

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра машиновикористання та сервісу технологічних систем

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

Якубівський Владислав Олегович

УДК 631.3.01.004.67

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Дослідження довговічності підшипникових вузлів трансмісій та
розробка технології їх ремонту**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне
джерело _____ В.О. Якубівський

Керівник роботи

Міненко С.В.

кандидат технічних наук

Житомир – 2020

АНОТАЦІЯ

Якубівський Владислав Олегович. Дослідження довговічності підшипникових вузлів трансмісій та розробка технології їх ремонту. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

Розроблені технічні вимоги до технології ремонту вузлів “корпус-стакан-підшипник” та до оснащення для закріплення деталей типу стакан при їх наплавленні. На основі цих вимог розроблена технологія ремонту вузлів “корпус-стакан-підшипник”, яка включає перелік наступних основних операцій: розбирання вузла, мийка корпусної деталі та деталей типу “стакан”, дефектування цих деталей, розточування спрацьованих поверхонь корпусної деталі під ремонтний розмір, наплавлення стаканів по зовнішній поверхні, токарна обробка зовнішньої поверхні стакана до ремонтного розміру, під який розточено корпусну деталь, токарна обробка внутрішньої поверхні до розмірів за кресленнями під підшипник, контроль, збирання.

Технологія ремонту вузлів “корпус-стакан-підшипник” та деталей цього спряження впроваджена в умовах шести ремонтних підприємств, відновлені спряження КПП трактора ХТЗ-Т-150К-09-05 пройшли експлуатаційні випробування. На протязі експлуатаційного періоду спостережень відмов деталей вузла “корпус-стакан-підшипник” не зафіксовано.

При прогнозованій потребі в ремонті вузлів “корпус-стакан-підшипник” по Україні в кількості 62,3 тис. штук річний економічний ефект від використання запропонованої технології становитиме близько 175600 тис. грн.

Ключові слова: підшипникові вузли, технологія, ремонт, довговічність, корпус

ANNOTATION

Yakubivsky Vladyslav Olehovich. Research of durability of bearing units of transmissions and development of technology of their repair. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Technical requirements to the technology of repair of units "body-glass-bearing" and to the equipment for fastening of details of type of glass at their surfacing are developed. On the basis of these requirements the technology of repair of knots "case-glass-bearing" which includes the list of the following basic operations is developed: disassembly of knot, washing of the case detail and details like "glass", defecting of these details, boring of the worked surfaces glasses on the outer surface, turning the outer surface of the glass to the repair size, under which the body part is drilled, turning the inner surface to the dimensions according to the drawings under the bearing, control, assembly.

The technology of repair of "body-glass-bearing" assemblies and parts of this coupling has been implemented in the conditions of six repair enterprises, the restored couplings of the HTZ-T-150K-09-05 tractor checkpoint have passed operational tests. During the operational period of observations of failures of the parts of the node "housing-glass-bearing" are not recorded.

With the projected need for repair of units "body-glass-bearing" in Ukraine in the amount of 62.3 thousand pieces, the annual economic effect of the use of the proposed technology will be about 175.6 million UAH.

Key words: bearing units, technology, repair, durability, case

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ВІДНОВЛЕННЯ ЧАВУННИХ ДЕТАЛЕЙ НАНЕСЕННЯМ СТАЛЕВОГО ШАРУ.....	8
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	17
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВИЗНАЧЕННЯ УСАДКИ ТА ТВЕРДОСТІ МЕТОДОМ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХНІ ВІДГУКУ.....	29
ВИСНОВКИ.....	41
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	42

ВСТУП

особливий інтерес в плані застосування для ремонту вузлів спряження “корпус – стакан – підшипник” наплавленням зовнішніх поверхонь чавунних деталей типу “стакан” з наступною токарною обробкою цих поверхонь під ремонтний розмір, до якого розточено отвір корпусної деталі та внутрішньої поверхні до розміру під підшипник, є спосіб наплавлення в середовищі природного газу та кисню. Цей спосіб передбачає використання дешевого наплавлювального матеріалу у вигляді низьковуглецевого дроту, наприклад Св-08, а для захисного середовища – доступні магістральний природний газ або балонний пропан - бутан та технічний кисень. Спосіб дозволяє наносити електродуговим наплавленням однопрохідні сталеві шари, які обробляються лезовим різальним інструментом. Це дозволить ремонтувати вузли спряження “корпус – стакан – підшипник” наплавленням зовнішньої поверхні чавунних стаканів та токарною обробкою деталей спряження застосовуючи універсальне технологічне обладнання – наплавлювальну установку, розточний та токарний верстати, які серійно випускаються вітчизняною промисловістю.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення надійності підшипникових вузлів трансмісій тракторів.

Для досягнення сформульованої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- Проаналізувати відомі способи та технології відновлення чавунних деталей нанесенням сталевих шарів;
- Розробити методику проведення досліджень;
- Провести експериментальні триботехнічні дослідження.

Об’єкт дослідження: процес зношування підшипникових вузлів трансмісій тракторів та сільськогосподарських машин.

Предмет дослідження: закономірності зношування деталей підшипникових вузлів сільськогосподарської техніки, в залежності від трибо технічних характеристик поверхні тертя.

Методи дослідження. Дослідження проведені з використанням загальнонаукових методів пізнання, триботехніки, прикладної фізики та механіки. Обробку експериментальних даних виконано з використанням методів математичної статистики.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. **Якубівський В. О.** Дослідження величини зношування деталей вузлів спряження “корпус-стакан-підшипник” . Збірник тез V-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»*. 28-29 березня 2019 року м. Житомир. ЖАТК. С. 282.

2. **Якубівський В. О.** Результати експериментальних досліджень визначення усадки. Збірник тез VI-ї всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 9-10 квітня 2020 року. Житомир : ЖАТК. С. 189.

3. **Якубівський В. О.** Аналіз існуючих способів та технологій відновлення чавунних деталей. IX Міжнародної науково-технічної конференції. *«Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві»*, 5-24 жовтня 2020 року, смт. Глеваха Київської області, Національний науковий центр «ІМЕСГ» НААН України. м. Київ, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Видавничий центр НУБіП України, 2020.

Практичне значення одержаних результатів. Результати роботи можуть бути впроваджені в ремонтних підприємствах сільськогосподарських підприємств.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 17 найменувань.

Загальний обсяг роботи становить 43 сторінки комп'ютерного тексту, містить 2 таблиці і 11 рисунків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ВІДНОВЛЕННЯ ЧАВУННИХ ДЕТАЛЕЙ НАНЕСЕННЯМ СТАЛЕВОГО ШАРУ

Цілий ряд робіт різних авторів по дослідженню застосовності способів нанесення сталевому шару на чавунні деталі [1-8] свідчить про актуальність цього питання. Нині проведена робота по вивченню якості сталевому шару, наплавленого на чавунні деталі в різних середовищах: у вуглекислому газі, потоці повітря, кисні, суміші вуглекислого газу та кисню, суміші вуглекислого газу, кисню і аргону, природного газу і кисню, під шаром флюсу, а також електроконтактною приваркою стрічки, електродами зі спеціальним покриттям та ін. [9].

Для зварювання і наплавлення в CO_2 застосовується електродний дріт з низьковуглецевої сталі з підвищеним вмістом кремнію та марганцю Св – 08Г2С, Св – 08ГС. Наявність розкислювачів – кремнію і марганцю необхідна для усунення пористості в наплавленому металі [5]. Проте, при наявності в основному металі 0,35% вуглецю неможливо усунути пористість підвищенням кількості марганцю і кремнію.

Позитивну роль при наплавленні відіграє поява кисню в зоні зварювальної ванни. В зоні високих температур біля дуги проходить розпад CO_2 за реакцією: $2\text{CO}_2 \rightleftharpoons 2\text{CO} + \text{O}_2$. Ступінь розпаду CO_2 і, відповідно, склад газу залежить від температури. Вважається, що газова фаза складається з 53,8 об.% CO_2 , 30,8 об % CO та 15,4 об % O_2 [5]. Кисень активно окислює залізо та домішки, зокрема вуглець, що підвищує стійкість металу шва до утворення пор та тріщин [9-13].

При зварюванні та наплавленні в CO_2 необхідна якісна підготовка наплавлювального дроту. Процес наплавлення особливо погіршується при наявності на дроті іржі та нітрата натрія, що входить в склад змащувальних матеріалів, яким покривається дріт з метою захисту від корозії. Тому, процес

підготовки дроту до наплавлення повинен включати операції по його механічному очищенню або травленню. Проте, при наплавленні чавунних деталей в CO_2 неможливо отримати наплавлений метал високої якості, без пор. Окрім цього, твердість наплавленого металу затрудняє оброблюваність його лезовим ріжучим інструментом [9-12].

В Челябінському політехнічному інституті розроблений спосіб вібродугового наплавлення чавунних деталей в потоці повітря [5]. Подача повітря в зону наплавлення сприяє зменшенню пористості металу. Автори пояснюють це тим, що потік повітря має високі окислювальні властивості, підсилює окислення ванни та її перегрів. Завдяки цьому окислення вуглецю у ванні відбувається при більш високих температурах і частинки окису вуглецю легше видаляються з рідкого металу до початку її кристалізації. Наплавлення проводилося низьковуглецевим дротом Св-08А діаметром 2 мм. Недоліками способу є неможливість отримання щільних якісних м'яких шарів. Перед наплавленням виникає необхідність в механічній обробці поверхонь. Спостерігалось несплавлення електродного і основного металів. Авторами відмічається отримання наплавленого металу задовільної якості на сталевих деталях [13-17].

Можливість застосування повітря, як киснеутримуючого газу, відмічають і інші автори. Проте, 75,5 вагових відсотків азоту, що є в повітрі, знижує якість металу [4].

На думку цих же авторів, для зниження кількості вуглецю в наплавленому металі та підвищення якості наплавлення доцільне застосування різних прийомів для його видалення. Найпростіше видалення вуглецю здійснюється шляхом окислення його в зварювальній ванні. Такий метод застосовується при бесемерівському виготовленні сталей, коли рідкий чавун продувається киснем. При цьому зайвий вуглець окислюється, переходить в газову фазу і звітрюється.

