності присадного матеріалу серед аргону приварювалися втулки зі сталеві стрічки.

НУБІП України

Розрізну втулку виготовляли із сталевих стрічок 65Г; 60С2 товщиною 1,5; 1,8 та 2,0 мм.

Основні характеристики механічних властивостей матеріалів стрічок [45].

1. Стрічка 65Г (ГОСТ 2283-79)

Призначення - деталі, яких пред'являються вимоги підвищеної зносостійкості.

Зварюваність - не застосовується для зварних конструкцій.

Схильна до відпускну кривкості за $M_T \geq 1,0$ %.

Таблиця 3.1

Хімічний склад, % (ГОСТ 14959-79)

C	Mn	Si	Cr	P	S	Cu	Ni
0,62	0,9	0,17	не більше				
0,7	1,2	0,37	0,25	0,035	0,035	0,20	0,25

Таблиця 3.2

Механічні властивості

№ п/п	Стан постачання, режим термообробки	$\sigma_{0,2}$	σ_B	σ	X	HRC не більше
1	Листи нормалізовані та гарячекатані	-	730	12	-	-
2	Загартовування 800 ... 820°C (в масло) Відпуск 340-3 80°C (повітря)	1220	1470	5	10	44...49
3	Загартовування 790...820 °C (в масло) Відпуск 550-580° C (повітря)	690	880	8	30	30-35

НУБІП України

НУБІП України

Таблиця 3.3

Механічні властивості в залежності від температури відпуску
(загартовування 830 ° С, олива)

Температура відпуску °С	$\sigma_{0,2}$	σ_B	σ	X	КСУ Дж/см ²	HRC
	МПа		%			
220	1790	2200	4	30	5	61
400	1450	1670	8	48	29	46
620	850	880	15	51	76	30

Таблиця 3.4

Межа витривалості

№. п/п	Стан сталі, термообробка	σ_{-1} МПа	σ_{-1}' МПа
1	Загартовування 810° С, олива Відпуск 400°С, повітря	725	431
2	Загартовування 810°С, олива Відпуск 500°С, повітря	480	284
3	$\sigma_B = 1470$ МПа, HB390 ... 450	578	-
4	$\sigma_B = 1690$ МПа; HB 450	725	

2. Стрічка 60С2А. (ГОСТ 2283-89)

Призначення - деталі, до яких висуваються вимоги підвищеної зносостійкості та високого навантаження;

Зварюваність – не застосовується для зварних конструкцій.

Не схильна до відпускнуї крихкості.

Таблиця 3.5

Хімічний склад, % (ГОСТ 14959-89)

C	Mn	Si	Cr	Cu	Ni	S	P
0,58...0,63	0,6...0,9	1,6...2,0	не більше				
			0,3	0,2	0,25	0,025	0,025

НУБІП України

Таблиця 3.6

Механічні властивості

№ п/п	Стан постачання режим термообробки	$\sigma_{0,2}$	σ_B	σ	X	НВ (HRC)
		МПа		%		
		не менше				
1.	Загартовування 870 ° С, масло Відпуск 420 ° С, повітря	1375	1570	6	20	-
2.	Ізотермічне загартовування 860...880° С, розплавлена сіль 310...330°С Відпуск 310 ... 330 °С, повітря	1570	1770	12	50	47...

НУБІП України

Таблиця 3.7

Механічні властивості в залежності від температури відпуску
(загартовування 850° С, олива)

№ п/п	Температура відпуску	$\sigma_{0,2}$	σ_B	σ	X	КСУ Дж/см ²	НВ
		МПа		%			
1	300	1960	2160	2	36	10	462
2	400	1470	1670	7	39	18	425
3	500	1080	1290	10	42	29	340
4	600	730	1030	17	48	-	298

НУБІП України

НУБІП України

Таблиця 3.8

Межа витривалості

№ п/п	Термообробка	σ_B	σ_{-1}	n
1	Ізотермічне загартовування, витримка при 330 ° С, 1год; відпуск 300 ° С, 1год;	1680	686	10 ⁶
2	Загартовування, олива; відпуск 420°С	1810	637	10 ⁶
3	Загартовування, олива, відпуск 400°С	1900	500	-
4	Загартовування, олива, відпуск, 550°С	1570	421	-

Технологічна послідовність виготовлення розрізної втулки показано на
рисунок 3.3...3.5.



Рисунок 3.3...3.5 Послідовність виготовлення розрізної втулки

Заготовки стрічок вирізали з листів нормалізованих та гарячекатаних (ГОСТ 577-81).

Стрічка сталева пружинна термооброблена (ГОСТ 2614-55) не застосовувалася через її низьку технологічність і недостатню твердість ($HV=375...485$). При вирізці заготовки стрічки враховували її довжину, рівну

$$L = \pi D_{cp} - \Delta_l \quad (3.7)$$

де D – діаметр шийки валу;

Δ_l – зазор у стикі розрізної втулки.

Ширина стрічки вибиралася з розрахунку щоб її краї не заходили на жолобники шийки валу (зазор становив 0,5... 1,0 мм з кожного боку). На згинальному пристрої (рисунок 3.6) стрічку згинали в розрізну втулку з

діаметром трохи менше діаметра попередньо обробленої шийки.

На оправці робили свердління отвору під масляний канал та під електрозакленки (рисунок 3.7).



Рисунок 3.6 Пристрій для згинання втулок

Для приварювання розрізної втулки до шийки використовується плазмова установка УПС-301. Ця установка призначена для ручного плазмового зварювання (рис. 3.7). У комплект установки входять блок живлення, блок керування та плазмотрон. Як плазмоутворюючий газ використовувався аргон (ГОСТ 10157-73, вищий сорт). Робоча напруга 18-40, межі регулювання робочого струму 20-315 А [8]



Рисунок 3.7 Установка для плазмового зварювання.
Температуру шийки валу та стінки ремонтної втулки вимірювали за допомогою приладу Raytek ST 60 Pro Plus, показаного на рисунку 3.8.



Рисунок 3.3. Інфрачервоний пірметр Raytek ST 60 Pro Plus

Для шліфування шийок колінчастих вачів застосовували спеціалізовані шліфувальні верстати моделі 3A423. Верстат зазначеної моделі є широкоуніверсальним, придатним для шліфування як корінних, так і шатунних шийок колінчастих валів автотракторних двигунів. Для шліфування шийок, що відновлюються, застосовували абразивні круги 24A40(CM2..C2) K5. Режими шліфування: швидкість шліфувального кола - 25...35 м/с, швидкість поверхні, що шліфується - 20...25 м/хв (корінні шийки) і 7...12 м/хв (шатунні шийки). Поперечна подача кола 0,02...0,03 мм при попередньому шліфуванні та 0,005...0,01 мм - при чистовому. Шліфування проводилося з врізанням та подальшим виходжуванням у розмір. Для запобігання припаленням при шліфуванні застосовували ріясне охолодження. Як охолоджувальну рідину використовували 3...

Після шліфування проводили обробку гострих країв масляних каналів та полірування шийок валу, під яке залишали припуск 0,005мм..

3.5 Методика дослідження якості відновленої поверхні.

3.5.1 Методика виміру твердості.

Вимірювання твердості проводили на твердомір ТК-2 відповідно до вимог ГОСТу 9013-89 за методом Роквелла. Твердість досліджуваного зразка визначали площі відбитка, отриманого від вдавлювання алмазної піраміди з кутом на вершині 120° і під навантаженням 1500Н . Твердість визначали за показаннями шкали "С" приладу ТК-2.

У всіх зразків твердість вимірювалася триразово, середнє відхилення не перевищувало ± 1 розподілу шкали.

Для визначення поверхневої твердості покриття зручним та широко поширеним методом є вимірювання його мікротвердості. Для проведення випробувань на мікротвердість поверхня досліджуваних зразків піддавалася шліфуванню та поліруванню.

Безпосередній вимір мікротвердості зазвичай передуює мікроскопічне вивчення структури металу, протягом якого проводять візуальну оцінку об'єкта дослідження і вибирають місце для нанесення відбитка.

Мікротвердість окремих фаз структурних складових покриття визначали на приладі ПМТ-3 відповідно до вимог ГОСТ 9450-86. Мікротвердість вимірювали в тих самих місцях, на яких вивчали мікроструктуру нанесеного шару.

Правильність результату, одержуваного під час випробування мікротвердості, великою мірою залежить від того, з якою швидкістю виробляється випробування. Досвід показує, що при роботі на приладі ПМТ-3 досить проводити навантаження протягом 5-10с.

Відбитки індентора для оцінки мікротвердості необхідно розташовувати на поверхні досліджуваних об'єктів (карбід, зерно) на відстані 45-50мкм один ряд від іншого. Вимірювання мікротвердості по глибині здійснювали через 0,02мм.

Число мікротвердості H_{μ} обчислювали за такою формулою:

НУБІП України

$$H_{\mu} = \frac{1,8544 \cdot p \cdot 10^6}{D^2}, \quad (3.8)$$

де p – навантаження на алмазну піраміду, Н;

D – розмір діагоналі відбитка, мм.

Заміри проводили шляхом вдавлювання алмазної піраміди з кутом при вершині 136° та при навантаженні 0,02...0,98 Н.

Визначити довжину діагоналі відбитка в мікронах, для цього отриману довжину діагоналі відбитка у поділах помножити на ціну одного поділу у мікронах. Оскільки ціна одного поділу лімба окулярного барабана

мікрометра дорівнює 0,3 мкм, то отриману довжину діагоналі відбитка у поділах треба помножити на 0,3.

Число твердості визначають за спеціальними таблицями, розрахованими на навантаження 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5Н.

Можливість застосування малих навантажень дозволяє визначати твердість деталей малої товщини та тонких поверхневих шарів. Число мікротвердості виявляється у МПа.

3.5.2 Методика визначення технологічних напружень у привареній ремонтній втулці.

Технологічна напруга в привареній ремонтній втулці створюється в результаті натягу, створеного усадкою поздовжнього зварного шва в стик втулки розрізної.

Усадка зварного шва призводить до пружної деформації стінок ремонтної втулки, привареної до шийки вала.

Пропонується методика вимірювання технологічних напружень полягає в тому, що якщо стінки ремонтної втулки розрізати поздовжнім пазом уздовж зварного шва, її стінки вкоротяться в межах пружної деформації (рисунок 3.9).

НУБІП України

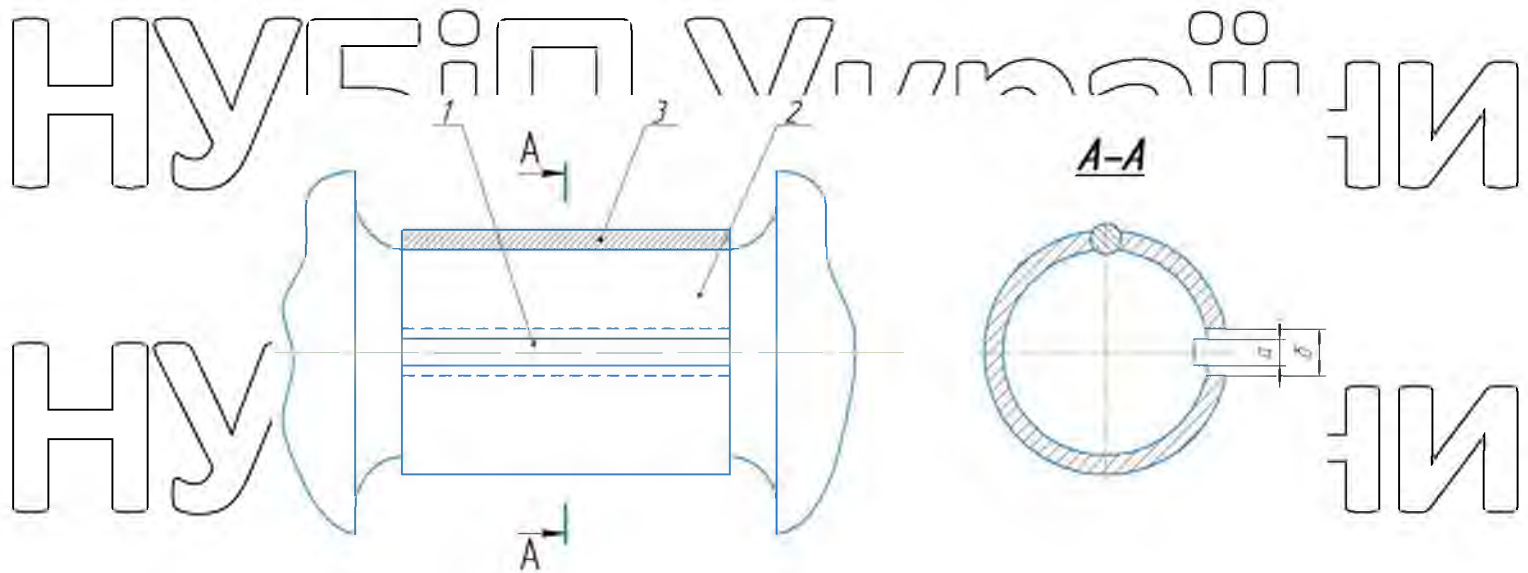


Рисунок 3.9 Методика визначення технологічних напружень у привареній ремонтній втулці.

