

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

НУБІП України

01.12 – КМР. 463 'С' 2023.03.28. 043 ПЗ

САВИЦЬКИЙ ОЛЕКСАНДР ВАСИЛЬОВИЧ

НУБІП України

2023 р.

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

НУБІП України

Факультет (ННІ)

конструювання та дизайну

УДК 621.793.09

НУБІП України

ПОГОДЖЕНО
Декан факультету
конструювання та дизайну
(назва факультету (ННІ))

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
надійності техніки
(назва кафедри)

_____ Ружи́ло З.В. _____
(підпис) (ІПБ)

_____ Новицький А.В. _____
(підпис) (ІПБ)

“ ” _____ 2023 р.

“ ” _____ 2023 р.

НУБІП України

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему “Удосконалення технології відновлення автотракторних деталей електроконтактним наплавленням”

НУБІП України

Спеціальність _____ 133 – Галузеве машинобудування _____
(код і назва)
Освітня програма Технічний сервіс машини та обладнання сільськогосподарського виробництва _____
(назва)

Орієнтація освітньої програми _____ освітньо-професійна _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

НУБІП України

Гарант освітньої програми
_____ К.Т.Н., доц. _____ Новицький А.В. _____
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ІПБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

_____ К.Т.Н., доц. _____
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

_____ Попик П.С. _____
(ІПБ)

НУБІП України

Виконав _____ Савицький О.В. _____
(підпис) (ІПБ студента)

НУБІП України

КИЇВ – 2023

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
надійності техніки

К.Т.Н., доц.

Новицький А.В.

(науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

(ПІБ)

20 року

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Савицький Олександр Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність

133 – Галузеве машинобудування

(код і назва)

Освітня програма

Технічний сервіс машин та обладнання сільськогосподарського

виробництва

(назва)

Орієнтація освітньої програми

освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи "Удосконалення технології відновлення
автотракторних деталей електроконтактним наплавленням"
затверджена наказом ректора НУБіП України від "28" березня 2023 р. № 463 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру

2023.11.07.

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи 1. Сучасні технології відновлення
автотракторних деталей 2. Технологічні особливості проведення підготовки поверхонь
деталей до відновлення 3. Нормативи витрат матеріалів для проведення технологічного
процесу відновлення деталей 4. Типові норми часу на відновлення деталей 5. Нормативні
документи з охорони праці та техніки безпеки, які регламентують процеси обробки поверхонь
деталей сільськогосподарських машин.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Проаналізувати особливості сучасних технологій відновлення автотракторних деталей.

2. Розробити спосіб визначення зносу ролика-електрода.

3. Розробити рекомендації щодо проектування технологічних процесів відновлення
автотракторних деталей типу «вал» та провести їх техніко-економічну оцінку.

Перелік графічного матеріалу (за потреби).

Дата видачі завдання "08" вересня 2022 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

Попик П.С.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Савицький О.В.

(прізвище та ініціали студента)

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	12
1.1 Конструктивно-технологічні особливості деталей типу "вал"	12
1.2 Електроконтактні способи відновлення деталей	17
1.3 Висновки	29
РОЗДІЛ 2. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРІВ ОДИНИЧНИХ ПЛОЩАДОК МЕТАЛОПОКРИТТЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІКОСТІ РОЛИКІВ- ЕЛЕКТРОДІВ	31
2.1 Визначення розмірів одиничних площадок металопокриття	31
2.2 Розробка способу визначення зносу ролика-електрода	32
2.3 Висновки	34
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	36
3.1 Експериментальна установка для наплавлення	36
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВІДНОВЛЕННЯ АВТОТРАКТОРНИХ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ "ВАЛ"	40
4.1 Визначення технологічних режимів електроконтактного наплавлення дротом	40
4.1.1 Визначення зусилля на ролику та струму наплавлення	40
4.1.2 Визначення тривалості імпульсів струму та пауз між імпульсами	43
4.1.3 Визначення швидкості наплавлення	44
4.1.4 Крок наплавлення по гвинтовій лінії	46
4.1.5 Режим охолодження	48
4.2 Основи розробки технологічних процесів відновлення деталей типу "вал" ЕКН	49
РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ	52
5.1 Техніко-економічна ефективність відновлення зношених автотракторних деталей типу "вал" ЕКН сталевих дрозів	52
5.2 Висновки	58

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

Виходячи з умов сьогодення, перед агропромисловим комплексом (АПК) стоїть завдання стабільного забезпечення населення найважливішими продуктами харчування. Незважаючи на те, що в рамках цільових програм виділяються кошти від держави на підйом і технічне переобладнання сільського господарства, але даних коштів недостатньо для придобання господарствами нової техніки та своєчасного оновлення машинно-тракторного парку.

На сьогоднішній день в сільськогосподарському виробництві України використовується в основному гранично зношені трактори і зернозбиральні комбайни. Знос машин становить 80% і щороку зростає. Це призводить до скорочення їхньої тягової потужності, а отже, і до зниження робочих поступальних швидкостей, перевитрати пального та мастил не менш ніж на ніж на 30 % і підвищення витрат на технічне обслуговування в 3-4 рази. Витрати на ремонт техніки постійно зростають, причому до 50-70 % витрат припадає на придобання нових запасних частин [1]. У таких умовах дедалі актуальнішим стає завдання технічного обслуговування і ремонту старіючого парку сільськогосподарської техніки.

Зараз в країні відбувається розширення парку зарубіжної сільськогосподарської техніки. Але незважаючи на високу надійність, відмови, пов'язані зі зносом робочих поверхонь деталей, все ж відбуваються. Необхідно зазначити, що технічний сервіс і вартість запасних частин на імпортовану техніку на порядок вищі, ніж на вітчизняну.

Торгівля запасними частинами зосереджена в комерційних структурах, де відсутній контроль їхньої якості. У таких умовах через велику кількість некондиційних деталей власники машин зазнають значних збитків, не маючи можливості пред'явити заводам-виробникам претензії при виявленні браку.

Важливим резервом підвищення ефективності використання техніки, економії матеріальних, паливо-енергетичних і трудових ресурсів є організація відновлення зношених деталей машин.

Щорічно мільйони тонн відбракованих деталей надходять на переплавку через зношування робочих поверхонь усього на десяти і навіть на соті частки міліметра. За статистичними даними 85% деталей машин втрачають працездатність за зносу не більше 0,2...0,3 мм на сторону, а в машинах, що надходять на ремонт, придатних деталей для експлуатації до 45%, таких, що підлягають відновленню, – до 50%, і тільки 5...9% – не підлягають відновленню [2]. Основну частину деталей (близько 57...60% від загальної кількості, що підлягають відновленню) становлять деталі типу "вал". Такі деталі є дорогими і дефіцитними, вони зношуються найбільш інтенсивно [3,4].

Економічна доцільність відновлення деталей зумовлена насамперед, можливістю повторного і неодноразового використання 65...75 % зношених деталей. Вартість відновлених деталей зазвичай не перевищує 25-30% ціни нових деталей.

На жаль, у сучасних умовах питома вага відновлених деталей становить лише близько 7%, хоча створення виробництв із відновлення деталей потребує в 2-2,5 рази менше капітальних вкладень порівняно з підприємствами з виготовлення запасних частин. Найважливіша перевага відновлення - низька металоємність.

Для відновлення деталей необхідно у 20-30 разів менше металу, ніж для виготовлення нових. Так, наприклад, колінчастий вал двигуна ЯМЗ-240Б роблять із заготовки вагою 340 кг. У результаті, близько 200 кг дефіцитної легированої сталі йде в відходи. Водночас, на відновлення колінчастого валу потрібно не більше 8 кг наплавочного дроту. Під час відновлення однієї тони деталей економиться 180 кВт-год електроенергії, 73 м³ природного газу, 0,8 т вугілля; у 2-3 рази порівняно з виробництвом нових деталей зменшуються витрати праці.

За оцінками фахівців, на виробництво 1 т сталі витрачається в середньому 3 т залізної руди, близько 400 кг коксу, 500...800 кВт-год електроенергії, близько 100 кг кисню і 80 кг природного газу. Викиди в атмосферу становлять близько 2,5 т (конверторний спосіб), тобто виробництво однієї тони сталі створює величезне навантаження на навколишнє середовище, в наслідок чого відбувається його прогресуюча деградація. Тривала і деградація довкілля, що

постійно збільшується, може призвести до (а в деяких локальних мікрозонах уже призводить) до екологічних катастроф. Тому з екологічного погляду доцільніше не виготовляти нові, а відновлювати зношені деталі.

Використання традиційних технологій дугового наплавлення для відновлення зношених автотракторних деталей (насамперед наплавлення під флюсом, у середовищі вуглекислого газу або вібродугового), не дає змоги досягти належного рівня якості ремонту або призводить до занадто високої собівартості відновлених деталей [5]. Застосування технологій плазмового та лазерного наплавлення, зважаючи на значну собівартості ремонту, економічно

доцільно тільки для відновлення дорогих деталей, наприклад, великогабаритних валів [6]. Однак такі деталі працюють, як правило, в умовах значозмінних навантажень і до моменту відновлення запас їхньої втомної міцності буває часто вичерпаний, що виключає можливість їх ремонту. Технології гальванічного нанесення покриттів малопродуктивні, дорогі та вимагають значних витрат на забезпечення їх екологічної безпеки [7]. Застосування цих технологій може бути виправдане в разі відновлення великої серії однотипних деталей з однаковими ступенями зносу, що не часто зустрічається у практиці підприємств з ремонту сільськогосподарської техніки.

Останнім часом особливого значення набувають ресурсозберігаючі технології, що реалізуються без істотного збільшення матеріальних витрат. Це повною мірою стосується і технологій відновлення зношених автотракторних деталей. Як і раніше, однією з перспективних, ефективних технологій відновлення деталей залишається електроконтактне приварювання (ЕКП) металевих шару (стрічки, дроту, порошкових матеріалів) [8,9].

Позитивними властивостями ЕКП є малий нагрів деталі, відсутність вигорання легувальних елементів, мінімальний припуск на подальшу механічну обробку наплавленого металу, можливість наплавлення сталевих стрічки, можливість наплавлення сталевих стрічки, дроту і металевих порошків, зменшення витрати металу (порівняно з вібродуговим наплавленням) у 2...4 рази, сприятливі санітарні умови роботи оператора [9].

Найсуттєвіший внесок у розвиток теоретичних основ і прогресивних технологічних процесів відновлення зношених деталей внесли радянські вчені Б.М. Аскіназі, Ф.Х. Бурумкулов, Д.Г. Вадівасов, Е.Л. Воловик, Н.І. Доценко, В.А. Дубровський, В.А. Ємельянов, В.І. Казарцев, Е.С. Каракозов, В.М. Кряжков, Ю.В. Клименко, Р.А. Латипов, І.С. Левитський, П.П. Лезін, І.І. Луневський, В.П. Лялякін, Б.А. Молчанов, В.А. Налівкін, І.Р. Пацкевич, Ю.М. Петров, А.В. Поляченко, М.М. Севернев, А.І. Селіванов, К.Є. Ульман, М.М. Фархшатов, І.І. Фрумін, В.І. Черноіванов, В.А. Шадричев та ін.

В даний час найпоширенішим є відновлення зношених валів сільськогосподарського призначення контактним приварюванням сталевих стрічок і напканням металевих порошків.

Найбільш доступним, дешевим, недефіцитним видом присадного матеріалу є сталеві дроти. Промисловістю випускається широка номенклатура вуглецевих і легованих присадних дротів.

Незважаючи на безсумнівні переваги, цей вид присадного матеріалу застосовується рідше, ніж сталеві стрічки і металеві порошки. Причину такого становища ми бачимо в наступному. Перш за все, це дефіцит відповідного технологічного обладнання для ЕКН дротів і його конструктивні недоліки.

Установки ЕКН, що випускаються, призначені, насамперед для приварювання сталевих стрічок і незручні в разі застосування сталевих дротів. Суттєвим недоліком ЕКН є підвищене зношування інструменту ролика-електрода.

З'єднання основного і присадного матеріалу при ЕКН відбувається у твердій фазі без оплавлення присадного дроту. У цьому випадку дефект технологічного процесу відновлення у вигляді непроварів візуальним оглядом деталі виявити не вдається. Необхідні прості та зручні способи контролю якості зварного з'єднання, здійсненні в умовах сільськогосподарських ремонтних підприємств.

Не вирішено повністю питання вибору технологічних параметрів процесу ЕКН, що забезпечують високу міцність зварного з'єднання і якість відновлених покриттів.

Мета та завдання дослідження. Одним із найважливіших напрямів підвищення техніко-економічної ефективності використання парку

сільськогосподарської техніки є підвищення якості відновлення зношених деталей машин.

Перспективним способом подовження ресурсу автотракторних валів і підвищення їхньої якості, є електроконтактне наплавлення дротом.