Ташкентським Інститутом іригації та механізації сільського господарства проведені роботи по дослідженню можливості наплавлення чавунних колінчастих валів в кисні [5]. Вібродугове наплавлення виконувалось електродним дротом суцільного перерізу, що за хімічним складом відповідає сталі 70, діаметром 1,8 мм. За допомогою спеціального мундштука в зону наплавлення подавався кисень. Формування наплавленого шару отримувалось задовільним. Твердість наплавленого шару становила 42-48 HRC. Для колінчастих валів, наплавлені поверхні яких підлягали шліфуванню, це є позитивним фактором. Проте, для наплавлення чавунних деталей, що підлягають подальшій механічній обробці лезовим ріжучим інструментом, цей спосіб не забезпечує необхідної твердості. Про не перспективність наплавлення в кисні свідчить той факт, що з часу публікування роботи (1968 р.) повторної інформації про застосування цього способу не виявлено.

Проблема отримання низьковуглецевих швів при зварюванні і напавленні чавуну досліджувалася також Київським і Львівським політехнічним інститутами [6]. Відмічається, що вміст вуглецю в наплавленому металі може бути знижено його окисленням. Пропонувалось для окислювального середовища застосувати газову суміш $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ [7]. Досліджувалися особливості дугового зварювання дротом Св-08 та Св-08Г2С на деталі із сірого чавуну в залежності від кількості кисню в суміші $\text{CO}_2 + \text{O}_2$. Склад цих газів впливає на формування валиків. Якщо в суміші більше 50% O_2 , то на поверхні валиків утворюється багато шлаку, який дещо погіршує їх формування, особливо при зварюванні дротом Св-08. Відмічається, що з підвищенням вмісту кисню доля основного металу спочатку дещо зменшується, а потім помітно зростає. Це пояснюється тим, що спочатку, внаслідок підвищення окислюваності газової суміші, кількість вуглецю зменшується. Потім з підвищенням теплового ефекту екзотермічних реакцій, обумовлених збільшенням кількості кисню, збільшується глибина проплавлення, що

приводить до збільшення долі основного металу, і, як наслідок, до збільшення кількості вуглецю. Наплавлений метал відповідає по кількості вуглецю сталі 50.

Так як при зварюванні і наплавленні чавуну в $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ важко отримати однопрохідні шви з задовільною оброблюваністю, то частіше за все застосовують багатошарове наплавлення [8]. Наплавлений метал в другому та третьому шарах містить 0,09-0,25% вуглецю. При одношаровому наплавленні твердість металевго шару HV 396-440, при трьохшаровому HV 178-180. Високу твердість одношарового наплавлення в суміші $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ і той факт, що на межі сплавлення спостерігались пори, необхідно віднести до недоліків способу.

Досліджено вплив складу газової суміші $\text{CO}_2 + \text{O}_2 + \text{Ar}$ на процес і якість дугового зварювання сірого чавуну сталевим дротом Св-08А [9]. Встановлено, що застосування потрібної суміші на основі аргону не дозволяє понизити твердість сталевго шару до значень, які дозволяють оброблювати його лезовим інструментом.

Для деталей з невеликим спрацюванням використовується спосіб відновлення електроконтактним приварюванням металевго шару [10]. Цей спосіб має ряд суттєвих переваг для відновлення певної номенклатури деталей. Так, наприклад, деталь в процесі відновлення не перегрівається, продуктивність процесу підвищується, зменшується витрата металу для відновлення. Але в процесі здійснення способу приварений шар металу загартовується і, по ствердженню авторів, механічна обробка можлива тільки шліфуванням, так як твердість металу становить HRC 58-62 [6].

Для відновлення чавунних деталей наплавленням та одержання шарів, що обробляються лезовим інструментом, застосовують наплавлення в два або три шари. Як уже відмічалось, науглецювання кожного наступного наплавленого шару нижче, ніж першого, що забезпечує порівняно невисоку твердість і дозволяє вести обробку лезовим ріжучим інструментом [6]. Описаний спосіб відрізняється значною трудомісткістю. Крім наплавлення в

декілька шарів, що знижує продуктивність відновлення, деталь перед наплавленням попередньо проточують на глибину 1-2 мм на токарному верстаті. При наплавленні отримуємо завищений припуск на механічну обробку – перевитрату наплавленого матеріалу та збільшення часу на механічну обробку після наплавлення.

Деякі автори вказують на можливість нанесення однопрохідного шару на чавун з задовільною оброблюваністю. Єлістратовим П.С. проведені роботи по дослідженню і розробці електродів типу СЧС для зварювання чавуну з отриманням наплавленого металу у вигляді м'якої сталі. Електроди СЧС на основі дроту Св-08 з покриттям, в склад якого входять компоненти, що утримують велику кількість кисню, легко виділяють його в зоні зварювальної дуги. Але ці електроди призначені не для автоматичного, а для ручного зварювання і наплавлення чавунних деталей [7].

В передових зарубіжних країнах, таких як США, Німеччина, Японія практикують наплавлення дротами із високо нікелевих сплавів, використовуючи при цьому суміш аргону та вуглекислого газу в співвідношенні 4:1 [3, 6], але це призводить до значного здорожчання собівартості виконання робіт.

З метою вивчення особливостей наплавлення низьковуглецевої сталі на сірий чавун та дослідження впливу технологічних параметрів на хімічні властивості наплавленого шару, а також на структурні зміни в зоні термічного впливу, проводились роботи по напавленню сталевому шару на чавун в Маріупольському металургійному інституті. Ставилася задача наплавити на чавун сталевий шар, який мав би високу пластичність. Крім цього, для забезпечення надійного з'єднання наплавленого металу з основним та запобігання його відшарування між ними не повинно утворюватись крихких загартованих структур – мартенситу загартованої сталі та ледебуриту відбіленого чавуну. Для подолання утворення таких структур інколи застосовують наплавлення проміжного маловуглецевого сталевому шару, а по ньому можна наплавити інші шари з заданими характеристиками. Відмічається,

що найбільш дієвим шляхом зниження вмісту вуглецю та інших сполук є зменшення глибини проплавлення основного металу [5]. Наплавлення шару низьковуглецевої сталі в умовах експерименту проводилось сталевією стрічкою Св-08 під флюсом АН-60 на пластини з чавуну СЧ-28, який містить 3,5% вуглецю. Стрічка містила 0,06% С. Загальне формування шва, повільний перехід від основного металу до наплавленого, відсутність пор та тріщин забезпечувались в порівняно широкому діапазоні режимів: $I_{зв} - 400-500\text{А}$, $U_d - 44-48\text{В}$, $V_{зв} - 1,7 \cdot 10^{-3}-3,2 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$. Проте геометричні розміри валика, хімічний склад і властивості наплавленого металу при різних режимах зварювання суттєво змінювались. Встановлено, що властивості наплавленого металу залежать від погонної енергії, яка змінювалась в межах $55 \cdot 10^5-105 \cdot 10^5 \text{ Дж/м}$. Збільшення погонної енергії хоч і сприяє збільшенню глибини проплавлення, але при досить малих швидкостях переміщення дуги розплавлений метал, затікаючи вперед дуги, захищає шари, які знаходяться нижче, від розплавлення. Структура і властивості металу наплавлень в зв'язку з різницею їх хімічного складу, а також по умовах охолодження, відрізняються один від одного. Якщо при малій погонній енергії ($55 \cdot 10^5 \text{ Дж/м}$, 0,48% С) метал швів має мартенситну структуру, то при збільшенні погонної енергії ($105 \cdot 10^5 \text{ Дж/м}$, 0,12% С) основними структурними є ферит і перліт. Пластичність металу, особливо наплавленого при погонній енергії близькій до максимальної, забезпечує можливість отримання наплавлених шарів без тріщин та з невисокою твердістю [9].

Досліджувалась також проблема отримання наплавлених шарів без ледебуритного прошарку в зоні сплавлення. Для досягнення цієї мети необхідно досягти швидкостей охолодження нижче критичних у визначеному інтервалі температур. За даними деяких авторів [6], критичним інтервалом температур для чавунів є $1100-800^\circ\text{C}$ та критична швидкість охолодження при цьому $10-11^\circ\text{C/с}$. При наплавленні з погонною енергією $105 \cdot 10^5 \text{ Дж/м}$ швидкість охолодження деталі в критичному інтервалі температур становить $8,6^\circ\text{C/с}$, що

нижче критичної. Металографічні дослідження отриманих шарів показали, що для цих наплавов характерна або повна відсутність ледебуриту, або він є у вигляді тонкої розгалуженої сітки. Із зменшенням погонної енергії виділення ледебуриту збільшується, так при погонній енергії $75 \cdot 10^5$ дж/м в зоні термічного впливу є смужка ледебуриту шириною 0,4-0,6 мм, а при погонній енергії $55 \cdot 10^5$ дж/м ширина її збільшується до 0,9-1,3 мм.

Хімічний склад наплавленого металу, а також структурні зміни в перехідній зоні суттєво впливають на твердість отриманого шару. Твердість наплавленого металу змінюється в межах від 180 НВ при погонній енергії $105 \cdot 10^5$ дж/м до 410 НВ при $55 \cdot 10^5$ дж/м. Така велика різниця пояснюється не однаковим вмістом у шві вуглецю та різною швидкістю охолодження. Найбільшу твердість має ділянка неповного розплавлення зони термічного впливу. Але в залежності від характеру виділення ледебуриту, твердість цієї ділянки також різна. Максимальна твердість 495 НВ досягається при погонній енергії $55 \cdot 10^5$ дж/м, коли ледебурит розміщений в вигляді широкої смуги. Із збільшенням погонної енергії наплавлення до $105 \cdot 10^5$ дж/м твердість ділянки знижується і становить 290 НВ [4].

З викладеного можна зробити висновок, що практична можливість наплавлення на чавун сталевих шарів, що оброблюються лезовим ріжучим інструментом досягається при погонній енергії $105 \cdot 10^5$ дж/м. Твердість при цьому буде становити 180 НВ наплавленого металу і 290 НВ в зоні сплавлення. Однак, така погонна енергія вводиться в деталь при дуже малих швидкостях наплавлення – біля 6 м/год, що в п'ять разів менше, ніж, наприклад, при наплавленні в CO_2 . Крім цього, при малих швидкостях наплавлення отримуємо велику товщину наплавленого металу, до 8 мм, що призводить до збільшення витрати часу, енергії і матеріалу.