де: 1 – поздовжній паз; 2 – ремонтна втулка; 3 – зварний шов.

Поздовжній паз виконувався тонким відрізним колом при $n=12000\text{кв}^{-1}$. Одночасно паз прорізався і в шийці валу. Його ширина становила $a(\text{мм})$. Стінки ремонтної втулки після зняття напружень розтягу укоротилися і утворили паз шириною $b(\text{мм})$. По різниці $b-a$ проводили розрахунок технологічних напружень у ремонтній втулці (див. п.2.5 та 2.6). Вимірювання ширини пазів проводили спеціальним інструментом з ціною поділки $0,01\text{мм}$.

3.6 Методика виробничих та експлуатаційних випробувань.

Виробнича перевірка виконувалася відповідно до прийнятої програми випробувань. Програма випробувань містила такі основні етапи.

1. Дослідження якості відновлених шийок колінчастого валу застосуванням приварювання додаткового елемента – розрізної ремонтної втулки.
2. Визначення мінімально необхідної товщини розрізної ремонтної втулки, що забезпечує якість приварювання стрічки до шийки вала, що відновлюється.
3. Оцінка точності розмірів та форми відновлених шийок колінчастих валів за допомогою мікрометражу.
4. Збирає інформацію про результати роботи відновлених колінчастих валів у процесі рядової експлуатації.

НУБІП України

РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ШИЙОК КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ.

4.1 Оцінка технічного стану колінчастих валів, що надійшли на відновлення.

Дефекти колінчастих валів автотракторних двигунів широко проаналізовано у вітчизняній літературі. Однак у всіх випадках на аналіз піддавалися вали від загального їх числа, що надійшли на дефектацію на ремонтному підприємстві.

У нашому випадку статистичного аналізу піддані колінчасті вали, які за своїм станом не можуть бути відновлені в ремонтні розміри або використані в подальшій експлуатації, оскільки мають неприпустимі без ремонту норми на геометричні параметри, розроблені ГОСНІТИ.

Перед дефектацією колінчасті вали піддавалися ретельному миттю у виварювальній ванні з подальшим струминним очищенням. На першому етапі дефектації колінчастих валів здійснювали пошук та виявлення тріщин. Оцінюючи тріщин брали до уваги, що, залежно від причин виникнення, тріщини можуть бути технологічного та експлуатаційного походження. До технологічних відносяться тріщини, що виникають у процесі виготовлення та ремонту колінчастого валу, його термічної обробки та обробки різанням. Ці тріщини у вигляді "волосовин" переважно спрямовані вздовж осі валу і виявляються надзвичайно рідко.

До експлуатаційних відносяться тріщини втомного походження, а також термічні, що виникають при перегріві шийок. Втомні тріщини зазвичай виникають у місцях концентрації напружень (у жолобників, мастильних отворів).

Найбільш небезпечні тріщини втомного походження на галтелях, у місцях переходу в щоки.

У цій роботі не підлягали відновленню колінчасті вали при наступних дефектах: тріщини на жолобниках, тріщини довжиною більше 5мм і розташовані під кутом великим 30° до їх осі, тріщини, що починаються ближче 6мм від щоки.

На рисунку 4.1 [27] наведено характерне розташування безпечних тріщин, що підлягають обробці при відновленні колінчастого валу.

Пошук та виявлення тріщин у колінчастих валах проводили в наступній послідовності. Спочатку виконували ретельний візуальний контроль із застосуванням збільшувальних луп 5^{\times} та 10^{\times} збільшення. Потім вали простукували металевим предметом і за характером звуку, що видається при цьому, і тривалості його згасання встановлювали ділянки з можливими тріщинами. Після цього на шийках таких валів тріщини знаходили за допомогою кольорових фарб люмінесцентних. Термічні тріщини легко виявляли візуальне спостереження. Вони являли собою сітку дрібних довільно розташованих на поверхні шийки тріщин. Їхня глибина залягання не перевищувала 0,05...0,3 мм. Після шліфування розрахунковий для відновлення шийки розмір, що становило 0,5... 1,0 мм, тріщини зникали. У тому випадку, якщо залишалися окремі тріщини, не небезпечні для валу, їх обробляли по всій довжині глибиною $0,3 \pm$ мм і радіусом 1,5...2,0 мм рисунок 4.2 [27]. Оброблені тріщини зміцнювали вручну карбуванням, гострі кромки притупляли і полірували. Для аналізу були використані колінчасті вали дизельних двигунів. Загалом їх набралось 52 штуки. Найбільшу частку (34%) склали колінчасті вали з аварійним зносом, як правило, однієї шийки - шатунної або корінної. У цій групі частка колінчастих валів з аварійним зношенням двох і більше шийок була в межах 15...20%.

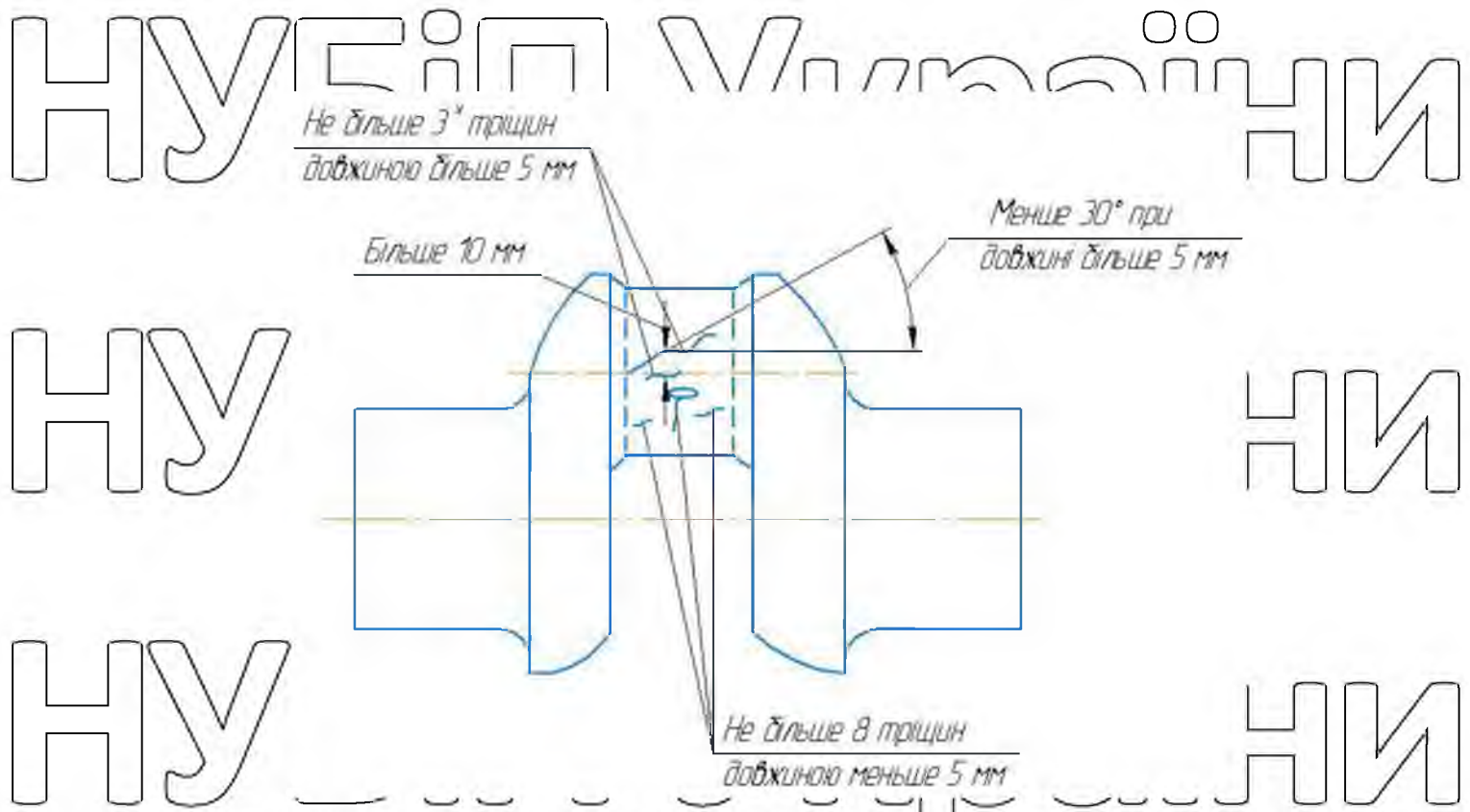


Рисунок 4.1 - Характерне розташування безвечних тріщин, що підлягають обробці при відновленні колінчастого валу