Метою даної роботи є підвищення експлуатаційних властивостей автотракторних деталей типу "вал" шляхом удосконалення технологічних процесів і розробки обладнання для відновлення електроконтактним наплавленням дротом.

Виходячи зі стану питання, для вирішення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

1. Провести теоретичні та експериментальні дослідження процесу формування зварного з'єднання під час ЕКН і розробити на цій основі розрахункову схему щодо визначення параметрів деформації присадного дроту залежно від режимів наплавлення.

2. Розробити спосіб визначення зносу робочої поверхні ролика-електрода і провести випробування по зношенню інструментів, виготовлених із різних електродних матеріалів.

3. Дослідити вплив технологічних режимів ЕКН на якісні показники відновлених деталей, розробити обгрунтовану методику визначення раціональних режимів ЕКН валів з малими зносами.

4. Розробити рекомендації з проектування технологічних процесів відновлення автотракторних деталей типу "вал" і дати їх техніко-економічну оцінку.

Об'єкт дослідження: Технологічний процес відновлення зношених поверхонь автотракторних деталей типу "вал" електроконтактним наплавленням дротом.

Предмет дослідження: Закономірності формування металопокриття під час електроконтактного наплавлення дроту.

Визнання результатів магістерської роботи. Основний зміст магістерської кваліфікаційної роботи доповідався та обговорювався на науково-практичних конференціях та семінарах кафедри надійності техніки.

Публікації. За темою магістерської кваліфікаційної роботи опубліковано 1 тезу доповідей, яка доповідалась на VIII Міжнародній науково-технічній конференції «Крамаровські читання» з нагоди 115-ї річниці від дня народження д.т.н., професора Крамарова Володимира Савовича (23-24 лютого 2023 р.), м.

Київ.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Конструктивно-технологічні особливості деталей типу "вал"

Конструктивно-технологічні особливості деталей в умовах їхньої експлуатації повинні враховуватися під час вибору способу відновлення. Крім того, під час вибору раціональних способів відновлення зношених деталей необхідно керуватися техніко-економічними показниками [8, 10].

Дослідження авторів [3, 4, 11-13.] присвячені аналізу експлуатаційних, конструктивних і технологічних характеристик відновлюваних деталей.

У роботі [3] показано, що більшість валів сільськогосподарської техніки мають діаметри від 20 до 70 мм і довжину до 600 мм.

Наявні в літературі [14] дані за матеріалами автотракторних деталей відносяться в більшості випадків до техніки вітчизняного виробництва.

Водночас в агропромисловий комплекс надходить дедалі більше техніки провідних західних фірм (Case IH, Deutz-Fahr, Fendt, John Deere, Lamborghini, Massey Ferguson, Renault і Same). Інформації по деталях імпоротної техніки недостатньо. Знання матеріалів і характеристик деталей сільськогосподарської техніки необхідне для вибору способу та розробки технології відновлення зношених деталей машин.

Було проведено аналіз розподілу деталей автотракторної техніки вітчизняного та імпортного виробництва за видами застосовуваного металу.

Аналіз показав, що в сільськогосподарській техніці вітчизняного виробництва частка деталей, виготовлених зі сталей, становить 79,9%, а частка чавунних деталей дорівнює 18,5%. В імпортній техніці сталеві деталі становлять 80,3%), чавунні - 16,5 % (рис. 1.1).

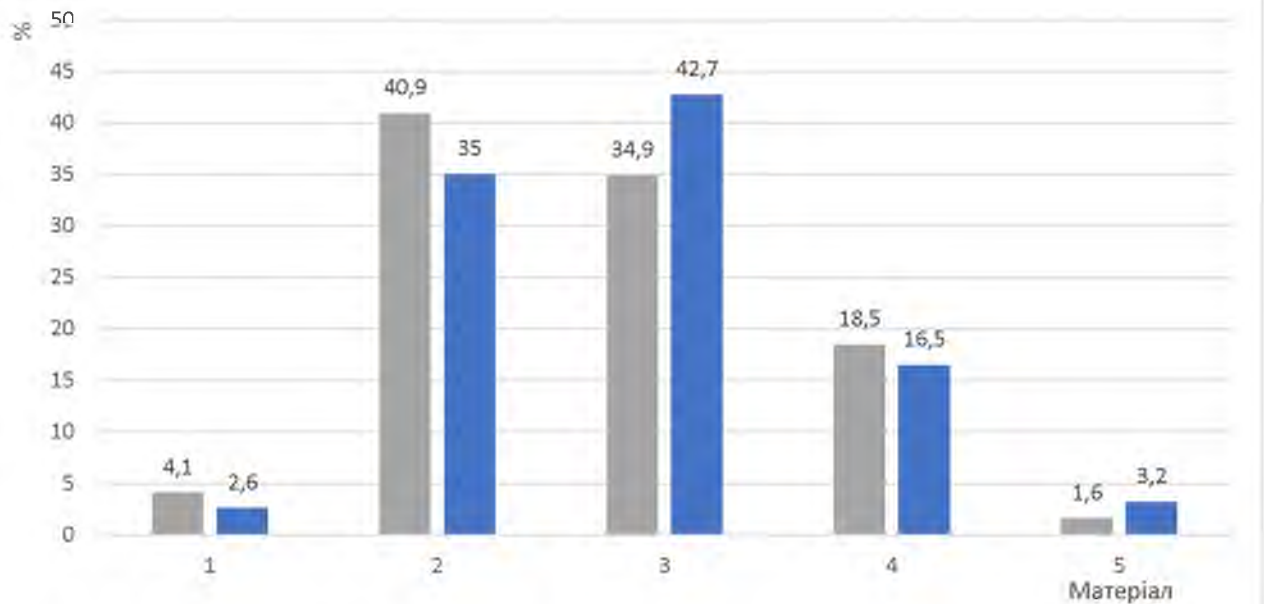


Рис. 1.1. Розподіл деталей автотракторної техніки за основним металом: 1 - низьковуглецеві сталі; 2 - середньо вуглецеві сталі; 3 - леговані сталі; 4 - чавуни; 5 - кольорові метали.

Як видно, загалом різниця за видами застосовуваних матеріалів у вітчизняній та зарубіжній сільськогосподарській техніці невелика.

Середньо вуглецеві конструкційні сталі застосовуються набагато частіше, ніж низьковуглецеві. Однак можна відзначити, що в імпортній сільськогосподарській техніці ширше, ніж у наших машинах, застосовуються леговані сталі. Без сумнівів, це пояснюється перевагами легованих сталей перед середньо вуглецевими і низьковуглецевими сталями і більш високими експлуатаційними властивостями цих марок.

У роботі проведено також аналіз деталей типу "вал" автотракторної техніки за видами застосовуваного для їх виготовлення металу (таблиця 1.1).

НУБІП України

Табл. 1.1.

Застосовувані марки сталей для виготовлення деталей типу "вал"

№	Марка сталі	Частка деталей, %	
		вітчизняна техніка	імпортна техніка
1	Низьколеговані (20Г, 40Г, 45Г, 50Г, А611 (А), А611 (С2))	24,7	30
2	Леговані (20Х, 30Х, 45Х, А 611 (А), 12Х18Н10Т)	7,6	8
3	Високолеговані (20ХМА, 20ХН3А, 30ХГМ, 30ХГСА, А 611 (С2), А 619, А 615 Grade 40)	5,5	9,5
4	Низьковуглецеві (Ст5, Ст20, Ст3сп, У10-1, У10-3)	5,6	4
5	Ливарні (40ЛК-1, 30Л-1, А 611 (С2), А 615 Grade 40)	5,4	5,5
6	Конструкційні (35, 45, 50, У11-3, У11А-1, У11А-2, У11А-3)	51,2	43

Зазначаємо, що для виготовлення таких деталей застосовують сталі різного призначення.

З таблиці 1.1 видно, що більша частина вітчизняних та імпортних деталей (відповідно 51,2 і 43 %) виготовлено з конструкційних вуглецевих сталей. Широко застосовуються конструкційні вуглецеві сталі марок 35, 45, 50, У11-3, У11А-1, У11А-2, У11А-3. Незначна частина деталей типу "вал" виготовляється з низьковуглецевих сталей загального призначення і ливарних сталей (відповідно 5,6 і 4%, 5,4 і 5,5% для машин вітчизняного та імпортного виробництва).

Понад 40% валів виготовляються з легованих сталей різних марок. Це більшою є частка легованих сталей під час виготовлення деталей типу "вал" у

машинах зарубіжної техніки - до 47,5%). Основні марки легованих сталей, що застосовуються під час виготовлення валів у вітчизняній сільськогосподарській техніці, це сталі 20Г, 40Г, 45Г, 50Г, 30ХГСА, 20ХМА, 20ХНВА, 30ХГМ та ін. Вали зарубіжної сільськогосподарської техніки виготовляються з аналогічних сталей А 611 (А), А 611 (С2), А 619, А 615, Grade 40.

У дослідженнях [11] зроблено висновки, що зношення шийок автотракторних валів у місцях посадки підшипників кочення перебувають у межах 0,10...0,17 мм. Найбільш дефіцитні вали виготовлені зі сталі 45.

Близько 57...60% усіх дефектів деталей сільськогосподарської техніки є дефектами зовнішніх циліндричних поверхонь, тому найчастіше доводиться відновлювати деталі типу "вал" [3,4].

У роботі [8] встановлено, що за групою деталей відновлюваних нерухомих сполучень зміна їхнього розміру, як і втрата ваги, становить лише 0,01 %. По групі деталей рухомих сполучень, що працюють за схемою "вал - отвір", втрата ваги становить 0,75%, а втрата розміру - 0,95%.

За даними [12], усі деталі сполучень "вал - підшипник кочення" мають зноси, середнє значення яких не перевищує 0,1 мм. Для деталей рухомих сполучень групи "циліндричні стержні й осі" знос не перевищує 0,13 мм.

Аналогічний аналіз деталей типу "вал" основних марок тракторів і зернозбиральних комбайнів було проведено в роботі [13]. Деталі досліджувалися за ознаками характеру їхнього навантаження, геометричних форм поверхонь, матеріалів, розмірів, твердості та величин зносу поверхонь. Виявлено, що більшість валів під час роботи зазнають знакозмінні навантаження, перебуваючи в плоско- і складно напруженому стані. Найчастіше (до 80% випадків) поверхні, що зношуються, мають циліндричну форму, рідше доводиться відновлювати шліцові поверхні. Більшість відновлюваних валів мають діаметри 20...50 мм і зноси в межах 0,05...0,30 мм на сторону. Найчастіше для виготовлення валів вітчизняної сільськогосподарської техніки застосовують гартовані сталі марок 40, 45 і 50.

Зношені та відновлені поверхні валів мають модальні значення твердості 18...35 і 50...65 HRC.

У результаті проведеного аналізу деталей можна зробити висновок, що раціональними способами відновлення сталевих автотракторних деталей типу "вал" є способи, які дають можливість наносити тонкі шари металопокриття до 0,10...0,25 мм на сторону після механічної обробки та забезпечують твердість металопокриття в межах 50...55 HRC. Спосіб відновлення не повинен призводити до істотного зниження втомної міцності деталей.

Відомо, що основними причинами виходу з ладу деталей є такі причини [2, 11, 15 та ін.]. Недостатня міцність деталей може призвести до їхніх поломок за великих пікових навантажень. Найбільш часто деталі виходять з ладу через зношування їхніх робочих поверхонь. Через зношування спотворюються геометричні форми деталей, порушується правильність їх взаємного положення, зазори в з'єднанні деталей перевищують допустимі значення. Явище втоми металу може призвести до поломок валів під час роботи при знакозмінних навантаженнях. Контактна втомна міцність призводить до руйнувань поверхневого шару.

Відзначимо три основні види зношування деталей (згідно з ГОСТ 23.002-78): механічне, зношування при заїданні та корозійно-механічне. Основним видом зношування підшипників ковзання двигунів внутрішнього згоряння та сільськогосподарських машин є абразивне [16].

Відновлені деталі можуть втрачати свою працездатність через низьку міцність зчеплення металопокриття з основним металом. Недостатня міцність зчеплення може призвести до викришування та відколювання частинок металопокриття. Особливо негативно впливає недостатня міцність зчеплення покриття з основним металом деталі на контактну втомну міцність відновленої поверхні.

Актуальне значення має проблема забезпечення високої міцності зварного з'єднання металопокриття з основою під час відновлення валів електроконтактним наплавленням (наварюванням) сталевих дротів. Під час ЕКН формування зварного з'єднання покриття з основою відбувається без оплавлення контактуючих поверхонь у твердій фазі. Помилки в режимах наплавлення призводять до недостатньої міцності зварного з'єднання. Брак у вигляді

непровару за цього способу наплавлення візуально не виявляється і виявляється лише під час експлуатації деталей.

Підіб'ємо підсумок. Основними причинами виходу з ладу відновлених деталей типу "вал" можуть бути:

- недостатня зносостійкість металопокриття;
- низька втомна міцність;
- недостатня міцність зчеплення наплавленого шару з основним металом деталі.