У Львівському політехнічному інституті проведена робота по дослідженню однопрохідного наплавлення чавунних деталей низьковуглецевим сталевим дротом Св-08 з використанням для захисту зварювальної ванни

природного газу і кисню [7, 8]. Захист здійснювався двома концентричними потоками газів – зовнішнім кільцевим потоком природного газу та внутрішнім потоком кисню. Природний газ подають для захисту зварювальної зони від проникнення азоту з повітря. Проте, природний газ при попаданні в зону сплавлення, викликає велику пористість. Такий небажаний вплив природного газу на появу пористості усувають додаванням кисню, який подають вузьким внутрішнім потоком в активну частину зварювальної ванни. Подача газів в зону наплавлення здійснюється за допомогою спеціального двохсоплового пальника [9]. При виході з пальника природний газ згорає, утворюючи захисний факел. Фактично захист зварювальної ванни здійснюється факелом полум'я. Застосовується магістральний природний газ, який постачається для промислових та побутових потреб і технічний кисень. Змінюючи витрату кисню при постійній витраті природного газу можна регулювати окислювальний потенціал захисного середовища.

Спосіб дозволяє проводити супутній підігрів деталі газовим факелом, що позитивно впливає на структурні перетворення в наплавленому і основному металі деталі в процесі її наплавлення [7]. Описаним способом була наплавлена конкретна деталь – маточина веденого барабана заднього моста трактора Т-74 [5]. Наплавлення проводилось в один шар дротом з низьковуглецевої сталі Св-08 ГА діаметром 2 мм. Витрата природного газу 115-120 л/г, кисню 1000 л/г. Нанесений шар був щільний, задовільно піддавався механічній обробці лезовим різальним інструментом.

Висновки по розділу 1

Виходячи з викладеного можна зробити висновок, що особливий інтерес в плані застосування для ремонту вузлів спряження “корпус – стакан – підшипник” наплавленням зовнішніх поверхонь чавунних деталей типу “стакан” з наступною токарною обробкою цих поверхонь під ремонтний розмір,

до якого розточено отвір корпусної деталі та внутрішньої поверхні до розміру під підшипник, є спосіб наплавлення в середовищі природного газу та кисню. Цей спосіб передбачає використання дешевого наплавлювального матеріалу у вигляді низьковуглецевого дроту, наприклад Св-08, а для захисного середовища – доступні магістральний природний газ або балонний пропан - бутан та технічний кисень. Спосіб дозволяє наносити електродуговим наплавленням однопрохідні сталеві шари, які обробляються лезовим різальним інструментом. Це дозволить ремонтувати вузли спряження “корпус – стакан – підшипник” наплавленням зовнішньої поверхні чавунних стаканів та токарною обробкою деталей спряження застосовуючи універсальне технологічне обладнання – наплавлювальну установку, розточний та токарний верстати, які серійно випускаються вітчизняною промисловістю.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження величини зношування деталей вузлів спряження “корпус-стакан-підшипник” проводилось шляхом вивчення стану поверхонь цих деталей, які мають відхилення від розмірів за кресленням, величин цих відхилень, їх форми. Для отримання достовірних результатів визначення величин спрацювань вибиралася мінімальна кількість деталей, які підлягають мікрометражу – мінімальний об’єм спостережень. Згідно плану спостережень [NUN] під об’ємом спостережень слід розуміти об’єм вибірки N [2]. Вихідними даними для розрахунку мінімального об’єму спостережень були довірна ймовірність, гранична відносна похибка, коефіцієнт варіації, вид закону розподілу випадкової величини.

Довірчу ймовірність q , вибирали із ряду 0,80; 0,90; 0,95; 0,99. Це ймовірність того, що довірчий інтервал накріє відкладене на чисельній осі дійсне значення параметру розподілу випадкової величини у 80-99 випадках із 100. Тут довірчий інтервал – інтервал можливих значень параметру випадкової величини, у нашому випадку величини спрацювання.

Гранична відносна похибка показника δ_1 вибиралась із ряду 0,05; 0,10; 0,15; 0,20.

Коефіцієнт варіації V визначався як відношення середнього квадратичного відхилення випадкової величини σ до її математичного очікування – середньо-зваженого по імовірності значення випадкової величини $\bar{a}$:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{a}} \quad (2.1)$$

Середнє квадратичне відхилення випадкової величини σ визначалося значенням квадратного кореня із дисперсії σ^2 - величини розсіювання вибраних значень навколо їх середнього значення [4]. При цьому:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2}{n-1} \quad (2.2)$$

де a_i - результат будь-якого окремого вимірювання;

$\bar{a}$ - середнє арифметичне результатів вимірювань;

n - кількість вимірювань.

Тоді середнє квадратичне відхилення буде дорівнювати [4]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2}{n-1}} \quad (2.3)$$

При визначенні коефіцієнту варіації для попереднього мікрометражу брали всі наявні в ремонтній майстерні деталі із розібраних вузлів, але не менше 10 деталей. Визначалось арифметичне значення величин дефектів, середнє квадратичне відхилення, коефіцієнт варіації. По таблиці відповідно з прийнятою довірчою ймовірністю 0,90 та граничною відносною похибкою 0,15 визначалася мінімальна кількість деталей, що підлягають мікрометражу.

На основі результатів мікрометражу цієї кількості деталей робили заключення про стан кожної поверхні деталі, яка знаходиться в спряженні з поверхнею іншої деталі, про величину зміни розмірів, про наявність інших дефектів, які визначають можливість відновлення деталі в цілому. В результаті отримували певну кількість придатних до експлуатації деталей, деталей, що підлягають відновленню та деталей, що підлягають бракуванню. Якщо за результатами мікрометражу мала місце хоч би одна поверхня, яка потребує відновлення, то така деталь відносилася до категорії деталей, що підлягають відновленню.

Використовуючи отримані результати мікрометражу ремонтного фонду кількісно оцінювали коефіцієнт відновлення деталей. Для цього користувалися формулою:

$$K_{\epsilon} = \frac{n_{\epsilon}}{N_{\epsilon}} \quad (2.4)$$

де K_{ϵ} - коефіцієнт відновлення деталей;

n_{ϵ} - кількість деталей, які підлягають відновленню;

N_{ϵ} - загальна кількість продефектованих деталей.

На одних і тих же деталях мали місце різні дефекти. Частоту повторень цих дефектів на деталях визначали за коефіцієнтом повторюваності дефектів:

$$K_{n.d.} = \frac{n_d}{n_{\epsilon}} \quad (2.5)$$

де $K_{n.d.}$ - коефіцієнт повторюваності дефекту;

n_d - кількість деталей, що мають певний дефект із загальної кількості деталей, які підлягають відновленню.

Дослідження режимів наплавлення чавунних стаканів проводились на серійній вітчизняній наплавлювальній установці УД-209 та на лабораторній установці на базі токарного верстату, переобладнаного шляхом доукомплектування його подаючим механізмом, механізмом струмопідводу та зменшенням обертів у 40 разів. Обидві установки доукомплектувалися розробленим газоелектричним пальником з комплектом газорозподільчої апаратури. Такі установки (рис.2.1) дозволяли проводити наплавлення чавунних стаканів електродуговим методом з газополуменевим захистом зварювальної ванни.

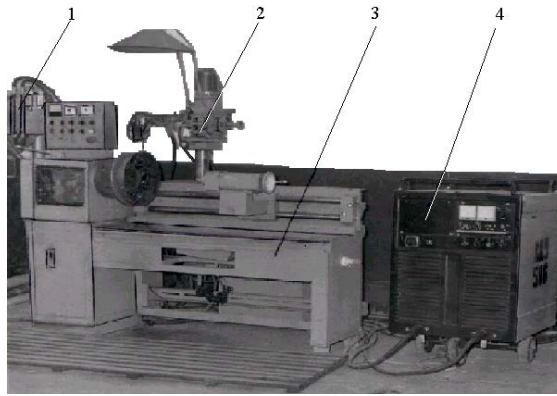


Рис. 2.1. Загальний вигляд установки для наплавлення деталей з газополуменевим захистом зварювальної ванни. 1 – газорозподільча апаратура; 2 – подаючий механізм із газоелектричним пальником; 3 – наплавлювальна установка УД-209; 4 – джерело струму ВДУ-506.

Газоелектричний пальник, за допомогою якого проводились дослідні наплавлення, складався із двох основних частин: газового пальника та мундштука. Вигляд пальника показано на рисунку 3.2.

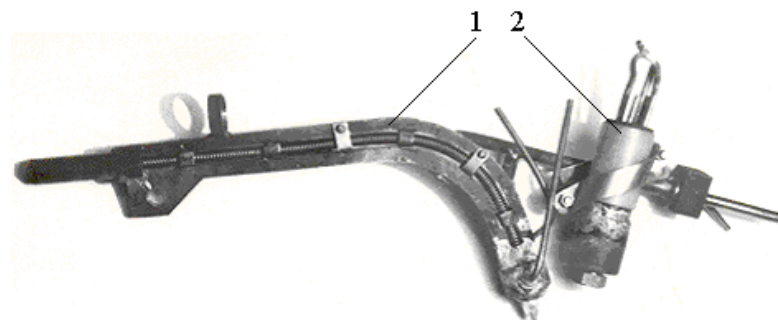


Рис. 2.2. Газоелектричний пальник. 1 – мундштук; 2 – газовий пальник.

Подавання зварювального дроту на деталь здійснювалась при допомозі мундштука 1. Захист зварювальної ванни від навколишнього середовища – газовим пальником 2. Для зменшення термовпливу на мундштук та пальник в процесі наплавлення ці деталі охолоджувались водою, яка послідовно подавалась в спеціально виготовлені порожнини цих деталей. Кисень та вуглеводневий газ подавались в газовий пальник окремо і виходили із нього двома концентричними потоками – кисень по центральному отвору, а вуглеводневий газ по кільцевому. Це дозволяло регулювати окислювальні чи відновлювальні особливості захисного факелу в широкому діапазоні.

На описаних вище установках укомплектованих такими газоелектричними пальниками і проводилися подальші дослідження режимів електродугового наплавлення з газополуменевим захистом чавунних деталей типу “стакан”.

Якість наплавленого шару на зразок, пронумерований у відповідності з номерацією досліду, визначалася візуально, а також за допомогою рентгенівської установки РУП-120.

При візуальному обстеженні визначалася наявність пор, раковин, тріщин на поверхні валика, тобто такі дефекти, які не допускаються.

Наплавлені зразки, на поверхні яких не спостерігалось пор, раковин, тріщин, підлягали просвічуванню на рентгенівській установці. Для зменшення впливу відблиску променів рентгенівська плівка РМ-2 розміщувалася у касеті, яка була виготовлена з тонколистового свинцю. На касету з плівкою розміщувалися зразки, що підлягали просвічуванню, яке проводили при витримці 6 ± 2 хв, струмі 4 ± 1 мА, напрузі 150 ± 5 В. По отриманих фотографіях визначали наявність пор, раковин та тріщин у середині наплавленого валика або на границі сплавлення.