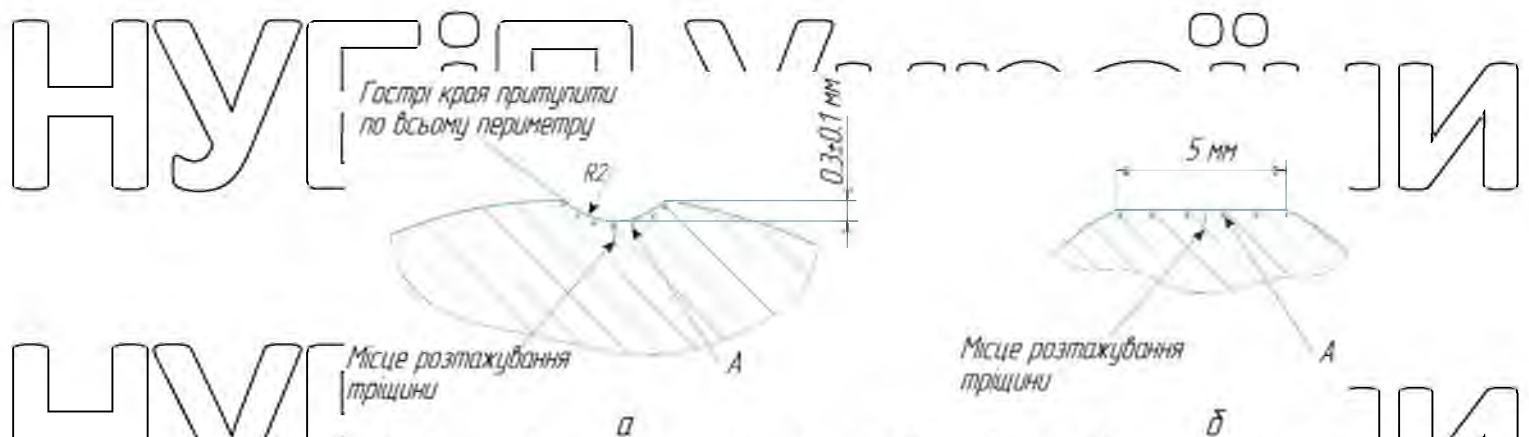


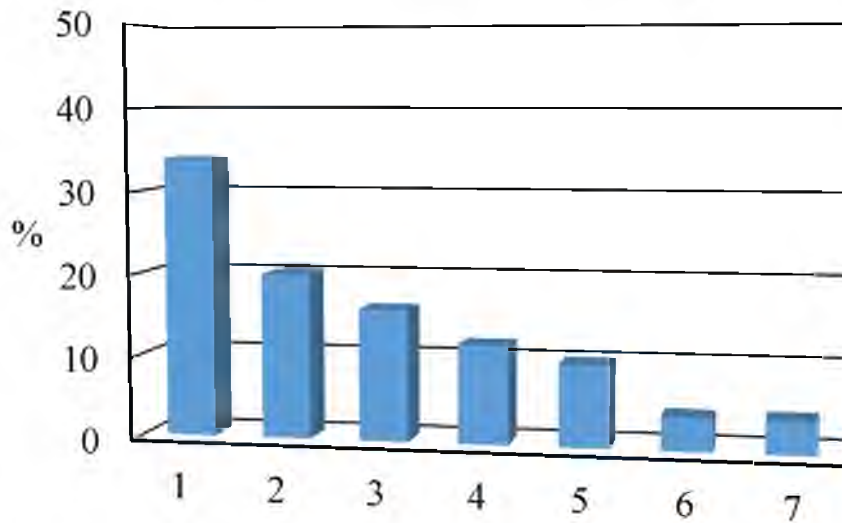
Рисунок 4.2 Обробка тріщин на шийках колінчастого валу

а - сферичним абразивним колом; б - плоским абразивним колом;

A- ділянка поверхневого наклепу

Вали з тріщинами на шийках склали 8%, причому зі втомними та термічними тріщинами в рівних частках. Найчастіше (20%) спостерігалися на шийках валів припали, які характеризувалися явно вираженими кольорами втечі на поверхні окремих шийок. Зустрічалися колінчасті вали (12%), шийки яких перебували у допустимих без шліфування розмірах, та їх прогин (біля середньої шийки щодо крайніх) перевищував допустимий і становив 0,05...0,1 мм. Обробка

результатів аналізу стану шийок колінчастих валів дизельних автогакторних двигунів, дала картину, представлєну на діаграмі (рисунк 4.3).



Рисунк 4.3 Діаграма стану зношєних колінчастих валів дизельних двигунів, які надходять в ремонт

1 – аварійний знос; 2 – припали поверхні шийок; 3 - шийки до/валу виробили ресурс; 4 - знос у допустимих без шліфування розмірах (прогин валу більш допустимого); 5-намазування металу вкладиша; 6 - термінні тріщини; 7- втоміні тріщини;

Колінчасті вали, які по шатунних або корінних шийках виробили ресурс та їх розміри не дозволяли шліфувати у черговий ремонтний розмір, становили 16%. Такі вали вимагали відновлення всіх шатунних чи корінних шийок.

Багато валів, що надійшли на відновлення, мали прогин, що перевищує допустимі межі. На рисунок 4.4 представлено емпіричний розподіл максимального прогину колінчастих валів, що надійшли на відновлення. На графіку емпіричного розподілу можна назвати два центри групування прогинів валів. У першому випадку прогин становив 0,04...0,15 мм, тоді як у другому - 0,40...0,85 мм. Невеликий прогин характерний для колінчастих валів граничних розмірів, з термініними тріщинами, припалами, намотуванням антифрикційного шару вкладиша на шийку валу. Максимальний прогин спостерігався біля валів з аварійним зносом шийок, з тріщинами втоми.

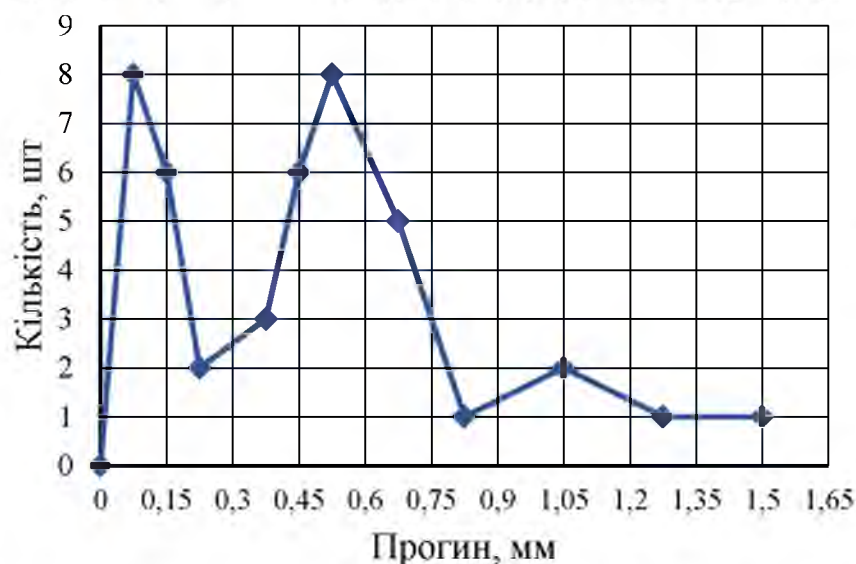


Рисунок 4.4 Емпіричний розподіл прогину колінчастого валу. У процесі роботи двигуна колінчастий вал відчуває постійні знакозмінні навантаження, внаслідок яких у ньому ростуть внутрішні напруження. Одночасно знижується втомна міцність валу. І коли внутрішні напруження перевищують втомну міцність валу, відбувається утворення втомної тріщини і надалі поломка колінчастого валу.

Представляє великий інтерес оцінка накопиченої внутрішньої напруги в процесі експлуатації колінчастого валу. Їхня кількісна оцінка становить велику технічну складність. Тому в цій роботі вони оцінювалися непрямим шляхом.

Відомо, чим більші внутрішні напруження внесені в деталь, тим більша її пластична деформація (прогин). Тому, якщо в деталі зняти внутрішню напругу, то для встановлення нового рівноважного стану деталі вона повинна пластично деформуватися, а стосовно колінчастого валу, він повинен зігнутися. І чим більше буде знято внутрішню напругу, тим більше буде прогин валу.

Для підтвердження цієї передумови були проведені дослідження стану різних колінчастих валів при їх нагріванні для зняття внутрішньої напруги. У дослідках використовувалися колінчасті валли різних ремонтних розмірів з аварійними шийками, з граничним зношуванням шийок, з термічними тріщинами на шийках валу.

Перед випробуваннями колінчасті валли, що мають прогин більш допустимого (0,05 мм), піддавалися виправленню за методикою.

На рисунку 4.5 і 4.6 представлені імперичні криві розподілу прогину досліджуваних колінчастих валів при їх нагріванні.

Випробувані вали в горизонтальному положенні встановлювали в термічну піч, якою нагрівали до температури 350 °С разом з валом при заданій температурі витримували вали протягом 3 годин, а потім охолоджували разом з піччю (15...20 годин). Після виміру прогину валу піч нагрівали до 500 °С разом з валом, витримували протягом 5 годин, а потім знову охолоджували разом з піччю і проводили вимірювання прогину валу по середній корінній шийці.

Результати досліджень показали, що вали першого та другого ремонтних розмірів деформувалися при нагріванні в печі незначно (0,03...0,13 мм), вали останнього ремонтного розміру, з аварійним зносом шийок (знос на 2...3 ремонтних розміру) при нагріванні до 350 °С прогинали до 0,45 мм, а при нагріванні до 550 °С до 0,8... 1,2мм. Наведені результати свідчать про те, що вже до третього ремонтного розміру колінчасті вали накопичують значну внутрішню напругу. Ці напруги можуть бути зняті до 30...40% шляхом нагрівання валів до 350 °С витримці їх у печі та повільному охолодженні з піччю. Зниження внутрішньої напруги на 30...40% можна вважати застосовним для більшості відновлюваних валів.

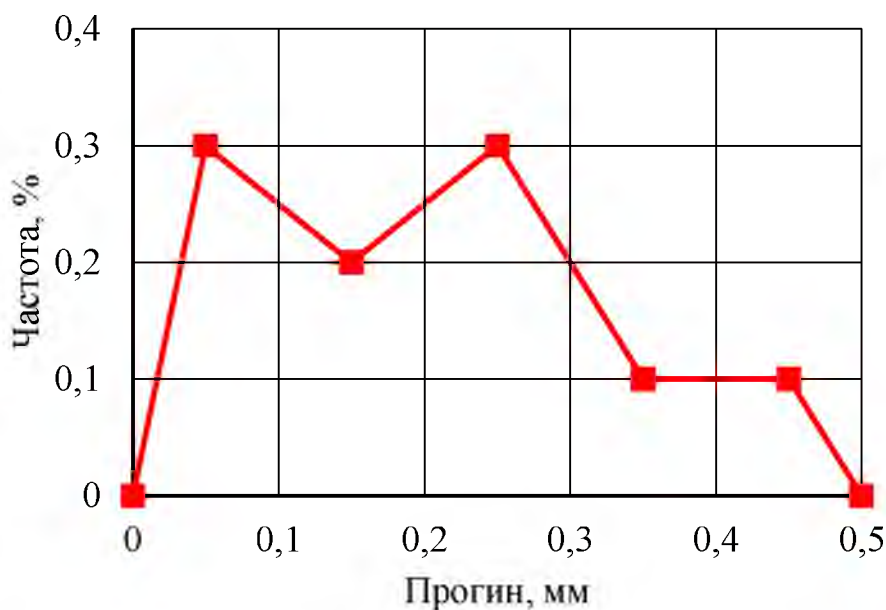


Рисунок 4.5 – Полігон розподілу прогину колінчастих валів при їх нагріванні до 350°C

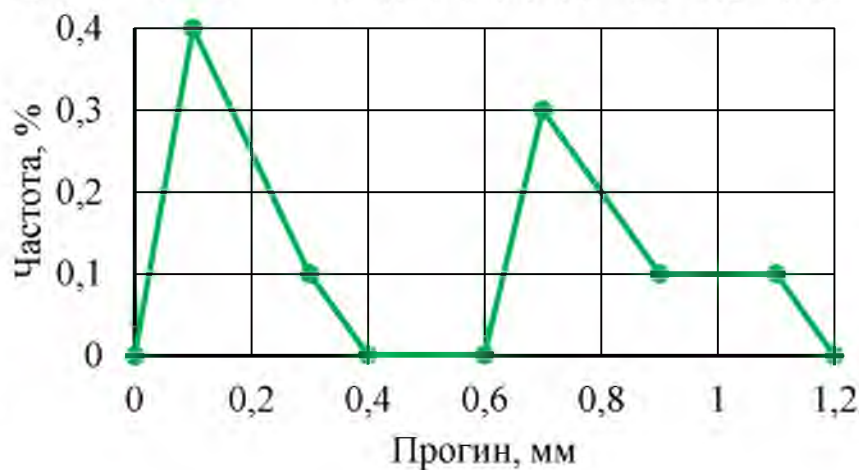


Рисунок 4.6 – Полігон розподілу прогину колінчастих валів при їх нагріванні до 550°С

Нагрів валів до 500 ... 550 °С не доцільний, оскільки при цьому відбудеться високий відпущка загартованих поверхонь всіх шийок і їх твердість неприпустимо знизиться.