Великі резерви в підвищенні експлуатаційних характеристик відновлених деталей полягають у розробленні нових прогресивних технологій відновлення, а також у вдосконаленні відомих способів.

1.2 Електроконтактні способи відновлення деталей

Відновлення зношених і пошкоджених деталей є важливою народногосподарською проблемою. Розроблено велику кількість способів і технологій відновлення зношених деталей. Вібродугове наплавлення [13], автоматичне наплавлення і наплавлення в середовищі захисних газів, металізація [17], гальванічні способи, заливання, електроімпульсне нарощування, газотермічне напилення та багато інших способів [18-25].

Більшість із перерахованих способів засновано на розплавленні присадкового металу енергією електричної дуги або гальванічних процесах.

Поряд із цілою низкою переваг, усі ці способи мають і недоліки, що обмежують їх застосування для відновлення циліндричних поверхонь валів з невеликими зносами; вони не завжди забезпечують необхідну якість відновлення деталей.

Одними з найбільш раціональних і перспективних способів відновлення автотракторних деталей "вал" є електроконтактні способи, засновані на методах шовного зварювання. При цих способах присадний метал розігрівається тепловою енергією, що виділяється під час проходження імпульсів електричного струму. Одночасно на присадний метал здійснюється силовий тиск з боку наплавлювального ролика-електрода.

Електроконтактні способи, порівняно з перерахованими вище способами, мають цілу низку переваг і достоїнств. До числа таких переваг можна віднести:

- 1) несуттєвий нагрів основного металу деталей;
- 2) формування тонких і рівних шарів металопокриття і мінімальні припуски на подальшу механічну обробку наплавлених поверхонь;
- 3) практично повна відсутність вигорання легованих елементів;
- 4) відсутність світлового випромінювання і низьке газовиділення, тобто сприятливі санітарні умови роботи оператора;
- 5) універсальність способів і можливість застосування присадних матеріалів у різних формах (сталеві стрічки, дроти і металеві порошки);
- 6) простота технологічного процесу;
- 7) висока якість відновлених деталей, що пояснюється термомеханічним впливом на присадний метал зі сторони інструмента – ролика-електрода;
- 8) висока продуктивність процесу наплавлення;
- 9) зменшення витрати металу (порівняно з електродуговим наплавленням) у 2...4 рази, [9].

За видом використовуваного присадного матеріалу електроконтактні способи нанесення металопокриттів поділяються на: 1) контактне приварювання сталевих стрічок; 2) електроконтактне напикання металевих порошків; 3) електроконтактне наплавлення сталевими дротами.

Електроконтактне приварювання сталевих стрічок (ЕКТГ)

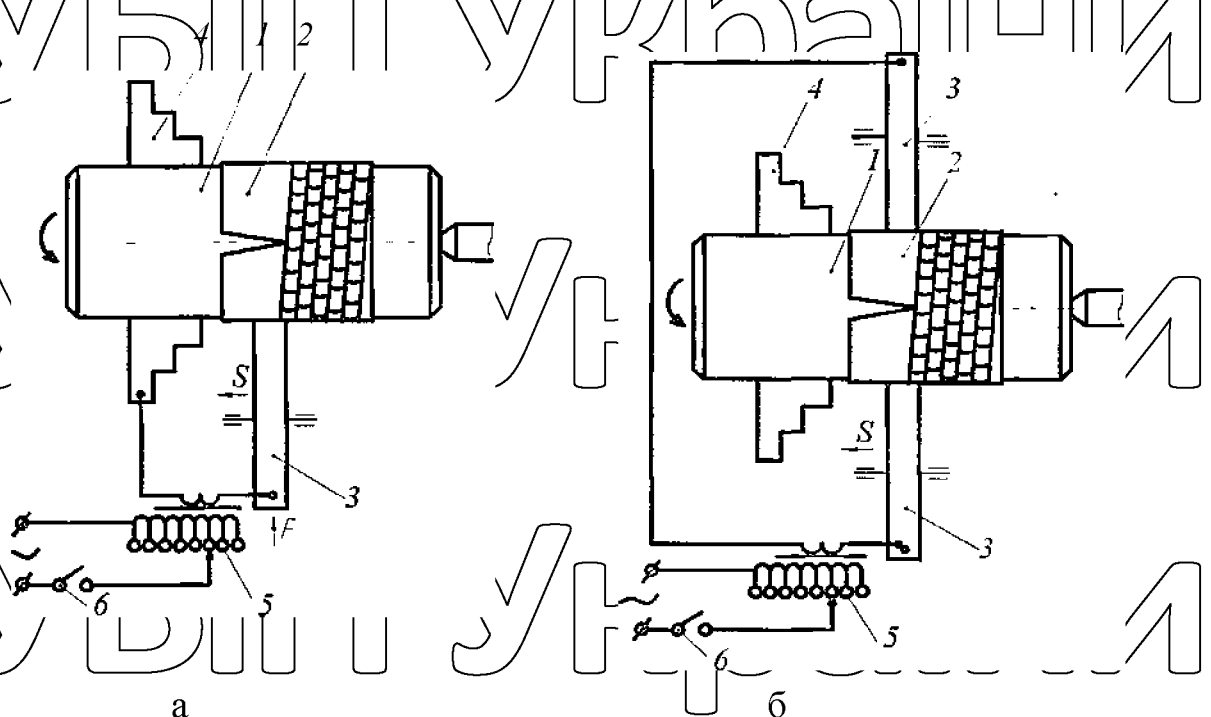


Рис. 1.2. Схеми відновлення валів електроконтактним приварюванням сталевих стрічок: а – однороликова схема наплавлення; б – двороликова схема (1 – відновлювана деталь; 2 – присадкова стрічка; 3 – ролик-електрод; 4 – патрон; 5 – зварювальний трансформатор).

На рисунку 1.2 наведено найпоширеніші схеми відновлення валів ЕКП. На практиці в установках для наплавки часто застосовується двороликова схема підведення струму [5]. Відновлення деталей цим способом полягає в приварюванні сталевих стрічок до зношених поверхонь методами шовного зварювання. Метод ЕКП сталевих стрічок полягає в наступному (рис. 1.2).

Присадкову сталеву стрічку очищають від масла, слідів корозії та нарізають на заготовки. Деталь 1, що підлягає відновленню, затискають у патроні 4 установки для наплавки, покривають присадною стрічкою 2, ширина якої дорівнює ширині зношеної шийки, а довжина – довжині окружності шийки. Далі в місці стику приварюють обидва кінці стрічки до вала окремими точками. Ролики-електроди 3 притискають стрічку до деталі, і створюється зварювальний тиск. Вмикають обертання шпинделя, поздовжню подачу та джерело живлення – трансформатор 5 і переривник струму 6. Наплавлення проводиться по гвинтовій лінії з перекриттям зварного шва. В електричному ланцюзі установок використовуються тиристорні переривники імпульсів струму.

Спосіб ЕКП сталевих стрічок всебічно досліджений. Режими наплавлення наводяться в роботах [2,3,]. Величина струму вторинного кола зварювального трансформатора становить близько 8...10 кА, рекомендовані значення тривалості проходження імпульсів струму дорівнюють 0,02-0,06 с. Більш коротші – порядку 2,7...11 мс імпульси струму силою 14...18 кА виходять на установках, в яких використовуються машини конденсаторного точкового зварювання.

Для ЕКП застосовують стрічки завтовшки 0,25...0,8 мм з вуглецевих, легованих та інструментальних сталей [5,26]. У разі використанні стрічки товщиною понад 0,8 мм або стрічки з високовуглецевих і пружинних сталей рекомендується попередньо закрути її за допомогою вальців. Продуктивність

процесу до $0,4 \text{ дм}^2/\text{хв}$. Процес з'єднання основного та присадного матеріалів супроводжується утворенням литого ядра.

У роботі [4] описано застосування під час ЕКП як присадкового матеріалу сталевих стрічок з низькою пластичністю, наприклад стрічок зі сталей 50ХФА, 65Г, 70С2ХА.

На сьогоднішній день проведено великі роботи по впровадженню цього прогресивного способу відновлення у сільськогосподарське ремонтне виробництво. Було розроблено і впроваджено у виробництво установки і цілі лінії для відновлення зношених автотракторних деталей, причому відновлюються не тільки зовнішні циліндричні поверхні, а й циліндрові, а також внутрішні циліндричні [26]. Відновлення циліндрових валів, посадкових пасків гільз контактним приварюванням сталевих стрічок економічно вискоєфективне і часто неможливе іншими способами.

Поряд із безсумнівними перевагами, способу ЕКП притаманні й деякі недоліки. У зоні контакту стрічки з деталлю практично відсутня пластична деформація присадного металу, що є обов'язковою умовою якісного з'єднання металів у твердій фазі. При режимах наплавлення, що супроводжуються утворенням рідкої фази, зважаючи на інтенсивне тепловідведення в масивний мідний ролик, лите ядро в міру збільшення його розмірів зміщується від стику вглиб виробу, що також знижує якість з'єднання.

Навіть за оптимальних режимів процесу часом не вдається виключити дефекти наплавлення у вигляді пор, тріщин, викришування наплавленого шару.

Необхідність попереднього розкрою стрічки і закріплення її на відновлюваній поверхні ускладнює технологічний процес відновлення і знижує його продуктивність.

Під час відновлення валів ЕКП в металопокритті, що утворюється, формуються вкрай несприятливі розтягувальні напруги, які часто досягають межі плинності присадного матеріалу. Це є однією з головних причин зниження циклічної міцності відновлених валів.

Перелічені недоліки процесу й істотне зниження втомної міцності дещо обмежують застосування контактної приварювання стрічки для відновлення валів сільськогосподарського призначення.

Електроконтактне приварювання металевих порошків

Спосіб електроконтактного приварювання металевих порошків розроблено в шістдесят роки минулого століття під керівництвом професора І.Є. Ульмана.

Процес електроконтактного приварювання металевих порошків (ЕКП) описаний у багатьох роботах [26,33]. Розроблено та запропоновано різні технології та обладнання ЕКП, розглянуто окремі випадки відновлення деяких деталей цим способом [14]. Існує велика кількість способів подачі присадного матеріалу в зону приварювання при ЕКП порошків [3,26].

Способи приварювання, засновані на вільному засипанні присадного матеріалу (рис. 1.3), відрізняються простотою і відсутністю необхідності у складних додаткових пристроях і пристосуваннях [14,26].

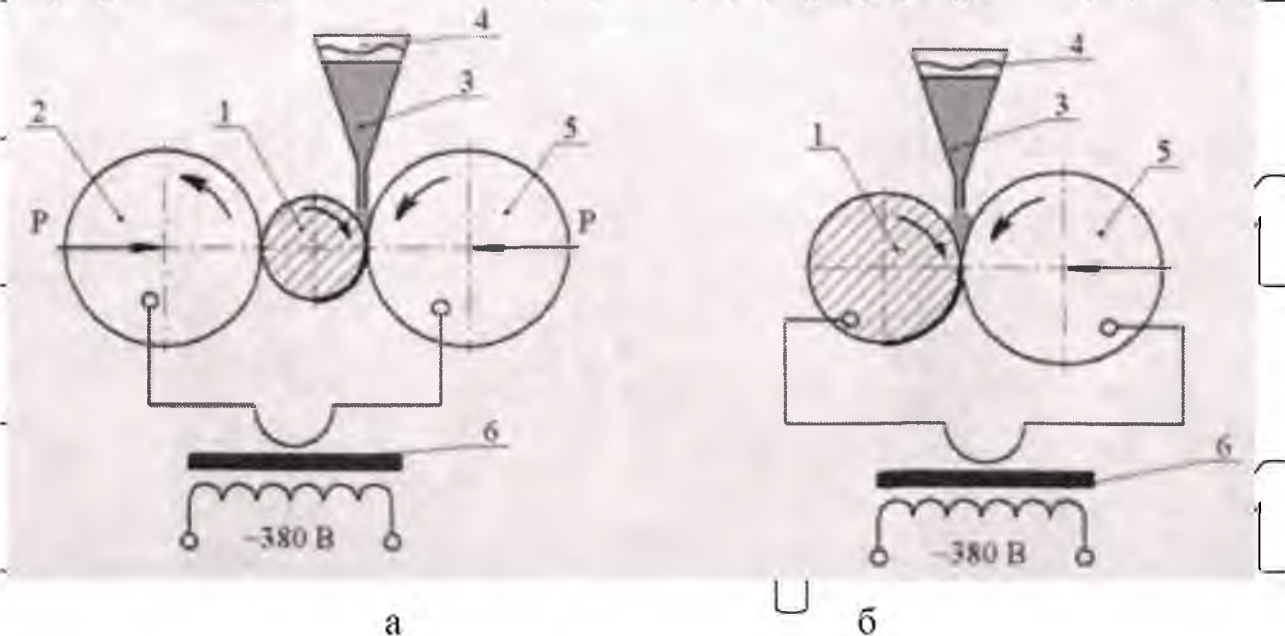


Рис. 1.3. Способи ЕКП порошків, засновані на вільному засипанні: а) при приварюванні двома роликками; б) при приварюванні одним роликком (1 – деталь; 2, 5 – ролики-електроди; 3 – бункер; 4 – розмішувальний пристрій; 6 – зварювальний трансформатор).