Витрати кисню і природного газу, в межах яких забезпечувалося наплавлення без описаних дефектів, приймалися за інтервал витрат, в якому забезпечуються якісні по щільності та формуванню наплавлення.

При цьому, інтервал витрат природного газу визначався з умов формування факелу полум'я, що забезпечує захист зварювальної ванни – факел повинен бути помітним оку при мінімальних витратах газу і без утворення продуктів неповного згорання (чорного диму) при максимальних витратах.

З метою зменшення витрат захисних газів при наплавленні, що би дозволило знизити витрати на матеріали, робота проводилася в напрямку використання мінімальних значень витрат, які забезпечують якісні шви по щільності та формуванню. Якісними (задовільними) по формуванню вважалися шви без видимих напливів шириною 5 ± 1 мм, висотою $2,5 \pm 1,0$ мм. Контроль

показників якості формування здійснювався візуально, а також при допомозі штангенциркуля ШЦ-1-125 з ціною поділок 0,1 мм.

Робоча напруга та зварювальний струм визначалися з умов формування зварювального шва, яке характеризується такими показниками, як забезпеченість стабільності горіння дуги та переносу металу електроду на деталь, зменшенням глибини проплавлення основного металу, відсутністю перегрівання деталі, можливістю застосування при цьому тих чи інших наплавлювальних матеріалів.

Робоча напруга досліджувалася в межах 19 - 25 В, і вимірювалася вольтметром М 42100 з межею виміру 100 В та класом точності 2,5 В.

Сила струму в межах 150 - 250 А вимірювалася амперметром М 42100 з межею вимірювання 1000 А і класом точності 2,5 А.

Стабільність горіння дуги визначалася її безперервністю. Перерва в горінні не допускалася.

Глибину проплавлення виміряли штангенциркулем ШЦ-II-250 з ціною поділок 0,05 мм методом замірів товщини деталі до наплавлення і товщини основного металу після наплавлення. Різниця складала глибину проплавлення.

Відсутність перегріву деталі визначалася відсутністю стікання розплавленого металу з деталі, а також відсутністю наскрізного її проплавлення.

Дроти для наплавлення чавунних стаканів вибирали виходячи з умов нелегованості, наявності мінімальної кількості вуглецю (до 0,1 %) та якомога меншої вартості. Наплавлені такими дротами зразки розрізалися абразивним кругом перпендикулярно наплавленому валику і доопрацьовувалися для вимірювання мікротвердості шару та розподілу її по висоті валика. Ці заміри проводилися за допомогою твердоміра переносного ХПО-10 з межами вимірів 100 - 800 HV та похибкою ± 5 одиниць HV.

З метою зменшення глибини проплавлення, перегріву деталі та розбризкування металу робочу напругу приймали мінімальною, при якій

зберігається стабільне горіння дуги без перерв і йде стійке перенесення металу на деталь. Зварювальний струм, що характеризується в основному діаметром електродного дроту і швидкістю його подавання, визначили шляхом зміни швидкості подавання вибраного дроту діаметром 2 мм, виходячи з умов задовільного формування валиків та відсутності перегрівання деталі в межах 150-250 А. Виліт електродного дроту визначали зміною його в бік збільшення, починаючи від мінімальних значень. За мінімальне значення вильоту приймалося 8 - 10 мм. Збільшення вильоту сприяло зменшенню глибини проплавлення. Верхньою межею вильоту вважалась його величина, при якій порушувалась стабільність горіння дуги і спостерігалось коливання електроду – відхилення від уявної осі валика в той чи інший бік. Ця межа становила 40 мм.

Виліт газового пальника вибирався із умов задовільного формування валиків, відсутності пористості, мінімального забризкування соплової частини. Зміна вильоту пальника здійснювалася в межах від 30 до 60 мм через кожні 5 мм. Показники якості наплавленого шару, формування, наявність пор та ступінь забризкування внутрішнього сопел, що впливало на формування захисного факела, визначалися візуально. Інтервал значень вильотів газового пальника, при яких на поверхні валика не спостерігалось пор, при задовільному формуванні, приймався за робочий інтервал. В межах цього інтервалу для зменшення забризкування соплової частини приймалися верхні значення вильоту газового пальника для захисту зварювальної ванни.

Величину зміщення електроду із zenіту визначали в межах від нуля до величини, яка дорівнює радіусу деталі. При цьому візуально визначали якість формування валиків. Межі зміщення із zenіту, при яких були відсутні напливи, стікання розплавленого металу ванни, приймалися за інтервал можливих зміщень. Швидкість наплавлення вибирали виходячи з умов формування валиків і відсутності перегріву деталей, отримання необхідної товщини наплавленого шару, забезпечення продуктивності наплавлення. Мінімальна швидкість нанесення сталевих шару на порожнисті циліндричні деталі

дуговим наплавленням визначалася виходячи із умов задовільного формування сталевому шару на розігрітій чавунній деталі, так як з підвищенням температури деталі в певних межах валик розпливається по ширині. Не допускалося при цьому також проплавлення стінки деталі наскрізь. Максимальна швидкість ведення процесу, при якій продуктивність найбільша, визначалася виходячи з умов задовільного формування наплавленого металу, отримання припуску по товщині шару, який забезпечує після токарної обробки ремонтний розмір отвору корпусної деталі, тобто, щоб розмір наплавленої деталі по впадинах був на 2-3 мм більшим номінального розміру деталі. Швидкість наплавлення при проведенні досліджень знаходилася в межах 20-40 м/год і контролювалася секундоміром “Слава” СДСпр-1-2-000 з класом точності 2

Різниця між впадинами та виступами на наплавленому шарі регулювалася кроком наплавлення. Для зменшення цієї різниці крок наплавлення зменшувався. Дослідження проводилися в межах кроку від 2,7 до 5,3 мм, контроль проводився при допомозі штангенциркуля ШЦ-I-125 з ціною поділок 0,1 мм.

Всі подальші дослідження проводилися на режимах наплавлення, значення яких знаходилися у вибраних інтервалах. Всі прилади проходили перевірку у відповідних службах. Перелік приладів приведено в додатку А.

Деформаційні зміни внутрішнього діаметра чавунних стаканів досліджувалися шляхом визначення кінцевої величини усадки після наплавлення деталі і її охолодження до температури оточуючого середовища, а також шляхом вимірювання і запису деформації деталі на протязі всього періоду її наплавлення і охолодження.

Для вимірювання деформаційних змін, що відбуваються в процесі наплавлення і за період охолодження деталі після наплавлення, було розроблено оснащення, схема якого показана на рис. 2.3.

В деталі типу “стакан” 1 за допомогою гвинта 3 закріплювалася термopа 2. Двоплече коромисло 4, закріплене при допомозі рухомого шарніра

5, приймало сигнали з внутрішньої поверхні стакану і передавало на індикатор годинникового типу 6 та через індукційний датчик 8 на самозаписувач 10.

Таким чином сигнали передавалися з індукційного датчика МП-95 з похибкою вимірювання $\pm 0,01$ мм на самозаписувач НЗЗ86П. Двоплече коромисло та індукційний датчик нерухомим кріпленням 7 фіксувалися в задній бабці наплавлювальної установки. При цьому одне плече коромисла мало Г-подібну форму, а друге – прямолінійну. Посередині коромисла кріпилося до шарніру. Г-подібним кінцем коромисла постійно під час наплавлення знаходилося в контакті ковзання з внутрішньою поверхнею деталі. Для зменшення коефіцієнта тертя з внутрішньою поверхнею деталі в кінець коромисла впаювалася кулька підшипника.

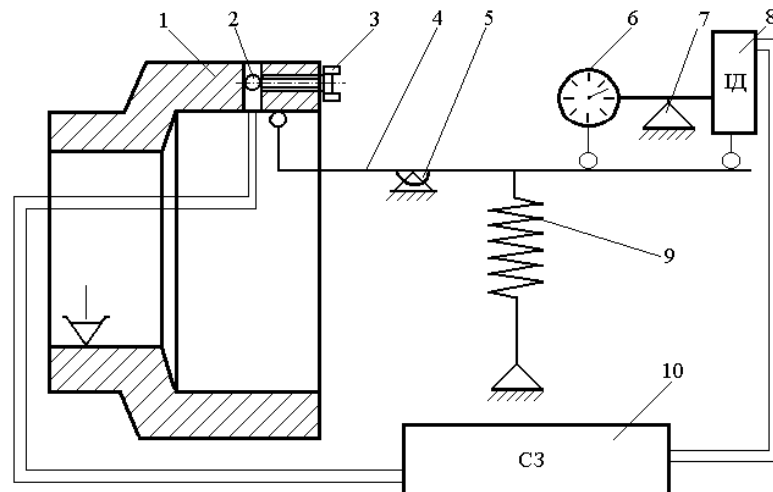


Рис. 2.3. Схема оснащення для вимірювання деформаційних змін та термічного циклу при напавленні деталі типу «стакан»

На прямолінійній ділянці коромисла встановлювалася рухома ніжка індукційного датчика, закріпленої нерухомо в задній бабці наплавлювальної установки таким чином, щоб вона (рухома ніжка) мала можливість рухатись вгору і вниз, що дозволяло фіксувати деформаційні зміни, які відбуваються в деталі як в бік збільшення внутрішнього діаметру, так і в бік його зменшення. Постійний контакт кульки, закріпленої на коромислі, з внутрішньою поверхнею деталі, що наплавлялася, забезпечувала пружина 9, одним кінцем закріплена нерухомо, а іншим на прямолінійній ділянці коромисла. Сигнал, що подавався

системою живлення і керування на індукційний датчик та змінений ним, приймався самозаписувачем на міліметровий папір. Крім цього, на прямолінійній ділянці коромисла встановлювалася ніжка індикатора годинникового типу ІЧ 10 з ціною поділок 0,01 мм, закріпленого також нерухомо в задній бабці наплавлювальної установки. За показниками цього індикатора проводилися записи дійсних значень деформації в певні моменти часу. Ці дані використовувалися в подальшому для розшифрування запису сигналів на самозаписувач з індукційного датчика.