Після зняття внутрішньої напруги шляхом нагрівання валів у печі при температурі 350°С два колінчасті вали були відновлені за розробленою в дисертації технології

Потім ці вали після шліфувальної операції були піддані нагрівання до 350°С в печі і після охолодження відповідно до наведеної вище методики мали прогин, допустимий за технічними вимогами (відповідно 0,02 і 0,03 мм).

Ці дані дають об'єктивну оцінку про внесені у відновлені вали незначні термічні напруги при локальному приварюванні розрізної ремонтної втулки до шийки валу.

4.2 Визначення напружень у поєднанні шийка вала-ремонтна втулка.

Технологічна напруга в поєднанні шийка валу - ремонтна втулка визначатиметься натягом у цьому поєднанні. А натяг формуватиметься внаслідок остигання зварного шва в стикі розрізної ремонтної втулки при її фіксації на шийці валу. При нестановці електрозаклепок по колу втулки окремі сегменти, укладені між електрозаклепками, отримуватимуть додаткові напруження від розтягування.

Було розглянуто 5 варіантів фіксації розрізної ремонтної втулки на шийці валу (рисунки 4.7).

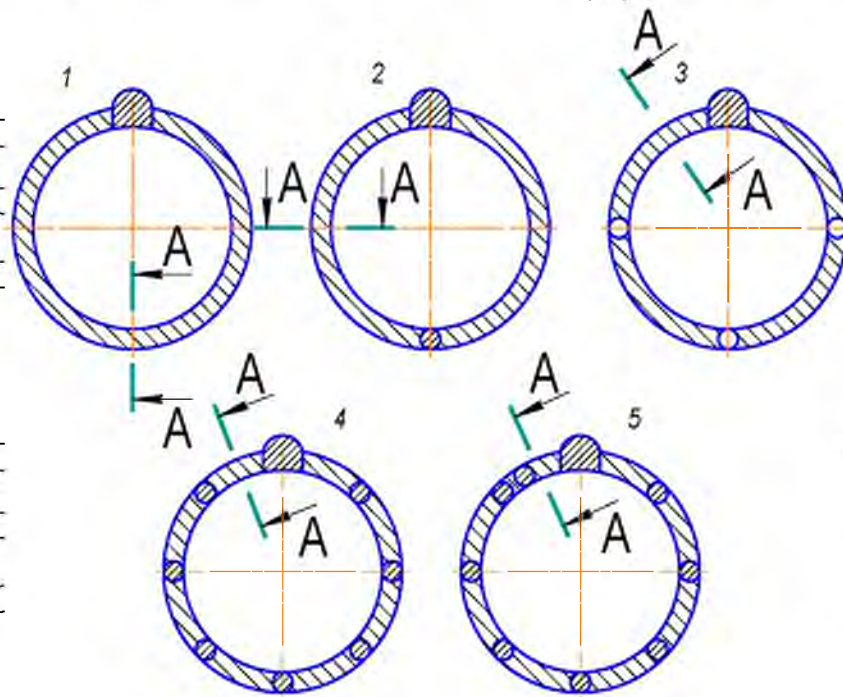


Рисунок 4.7 Схеми приварювання ремонтної втулки до шийки валу стиковим поздовжнім швом (штрихувана лінія) та електрозаклепками (шпильки) для визначення технологічних напружень у ремонтній втулці. А - А - переріз визначення технологічних напружень.

У третьому розділі було запропоновано в основу методики визначення напруженого стану ремонтної втулки покласти вкорочування її стінок внаслідок розрізу абразивним колом ремонтної втулки та шийки валу в перерізі А - А.

Укорочування стін ремонтної втулки складо $\Delta l = \delta - a$.

У таблиці 4.1. наведено результати випробувань та розрахунків, виконаних за запропонованою методикою.

Таблиця 4.1

Схема фіксації ремонтної втулки	a , мм	b , мм	Δl , мм	N , мкМ
1	1,7 _{-0,02}	1,82 _{-0,02}	0,12	38,2
2	1,7 _{-0,02}	1,84 _{-0,02}	0,14	44,5
3	1,7 _{-0,02}	1,83 _{-0,03}	0,13	82,8

4	1,7 _{-0,02}	1,80 _{-0,03}	0,10	121,3
5	1,7 _{-0,02}	1,81 _{-0,04}	0,11	280

Результати експериментальних досліджень щодо визначення пружної деформації стін ремонтної втулки при різних схемах її фіксації.

Представляє інтерес і тиск стінок зафіксованої втулки P_{BT} на поверхню шийки валу і натяг, що створюється при цьому.

Проводимо необхідні обчислення для варіанта "1" (рисунок 4.7).

$$P_{BT} = \frac{N \cdot 10^{-3}}{d_p \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right)} \quad (4.1)$$

$C_1 = 1 - 0,3 = 0,7$ - вал цільний.

$$C_2 = \frac{D_{BT} + d_b^2}{D_{BT} - d_b^2} + \mu \quad (4.2)$$

Приймаємо $D_{BT} = 83 \text{ мм}$

$d_b = 80 \text{ мм}$

$\mu = 0,3$

Тоді

$$C_2 = \frac{83^2 + 80^2}{83^2 - 80^2} = 27,475$$

$$P_{BT} = \frac{38,2 \cdot 10^{-3} \cdot 10}{80 \cdot \left(\frac{0,7}{2,1 \cdot 10^4} + \frac{27,475}{2,1 \cdot 10^4} \right)} = 3,5 \text{ [МПа]}$$

В результаті обчислень маємо $P_{BT} = 3,5 \text{ МПа}$

Усі розрахунки за визначенням P_{BT} зводимо у таблиці 4.2.

Розрахунок напружень у напрямку "x - x" (по новій втулці) виконували за формулою

$\sigma_{x-x} \Delta l \cdot E$, де E - модуль пружності; $E = 2,1 \cdot 10^4 \text{ МПа}$.

Таблиця 4.2

Тиск стінок втулки на шийку валу після її фіксації різними способами та максимальна напруга розтягування в площині "x - x" та "y - y".

Спосіб фіксації втулки	P_{BT} , МПа	σ_x , МПа	σ_y , МПа
1	3,5	93,3	46,7
2	4,15	110,7	55,8
3	7,74	206	103
4	11,3	302	151
5	26,2	720	360

$$\sigma_x = \frac{P_{BT} \cdot R}{\delta}; \quad \sigma_y = \frac{P_{BT} \cdot R}{2\delta}, \quad (4.3)$$

де R – радіус шийки валу; $R = 40$ мм δ – товщина стінки втулки; $\delta = 15$ мм.

Розрахунок на міцність привареної ремонтної втулки складався з вирішення наступних завдань:

- визначення допустимих навантажень на приварену ремонтну втулку;
- визначення фактичного коефіцієнта запасу міцності конструкції ремонтної втулки;

Міцність ремонтної втулки визначається з одного боку, напруженим станом її небезпечного перерізу, з другого - фізико-механічними властивостями її матеріалу.

Умова міцності напруженого стану розтягування стінок втулки:

$$\sigma_1 \leq [\sigma]_p,$$

де σ_1 - технологічна напруженість при розтягуванні;

$[\sigma]_p$ - допустима напруженість при розтягу.

Для пластичних матеріалів за граничну напругу приймається при одновісному розтягуванні σ_T - межа текучості при розтягуванні.

Величина коефіцієнта запасу, що забезпечує надійність роботи конструкції повинна відображати фактори, пов'язані з особливостями конструкції та технологією її виготовлення, умовами її експлуатації, а також враховувати достовірність визначення навантаження та напруги, однорідність матеріалу, наявність зварювальних напруг і зон термічного впливу зварювальних швів тощо. Величина n не повинна бути меншою за 3,0... 6,0.

Тоді умова міцності привареної ремонтної втулки має вигляд:

$$\sigma_1 \leq [\sigma]_p = \frac{\sigma_T}{n}, \quad (4.4)$$

або $\sigma_x \leq \frac{\sigma_T}{n}$

Фактичний коефіцієнт запасу для розглянутого напруженого стану визначається як відношення граничної напруги при одновісному розтягуванні до технологічної напруги розтягування в стінках ремонтної втулки:

$$n = \frac{\sigma_T}{\sigma_x} \quad (4.5)$$

З довідкових матеріалів [45] відомо, що сталевий стрічка зі сталі 65Г після гарту при температурі 820°C охолодження в маслі та відпустці при температурі 350°C охолодження на повітрі має наступні механічні характеристики:

$$\sigma_B = 1670 \text{ МПа}$$

$$\sigma_T = 1450 \text{ МПа}$$

У таблиці 4.3 наведено результати розрахунків коефіцієнта запасу для різних способів фіксації стрічки (див. рисунок 4.7).

Таблиця 4.3

Коефіцієнти запасу міцності привареної ремонтної втулки.

Спосіб фіксації втулки	Коефіцієнт запасу, n
1	15,5
2	13,1
3	7,0
4	4,8
5	2,0

Аналіз отриманих результатів (таблиця 4.3) свідчить у тому, що варіант '5' фіксації ремонтної втулки має малий коефіцієнт запасу міцності і може бути рекомендований до практичному використанню.

4.3 Дослідження деформацій стінок ремонтної втулки в процесі нагрівання двигуна.

На надійність роботи відновленого колінчастого валу істотно впливатиме стан посадки ремонтної втулки з шийкою валу.

При приварці тонкостінної ремонтної втулки до шийки валу було створено натяг. Його величина залежала від способу фіксації (див. рисунок 4.7) та відповідала температурі навколишнього середовища.

Після запуску холодного двигуна відновлений колінчастий вал починає нагріватися і через певний проміжок часу температура стабілізується і досягне величини 90... 110°C.

Оскільки вал має велику масу, то час його прогрів значно. У той же час тонкостінна ремонтна втулка, зафіксована на шії валу тільки в локальних зонах, нагріється значно швидше, оскільки теплопередача від стінок втулки в тіло шийки валу утруднена через наявність повітряного зазору в посадці. Інтенсивна теплопередача відбуватиметься через зварювальні шви (стиковий поздовжній шов та електрозаклепки).

Відомо, що тверді тіла під час нагрівання розширюються. Що стосується розглянутого варіанту, сталевий стрічка, що утворює стінки привареної ремонтної втулки подовжується, що призводить до порушення посадки в посадці шийка - ремонтна втулка.

У таблиці 4.4 наведено граничні значення різниці температур між шийкою валу та ремонтною втулкою, при яких зберігається заданий у посадці натяг (дивись формулу 2.10).

Таблиця 4.4

Різниця температур, при яких зберігається натяг у сполученні шийка ремонтна втулка при різних способах фіксації (Ø80 мм).

Спосіб фіксації ремонтної втулки	Натяг, мкм	Гранична різницю температур Δt , °C
1	38,2	40,5
2	44,5	47
3	82,8	88
4	121,3	100
5	280	100

Зазор, у сполученні, що розглядається, неприпустимий, оскільки може призвести до хвильової пружної деформації стінок втулки в результаті обертання колінчастого валу і знакозмінного навантаження на нього. Період часу, у якому діють зазначені деформації на стінки втулки, достатній її швидкого руйнації. При повному нагріванні колінчастого валу характер посадки відновлюється до посадки з натягом, встановленим під час приварювання ремонтної втулки.

Для підтвердження наведеного вище висновку було проведено експериментальні дослідження щодо визначення деформації стінок фіксованої ремонтної втулки на шийці валу. При подовженні стінок ремонтної втулки на шийці валу при їх нагріванні повинен збільшуватися зовнішній діаметр привареної втулки щодо діаметра шийки валу, у разі низької теплопередачі від стінок втулки в шийку валу.

Результати досліджень наведено у таблиці 4.5.

На рисунках 4.8 і 4.9 показані для наочності графіки залежності зміни діаметрів ремонтної втулки (крива 2) та шийки вала (крива 1) від тривалості знаходження відновленого валу в середовищі, нагрітій до 100°C.