Для здійснення такого процесу частіше використовується двороликва схема напікання (малюнок 1.3 а), яку можна реалізувати на установках контактного приварювання. Не виключається і однорликва схема процесу (рис. 1.3 б).

Спосіб, заснований на вільній подачі присадного порошку, простий, але має низку недоліків: неможливість регулювання товщини металопокриття; підвищена витрата присадного матеріалу через втрати і просипання; збільшення припусків на подальшу механічну обробку покриття.

Спосіб приварювання попередньо спечених порошків описаний у роботах [26,27].

При цьому способі істотно зменшуються втрати присадного матеріалу.

Відомий процес приварювання порошково-полімерних стрічок (ППС). Цей спосіб не набув виробничого застосування з низки причин. Не підібрані полімери, які повністю відповідають технологічним вимогам процесу контактної приварювання і вимогам безпеки. Під час виготовлення ППС виділяються шкідливі токсичні гази.

Відомий також спосіб приварювання паст і тонких плівок. Сутність способу полягає в розміщенні на відновлюваній ділянці деталі паст або тонких плівок, отриманих різними механічними або іншими способами. До основних недоліків належать неможливість регулювання товщини покриттів, а також та обставина, що при незначному підвищенні температури деталі паста розм'якшується і може легко вимиватися струменем води з відновлюваної поверхні.

У роботі [26] описано спосіб приварювання порошків, частково укладених в оболонку, і порошків, закріплених на підкладці, що забезпечує формування біметалевих покриттів.

Позитивні сторони цього способу, принципова реалізація не представляє труднощів; на поверхні привареного покриття завжди розташовується стрічка з низьковуглецевої сталі, що економить витрату дорогих порошкових матеріалів.

Представляє інтерес спосіб нанесення композиційного покриття, заснований на приварюванні до відновлюваної поверхні сталеві сітки і подальшому напиканні металевого порошку. Для реалізації запропонованої технологічної схеми приварювання рекомендується використовувати сітки дротяні гладкі з квадратними комірками за ГОСТ 6613-86 [27].

Відомий спосіб електростатичного приварювання порошкових матеріалів у магнітному полі. Отримані результати досліджень дають змогу спростити процес приварювання присадного порошку на поверхню зношеної деталі та сприяють формуванню якісного покриття.

Розроблений технологічний процес приварювання порошкових матеріалів дає змогу формувати необхідну товщину приварюваних покриттів і використовувати як присадний матеріал сталеву і чавунну стружку, що дає змогу значно знизити собівартість під час відновлення деталей.

Доведено, що створюване розробленою електромагнітною системою магнітне поле, підвищує технологічність процесу шляхом утримування порошкових матеріалів у зоні приварювання, що й дає змогу більш ніж на 20% зменшити втрати присадного матеріалу від осипання порівняно з методом вільного засипання порошку.

У даний час промисловість випускає понад 200 марок порошкових матеріалів (вуглецевих і легованих) для нанесення покриттів різними методами. Різноманітність запропонованих матеріалів дає змогу вирішувати завдання поверхневого відновлення, зміцнення і ефективного захисту деталей машин від зносу.

Є можливість створення найрізноманітніших композиційних покриттів, тоді як присадкові матеріали, що випускаються, мають обмежену номенклатуру.

Оптимальні режими напикання порошку, що забезпечують зчеплення шару в 120...150 МПа, лежать у межах: за напругою – 0,87...1,35 В на 1 мм товщини шару, за тиском 40...60 МПа, витратами енергії – 2,1...3,2 Вт·год/г [3]. Пористість покриття при напиканні на оптимальних режимах знаходиться в межах 8... 12% [26], твердість покриття залежить насамперед, від хімічного складу присадного матеріалу. Основний вплив на якість шару і його зчеплення з

НУБІП УКРАЇНИ

основним металом чинить швидкість напикання, що впливає на температурний режим під час нанесення покриття. Наявність пористості в напеченому шарі забезпечує його високу зносостійкість. Втомна міцність валів, відновлених напиканням металевих порошків, падає менш істотно порівняно зі способом контактного приварювання стрічок.

НУБІП УКРАЇНИ

У разі використання широких роликів-електродів ширина їхніх робочих поверхонь повинна бути рівною (або кратною) ширині відновлюваної шийки. У разі напикання шийок вузькими роликами по гвинтовій лінії з перекриттям структура металопокриття виходить неоднорідною. Оскільки процес напикання

НУБІП УКРАЇНИ

металевих порошків вельми чутливий до зміни температури, то складно забезпечити стабільну якість металопокриття під час відновлення довгих шийок валів по гвинтовій лінії.

НУБІП УКРАЇНИ

Застосування недорогих залізних порошків типу "ПЗ" не завжди забезпечує необхідну якість відновлення. Складання композитних присадних матеріалів ускладнює технологічний процес, а високолеговані порошки дефіцитні і дуже дорогі.

НУБІП УКРАЇНИ

Під час відновлення валів контактним приварюванням сталевих стрічок або напиканням металевих порошків у металопокритті діють вкрай несприятливі розтягувальні напруження, які часто досягають межі плинності присадного матеріалу. Це є однією з головних причин зниження циклічної міцності відновлених цими способами валів. Не вирішено повністю питання забезпечення високої міцності зчеплення покриття з основним металом деталі. Викликає труднощі подальша механічна обробка нанесеного покриття.

НУБІП УКРАЇНИ

Електроконтактне наплавлення сталевими дротами (ЕКН)

Спосіб був запропонований у шістдесяті роки Ю.В. Клименком. Дослідження процесу проводили в Краматорському індустріальному інституті та деяких інших вишах.

НУБІП УКРАЇНИ

Процес наплавлення здійснюється таким чином (рис. 1.4,а). До наплавленого валу 1 ролик-електродом 3 притискається присадний дріт 2. Під час пропускання через контакти деталь-дріт-електрод

імпульсів струму великої сили, що чергуються з паузами, і при одночасному тиску ролика-електрода присадний дріт нагрівається, осідає і приварюється до поверхні валу. Суцільне металопокриття 5 на відновлюваній поверхні утворюється за рахунок обертання деталі й одночасної подачі наплавочної головки, що забезпечують приварювання присадного дроту по гвинтовій лінії з перекриттям. Живлення установки струмом здійснюється від зварювального трансформатора 7, керованого електронним переривником струму 6. Основна однороликів технологічна схема наплавлення найбільш проста і надійна і тому вважається оптимальною для відновлення великої групи виробів [9]. Однак під час наплавлення за основною технологічною схемою відповідно до переміщення ролика вздовж деталі змінюються розміри зовнішнього контуру електричного кола, тому значення струму на початку і в кінці наплавлюваної щийки виходять різними.

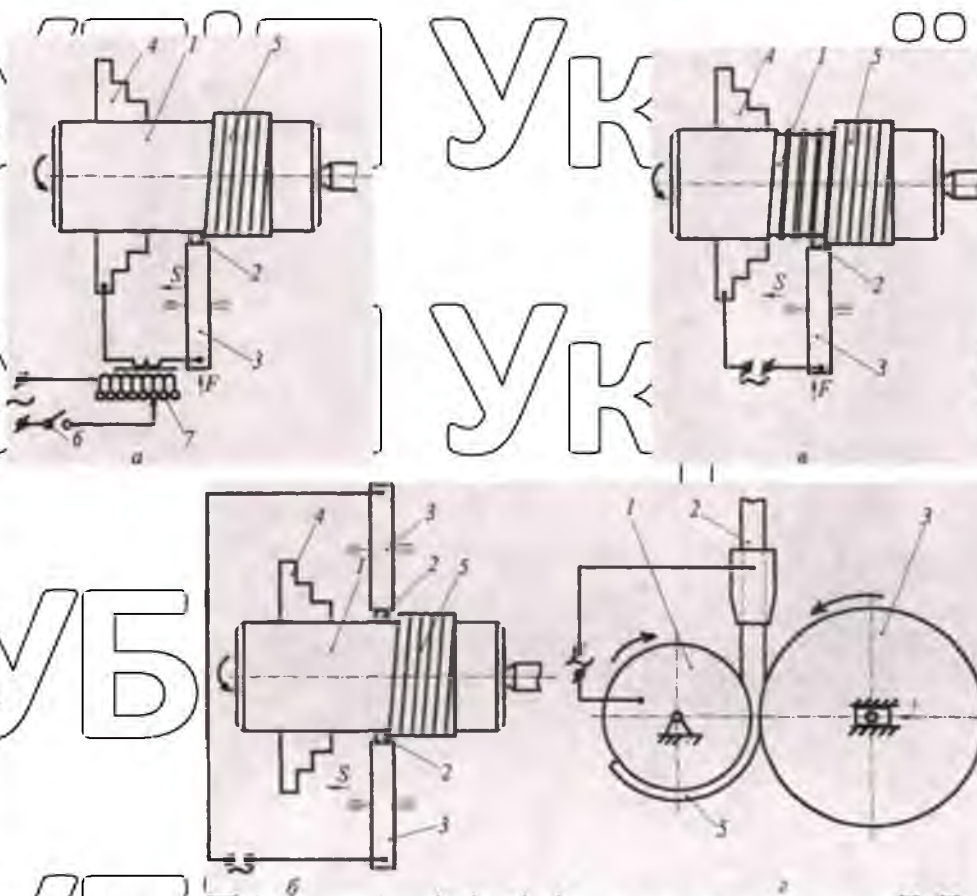


Рис. 1.4. Схеми ЕКН: а – основна; б – дворолікова; в – у попередньо висаджену канавку; г – нейтральним роликком 1 – наплавлюваний вал; 2 –

присадний дріт; 3 – ролик-електрод; 4 – патрон; 5 – металопокриття; 6 – переривник струму; 7 – зварювальний трансформатор)

Такого недоліку позбавлена схема наплавлення з двома наплавлювальними роликками-електродами (рис. 1.4,б). При цьому першим роликком можна формувати спіралеподібний валик металопокриття без перекриття (із зазором) суміжних витків, другим роликком заплавляти зазори, що утворилися. Ця схема дещо складніша, але на 70...80% продуктивніша за попередню.

Аскіназі Б.М. запропонував спосіб електроконтактного наплавлення у висаджену канавку [10]. Трудомісткість технологічного процесу відновлення зростає через попереднє електромеханічне висаджування спіралеподібної канавки на відновлюваній циліндричній поверхні (рис. 1.4,в) і подальшого електроконтактного наплавлення присадного дроту в сформовану канавку.

На рисунку 1.4,г показана, розроблена Ю.В. Клименком, схема наплавлення нейтральним роликком. Підведення струму в зону формування з'єднання здійснюється через деталь, що наплавляється, і присадний дріт. Однак через присадний дріт можна підводити обмежену потужність, недостатню для утворення якісного зварного з'єднання.

Крім описаних вище, відома велика кількість інших технологічних схем ЕКН дроту. Однак, виробниче застосування набули тільки основна однороликкова схема і дворолікова, реалізована в наплавочних установках.

У проведених дослідженнях ми використовували дворолікову схему наплавлення.

Роботи [9,26] присвячені розробленню обладнання для ЕКН.

У дослідженнях [9,17] було показано, що на міцність зварного з'єднання найбільший вплив мають такі технологічні чинники режиму наплавлення: струм наплавлення I , зусилля на роликку F , тривалість імпульсу струму t_i . Було визначено оптимальні поєднання цих технологічних факторів, що дало змогу знайти режими наплавлення, що забезпечують високі показники міцності зчеплення металопокриття з основою.

Вплив стану поверхні, що наплавляється, і захисних середовищ на міцність зварного з'єднання досліджувався авторами робіт [8,9].

У цілій низці робіт [9,17 та ін.] досліджувалися структура і твердість покриття та ЗТВ, зносостійкість наплавленого ЕКН шару. За результатами цих досліджень було виявлено, що на структуру металопокриття і ЗТВ крім хімічного складу основного та присадного металів впливають технологічні параметри режими наплавлення, а також режим охолодження валу та інструменту. За даними досліджень зносостійкість металопокриття з вуглецевого дроту ПК-2 ГОСТ 9389-75 може наближатися, а за даними [9] і дещо перевершувати зносостійкість нових деталей зі сталі 45 з поверхневим загартуванням струмами високої частоти. Зносостійкість валів, наплавлених дротом з марганцовистої сталі 65Г, в 1,5 рази вища за зносостійкість еталонних деталей [9].