В початковий момент після включення обертання деталі записувалися зміни розміру від центра обертання деталі до верхньої точки внутрішньої поверхні. Таким чином записувалося биття деталі, що встановлена в трьохкулачковому патроні наплавлювальної установки. Потім в момент максимального відхилення коромисла в один із боків, яке фіксувалось індикатором годинникового типу, вмикалася подача дроту і кроковий рух подавального механізму. Зупинка процесу після наплавлення всієї деталі також здійснювалася в стані максимального відхилення коромисла в той же бік, що і на початку наплавлення. При цьому припинялася подача дроту, рух каретки подавального механізму, обертання деталі та відключалися захисні гази. Записи деформаційних змін, що відбуваються в деталі при її охолодженні, продовжувалися. При цьому деталь залишалася закріпленою в патроні наплавлювальної установки в нерухомому стані до її охолодження до температури навколишнього середовища, як це показано на рис. 2.4.

Величини різниць діаметрів до і після наплавлення були первинними даними для розшифрування запису деформаційних змін, що протікають в деталях під час їх наплавлення та охолодження.



Рис. 2.4. Фрагмент наплавлювальної установки з пристосуванням для вимірювання деформаційних змін чавунних стаканів під час наплавлення та охолодження

Криві деформаційних змін, отримані одночасно з кривими температурних змін, дозволяли визначити, в який момент наплавлення і при яких температурах спостерігається деформація, а також в якому напрямку вона відбувається, тобто, збільшується чи зменшується внутрішній діаметр.

Для вимірювання кінцевої величини усадки застосовували нутромір мікрометричний НМ-175 з ціною поділок 0,01 мм. Вимірювали внутрішній діаметр до і після наплавлення у двох взаємо перпендикулярних площинах. При цьому перший замір проводили навпроти раніше встановленої помітки на торці деталі. По різниці величин діаметрів деталі до і після наплавлення визначали величину усадки.

Аналогічним чином визначалася величина деформаційних змін, що протікають в деталях типу “стакан” при їх наплавленні на різних режимах, тобто, з різними швидкостями наплавлення (20-40 м/год), різним кроком (2,7-5,3 мм). При цьому наплавлення проводилося на чавунні зразки, що геометричними показниками охоплюють, в основному, реальні деталі, які найбільш часто зустрічаються, з внутрішнім діаметром від 100 до 160 мм та товщиною стінки від 5 до 10 мм.

При напавленні таких деталей виникали труднощі із їх надійною фіксацією в патроні наплавлювальної установки, так як під час розігрівання діаметр деталі збільшувався і жорсткість її кріплення та струмопідвід погіршувалися. Тому при дослідних напавленнях використовували виготовлене в лабораторних умовах пристосування, показане на рис. 2.5.

Нерухомий фланець 2 із хвостовиком закріплювався в патроні наплавлювальної установки 1. Між фланцями розміщалася деталь 4, що за допомогою різьбового з'єднання 7 через пружину 6 стискалася з торців. Пружина, стискаючись, забезпечувала надійний контакт деталі з фланцями як в момент її закріплення, так і під час деформаційних змін при напавленні. Принцип не жорсткого закріплення деталі, що напавлялася, використовувався при розробці оснащення для закріплення деталей типу “стакан” для технології їх відновлення дуговим напавленням.

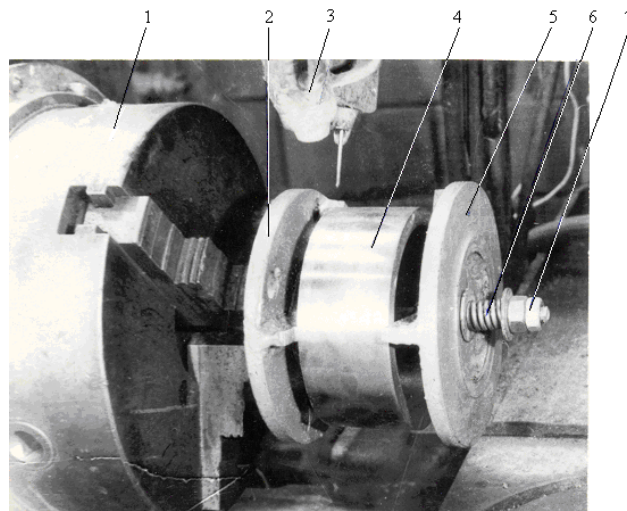


Рис. 2.5. Пристосування для закріплення порожнистих циліндричних деталей при їх напавленні: 1 – патрон наплавлювальної установки; 2 – нерухомий відносно патрона фланець; 3 – газоелектричний пальник; 4 – деталь, що підлягає напавленню; 5 – рухомий фланець; 6 – пружина; 7 – різьбове з'єднання.

Висновки по розділу 2

В другому розділі магістерської роботи представлено методику проведення експериментальних досліджень.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВИЗНАЧЕННЯ УСАДКИ ТА ТВЕРДОСТІ МЕТОДОМ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХНІ ВІДГУКУ

Дослідження впливу на величину усадки і на твердість наплавленого матеріалу конструктивних і режимних параметрів визначали методом побудови і аналізу поверхні відгуку. Для цього розраховували рівняння регресії, які в загальному вигляді можна представити так: $Y = f(x_i) + u$,

де Y – функція відгуку, залежна змінна,

x_i – незалежні змінні,

u – залишкова дисперсія (невраховані змінні).

Використовуючи експериментальні дані і застосовуючи спеціальне програмне забезпечення STAT, яке реалізує регресійний аналіз, провели дослідження для визначення адекватної моделі поверхні відгуку. Для цього провели розрахунки рівнянь за такими залежностями: поліном другого ступеня, лінійна, ступенева, показникова, логарифмічна і обернена. За найвищим

значенням коефіцієнта детермінації D визначили, що найбільш адекватною залежністю є лінійна.

Для величини усадки за внутрішнім діаметром ($Y_1 \times 10^{-3}$, м) рівняння має вид:

$$Y_1 = 2,1674 + 0,0088 X_1 - 0,1419 X_2 - 0,1019 X_3 - 0,0700 X_4, \quad (3.1)$$

де: x_1 – діаметр внутрішньої поверхні, $\times 10^{-3}$, м;

x_2 – товщина стінки деталі, $\times 10^{-3}$, м;

x_3 – швидкість наплавлення $\times 10^{-3}$, м/с;

x_4 – крок наплавлення, $\times 10^{-3}$, м;

Для твердості наплавленого металу (Y_2 , одиниць HRC) рівняння має вид:

$$Y_2 = 3,6576 + 0,00146 X_1 - 0,3067 X_2 + 0,9367 X_3 + 4,6566 X_4. \quad (3.2)$$

Адекватність рівнянь підтверджується такими статистичними показниками: для (3.1) $D = 0,797$, для (4.3) $D = 0,859$ і коефіцієнти множинної детермінації значущі на рівні ймовірності 0,99, коефіцієнти регресії значущі на рівні ймовірності 0,95. При цьому результати обробки експериментальних даних показали, що в рівнянні для визначення твердості (3.3) коефіцієнти регресії для діаметра і товщини стінки деталей відповідно $D_{\phi} = 100-160$ мм і $\delta = 5-10$ мм мають значення, довірчий інтервал яких має нуль. Це свідчить про те, що зміна вказаних конструктивних параметрів незначимо впливає на твердість, тому ці змінні не ввійшли в кінцеве рівняння.

В результаті подальшої обробки експериментальних даних залежність набула наступного виду:

$$Y_2 = 2,5909 + 0,9703 X_3 + 4,6995 X_4. \quad (3.3)$$

Після підстановки позначень функцій відгуку і незалежних змінних отримали математичні моделі процесу у вигляді:

$$\Delta D_{\phi} = 2,1674 + 0,0088 D_{\phi} - 0,1419 \delta - 0,1019 V_n - 0,0700 S, \quad (3.4)$$

$$HRC = 2,5909 + 0,9703 V_n + 4,6995 S.$$

(3.5)

Одержані математичні моделі дають можливість розраховувати величину усадки та твердість наплавленого шару за конструктивними показниками реальних деталей типу “стакан”, (внутрішній діаметр та товщина стінки) та режимними показниками (швидкість та крок наплавлення).

За вказаними моделями (3.4) і (3.5) побудовані гістограми залежності швидкості наплавлення V_n та кроку S від товщини стінки δ деталей типу “стакан” з діаметром (0,110-0,160) м при кроці наплавлення $S = (3-5) \cdot 10^{-3}$ м, які відображені на рисунках 4.22–4.24. Аналіз одержаних моделей і поданих ілюстрацій підтверджує результати теоретичних та експериментальних досліджень про те, що усадка залежить прямо пропорційно від діаметра деталі та обернено пропорційно від товщини стінки, швидкості та кроку наплавлення, а твердість наплавленого шару залежить прямо пропорційно від швидкості та кроку наплавлення.