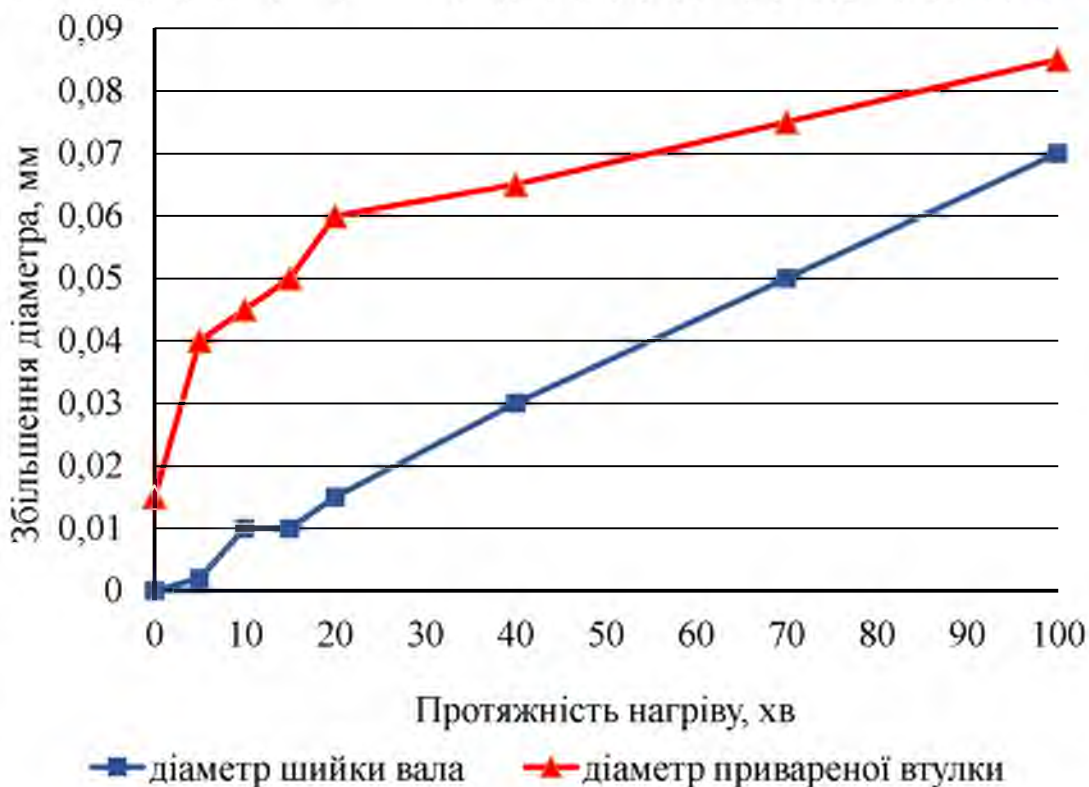


Рисунок 4.8 Зміна діаметрів шийки валу (■) та діаметра привареної втулки (▲) залежно від часу перебування в середовищі, нагрітому до 100°C (спосіб фіксації 1).

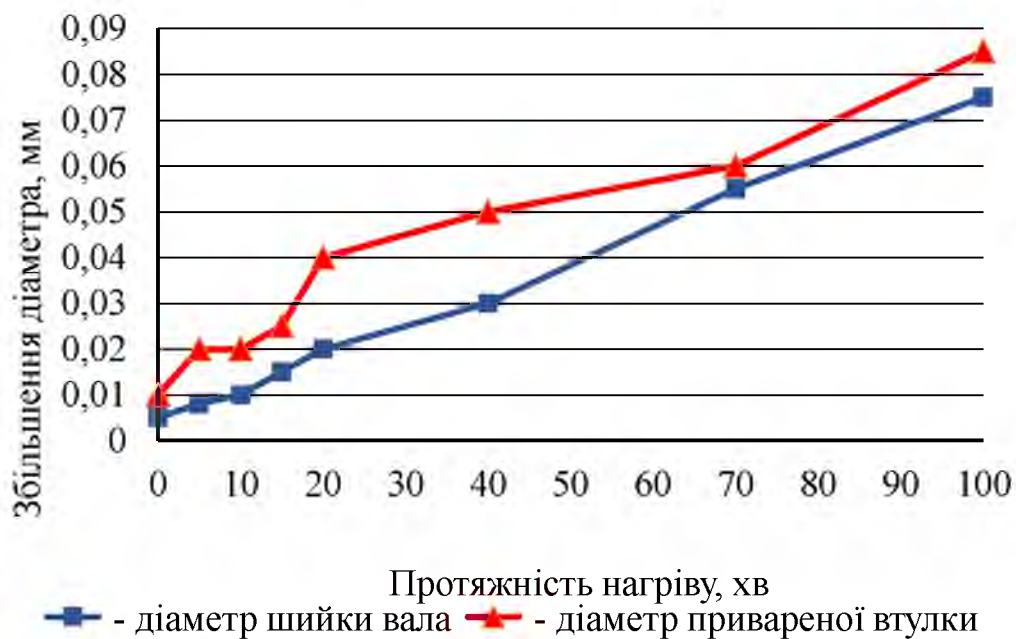


Рисунок 4.9 Зміна діаметрів шийки валу (■) та діаметра привареної ремонтної втулки (▲) залежно від часу перебування в середовищі, нагрітій до 100°C (спосіб фіксації 4).

Таблиця 4.5

Результати мікрометражу відновленої шийки колінчастого валу (зразка) при нагріванні в печі (100°C)

(відхилення від розміру при 20°C)

№ п/п	Спосіб фіксації	Діаметр шийки валу, мм								Діаметр втулки, мм							
		Час нагріву, хв															
		1	5	10	15	20	40	70	100	1	5	10	15	20	40	70	100
1	1	0	0,0025	0,01	0,01	0,015	0,03	0,05	0,07	0,015	0,04	0,045	0,05	0,06	0,065	0,075	0,085
2	2	0,005	0,005	0,0075	0,015	0,02	0,04	0,06	0,08	0,015	0,04	0,0425	0,045	0,06	0,065	0,07	0,085
3	3	0,005	0,005	0,015	0,015	0,02	0,04	0,06	0,08	0,01	0,015	0,02	0,025	0,04	0,055	0,07	0,08
4	4	0,005	0,0075	0,01	0,015	0,02	0,03	0,055	0,075	0,01	0,02	0,02	0,025	0,04	0,05	0,06	0,085
5	5	0,075	0,01	0,0175	0,02	0,025	0,04	0,07	0,085	0,01	0,015	0,02	0,02	0,035	0,05	0,075	0,085

НУБІП України

Розмір шийки валу при 20 °С - 80,950 мм. Розмір шийки, що відновлюється, при 20 °С (з фіксованою втулкою) - 83,850 мм, товщина стінки втулки - 1,45 мм.

НУБІП України

Наведені в таблиці 4.5 результати експериментальних досліджень із вимірів діаметрів шийки валу без ремонтної втулки і з втулкою при їх спільному нагріванні свідчать про те, що для способів фіксації втулки 1 і 2 в перші 5,0...15 хв зовнішній діаметр втулки збільшується незрівнянно із збільшенням шийки. Ця різниця становила 0,02...0,035 мм і свідчить про появу у поєднанні ремонтна втулка - шийка валу зазору внаслідок подовження стінок втулки. Таке порушення посадки ремонтної втулки на шийку валу є неприпустимим.

НУБІП України

Таким чином за аналізованим фактором стабільність посадки в поєднанні шийка-ремонтна втулка перші два способи фіксації ремонтної втулки слід відкинути. При третьому четвертому та п'ятому способі фіксації спостерігався практично однаковий нагрівання шийки валу та ремонтної втулки, про що свідчить їх рівномірне збільшення діаметрів (див. рисунок 4.9). Однак при п'ятому способі фіксації ремонтної втулки виявлені високі напруги, що розтягують, при яких коефіцієнт запасу міцності $n=2$, що не можна вважати застосовним для аналізованого сполучення. Тому і п'ятий спосіб фіксації ремонтної втулки на шийці валу використовувати не можна.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕНОЇ ПОВЕРХНІ.

5.1 Математична модель зв'язку технологічних напружень у ремонтній втулці та основних технологічних параметрів при зварюванні.

НУБІП України

Побудова математичної моделі об'єкта вирішувалося з допомогою планування багатфакторного експерименту.

Параметром оптимізації було прийнято технологічну напругу розтягування в стінках втулки розрізу при її приварці до тіла шийки валу.

Напруга виміряна рентгенівським тензометром ТРИМ у середній зоні шийки під кутом 45° до вертикалі.

НУБІП України

В якості вхідних змінних були використані ширина стіжки розрівної втулки після її обтиснення на шийці валу і величина струму I при плазмовому зварюванні шва.

Після попередніх експериментів були прийняті інтервали варіювання факторів B і J , які наведені в таблиці 5.1

Рівні факторів та інтервали варіювання.

Таблиця 5.1

Рівні факторів	Позначення	B , мм.	J , А
		X_1	X_2
Основний	0	5	40
Інтервал варіювання	$\Delta \tilde{x}_i$	2	20
Верхній	+1	7	60
Нижній	-1	3	20

НУБІП України

Планування експерименту для отримання лінійної моделі ґрунтується на варіюванні факторів на двох рівнях.

Якщо кількість рівнів факторів дорівнює двом, маємо наступний повний факторний експеримент (таблиці 5.2)

НУБІП України

Таблиця 5.2

Матриця планування експерименту.

Номер досліду	X ₁	X ₂	Y
1	+1	+1	Y ₁
2	-1	+1	Y ₂
3	-1	-1	Y ₃
4	+1	-1	Y ₄

Для спрощення запису умов експерименту та обробки експериментальних даних масштаби осей вибирають так, щоб верхній рівень відповідав +1, нижній -1, а основний - нулю. Для факторів з безперервною областю визначення це робилося за допомогою перетворення

$$X_j = \frac{\tilde{X}_j - \tilde{X}_{j_0}}{\Delta X_j} \quad (5.1)$$

де X_j - кодоване значення фактора;

\tilde{X}_j - Натуральне значення фактора;

\tilde{X}_{j_0} - Натуральне значення основного рівня;

j - номер фактора.

Для руху до точки оптимуму було використано лінійну модель

$$y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 \quad (5.2)$$

За результатами експерименту знаходимо значення невідомих коефіцієнтів моделі. З урахуванням ефекту взаємодії двох факторів матрицю планування експерименту представлено в таблиці 5.3.

НУБІП України

Таблиця 5.3

Матриця планування експерименту з ефектом взаємодії факторів

Номер досліджу	x_0	x_1	x_2	$x_1 \cdot x_2$	y	Дослідні значення, МПа
1	+1	+1	+1	+1	y_1	350
2	+1	-1	+1	-1	y_2	25
3	+1	-1	-1	+1	y_3	50
4	+1	+1	-1	-1	y_4	105

Тепер модель записуємо у такому вигляді:

$$y = b_0 x_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2 \quad (5.3)$$

У формулі 5.3 коефіцієнти підраховуються за такими залежностями:

$$b_0 = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4}{4}$$

$$b_1 = \frac{-y_1 + y_2 - y_3 + y_4}{4}$$

$$b_2 = \frac{-y_1 - y_2 + y_3 + y_4}{4}$$

$$b_3 = \frac{y_1 - y_2 + y_3 - y_4}{4}$$

Стовпці x_1 та x_2 (таблиці 5.2) задають планування експериментів, а стовпці x_0 та $x_1 \cdot x_2$ служать лише для розрахунку.

Результати досліджень вносимо до таблиці 5.2

Під індексом \tilde{y} наведені значення напружень розтягу $\sigma_{розт}$ (кг/мм²) у стінках втулки, привареної до шийки валу.