Втомну міцність наплавлених валів було досліджено в низці робіт. За даними [9] втомна міцність наплавлених дротом ПК-2 валів становить 0,75...0,80 межі втомної міцності еталонних зразків із нормалізованої сталі 45, за даними [28] для дроту СВ-08 – 0,75, 0,82 і 0,64 відповідно. Великий вплив на втомну міцність відновлених ЕКН валів надають залишкові напруги в металопокритті та ЗТВ, вимірювання яких були проведені в роботах [9,28]. Було показано, що за правильно обраних режимів наплавлення в металопокритті формуються сприятливі стискні напруги.

Втомну міцність відновлених валів, як показано в дослідженнях [17,28 та ін.], можна збільшити додатковими зміцнювальними операціями: поверхнево-пластичним деформуванням, загартуванням ТВЧ тощо.

Циклічна тріщиностійкість валів, відновлених ЕКН, досліджувалася в роботі [26], питання, пов'язані з контактною міцністю відновлених циліндричних поверхонь вивчені в роботі [15].

Конкретні технологічні процеси відновлення різних деталей і поверхонь розглянуті в роботах [9,15,28 та ін.]. Техніко-економічна оцінка ефективності технологічних процесів розглянуто в роботах [9,17 та ін.].

Дослідження ЕКН валів у більшості випадків проводилися з використанням вуглецевих дротів. У низці робіт є відомості про застосування

легованих присадних матеріалів: сталевих дротів марок 40X, 12X18H10T, 40X13, 08X18H9T, 65Г [9,18], а також титанових сплавів ВТ6, прутків із бронзи та міді [29] і деяких інших матеріалів. Загалом відновлення деталей із застосуванням легованих сталевих дротів вивчено зовсім недостатньо.

Ю.В. Клименко та Е.С. Каракозовим було показано, що утворення з'єднання під час ЕКН відбувається без розплавлення основного і присадного металів. У стикі основних і присадних металів загальна зварювальна ванна не утворюється, а сам процес ЕКН є різновидом зварювання в твердій фазі [9,18,26,29].

Під час ЕКН кінетика розвитку взаємодії присадного металу з металом основи визначається інтенсивністю деформаційних процесів, що відбуваються в зоні формування з'єднання [9,23,26,29 та ін.]. Основний метал деталі деформується незначно, тому дослідження з удосконалення способу ЕКН відновлення повинні бути пов'язані з вивченням деформації присадного дроту під час його наплавлення [9,26].

З літератури відомі кілька методик визначення параметрів пластичної деформації присадного металу під час ЕКН.

Першу таку методику розробив Ю.В. Клименко [9]. Відповідно до цієї методики контактні площадки між деформованим присадним металом і циліндричними робочими поверхнями валу і ролика вважаються прямокутниками з шириною, що дорівнює ширині наплавленого валика і довжиною, що дорівнює довжині контактної дуги. Спрощено вважають, що радіальна осадка дроту однакова з боку валу і з боку інструменту.

Більш точне уявлення про форму контактних майданчиків дається в інших відомих методиках [30,31]. Вважається, що майданчики присадного металу з деталлю і роликом-електродом обмежуються еліптичною кривою.

У методиці [26], як і в методиці Ю.В. Клименка, прийнято необгрунтоване припущення про те, що осьова деформація присадного дроту не залежить від ступеня осідання і приблизно дорівнює 30%. Фактично відносна осьова деформація дроту залежно від режимів процесу може змінюватися в межах від 20 до 45-50% [30].

У відомих дослідженнях процес деформації присадного металу розглядається суто геометрично і не робиться спроба визначення напружень, що виникають у присадковому металі під час його осадження.

Таким чином, можна зробити висновок, що методики недосконалі й мають обмежене застосування.

Питання контролю якості відновлення за розглянутого способу наплавлення є надзвичайно актуальним й досі не вирішені. Дефекти наплавлення у вигляді непровару в кращому разі виявляються під час механічної обробки наплавлених валів, а в гіршому – під час експлуатації відновлених деталей.

Візуальним оглядом [8,30] нежкісне зчеплення покриття з деталлю не визначається. Контроль якості наплавлення руйнівними методами, металографічними, рентгеноскопічними методами, магнітопорошковою дефектоскопією і т.д. у сільськогосподарських ремонтних підприємствах нездійснений з огляду на складності таких методик і відсутності необхідного обладнання.

До теперішнього часу практично не піднімалися питання забезпечення максимально однорідної структури металопокриття.

Найважливішою частиною установки для наплавки є інструмент – ролик-електрод. Однією зі стримуючих причин широкого застосування способу ЕКН є низька стійкість ролика-електрода. На даний час немає досліджень з вивчення процесу зношування роликів-електродів і підвищення їхньої зносостійкості.

1.3 Висновки

1. Виявлено, що більшість деталей типу "вал" сільськогосподарської техніки мають зношування в межах до 1 мм на сторону. Рациональними, ресурсозберігаючими способами відновлення деталей, що виготовляються з вуглецевих і легованих сталей, є електроконтактні способи, засновані на методах шовного зварювання.

2. Показано, що в якості присадних матеріалів при цих способах можна використовувати сталеві стрічки та дроти, а також металеві порошки. Найбільш доступним, поширеним і зручним присадним матеріалом є сталеві дроти.

3. Показано, що формування з'єднання покриття з основою деталі при ЕКН відбувається без оплавлення контактуючих поверхонь, у твердій фазі. Сам процес є різновидом зварювання тиском. Тому основою досліджень з удосконалення технологічних процесів ЕКН є вивчення деформаційних процесів, що відбуваються в зоні формування з'єднання.

4. Виявлено, що недостатньо дослідженими залишаються технологічні процеси ЕКН з використанням легованих присадних дротів. На даний час немає досліджень з вивчення процесу зношування роликів-електродів і підвищення їхньої зносостійкості.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 2. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРІВ ОДИНИЧНИХ ДІЛЯНОК МЕТАЛОПОКРИТТЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ РОЛИКІВ-ЕЛЕКТРОДІВ

2.1 Визначення розмірів одиничних ділянок металопокриття

В основі будь-якої методики визначення технологічних параметрів режиму ЕКН лежить поняття одиничної ділянки металопокриття.

Після кожного термомеханічного циклу на поверхню відновлюваного валу наплавляється (додається) чергова порція присадного металу (рис. 2.1).

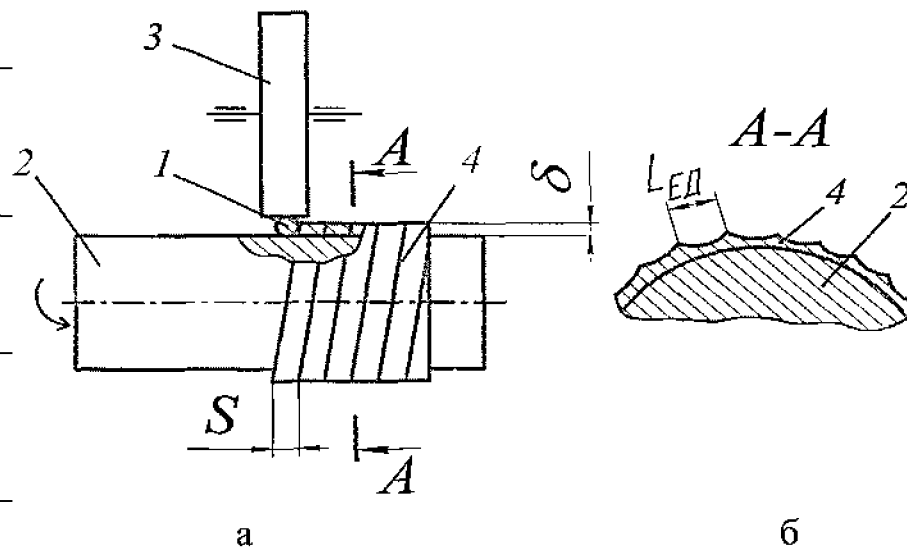


Рис. 2.1. Формування одиничних ділянок металопокриття на поверхні валу:

а – схема формування металопокриття за гвинтовою лінією; б – переріз валу, що наплавляється (1 – присадний дріт; 2 – вал, що наплавляється; 3 – ролик-електрод; 4 – наплавлений шар).

Таку порцію металу називають одиничною ділянкою металопокриття [9].

За формою така ділянка близька до прямокутного паралелепіпеду. Методика визначення геометричних розмірів одиничних ділянок металопокриття розроблена М.З. Нафіковим і наведена в роботі [32]. Показано, що ширина такої одиничної ділянки дорівнює кроку S наплавлення по гвинтовій лінії. Довжина і висота одиничної ділянки відповідно дорівнюють:

$$L_{од} = v_{к} \cdot t_{ц}; \quad (2.1)$$

$$\delta = \frac{\pi d^3}{4s(1 + \varepsilon_v)}; \quad \varepsilon_v = \frac{(L_{в} - L_{др})}{L_{др}}, \quad (2.2)$$

де $L_{од}$ і δ – відповідно довжина і висота одиничної ділянки; v_K – кругова швидкість обертання валу; $t_{ц}$ – тривалість циклу наплавлення; s – крок наплавлення по гвинтовій лінії; ε_y – відносна осьова деформація дроту; L_B – довжина наплавленого валика; $L_{др}$ – довжина витраченого дроту.

Середня висота одиничної ділянки металопокриття є одночасно товщиною наплавленого шару. При розглянутому способі наплавлення формується тонке і рівне покриття, тому відмінність значень δ у різних точках зварного валика несуттєва.

Розміри одиничної ділянки металопокриття визначаються нами з урахуванням перерізів контактних ділянок металопокриття за їхньою довжиною.

2.2 Розробка способу визначення зносу ролика-електрода

Найважливішою частиною установки для наплавки є інструмент – ролик-електрод. Однією з причин, що стримують широке застосування способу ЕКН, є низька стійкість ролика-електрода. На даний час немає досліджень з вивчення процесу зношування роликів-електродів і підвищення їх зносостійкості.

Багаторазовий вплив на ролик-електрод температури і тиску зі сторони присадного дроту призводить його до поступового зношування. Зношування являє собою кільцеву канавку з вельми малими поперечними розмірами, без чіткого контуру (рис. 2.2). З цих причин досить точно величина зносу ролика-електрода безпосереднім вимірюванням не визначається.

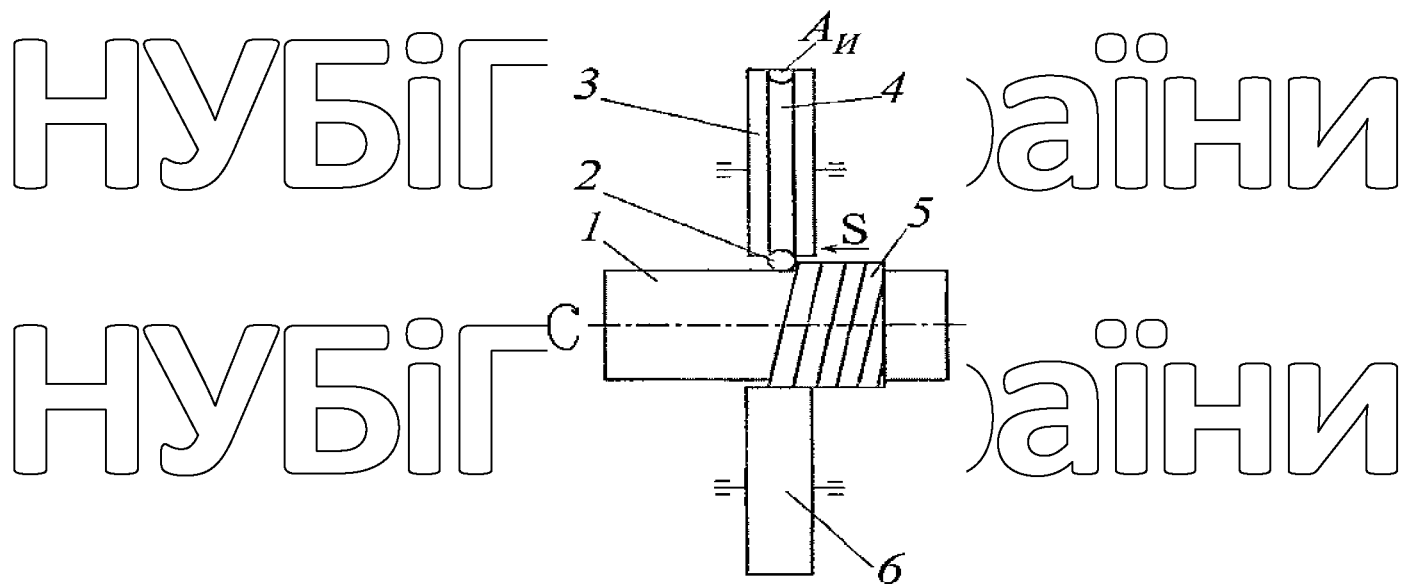


Рис. 2.2. Формування металопокриття електроконтактним наплавленням і утворення зношувальної канавки: 1 – вал, що наплавляється; 2 – присадний дріт; 3 – ролик-електрод; 4 – кільцева канавка зносу; 5 – металопокриття; 6 – другий ролик-електрод.