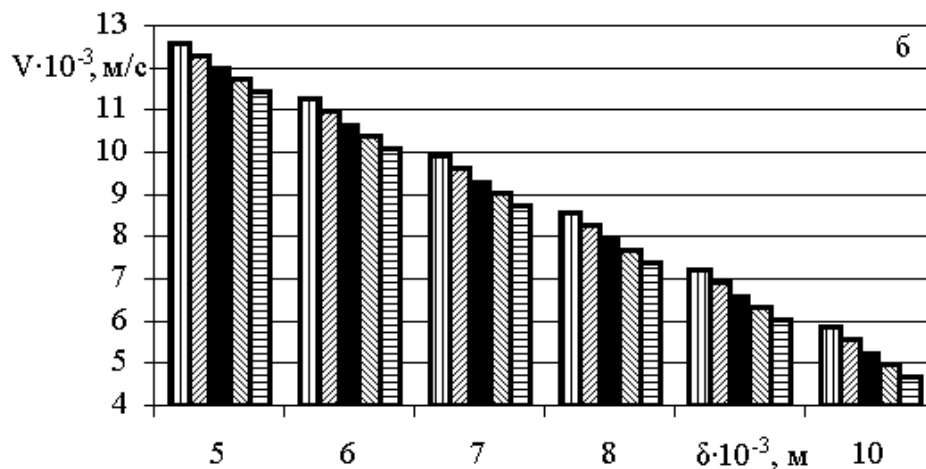
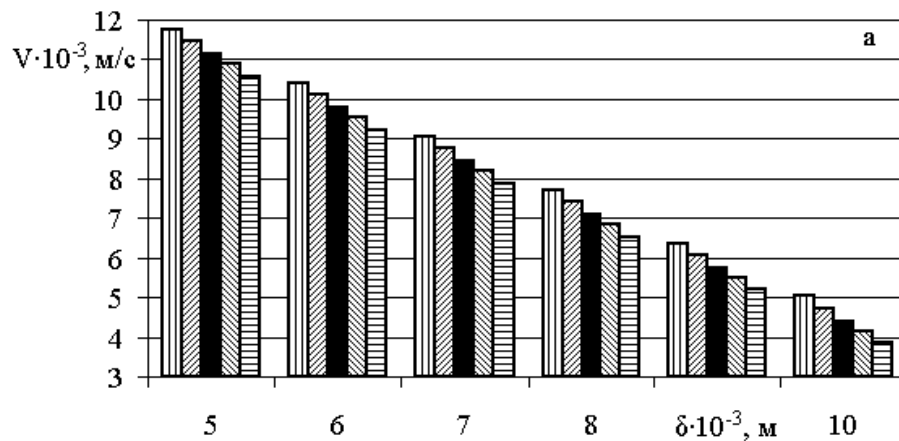
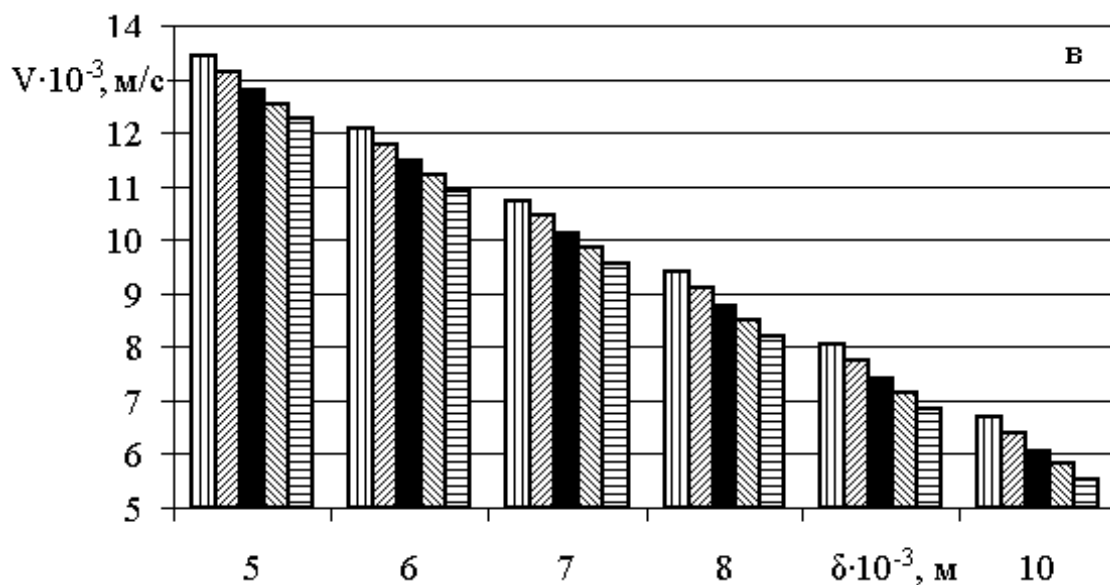


Рис. 3.1 Гістограма залежності швидкості наплавлення V та кроку S від товщини стінки деталей типу “стакан” з діаметром $D=0,110$ м (а) та $0,120$ м (б) при $S \cdot 10^{-3}$ м:
 ▨ 3,0; ▩ 3,5; ■ 4,0; ▤ 4,5; ▦ 5,0
 (Для отримання усадки $1 \cdot 10^{-3}$ м).

Для зручності користування з урахуванням тих обставин, що на ремонтних підприємствах використовують застаріле обладнання для механічної обробки поверхонь вузла спряження “корпус-стакан-підшипник”, ми збільшили величину гарантованого припуску на механічну обробку внутрішньої поверхні для деталей типу “стакан” з 0,7 мм до 1,0 мм. Виходячи з цього розміру і побудовані гістограми, кожна з яких для відомих діаметрів і товщини стінки дає можливість визначити режимні параметри, які забезпечують усадку по внутрішньому діаметру в розмірі 1,0 мм.



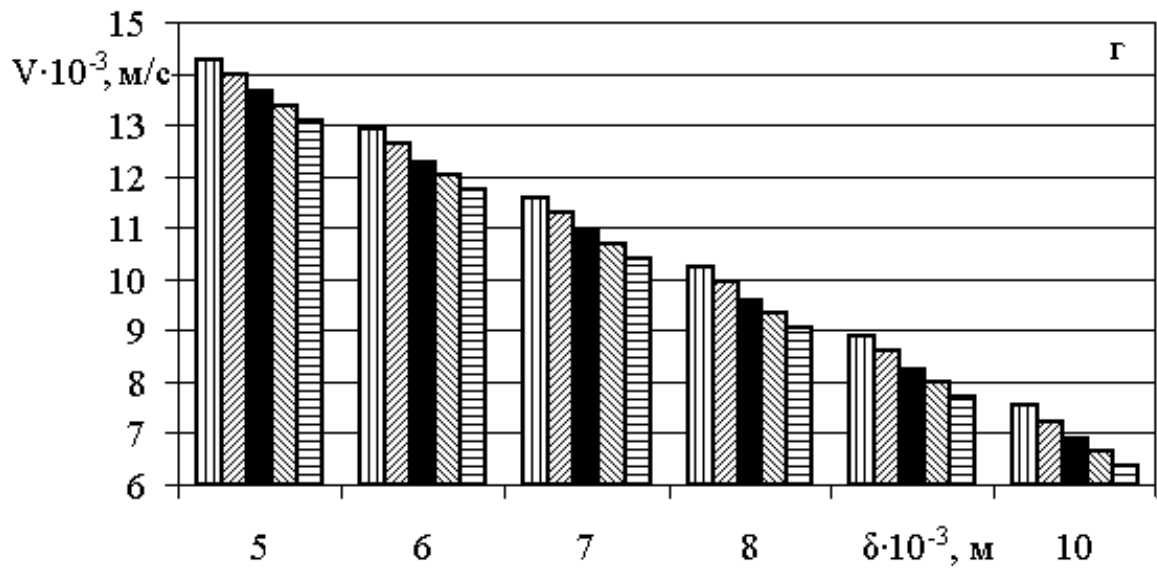
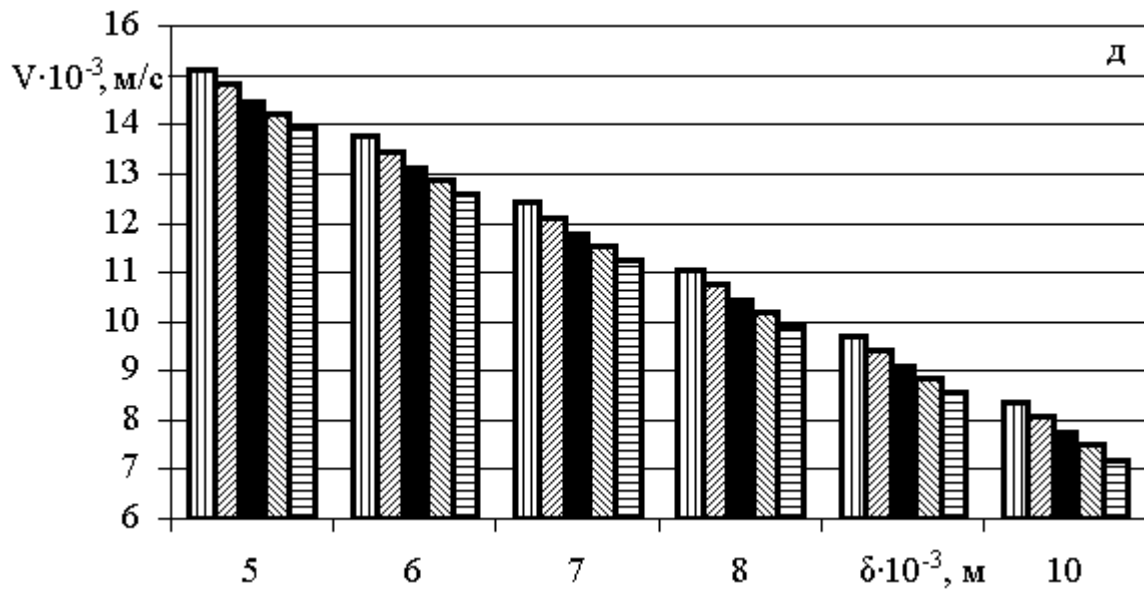


Рис. 3.2 Гістограма залежності швидкості наплавлення V та кроку S від товщини стінки δ деталей типу “стакан” з діаметром $D=0,130$ м (в) та $0,140$ м (г) при $S \cdot 10^{-3}, \text{ м}$:
 $\square$ 3,0; $\square$ 3,5; $\blacksquare$ 4,0; $\square$ 4,5; $\square$ 5,0
 (Для отримання усадки $1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$).



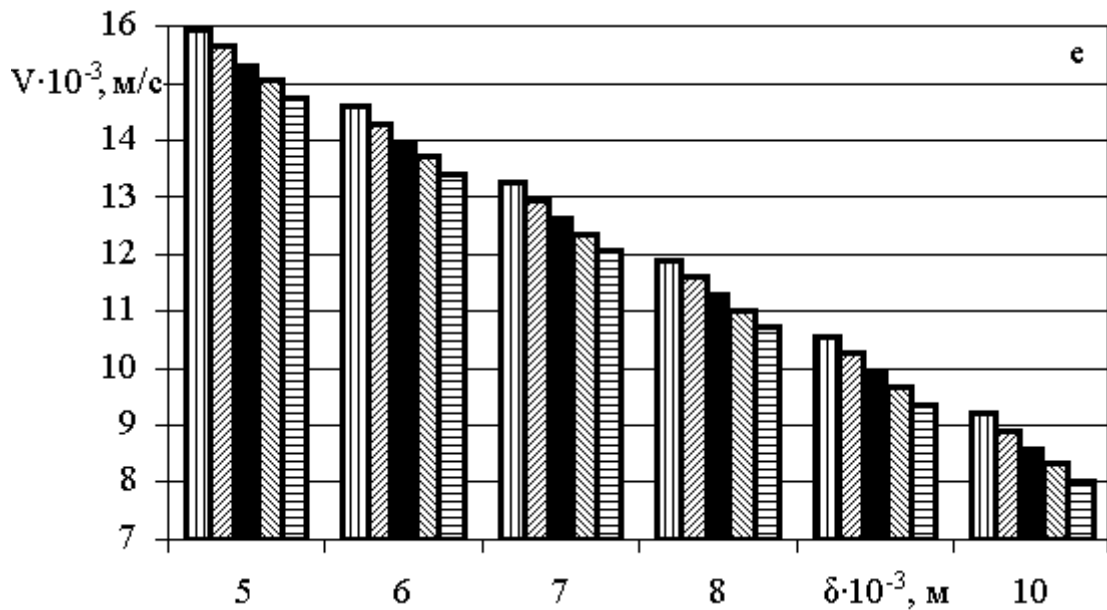


Рис. 3.3 Гістограма залежності швидкості наплавлення V та кроку S від товщини стінки δ деталей типу "стакан" з діаметром $D=0,150$ м (д) та $0,160$ м (е) при $S \cdot 10^{-3}$, м:
 □ 3,0; ▨ 3,5; ■ 4,0; ▩ 4,5; ▤ 5,0
 (Для отримання усадки $1 \cdot 10^{-3}$ м).