Розрахунок коефіцієнтів регресії методом Йетса наведено у таблиці 5.4.

Таблиця 5.4

Розрахунок коефіцієнтів регресії

1	2	3
y_1	$y_1 + y_2$	$y_1 + y_2 + y_3 + y_4$
y_2	$y_3 + y_4$	$y_2 - y_1 + y_4 + y_3$

Y_3	$Y_2 - Y_1$	$Y_3 + Y_4 - Y_1 - Y_2$
Y_4	$Y_4 - Y_3$	$Y_4 - Y_3 - Y_2 + Y_1$

В результаті обчислень отримуємо наступне рівняння у перетворених змінних x_u

$$y = 13,25 - 8,75 \cdot x_1 + 5,5 \cdot x_2 + 6,875 \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (5.4)$$

Для отримання рівняння в натуральних значеннях факторів X_γ потрібно замість X_γ підставити рівняння (5.4) їх значення згідно з формулою

перетворення (5.1). Перевірка значення коефіцієнтів моделі проводилася в наступній послідовності.

Визначаємо помилку дослідів, навіщо кожен досвід відтворюємо за однакових умов по три рази.

Середнє арифметичне \bar{Y}_γ дорівнює сумі всіх n окремих результатів, поділеної на кількість паралельних дослідів n

$$\bar{Y} = \frac{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n}{n} \quad (5.5)$$

Для вимірювання відхилень (результату будь-якого досвіду від середнього арифметичного застосовуємо дисперсію S^2

$$S^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (Y_j - \bar{Y})^2}{n-1}, \quad (5.6)$$

де $(n-1)$ – число ступенів свободи мінус одиниця. Тоді середнє квадратичне відхилення дорівнюватиме:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (Y_j - \bar{Y})^2}{n-1}}, \quad (5.7)$$

де n – число повторних дослідів у точках плану. У таблиці 5.5 наведено результати повторних випробувань у точках плану.

З урахуванням складності проведення повторних дослідів за усереднення дисперсії скористаємося середньозваженим значенням дисперсії, взятих з урахуванням числа ступенів свободи ($f=n-1$).

Результати повторних випробувань з визначення напруги в стінках сталеві втулки (напруги дано в $\text{кг}\cdot\text{с}/\text{мм}^2$).

Точки плану	y_1	y_2	y_3	\bar{y}_i	S_i^2	\hat{y}_i	G
1	33	35	37	35	4,0	34,375	0,39
2	2,7	3,5	1,3	2,5	1,46	3,125	0,39
3	3,6	5,1	6,3	5,0	1,47	5,875	0,77
4	9,0	12	10,5	10,5	2,25	9,625	0,77

Перевірку однорідності дисперсії виконуємо за критерієм Кохрена. У нашому випадку за таблицею 5.4 маємо наступне розрахункове значення критерію Кохрена:

$$G = \frac{S_{i \max}^2}{\sum S_i^2} = \frac{4,0}{9,18} = 0,435 \quad (5.8)$$

По таблиці [7] знаходимо, що з рівня значимості 5% і $f=2$ критичне значення $G_{\text{кр}} = 0,61$.

Таким чином, гіпотеза про однорідність дисперсії приймається, оскільки розрахункове значення критерію Кохрена не перевищує табличного значення.

Перевірка значущості коефіцієнтів моделі проводилася незалежно, для цього використовували перевірку за критерієм Стьюдента.

З використанням повного факторного експерименту довірчі інтервали всім коефіцієнтів рівні одне одному.

5.2. Дослідження твердості привареної сталеві втулки.

Якість відновленої поверхні шийки валу можна оцінити по твердості привареної втулки в небезпечних ділянках по зварному шву і в зоні термічного впливу.

На рисунку 5.1 наведена схема розташування ділянок для виміру твердості на шийці валу, що відновлюється. Вимірювання проводили через кожні 1 мм на ділянках а-а і б-б. Зразки попередньо піддавалися шліфуванню.

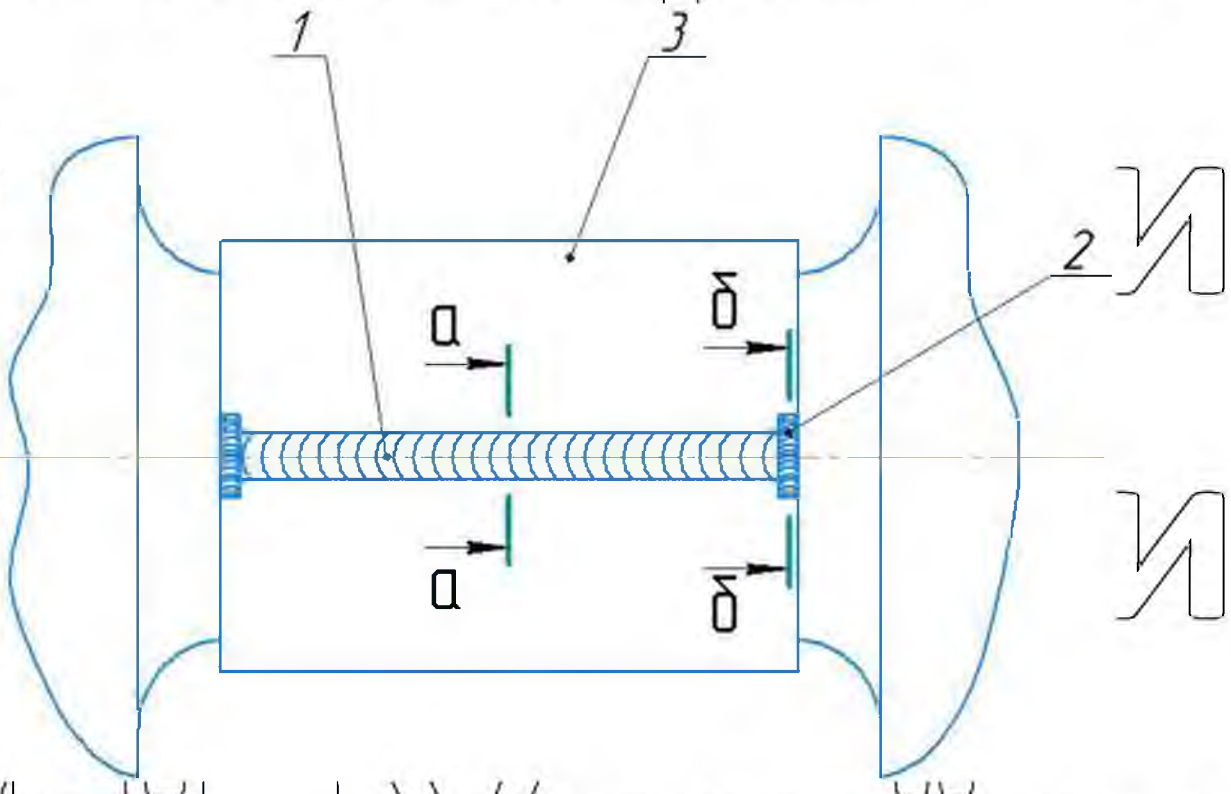


Рисунок 5.1. Схема ділянок на шийці валу, що відновлюється, для виміру твердості в перерізах а-а і б-б;

1- стиковий зварний шов (дріт 12Х18Н9), 2- граничний зварний шов

(дріт ПАНЧ -11), 3 – ремонтна втулка.

Еюра розподілу твердості в перерізі а - а (рисунку 5.2) показує, що застосування дроту 12Х18Н9 як присадковий матеріал дає в зоні шва твердість в межах HRC 15...28. У зоні термічного впливу (прикордонна зона) твердість металу різко збільшується не більше HRC 30...50 ділянці шириною 4...7 мм.

Сталева стрічка поза цієї ділянки має стабільну твердість HRC 54...55.

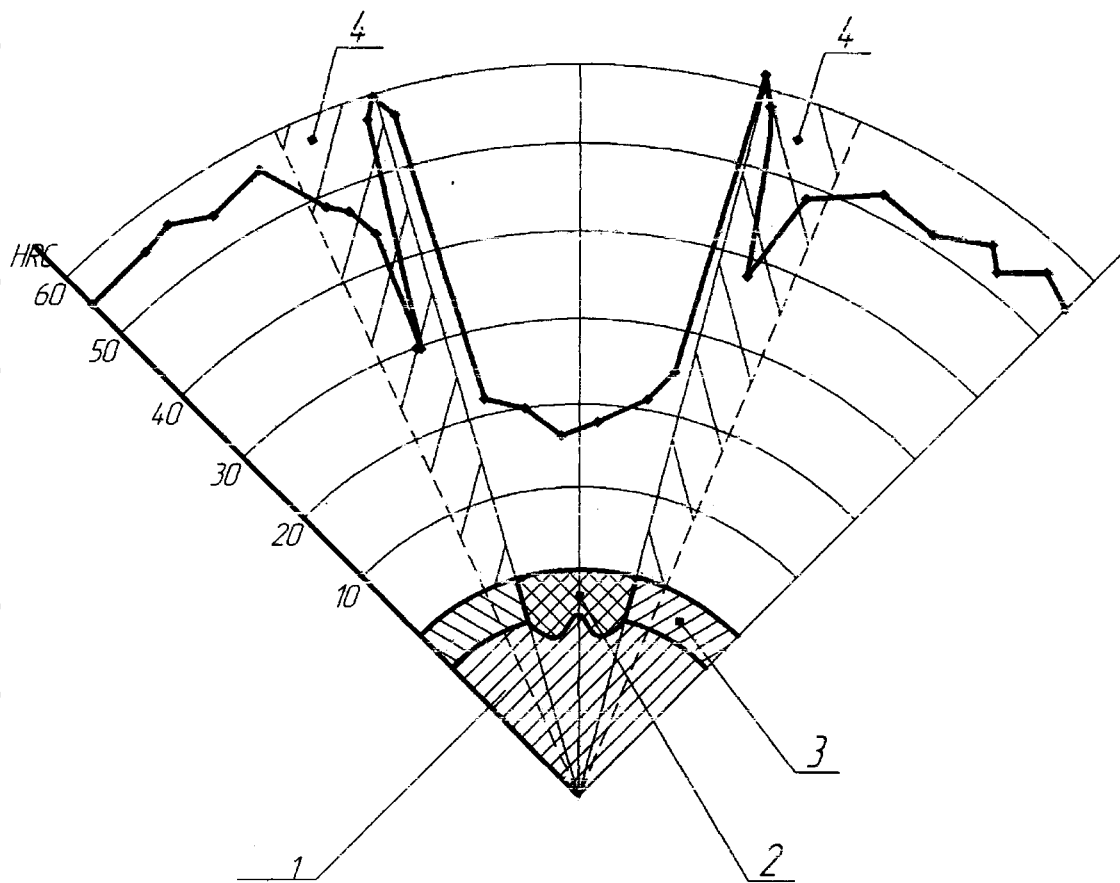


Рисунок 5.2 Епюра розподілу твердості у перерізі «а-а»:

1 – шийка валу; 2 - зварний стиковий шов; 3 – ремонтна втулка; 4 – зона термічного впливу

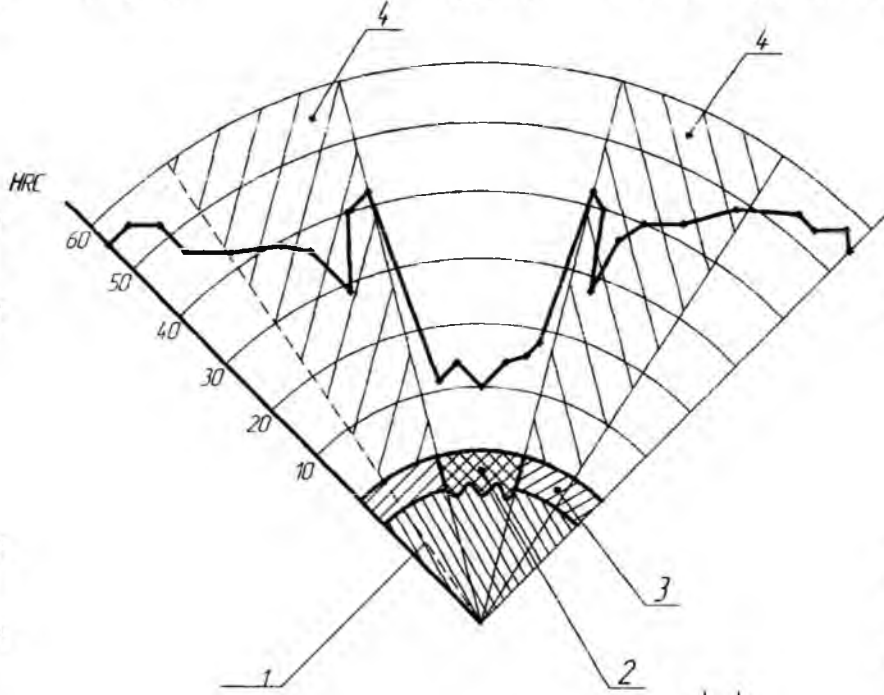
Дослідження виявило на межах зварного шва різкий сплеск твердості металу, яка доходила до HRC 62...58 у невеликій за шириною зоні (0,5...1,0 мм). Оплавлення металу валу, стінок ремонтної втулки та присадного матеріалу; їхнє перемішування та швидке охолодження призвело до утворення загартованих структур типу мартенсит з дуже високою твердістю. У цій зоні слід очікувати і найвищу залишкову напругу, яка формує небезпечну зону, схильну до утворення тріщин.