Мною пропонується простий спосіб визначення величини зносу ролика-електрода, як площі поперечного перерізу кільцевої канавки на його робочій поверхні, заснований на вимірюванні відносної осьової деформації присадного дроту під час його наплавлення.

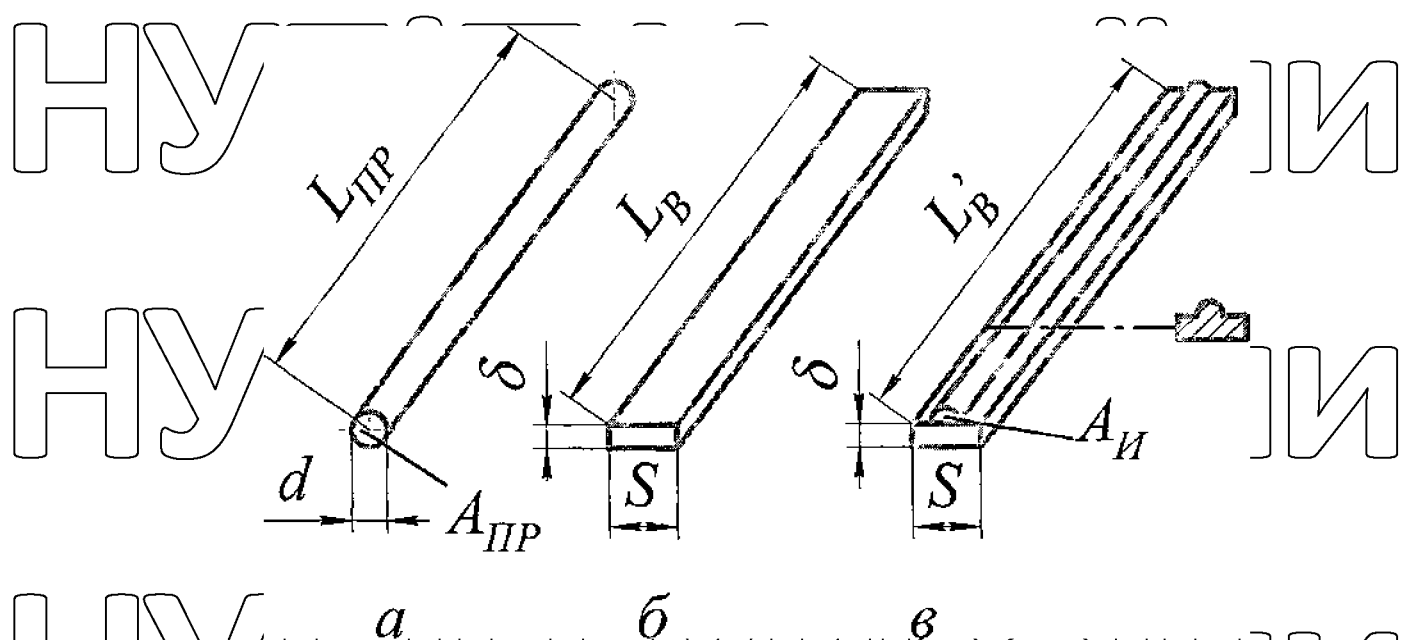


Рис. 2.3. Розгортки валиків металопокриття: а – вихідний присадний дріт; б – валик, наплавлений незношеним ролик-електродом; в – валик, наплавлений зношеним ролик-електродом.

Із присадного дроту довжиною $L_{др}$, (рис. 2.3,а) на поверхні циліндричного зразка формується валик металопокриття довжиною L_B (рис. 2.3,б) із застосуванням незношеного ролика-електрода, визначається відносна осьова деформація дроту ε_y . Потім на тому ж режимі на зразок наплавляється валик довжиною L'_B зношеним роликом-електродом із кільцевою канавкою зносу, величину A_3 якого необхідно визначити. Визначається відносна осьова деформація присадного дроту ε'_y . Під час наплавлення другого валика розігрітий до пластичного стану присадний метал заповнює кільцеву канавку, копіюючи її профіль і утворюючи на поверхні наплавлюваного валика, наплив, перетин якого відповідає поперечному перерізу кільцевої канавки на зношеному ролику-електроді (рис. 2.3, в). Під час формування такого валика дріт подовжується менше, його відносна деформація ε_y помітно менша за аналогічну характеристику ε_y , визначеної раніше під час наплавлення незношеним роликом-електродом. Неважко отримати формулу для визначення площі перерізу кільцевої канавки зносу (у частках від площі поперечного перерізу присадного дроту $A_{др}$)

$$\frac{A_3}{A_{др}} = \frac{\varepsilon_y - \varepsilon'_y}{(1 + \varepsilon_y)(1 + \varepsilon'_y)}; \quad (2.3)$$

2.3 Висновки

1. Розроблений спосіб визначення величини зносу ролика-електрода, як площі поперечного перерізу кільцевої канавки на його робочій поверхні, заснований на вимірюванні відносної осьової деформації присадного дроту під час його наплавлення.

2. Знос інструменту під час електроконтактного наплавлення негативно позначається на міцності зварного з'єднання металопокриття з основою через зменшення деформації присадного дроту. Визначено залежності якості (міцності) зварного з'єднання від величини зносу робочої поверхні інструмента. Виявлено, що найбільшу зносостійкість мають ролики-електроди, робоча частина яких виготовлена з нікель-берилієвих бронз Бр.НБТ. Досить високу зносостійкість мають інструменти з поширеної хромистої бронзи Бр.Х.

3. Для електроконтактного наплавлення валів сільськогосподарської техніки рекомендується застосовувати наплавлювальні ролики діаметром 300 мм.

4. Запропоновано нові технічні рішення, що дають змогу суттєво підвищити зносостійкість роликів-електродів в умовах електроконтактного наплавлення.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

3.1 Експериментальна установка для наплавлення



Рис. 3.1. Установка електроконтактного наплавлення

Експерименти з відпрацювання технологічних процесів відновлення зношених валів проводили на установці для наплавки 01.11.022 (рисунок 3.1), яку дещо модернізували для присадкового матеріалу – сталевого дроту. Для цього додали пристрій подачі присадного дроту з направляючим мундштуком. Для плавного регулювання частоти обертання шпинделя в установці для наплавки застосували електродвигун постійного струму.

Під час модернізації установки для наплавки керувалися літературними даними [9,25,28].

В установці 01.11-022 застосовується двороликова схема підведення струму, що зменшує нагрівання деталі під час її наплавлення.

Тривалість імпульсів струму і пауз задавали регулятором циклу зварювання РКС-501, а тиск роликів-електродів встановлювали за показаннями манометра установки.

Наплавлення дроту на установці ЕКН, принципова електрична і електровимірвальна схема якої показана на рисунку 3.2, проводиться наступним чином. До валу 1, що наплавляється і закріплений в патроні 2,

роликом-електродом 3 притискається присадний дріт 4. Одночасне притиснення

двох роликів-електродів 3 і 9 досягається регулюванням тиску пневмосистеми

установки. Струмівідведення здійснюється через другий ролик-електрод 9 і мідні шини 10. Живлення установки здійснюється від зварювального

трансформатора 5, в первинний ланцюг якого включено тиристорний

переривник струму 6, що забезпечує включення струму синхронно з живильною

мережею і відключення при нульовому значенні, що дає змогу отримати високу

якість і одноманітність зварних ділянок і значно знижує перепади напруги на обмотках зварювального трансформатора. За допомогою електронного

амперметра 7 марки АСУ-1м з датчиком-тороїдом 8 замірялося амплітудне і

діюче значення імпульсу струму у вторинному ланцюзі зварювального трансформатора.

У момент проходження імпульсу струму присадний дріт розігрівається і осаджується. Наплавлення проводиться по гвинтовій лінії з перекриттям

суміжних валиків, що забезпечує формування металопокриття без зазорів. Під

час ЕКН присадний дріт не плавиться, зварне з'єднання покриття з валом утворюється у твердій фазі.

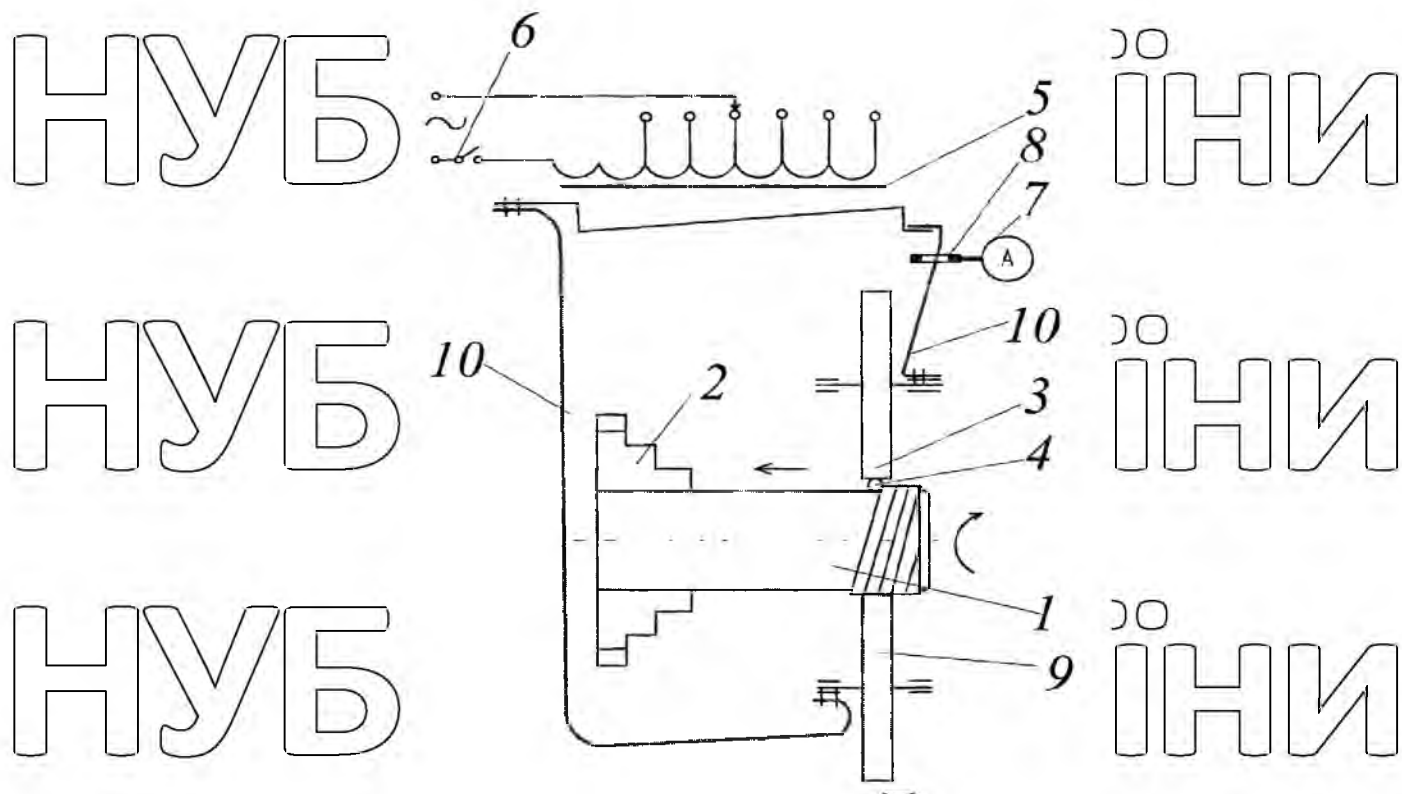


Рис. 3.2. Принципова електрична та електровимірвальна схема установки

для електроконтактного наплавлення: 1 – вал; 2 – патрон; 3 – ролик-електрод; 4 – присадний дріт; 5 – трансформатор; 6 – переривник струму; 7 – амперметр; 8 – датчик-тороїд; 9 – струмовідвідний електрод; 10 – мідні шини.

Найбільш важливою і відповідальною частиною установки для наплавки є наплавлювальний ролик-електрод, який повинен виготовлятися з жаростійких матеріалів з високою електро- і теплопровідністю. У використанні нами установці для наплавки ролик-електрод являє собою диск діаметром 300 мм і товщиною 10 мм з електродного сплаву Бр.НБТ, що має високу електропровідність і досить високу зносостійкість.

Перспективним є застосування наплавлювальних роликів-електродів з робочою поверхнею, зміцненою жаростійкими матеріалами.

Відомі, наприклад, електроди для контактного і роликового зварювання, що містять основу з високоелектро- і теплопровідного матеріалу та робочу поверхню, зміцнену шаром з високоміцного, жаростійкого матеріалу (вольфраму, молібдену та ін.). Перевагою таких електродів є висока

зносостійкість, але через низьку електро- і теплопровідності робочої поверхні такі електроди не знаходять практичного застосування.