Наприклад, потрібно відновити деталь із внутрішнім діаметром 130 мм та товщиною стінки 7 мм. По гістограмі, приведеній на рис. 3.3, знаходимо, що для забезпечення усадки в розмірі 1,0 мм потрібно вибрати режимні параметри відповідно по швидкості наплавлення $V_n \cdot 10^{-3}$ м/с та кроку $S \cdot 10^{-3}$, м із наступного ряду: 10,5:3,5; 10,2:4,0; 9,9:4,5; 9,6:5,0. Пару режимних показників вибирають виходячи із можливостей наплавлювального обладнання.

При побудові гістограми (рис. 3.4) для визначення режимних показників, які забезпечують оброблюваність наплавлених поверхонь лезовим ріжучим інструментом, виходили із умов збереження ресурсу лезового ріжучого інструмента, якості обробки поверхонь. Тому ця гістограма побудована для граничної твердості 30 HRC, яка є раціональною виходячи із умов забезпечення підвищення довговічності, забезпечення оброблюваності та відповідності вимогам ремонтних креслень.

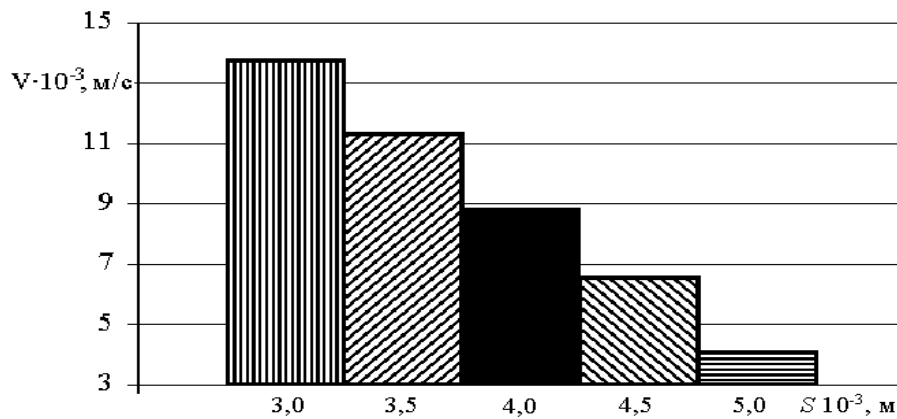


Рис. 3.4. Гістограма залежності швидкості наплавлення V_n та кроку S для деталей типу “стакан” (для отримання твердості HRC 30)

Із приведеної гістограми випливає, що для отримання вказаної вище твердості потрібно користуватися наступним рядом швидкості наплавлення $V_n \cdot 10^{-3}$ м/с та кроку $S \cdot 10^{-3}$ м відповідно: 14,3:3,0; 11,0:3,5; 9,0:4,0; 6,5:4,5; 4,1:5,0.

Для одночасного забезпечення необхідної усадки і твердості для конкретної деталі із цих рядів робимо їх порівняння і вибираємо режими, які відповідають вимогам за обома параметрами. Для наведених прикладів при кроці $4,0 \cdot 10^{-3}$ м для забезпечення необхідної усадки швидкість наплавлення повинна бути не більше $10,2 \cdot 10^{-3}$ м/с. Із цих значень вибираємо швидкість $9,0 \cdot 10^{-3}$ м/с, яка задовольняє вимогам і до усадки і до твердості.

Таким чином, виходячи із результатів експериментальних досліджень можна зробити висновок про те, що величина усадки деталей типу “стакан” після їх наплавлення залежить від їх конструктивних особливостей та режимів наплавлення і описується рівнянням (3.4), а твердість значимо залежить від режимів наплавлення в межах значень діаметрів 100-160 мм та товщини стінки 5-10 мм і описується рівнянням (3.5).

Для практичного використання при розробці технологічного процесу відновлення деталей вузлів спряження “корпус-стакан-підшипник” побудовані гістограми, які дають можливість вибрати режими наплавлення, що забезпечують величину усадки 1,0 мм та твердість HRC 30, що гарантує

припуск на токарну обробку поверхонь та оброблюваність їх лезовим ріжучим інструментом.

Прискорені порівняльні випробування на предмет визначення відносної зносостійкості проводили для спряжень “стакан-підшипник” та спряжень “корпус-стакан”. При цьому в першому випадку за еталон прийнято варіант, при якому в ролі зразка брали кільце із сірого чавуну марки СЧ 18 із внутрішнім діаметром $110^{+0,023}_{-0,012}$ мм, товщиною стінки 5,5 мм, а контрзразка – зовнішнє кільце підшипника. Для порівняльних випробувань – аналогічне кільце наплавляли при раціональних режимах, обґрунтованих в цій роботі, та розточували внутрішню поверхню до розміру $110^{+0,023}_{-0,012}$ мм. Висота мікронерівностей в обох випадках становила $Ra\ 0,63$, твердість HB(170-190). Контрзразок – також зовнішнє кільце підшипника.

Для спряження “корпус-стакан” за еталон в ролі зразка брали також чавунне кільце з параметрами, які описані в першому випадку, а за еталон в ролі контрзразка – чавунне кільце, виготовлене із сірого чавуну марки СЧ21. Висота мікронерівностей та твердість відповідно: $Ra\ 0,63$, HB(170-190). Для порівняльних випробувань виготовлялись аналогічні деталі, а контрзразок наплавляли запропонованим способом та обробляли на токарному верстаті наплавлений шар, витримуючи висоту мікронерівностей $Ra\ 0,31$. Твердість наплавленого шару складала HRC(30-32). Умови випробувань відповідали даним, наведеним в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 –Режими випробувань на зносостійкість

Параметр	Величина параметра в спряженні	
	Стакан-підшипник	Корпус-стакан
1. Навантаження (середнє), МПа	30	30
2. Амплітуда відносного переміщення зразка і контрзразка, мм	0,9	0,9
3. Частота відносного переміщення, Гц	25	25
4. Тривалість, циклів	$2,0 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^5$
5. Середовище випробувань	Сухе тертя на повітрі	Сухе тертя на повітрі
6. Кількість повторюваностей випробувань	5	5

Величину зношення зразків і контрзразків визначали зважуванням на вагах лабораторних 3-го класу ВЛР-1 ТУ 25.06.1315-76 з точністю до 1 мг. При цьому зразки промивали в бензині і просушували.

Результати прискорених випробувань спряження “стакан-підшипник” та спряження “корпус-стакан”, наведено в таблиці 3.2., в якій: $W_{сер}$ – середнє арифметичне значення величини зношення, мг; $\sigma_{зн}$ – середнє квадратичне відхилення величини зношення, мг, $V_{зн}$ – коефіцієнт варіації величини зношення; Ψ – відносна зносостійкість.

Таблиця 3.2 – Результати випробувань

Спряження “стакан- підшипник”	Еталон	Спряження	$W_{сер}$	22,18
			$\sigma_{зн}$	2,01
			$V_{зн}$	0,14
			Ψ	1,00
	Відновлений об’єкт	Спряження	$W_{сер}$	22,06
			$\sigma_{зн}$	2,81
			$V_{зн}$	0,15
			Ψ	1,01
Спряження “корпус- стакан”	Еталон	Спряження	$W_{сер}$	31,00
			$\sigma_{зн}$	1,44
			$V_{зн}$	0,10
			Ψ	1,00
	Відновлений об’єкт	Спряження	$W_{сер}$	25,4
			$\sigma_{зн}$	2,38
			$V_{зн}$	0,14
			Ψ	1,22

Порівнюючи отримані результати можна зробити висновок, що при ремонті вузлів “корпус-стакан-підшипник” методом наплавлення по зовнішньому діаметру деталі типу “стакан”, яка входить в цей вузол та механічної обробки корпусу і стакана відповідно під ремонтний розмір та розмір за кресленнями під підшипник, відносна зносостійкість відновленого спряження “стакан-підшипник” складає 1,01 порівняно з еталоном, а це означає, що зносостійкість цього спряження після його відновлення не погіршується.

В спряженні “корпус-стакан” відносна зносостійкість цього спряження збільшується за рахунок збільшення відносної зносостійкості зовнішньої поверхні деталі типу “стакан” після її відновлення наплавленням та токарною обробкою під отвір корпусної деталі і становить 1,23.

Спостереження за відремонтованими тракторами Т-150К в умовах Житомирської області проводились в міжремонтний період 2019-2020 років.

Якість відремонтованих вузлів “корпус-стакан-підшипник” оцінювали за гама-процентним ресурсом.

Для відремонтованих вузлів тракторів значення $\gamma = 80\%$ ($t_{\gamma=80}$), тобто, у 80% вузлів ресурс при випробуванні або спостереженні повинен перевищувати встановлену величину $t_{\gamma=80}$.