Термічна обробка привареної сталеві втулки до шийки валу в печі з нагріванням до 250°C (рисунок 5.3) не призвели до помітної зміни епюр розподілу твердості та зміни зон термічного впливу. Однак вдалося нікєві значення твердості в небезпечних перерізах знизити на HRC 10...15, що, безумовно, сприятливо має позначитися на надійній роботі зварного з'єднання втулки з шийкою валу.

НУБІП УКРАЇНИ

НУ

НУ



ІІНИ

ІІНИ

Рисунок 5.3 Еюра розподілу твердості у перерізі «а-а» після відпустки з нагріванням до 250°C:

1 – шийка валу; 2 – зварний шов; 3 – сталевая стрічка; 4 – зона термічного впливу

НУБІП УКРАЇНИ

На рисунку 5.4 наведено еюра розподілу твердості в перерізі «б-б» після відпустки в полум'ї паяльної лампи з нагріванням до 250°C. Присадочний дріт ПАНЧ-11 забезпечує у зварному шві твердість HRC 10... 18. За межами критичного зварного шва в результаті відпустки також вдалося знизити твердість на HRC 10... 14 та забезпечити більш пологий ріст твердості у зоні термічного впливу.

НУБІП УКРАЇНИ

Висока пластичність присадного матеріалу сприятливо позначається на величині зварювальних напружень, які не перевищують межі міцності привареної сталевій стрічці при забезпеченні необхідного запасу міцності.

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

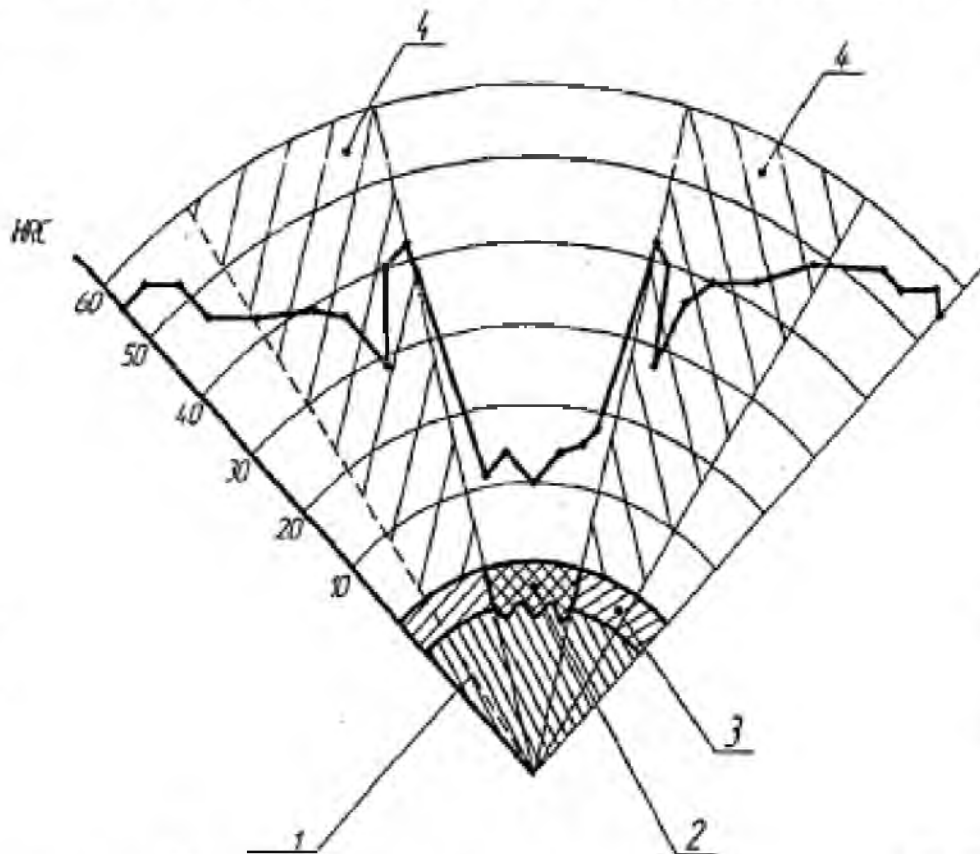


Рисунок 5.4 Епюра розподілу твердості в перерізі а після відпустки в полум'ї паяльної ламни при температурі 250°C:
 1 – шийка валу; 2 – сталева стрічка; 3 – зварний шов; 4 – зона термічного впливу

З численних літературних джерел вважатимуться, що застосування відпустки з нагріванням до 250°C сприятливо позначиться зниження зварювальних напружень 1-го роду і підвищення пластичності металу у зоні термічного впливу [19].

5.4. Результати випробувань на знос.

Стендові випробування на знос зразків із привареною стрічкою зі сталі 65Г та сталі 45 і було встановлено, що відносна зносостійкість сталеві стрічки 65Г у 1,66 рази вища, ніж загартованої стрічки із сталі 45 [34].

У цій роботі проведено великий обсяг експлуатаційних випробувань колінчастих валів автотракторних двигунів, у яких було відновлено одну або дві шийки після їх аварійного зносу. Шийки валів відновлювалися в номінальний, перший, другий та рідше третій ремонтні розміри.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз існуючих технологій відновлення шийок колінчастих валів автотракторних двигунів показав, що ці технології мають ряд істотних недоліків: нестабільна твердість відновленої поверхні шийки, значні деформації відновлюваного валу, високі залишкові напруги у валу, значне зниження втомної міцності валу та ін. усунути, використовуючи на шийці, що відновлюється, локальне приварювання розрізної ремонтної втулки з термічно обробленої сталеві стрічки.

2. Розроблено розрахунково-теоретичний метод визначення мінімально необхідної товщини ремонтної втулки, для виготовлення якої слід використовувати сталеву стрічку завтовшки 1,5...1,8 мм.

3. Розроблено розрахунково-експериментальний метод визначення натягу в поєднанні шийка – ремонтна втулка. Встановлено, що для різних схем приварювання розрізної втулки ремонтної натяг становить від 0,038 мм до 0,12 мм.

4. Розроблено розрахунково-експериментальний метод визначення технологічних напружень у шваренні ремонтній втулці. Напруги розтягування залежно від схем приварювання ремонтної втулки перебувають у межах 93,3...720 МПа при запасі міцності відповідно не більше 15,5...2,0.

5. Для забезпечення постійного натягу в поєднанні шийка валу - ремонтна втулка та необхідного запасу міцності стінок ремонтної втулки слід розрізну ремонтну втулку приварювати поздовжнім стиковим швом і остаточно фіксувати електрозаклепками через 45° повороту шийки валу в середній частині.

6. При приварюванні ремонтних втулок у колінчастий вал вноситься мінімальна кількість теплоти. Про термічний вплив на колінчастий вал зварювальної операції свідчить той факт, що навіть при відновленні всіх шийок його деформація не перевищує 0,05 мм, а при відновленні окремих шийок - знаходиться в допустимих значеннях 0,01...0,03 мм.

7. Отримано математичну модель залежності технологічних напружень у ремонтній втулці від основних технологічних факторів при її приварюванні до шийки валу.

8. Застосування сталеві стрічки для виготовлення розрізної ремонтної втулки дозволяє точно виконувати технічні вимоги по твердості шийки вала, що відновлюється, шляхом її відповідної термообробки. На межі стикового зварного шва та зони термічного впливу спостерігається у вузьких межах зона підвищеної твердості (HRC 58...62). Застосування відпустки при 250 °C знижує твердість у цій зоні на 10...12 одиниць.

9. Для надійної роботи відновленої шийки необхідно забезпечити сталість натягу у поєднанні шийка валу - ремонтна втулка, для чого необхідно не перевищувати встановлений перепад температур шийки та ремонтної втулки під час прогріву двигуна.

10. Металографічні дослідження показали, що в мікроструктурі зварного шва немає мікротріщин та інших дефектів, спостерігається гарне оплавлення ремонтної втулки з основним металом шийки валу та між її кромками у зоні стику. Твердість привареної ремонтної втулки перебувала в межах HRC 54... 56, у зоні стикового зварного шва не більше HRC 20... 30, а в зоні термічного впливу не більше HRC 30... 50.

11. Експлуатація двигунів автомобілів та тракторів з відновленими шийками колінчастих валів за розробленою технологією показала, що ресурс цих колінчастих валів не відрізняється від нових, а при ремонті вони піддаються шліфуванню та поліруванню у подальші ремонтні розміри.

Економічний ефект від відновлення партії колінчастих валів у кількості 150 штук може становити 63000 гривень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Адлер Ю.П., Маркова Є.В., Грановський Ю.В. Планування експерименту під час пошуку оптимальних умов. Вид. 2. перероб. та дод. – М: Наука, 1976.-280с.
2. Артамон М.Д., Морін М.М., Скворцов Г.А. Основи теорії та конструювання автотракторних двигунів. – М.: Вища школа, 1978. – 133с.
3. Артем'єв Д.М. Якість ремонту та надійність машин у сільському господарстві. - М: Колос, 1981. - 239с.
4. А. Арсентьев, А. Федорищев. Методика визначення напруги у поєднанні «Розрізна втулка- шийка валу» зб. наук. тр. СПГАУ 2005, стор.8... Ю.
5. Бадакшін В.С. Основи технології машинобудування. - М: Машинобудування, 1969. - 559с.
6. Белов А.Д., Зуєв А.А., Вальдман Т.Ю. Мікротвердість гнізд корінних опор блоків циліндрів, відновлених контактним приварюванням сталеві стрічки / Удосконалення ремонту с.-г. техніки: зб. наукових праць – Л.:1983. – С. 34 – 38.
7. Большов Л.М., Смирнов Н.В. Таблиці математичної статистики. - М: Наука, 1965. -474с.
8. Бородський В.З. Введення у факторне планування експерименту. - М: Наука, 1976.-220с.
9. Биховський Р.Г. Плазмова обробка металів на Ленінградських підприємствах // Зварювальне виробництво. 1983. – №10 – С. 36.
Ю.Волков. П.В. Наплавлення порошковим дротом деталей автомобіля // Автоматична зварювання, - 1971. - №8.
- 11.Горохов В.А., Руденко П.А. Ремонт та відновлення колінчастих валів// М.: Колос 1978.- 160с.
12. Воловик О.Л. Довідник відновлення деталей. - М: Колос, 1981.-351с.
- 13: Діденко А.М., Строков А.П., Водолазкий В.І Дизелі СМД: Довідник – Агропромиздат, 1990. – 272с.
14. Доманьков В.М. Шляхи підвищення якості ремонту та довговічності автотракторних двигунів. - Мінськ: Вид. Академія с.-г. наук БРСР, 1960.-43с.