Послідовність увімкнення установки для наплавки наступна.

Відкривається кран подачі охолоджувальної рідини (води) з патрубка на деталь за 18...24 мм від зони наплавлення. Вмикається обертання шпинделя п і

одночасно поздовжня подача ролика-електрода S. З невеликою затримкою вмикається зварювальний струм I.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВІДНОВЛЕННЯ АВТОТРАКТОРНИХ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «ВАЛ» ТА ЇХ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА

4.1 Визначення технологічних режимів електроконтактного наплавлення дротом

До технологічних параметрів режиму ЕКН належить ефективний струм наплавлення I , зусилля на ролик-електроді F , тривалість імпульсів струму t_i , тривалість пауз t_n , швидкість обертання деталі v_o , крок наплавлення по гвинтовій лінії S , а також режим охолодження деталі під час наплавлення. Перші п'ять з перерахованих параметрів впливають, в основному, на якість зчеплення покриття з основою деталі, а крок наплавлення і режим охолодження впливають на структуру і зносостійкість металопокриття.

Відомі з літератури [9,28,33] значення параметрів режимів ЕКН визначалися, в основному, експериментально для випадків відновлення валів із вуглецевих сталей вуглецевими присадними дротами. У ремонтній практиці нерідко доводиться відновлювати деталі з різним зносом, виготовлені з різних, у тому числі легованих матеріалів, і застосовувати при цьому широку номенклатуру присадних дротів.

Уведені теоретичні та експериментальні дослідження дають змогу розробити методику визначення режимів наплавлення різних деталей.

У цьому розділі наводиться послідовність визначення режимів наплавлення вуглецевих і легованих присадних дротів (на прикладі дроту Нп-ЗОХГСА).

4.1.1 Визначення зусилля на ролик і струму наплавлення

У розділі 2 було показано, що ці два параметри найбільшою мірою впливають на деформацію присадного дроту, а отже, і на якість (міцність) зварного з'єднання.

Відомо, що за максимально досяжної відносної осьової деформації присадного дроту ($\epsilon_y = 0,44...0,48$) міцність зчеплення покриття з основою виходить найбільш високою, рівною або близькою до міцності основного металу

деталей [30]. Оптимальними з точки зору забезпечення високої міцності зварного з'єднання є режими наплавлення з підвищеним тепловиділенням у зоні формування з'єднання, тобто за низьких значень зусилля на ролик і максимально великих значеннях зварювального струму. Зниження зусилля на ролик F і збільшення зварювального струму I обмежуються необхідністю утворення фізичного контакту дрот з деталлю і перегрівом присадного металу. Таким чином, існують оптимальні значення цих двох технологічних параметрів. Для визначення значень зусиль на ролик за різних випадків наплавлення

користуємося формулою:

$$F = 2\sigma_T \frac{b \cdot R_{1,2}^2 \cdot L_{1,2} / R_{1,2}}{L_{1,2}} \int_0^{\alpha} \sqrt{(L_{1,2} / R_{1,2})^2 \alpha^2 \cos \alpha} d\alpha; \quad (4.1)$$

Значення межі опору присадного металу пластичній деформації σ_T можуть визначатися експериментально, як це робилося в роботі [32] для випадку відновлення валів вуглецевим дротом ПК-2, або ж вони можуть братися з довідкової літератури [34], як характеристики опору пластичній деформації, що відповідають оптимальним температурам нагріву під час гарячої обробки металу тиском. У подальших розрахунках були прийняті значення σ_T для дротів ПК-2 і Нп-30ХГСА рівними відповідно 47...49 і 60...65 МПа.

Після визначення оптимального значення зусилля на ролик знаходиться ефективне значення струму наплавлення.

Існує декілька методик визначення величини зварювального струму.

При контактному зварюванні для цих цілей складається рівняння теплового балансу, тобто вирішується теплова задача [33]. Однак для умов ЕНК, коли розміри відновлюваної деталі та одиничної ділянки металопокриття між собою несумірні, відома методика не дає необхідного результату.

У роботах [9,27] рекомендується для вибору струму наплавлення використовувати критерії теплової подібності. При цьому експериментальним чином визначається оптимальне значення струму наплавлення I_E для будь-якого конкретного випадку відновлення визначеної (еталонної) деталі, конкретним присадним дротом. Для цього випадку наплавлення підраховується необхідна

кількість теплової енергії Q_E . Таке саме рівняння теплового балансу вирішується для досліджуваного випадку наплавлення і підраховується необхідне значення теплової енергії Q . Якщо прийняти, що електричні опори зон формування зварного з'єднання в усіх випадках наплавлення рівні між собою, то необхідне значення зварювального струму I можна визначити з виразу

$$I = I_E \cdot \sqrt{\frac{Q}{Q_E}}; \quad (4.2)$$

Накопичений досвід показує, що і ця методика дає змогу визначити значення зварювального струму лише наближено. Похибка визначення струму наплавлення зазвичай перевищує 20...25%.

Найточніші результати визначення струму наплавлення можуть бути отримані експериментальним шляхом із застосуванням методики, заснованої на положеннях теорії формування з'єднання металів у твердій фазі [26].

У розділі 2 було показано, що найбільш міцним з'єднання покриття з основою деталі виходить за малих зусиль на ролику і максимально великих значень струму наплавлення. За достатнього виділення тепла присадний метал у зоні наплавлення легко деформується зусиллям наплавлювального ролика, але не перегрівається. Зниження зусилля на ролику обмежується необхідністю утворення фізичного контакту дроту з деталлю. Збільшення струму наплавлення обмежується перегрівом присадного дроту. Існує область технологічних режимів наплавлення, за яких процес наплавлення протікає стійко. Вихід хоча б одного з параметрів F або I за межі стійкої зони призводить до появи підвищеного іскріння і вишлесків у зоні формування з'єднання.

У таблиці 4.1. наведено визначені за наведеними методиками оптимальні значення струму наплавлення і зусиль на ролику-електроді.

НУБІП України

Табл. 4.1.

Значення струмів наплавлення (кА, чисельник) і зусиль на ролику (кН, знаменник)

Діаметр присадного дроту, мм	20	30	40	50	60	80
Присадний дріт ПК-2 ГОСТ 9389-75						
1,6	$\frac{4,9}{0,86}$	$\frac{5,6}{0,88}$	$\frac{6,3}{0,95}$	$\frac{6,9}{1,10}$	$\frac{7,4}{1,33}$	$\frac{7,9}{1,56}$
1,8	$\frac{5,1}{1,06}$	$\frac{5,9}{1,11}$	$\frac{6,5}{1,23}$	$\frac{7,2}{1,30}$	$\frac{7,7}{1,45}$	$\frac{8,0}{1,70}$
2,2	$\frac{5,3}{1,28}$	$\frac{6,6}{1,40}$	$\frac{7,5}{1,60}$	$\frac{8,2}{1,80}$	$\frac{8,5}{2,00}$	$\frac{8,7}{2,22}$
Присадний дріт Нп-30ХГСА ГОСТ 10543-75						
1,6	$\frac{5,1}{1,12}$	$\frac{5,8}{1,15}$	$\frac{6,5}{1,27}$	$\frac{7,1}{1,41}$	$\frac{7,6}{1,75}$	$\frac{8,3}{1,95}$
1,8	$\frac{5,3}{1,36}$	$\frac{6,2}{1,45}$	$\frac{6,8}{1,60}$	$\frac{7,4}{1,70}$	$\frac{7,9}{1,89}$	$\frac{8,5}{2,20}$
2,2	$\frac{5,5}{1,66}$	$\frac{6,9}{1,82}$	$\frac{7,7}{2,05}$	$\frac{8,5}{2,34}$	$\frac{8,9}{2,60}$	$\frac{9,0}{2,90}$

4.1.2. Визначення тривалості імпульсів струму та пауз між імпульсами

Вище було наведено, що оптимальною тривалістю імпульсу струму є значення $t_1 = 0,04$ с. За такої тривалості струму осадження дроту наближається до

максимального значення, у зоні формування зварного з'єднання повністю

завершуються релаксаційні процеси, у контакті поверхонь, що з'єднуються,

утворюються загальні зерна. Зварне з'єднання виходить як міцним, так і пластичним.

Що стосується тривалості пауз між імпульсами струму, то при значенні, що дорівнює 0,06 с і більше, наявність тріщин металопокриття або були відсутні, або ж була мінімальні. За менших значень t_{II} за умови значної деформації присадного дроту на поверхні металопокриття спостерігається сітка найдрібніших тріщин [9].

4.1.3 Визначення швидкості наплавлення

Окружну швидкість наплавлення визначають з умов відсутності непроварів по довжині наплавлених валиків. У розділі 2 показано, що зварне з'єднання покриття з основою утворюється не по всій довжині контактної ділянки, а лише на ділянці найбільшої деформації, що є частиною контактної ділянки. Там же дається методика визначення розмірів у зоні формування зварного з'єднання в межах контактних ділянок.

За схемою рисунка 4.2 визначаємо значення коефіцієнта перекриття зон формування зварного з'єднання.

$$K_y = \frac{\Pi_y}{y} = \frac{y - v_o \cdot t_{II}}{y} = 1 - \frac{v_o \cdot t_{II}}{y} \quad (4.2)$$

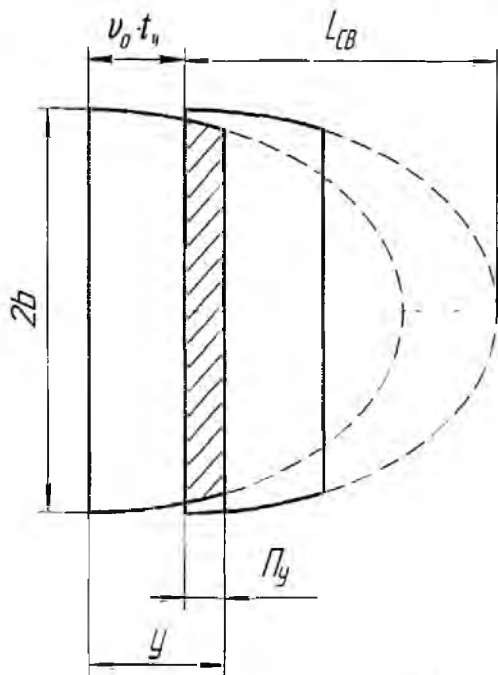


Рис. 4.2. Коефіцієнт перекриття зон утворення з'єднання

З точки зору забезпечення найбільшого значення зварного з'єднання режим наплавлення (крок наплавлення по довжині зварного валика) визначається з умови забезпечення оптимального значення коефіцієнта перекриття K_y .

Дослідження показують, що в разі наплавлення вуглецевих присадних дротів оптимальні значення K_y становить 0,02...0,10.

Легуючі елементи, що входять до складу сталі 30ХГСА, погіршують її зварюваність. Навіть за оптимальних режимів наплавлення присадного дроту Нп-30ХГСА не вдається досягти міцності зварного з'єднання, рівної міцності на розрив основного металу деталі.

Розрахунки показують, що за режимів наплавлення з однаковою осьовою деформацією ε_y довжини зон утворення зварного з'єднання в разі наплавлення легованих присадних дротів становлять 90...95 % від відповідних розмірів при наплавленні вуглецевих дротів.

Експериментально встановлені оптимальні значення коефіцієнта перекриття для дроту Нп-30ХГСА дорівнюють 0,3...0,4.

Необхідну окружну швидкість обертання деталі можна отримати з виразу (4.3).

$$v_0 = \frac{y \cdot (1 - K_y)}{t_{II}} \quad (4.3)$$

Були проведені багаторазові обчислення швидкості наплавлення дротів ПК-2 і Нп-30ХГСА різних діаметрів на вали різних діаметрів з відповідних марок сталей. Під час обчислень використовувалася комп'ютерна програма. Під час обчислень приймали значення відносної осьової деформації присадного дроту ε_y максимально великими, рівними 0,44...0,48. Тривалість циклу наплавлення t_{II} дорівнювала 0,12 с. Під час розрахунків приймалося значення коефіцієнта перекриття K_y рівне 0,05 для вуглецевих матеріалів і 0,4 для сталі 30ХГСА.

Результати обчислень швидкості наплавлення наведено в таблиці 4.2.

НУБІП України

Табл. 4.2.