Розрахунок 80%-ного ресурсу виконували послідовним обчисленням при кожному напрацюванні t_i з ймовірністю безвідмовної роботи $P(t_i)$ за формулою:

$$P(t_i) = \frac{N+1-i}{N+1}, \quad (1 \leq i \leq N) \quad (3.6)$$

де N – кількість об’єктів спостережень

80 %-ний ресурс $t_{0,8}$ визначено методом лінійної інтерполяції за формулою [2]:

$$t_{0,8} = t_{i-1} + (t_i - t_{i-1}) \frac{P(t_{i-1} - 0,8)}{P(t_{i-1}) - P(t_i)} \quad (3.7)$$

Напрацювання вузлів “корпус-стакан-підшипник” дванадцяти коробок зміни передач тракторів Т-150К наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Ресурс вузлів “корпус-стакан-підшипник”

t_i	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}	t_{11}	t_{12}
Тис. мото- годин	3,2	3,8	4,0	4,2	4,5	4,5	4,6	4,8	5,0	5,0	5,1	5,7

За формулою (3.6) маємо:

$$P(3200) = \frac{12+1-1}{12+1} = 0,923,$$

$$P(3800) = \frac{12+1-2}{12+2} = 0,846,$$

$$P(4000) = \frac{12+1-3}{12+1} = 0,769.$$

За цими даними $P(4000) < 0,8 < P(3800)$.

$$\text{Тоді: } t_{0,8} = 3800 + (4000 - 3800) \frac{0,846 - 0,8}{0,846 - 0,769} = 3920 \text{ мото-годин.}$$

Середнє значення наробітку:

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n t_i \quad (3.8)$$

$T_{\text{сер}} = \frac{1}{12} (3200 + 3800 + 4000 + 4200 + 4500 + 4500 + 4600 + 4800 + 5000 + 5000 + 5100 + 5700) = 4350$ мото-годин. (При використанні існуючих технологій $T_{\text{сер}} = 3625 - 3720$ мото-годин, що на 17 – 20 % нижче).

Середнє квадратичне відхилення ресурсу :

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (t_i - T_{\text{сер}})^2}, \quad (3.9)$$

$\sigma_p = 680$ мото-годин.

Коефіцієнт варіації:

$$\nu = \frac{\sigma_p}{T_{\text{сер}} - C}, \quad (3.10)$$

де C – зміщення розсіювання показника надійності, мото-годин.

$$C = t_1 - (t_3 - t_1)/2, \quad (3.11)$$

$C = 3200 - (4000 - 3200)/2 = 2800$ мото-годин.

$$\text{Тоді: } \nu = \frac{668}{4530 - 2800} = 0,38.$$

Для вирівнювання розподілу показника надійності підшипникового вузла використано нормальний закон розподілу, так як при коефіцієнті варіації $v=0,38$ розподіл описується нормальним законом найкращим чином.

За результатами експериментальних досліджень вирішено рівняння, отримані дані і побудовані графіки інтегральної функції ймовірності відмов вузла від наробітку (рис. 3.5) та інтегральних функцій ймовірності безвідмовної роботи від наробітку вузла та його деталей (рис. 3.6).

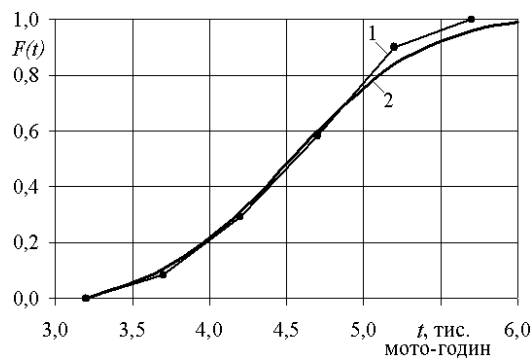


Рис. 3.5. Експериментальна (1) і теоретична (2) інтегральна функція ймовірності відмов від наробітку вузла “корпус – стакан - підшипник”

Відхилення між результатами експериментальних і теоретичних досліджень (рис. 3.5) не перевищує 5%.

Аналіз кривих показує, що на ймовірність безвідмовної роботи вузла “корпус – стакан – підшипник” (рис. 3.6, крива 1) більшим чином впливає ймовірність безвідмовної роботи стакану (рис. 3.6, крива 2) в порівнянні з ймовірністю безвідмовної роботи корпусної деталі (рис. 3.6, крива 3).

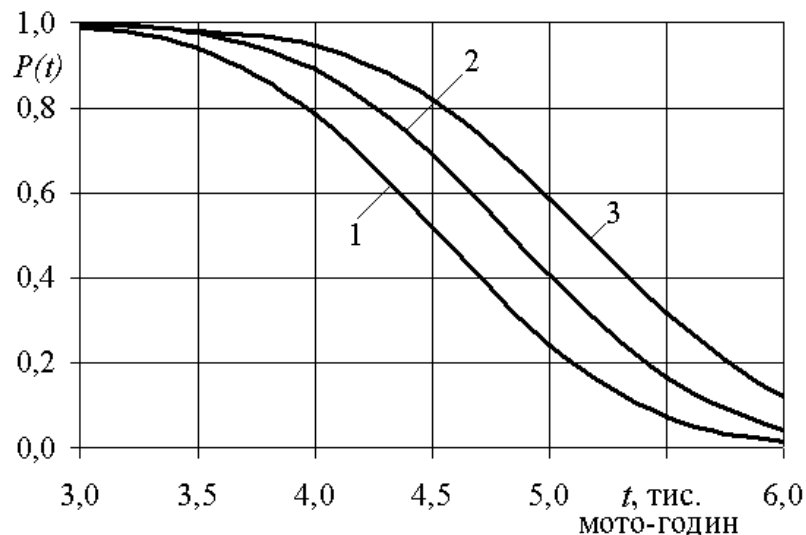


Рис. 3.6. Інтегральні функції ймовірності безвідмовної роботи від наробітку вузла (1), стакану (2) та корпусної деталі (3).

Для групи деталей типу “стакан” трактора Т-150К найнижчу ймовірність безвідмовної роботи корпусної деталі (корпус КПП) має отвір під стакан центруючий. Для цієї P_k дорівнює 0,42. Найнижчу ймовірність безвідмовної роботи серед деталей типу “стакан” має стакан центруючий 151.37.307-3, причому, ймовірність безвідмовної роботи внутрішньої поверхні дорівнює 0,22, а зовнішньої поверхні – 0,71. Ймовірність безвідмовної роботи стакану в цілому становить 0,15, що майже втричі менше ймовірності безвідмовної роботи поверхні корпусної деталі.

Таким чином можна зробити висновок, що підтверджується припущення про те, що ймовірність безвідмовної роботи вузлів “корпус-стакан-підшипник” залежить в основному від ймовірності безвідмовної роботи стаканів.

ВИСНОВКИ

Розроблені технічні вимоги до технології ремонту вузлів “корпус-стакан-підшипник” та до оснащення для закріплення деталей типу стакан при їх наплавленні. На основі цих вимог розроблена технологія ремонту вузлів “корпус-стакан-підшипник”, яка включає перелік наступних основних операцій: розбирання вузла, мийка корпусної деталі та деталей типу “стакан”, дефектування цих деталей, розточування спрацьованих поверхонь корпусної

деталі під ремонтний розмір, наплавлення стаканів по зовнішній поверхні, токарна обробка зовнішньої поверхні стакана до ремонтного розміру, під який розточено корпусну деталь, токарна обробка внутрішньої поверхні до розмірів за кресленнями під підшипник, контроль, збирання.

Технологія ремонту вузлів “корпус-стакан-підшипник” та деталей цього спряження впроваджена в умовах шести ремонтних підприємств, відновлені спряження КПП трактора ХТЗ-Т-150К-09-05 пройшли експлуатаційні випробування. На протязі експлуатаційного періоду спостережень відмов деталей вузла “корпус-стакан-підшипник” не зафіксовано.

При прогнозованій потребі в ремонті вузлів “корпус-стакан-підшипник” по Україні в кількості 62,3 тис. штук річний економічний ефект від використання запропонованої технології становитиме близько 175600 тис. грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Костецкий В. И. Трение, смазка и износ в машинах. Киев :Техника, 1970. 394 с.
2. Закалов, О.В. Триботехніка і підвищення надійності машин. Тернопіль: ТДТУ, 2000. 354 с.
3. Диха О. В. Розрахунки вузлів тертя машин: навчальний посібник. Хмельницький : ХНУ, 2013. 175 с.

4. Тартаковский Э. Д. Совершенствование технологии диагностирования подшипников качения по вибрационным характеристикам. Харьков : ХИИТ. 1990. 20 с.
5. Крагельский, И.В. Узлы трения машин : справочник. Москва : Машиностроение, 1984. 234 с.
6. Богачев И. Н. Металлография чугуна. Свердловск : Metallurgizdat, 1962. 143 с.
7. Яким Р. С. Вплив експлуатаційних параметрів навантаження в замковому підшипнику тришарошкового бурового долота на його довговічність. *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*. 2007. №1 (15). С. 67–72.
8. Яким Р. С. Підвищення працездатності опор тришарошкових бурових доліт з осьовими підшипниками ковзання. *Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування: праці Міжнародної науково-технічної конференції, 21-24 вересня 2009р. Тернопіль (Україна). НАН України і-т проблем міцності, М-во освіти і науки України Тернопільський державний технічний ун-т ім. Івана Пулюя*. Тернопіль: Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя. 2009. С. 336-341.
9. Сайфуллин Р. Н. Восстановление деталей машин приваркой порошковополимерных лент. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2003. № 10. С. 25
10. Дацишин О. П. Довговічність і руйнування твердих тіл під час їх контактної циклічної взаємодії. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 2005. №6. С.5-25.
11. Вишняков В. С. Пути повышения долговечности игольчатых подшипников карданных передач. *Вестник машиностроения*. 1976. №8. С. 25–26.
12. Аксенов В.А. Восстановление корпусов коробок передач. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2004. № 2. С. 22–23.
13. Бочарова Е. А. Повышение надежности подшипниковых узлов вибрационного оборудования для производства бетонных изделий. *Захист металургійних машин від поломок: зб. наукових праць*. 2011. - Вип. 13. - С. 169-171.

14. Диха О.В. Вузли тертя та мащення . Конспект лекцій з курсу. Для студентів спец. «Технологія та устаткування відновлення і підвищення зносостійкості машин і конструкцій». Хмельницький: ТУП, 2003. – 75 с.
15. Сидоров В. А., Сотников. А. Л. Эксплуатация подшипников качения [Электронный ресурс] : 2017. 230 с. Режим доступа: [https //www.litres.ru](https://www.litres.ru).
16. Шматко Д. З. Дослідження та аналіз експлуатаційних дефектів підшипників кочення залежно від застосування мастильних матеріалів. Вісник ТНТУ. 2016. Том 83. № 3. С. 134–138.
17. Скорняков Е. С. Експериментальні дослідження дефектів підшипників кочення на лабораторній установці методом співставлення діаграм та спектрограм. *Перспективні технології та прилади*. 2016. Вип. 8. С. 103–109. Режим доступу: [http//nbuv.gov.ua/UJRN/ptp_2016_8_19](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ptp_2016_8_19).