15. Єгоров М.Є., Дементьев В.І., Дмитрієв В.Л. Технологія машинобудування: Підручник для вишів. Вид. 2-е, дод. - М.: Вища школа, 1976. - 534с.

16. Єлизаветін М.А. Підвищення надійності машин. Изд. 2-е, перероб. та дод. - М.: Машинобудування, 1973. - 430с.

17. Єрмолов Л.С., Кряжков В.М., Черкун В.Є. Основи надійності сільськогосподарської техніки. - М.: Колос, 1974. - 223с.

18. Зуєв А.А., Гуревич Д.Ф. Технологія сільськогосподарського машинобудування М.: Колос, 1980. - 256с.

19. Козаков Ю.В. «Зварювання та різання металів» Навчальний посібник: М.: Видавничий центр «Академія», 2000 - 400с

20. Зуєв А.А., Арсентьев А.В., Федорищев А.А. Технологія відновлення шийок колінчастих валів // Двигунобудування. - СПб. - 2006. - № 3. - С. 40-42.

21. Зуєв А.А., Федорищев А.А. Удосконалення технології відновлення шийок колінчастих валів автотракторних двигунів/Проблеми аграрної науки на сучасному етапі. Зб. наук. праць СІБДАУ. - СПб., 2004. 240 с.

22. Зуєв А.А. Технологія машинобудування. 2-ге вид., испр. та дод. - СПб.: Лань, 2003. - 496с.

23. Казарцев В.І. Ремонт машин (тракторів, автомобілів та сільськогосподарських машин), - М.-Л.: Держ. вид-во с.-г. літератури, 1961-583с.

24. Карелін П.А. Допустимі зноси деталей та його розмірний зв'язок // Техніка сільському господарстві. - 1983. - №7. - С. 52 - 53.

25. Зуєв А.А., Федорищев А.А. Удосконалення технології відновлення шийок колінчастих валів автотракторних двигунів: зб. наук. тр. СПГАУ 2004, стор. 160.

26. Колчин А.І., Демідов В.П. Розрахунок автомобільних та тракторних двигунів. Навчальний посібник. 2-ге вид. перероб. та дод. - М.: Вища школа, 1980. - 400с.

27. Кривенко П. М., Федосов І. М., Авер'янов В.М. Ремонт дизелів сільськогосподарського призначення. - М. Агропромиздат, 1990. 271с.

28. Крагельський І.В., Алісін В.В. Тертя, зношування та змащення: Довідник у 2-х кн. - М: Машинобудування, 1978, кн.1, С.84 - 97.

29. Кряжков В.М. Наукові основи відновлення працездатності сполучення деталей сільськогосподарських тракторів застосуванням металопокриттів та зміцнюючої технології: Автореф. дис... докт. техн. наук. Д, 1973. - 50с.

30. Кряжков В.М. Надійність та якість сільськогосподарської техніки. - М: Агропромиздат, 1989. - 335с.

31. Лахтін Ю.М. Дослідження та технічна обробка металів. 3-тє вид. - М.: Металургія, 1984. - 360с.

32. Левитський Г.С. Зносостійкі гальванічні покриття / Підвищення зносостійкості та термін служби машин. - М: АН СРСР, 1953

33. Лівшиць Л.Г., Поляченко О.В. Відновлення автотракторних двигунів. - М: Колос, 1966. - 479с.

34. Федорищев А.А. Методика визначення основних параметрів сталеві згортної стрічки. Зб. наук. тр. СПГАУ 2002. Вип.3, стор. 59.

35. Матанін А.А. Технологічні засоби підвищення довговічності деталей машин. - Київ: Техніка, 1971. - 144с.

36. Металографія заліза. - М: Металургія, 1972. - т.1. Основи металографії. 1972.-246с.

37. Методика розрахункової оцінки зносостійкості поверхонь тертя деталей машин. ВІПНМАШ. - М, 1979.

38. Мішин І.А. Зносостійкість деталей автотракторних двигунів. - Л.: Машгіз., 1960. - 139с.

39. Мішин І.А. Довговічність двигуна. - Л.: Машинобудування, 1976. - 288с.

40. Патент РФ №2235009. Спосіб відновлення колінчастого валу та колінчастий вал. /Зуєв А.А., Циплаков В.Г., Федорищев АЛЛ Оpubліковано 27.08.2004. Б.І. №24.

41. Проніков А.С. Надійність машин. - М: Машинобудування, 1978.

591с.

42. Ремонт автомобілів / За ред. Л.В. Дехтеринського. - М: Транспорт, 1992.-295с.

43. Ремонт машин/Под ред. Тельнова Н.Ф. - М: Агропромиздат, 1992. -

560с.

44. Селіванов А.І., Артем'єв Ю.М. Теоретичні основи ремонту та надійності сільськогосподарської техніки. - М: Колос, 1978. - 248с.

45. Сковородін В.Я. Довговічність сполучення деталей відремонтованої сільськогосподарської техніки. Дис... докт. техн. наук – Л., 1985, – 567с.

46. Сковородін В.Я., Кавін В.П. Дослідження співвідношення гнізд корінних підшипників блоків двигунів СМД-14 при капітальному ремонті. - Записки ЛСХІ, Л.: ЛСХІ, т.316,1976. С. 15 – 19.

47. Соколовський А.П. Наукові засади технології машинобудування. - М. – Л.: Машгіз, 1955. – 575с.

48. Солонін І.С. Математична статистика у технології машинобудування. - М: Машинобудування, 1972. - 197с.

49. Довідникова книга з технології ремонту машин у сільському господарстві / За ред. А.І.Селіванова. М.: Колос, 1975. – 600с.

50. Довідник з триботехніки. // За загальною ред. М.Хебди, А.В. Чикінадзе. 3 т. Теоретичні основи. - М: Машинобудування, 1989. – Т 1. -С. 268-282.

51. Довідник технолога-машинобудівника у 2 т. / За ред. канд. техн. наук А.Г. Косилової та Р.К. Мещерякова. М: Машинобудування, 1972. - Т 1. 694с.

52. Суліма А.М., Шилов В.А., Ягодкін Ю.Д. Поверхневий шар та експлуатаційні властивості деталей машин. - М: Машинобудування, 1988. -231с.

53. Табір Д. Питання тертя металів // ГСМ. - 1953 №3.

54. Теоретичні основи зварювання/Под ред. В.В.Фролова. - М: Вища школа, 1970. - 592с.

55. Тихонов Б., Тихонов Є. Відновлення напиланням. А.Т.К. - 1992 №2. С.20-21.

НУБІП України

56. Ульман І.С., Тонн Г.А. та ін. Ремонт машин. - М. Колос, 1976. - 448с.

57. Хасуй А., Морічакі О. Наплавлення та напідення (пер. з яп.) -

Машинобудування, 1995.-238с.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ДОДАТКИ

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Додаток 1

РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ

Техніко-економічна ефективність представлених розробок технології відновлення шийок колінчастого валу із застосуванням приварювання розрізної ремонтної

втулки.

Річний економічний ефект від застосування розробленої технології розраховуємо за такою формулою:

$$E = (C_1 \cdot K_d - C_2) \cdot P, \quad (5.16)$$

де E - річний економічний ефект,

C_1 - приведена собівартість відновлення за базовою технологією;

C_2 - приведена собівартість відновлення за розробленою технологією,

K_d - коефіцієнт підвищення довговічності відновлених деталей,

P - програма відновлення на рік

Аналіз різних способів нанесення покриттів на зношену поверхню шийок колінчастих валів, виконаний у першому розділі, показав, що за базовий варіант відновлення слід вибрати спосіб відновлення наплавленням.

Розрахуємо наведену собівартість відновлення шийок за базовим варіантом, яка дорівнює:

$$C_1 = C_T + E_n \cdot K_1, \quad (5.17)$$

де C_m - технологічна собівартість відновлення за базовим варіантом;

E_n - нормативний коефіцієнт, $E_n = 0,15$;

K_1 - капітальні витрати на одиницю продукції.

Технологічна собівартість у загальному вигляді дорівнює:

$$C_m = C_M + C_{з.} + C_{нв} \quad (5.18)$$

де: C_M - вартість матеріалів;

$C_{з.}$ - заробітна плата основних робітників;

НУБІП України

НУБІП України

С_{н.с.} - накладні витрати.
 Технологічна собівартість відновлення шийок колінчастих валів: $C'_m = C'_{mi} + C_{tn} + C_{шч}$ (5.19)

де C'_{mi} - технологічна собівартість шліфування під наплавлення;

C_{tn} - технологічна собівартість наплавки;

$C_{шч}$ - технологічна собівартість шліфування остаточний розмір.

Аналогічним чином розраховується технологічна собівартість розробленої технології відновлення шийок колінчастого валу. Дані за розрахунками окремих витрат зводимо до таблиці 5.5.

Таблиця 5.5

Складові технологічної собівартості порівнюваних технологій

№ операції	Зміст операції	Складові витрат			
		Див	СЗП	З'нр	ст
Базовий варіант					
1	Шліфування шийок під наплавлення	+	+	+	+
2	Наплавлення	-	-	-	+
3	Шліфування в остаточний розмір	+	+	+	+
Розроблений варіант					
1	Шліфування шийок у розрахунковий розмір	+	+	+	+
2	Виготовлення розрізної ремонтної втулки та її приварювання до				+
3	Шліфування в остаточний розмір	+	+	+	+

Аналіз даних у таблиці 5.5 свідчить у тому, що у базовому, і у розробленому випадках технологічна собівартість майже однакові.

Розрізняються лише капітальні витрати та якість відновлених валів.

Для наплавлення необхідний токарний верстат та установка для

НУБІП України

НУБІП України

наплавлення.

$$K1 = K_1 / \gamma + K1 / \gamma = 150000 + 75000 = 225000 \text{ грн.}$$

Для приварювання розрізної ремонтної втулки необхідні плазмова установка та дві муфельні печі.

$$K2 = K_2 / \gamma + K2 / \gamma - 100000 + 40000 = 140000 \text{ грн.}$$

Як зазначалося вище, зносостійкість привареної сталевий втулки зі сталі 65Г порівняно зі сталлю 45 вище в 1,66 рази. Наплавлення пружинним дротом під шаром флюсу АН - 348А порівняно зі сталлю 45 має зносостійкість менше 1,3, повною основою можна прийняти значення коефіцієнта K_d у формулі (5.16) рівним 1,5.

Наведена собівартість за базовим варіантом $C_1 = C_{т1} + E_n \times K1 = 2000 + 0,15 \times 225000 = 1220 \text{ грн.}$

Наведена собівартість за розробленим варіантом

$$C_2 = C_{т2} + E_n \times K2 = 2000 + 0,15 \times 140000 = 940 \text{ грн.}$$

Тоді річний економічний ефект відновлення 150 колінчастих валів за розробленою технологією складе

$$E_p = 1,5(1220 - 940) \times 150 = 63000 \text{ грн.}$$

Ціна нового колінч. вала, Д-240

От 5500 до 14248 грн., Середня – 9874

Якщо ціна відновленого вала становитиме 4000 грн., ефект можна отримати:
 $(9874 - 4000) \times 150 = 881100 \text{ грн.}$

НУБІП України

НУБІП України