Окружна швидкість обертання деталі (м/с) для різних поєднань діаметрів деталі та присадного дроту

Діаметр присадного дроту, мм	Діаметр деталі, що наплавляється, мм					
	20	30	40	50	60	80
Присадний дріт ПК-2 ГОСТ 9389-75						
1,6	18,3	20,3	20,5	20,4	19,2	17,1
1,8	19,4	21,8	20,3	19,2	18,2	15,2
2,2	21,3	23,5	23,7	23,4	22,9	14,4
Присадний дріт Нп-30ХГСА ГОСТ 10543-75						
1,6	11,0	12,2	12,3	12,2	11,5	10,3
1,8	11,6	13,0	12,2	11,5	11,0	9,0
2,2	12,8	14,1	14,2	14,0	13,7	8,6

Дані аналітичні обчислення показали, що рекомендовані швидкості наплавлення легованих дротів приблизно на 40% менші, ніж у разі наплавлення вуглецевих присадних дротів. Результати цих обчислень цілком відповідають практиці шовного зварювання [32], де рекомендуються знижені швидкості та збільшені зусилля на інструменті у разі зварювання легованих матеріалів.

4.1.4 Крок наплавлення по гвинтовій лінії

З усіх технологічних параметрів режиму ЕКН на структуру, твердість і зносостійкість металопокриттів має найбільший вплив крок наплавлення по гвинтовій лінії. Експериментальні дослідження показали, що для забезпечення максимальної зносостійкої та однорідної структури крок наплавлення S слід встановлювати максимально великим і забезпечувати мінімальне 10-15 % ве перекриття суміжних зварних валиків за їхньою шириною.

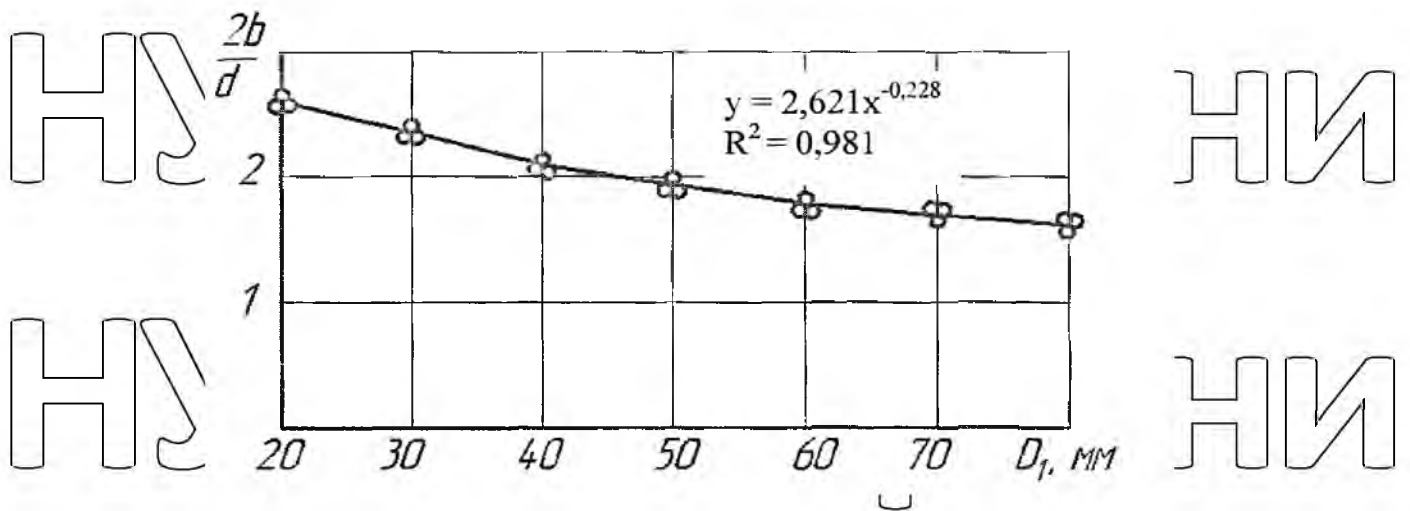


Рис. 4.3. Експериментальні значення відносної ширини $2b/d$ наплавленого валика при ЕКН валів різних діаметрів (при $\varepsilon_y = 0,44 \dots 0,48$, $D_2 = 300$ мм)

На рисунку 4.3. наведено результати експериментів із визначення ширини наплавленого валика. У проведених експериментах наплавляли дроти різних діаметрів на зразки різного діаметра на оптимальних режимах, що забезпечують значення коефіцієнта осьової деформації присадного дроту $\varepsilon_y = 0,44 \dots 0,48$.

Рекомендовані значення кроку наплавлення наведено в таблиці 6.3.

Табл. 4.3. Крок наплавлення по гвинтовій лінії (мм/об) для різних поєднань діаметрів деталі та присадного дроту

Діаметр присадного дроту, мм	Діаметр деталі, що наплавляється, мм					
	20	30	40	50	60	80
1,6	3,8	3,4	3,0	2,8	2,6	2,4
1,8	4,3	3,9	3,4	3,0	2,8	2,6
2,2	5,2	4,6	4,1	3,8	3,6	2,8

4.2 Основи розробки технологічних процесів відновлення деталей типу

"вал" ЕКН

В основу розробки технологічного процесу відновлення автотракторних деталей типу "вал" були покладені результати цих теоретичних та експериментальних досліджень.

Спосіб ЕКН рекомендується для відновлення циліндричних поверхонь сталевих валів з малими зносами до 0,2...0,3 мм, але може бути застосований і для відновлення поверхонь зі зносами до 0,7... 1 мм на сторону. Діаметри відновлюваних поверхонь від 20 до 80 мм. Спосіб може застосовуватися для відновлення широкою номенклатурою деталей типу "вал", що працюють як на знос, так і в умовах динамічних і повторно-змінних навантажень. Спосіб не рекомендується застосовувати для відновлення поверхонь великого діаметра (понад 120...150 мм) через погіршення умов деформації присадного дроту, а також для відновлення валів, що зазнають великих циклічних навантажень і не мають великих запасів міцності.

Під час вибору присадного дроту необхідно керуватися наступними міркуваннями.

Бажано, щоб хімічний склад матеріалу присадного дроту збігався або був близький до хімічного складу металу деталі. Крім того, матеріал дроту повинен забезпечувати необхідну твердість, яка вказана в кресленні, відновлюваних поверхонь. У розділі 1 було показано, що зношені та відновлені поверхні валів мають модальні значення твердості 18...35 і 50...55 HRC.

Значення твердості 18...35 HRC виходять при застосуванні присадних дротів із низьким вмістом вуглецю, наприклад, дротів Св-08, Св-08ГА ГОСТ 2246-70. Висока твердість наплавлених поверхонь забезпечується при застосуванні дротів з підвищеним вмістом вуглецю. У цьому випадку рекомендуються дроти Нп-50, Нп-65, Нп-80 ГОСТ 10543-63.

У багатьох випадках рекомендують недорогий і недефіцитний дріт ГЖ-2 ГОСТ 9389-75. Наплавлення таким дротом із вмістом вуглецю 0,7% забезпечує одночасно високу твердість і зносостійкість покриттів, а також високу втомну міцність наплавлених валів.

Діаметр дроту вибирається залежно від необхідної товщини шару металопокриття. Найчастіше застосовується дріт діаметром 1,8 мм. При застосуванні дроту такого діаметра товщина шару покриття дорівнює приблизно 0,45...0,50 мм на сторону. Після зняття мінімального припуску на механічну обробку (0,15...0,20 мм) залишається шар товщиною 0,25...0,30 мм. Таким чином, присадним дротом 1,8 мм можна відновлювати вали з максимальними зносами до 0,25 мм на сторону, тобто переважну більшість автотракторних деталей типу "вал". За необхідності відновлювати деталі з більшими зносами, слід застосовувати дроти більшого діаметру або ж здійснювати дво- чи багатошарове наплавлення.

Технологічний процес відновлення деталей типу "вал" ЕКН складається з таких основних етапів:

1. Приймальні роботи;
2. Підготовка деталі до відновлення;
3. Підготовка присадного матеріалу – дроту;
4. Наплавлення дроту на зношену поверхню;
5. Заклучні операції для приймання відновленої деталі.

Приймальні роботи: очищення деталі від забруднень із застосуванням водних розчинів синтетичних мийних засобів, дефектація деталі – визначення її технічного стану шляхом візуальної оцінки або вимірювання.

Підготовка деталі до відновлення: правка центральних отворів, усунення прогину валу, отримання правильного циліндра деталі і отримання необхідної шорсткості під наплавлення.

Основною і найбільш трудомісткою операцією підготовки деталі є відновлення деталі циліндричної форми. Ця операція залежить від характеру і величини зносу і має на увазі механічну обробку на верстатах токарної та шліфувальної групи.

Підготовча операція передбачає механічну обробку на верстатах токарної та шліфувальної групи. Глибина механічної обробки в основному залежить від ступеня зношення деталі та припуску на подальшу остаточну механічну обробку.

Під час відновлення деталей ЕКН рекомендується зношену поверхню валу обробляти до отримання шорсткості поверхні $Ra = 0,8..1,25$ мкм.

Наплавлення дроту на зношену частину поверхні може проводитися на установках для наплавки моделі 011-1-02, 011-1-02Н, 011-1-02Н, 011-1-05, 011-1-07 та ін.

Експериментальна установка моделі 011-1-02 має наступні технічні параметри:

Номінальна потужність трансформатора, кВт – 75

Межі регулювання:

- тривалості імпульсу, с 0,02...6,0
- тривалості паузи, с 0,02...10,0
- зварювального струму, Ка 2,0...20,0

Діаметр відновлюваної деталі, мм:

- мінімальний 20
- максимальний 200

Регулювання обертів шпинделя і величини поздовжньої подачі ступінчасте, здійснюється перемиканням передач редуктора. Подачу

охолоджувальної рідини (води) з патрубків на відстані 18...24 мм від зони

наплавлення. Регулювання напруги і сили струму здійснюється за допомогою імпульсного переривника джерела живлення.

Інші параметри підбраного режиму встановлюються перемикачами регулятора циклів зварювання. За необхідності величину зварювальної напруги

можна регулювати перемиканням ступенів трансформатора.

Заключні операції для приймання відновленої деталі включають у себе: шліфування наплавленої поверхні, контроль якості вимірюванням твердості та шорсткості.

Шліфування навареної поверхні проводиться із застосуванням мастильно-охолоджувальної рідини: - водного розчину 3...5% емульсолу (ТУ 33-1-245-69)

електрокорундовими шліфувальними кругами, наприклад марки ППГ-500х50х305-24А-32 СМ2-7К8-35-м/с Б ГОСТ 2424-83 [10].

Якість зварного з'єднання може контролюватися оператором, що проводить наплавлення, за осьовою деформацією присадного дроту, відповідно з графіками, показаними на рисунку 2.1. Крім того, про якість наплавлення можна судити шляхом шліфування привареного шару на зразках або контрольних деталях. Зразки або деталі шліфуються до товщини привареного покриття, що залишається, 0,015..0,02 мм. Якщо відшарування покриття не спостерігається або спостерігається не більше ніж на 5% поверхні, то зварюваність вважається нормальною.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ

5.1 Техніко-економічна ефективність відновлення зношених автотракторних деталей типу "вал" ЕКН сталевих дротів

Розроблена технологія відновлення зношених валів сільськогосподарської техніки впроваджена в ТОВ "Машзавод" м. Чернівці

До впровадження розроблених процесів ЕКН у ТОВ "Машзавод" деталей типу "вал" відновлювалися ЕКП металевих порошків. За останні роки ціна металевих порошків зростає в багато разів (набагато істотніше, ніж ціна сталевих дротів). У зв'язку з цим відновлення деталей з використання більш дешевих і доступних дротів виявляється економічно доцільним.

Річний економічний ефект від розроблення та впровадження (нового) технологічного процесу відновлення деталей можна визначити за формулою

$$E_P = \left[\frac{C_{B1} + E_{K1}}{T_{СЛ1}} - \frac{C_{B2} + E_{K2}}{T_{СЛ2}} \right] \cdot V \cdot T_{СЛ3} \quad (5.1)$$

де C_{B1} та C_{B2} – відповідно собівартість відновлення деталі за базовим і новим варіантами, грн;

K_1 та K_2 – капітальні вкладення на придбання, установку і модернізацію обладнання за базовим і новим варіантами, грн;

$T_{СЛ1}$ і $T_{СЛ2}$ – терміни служби деталі, відновленої за базовим і новим варіантами, год;

V_1 і V_2 – річні обсяги (кількість) відновлюваних деталей за базовим і новим варіантами в розрахунковому році, шт.;

E - коефіцієнт капітальних вкладень для ремонтних підприємств [180].

З річних звітів ТОВ "Машзавод" було виписано основні необхідні дані для розрахунку, представлені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1.

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності

Назва показника	Позначення	Значення
Вартість нової осі катка, грн.	$B_{\text{н}}$	625
Годинна тарифна ставка робітника для II/IV розряду [181], грн.	$C_{\text{чср}}$	20,27/29,78
Витрата дроту, кг	$Q_{\text{др}}$	0,01
Вартість сталевих дроту [182], грн./кг	$B_{\text{др}}$	50
Встановлена потужність електродвигунів, кВт	N_E	75
Вартість електроенергії [183], грн./кВт	B_E	1,58
Площа будівлі, яку займає установка, м ²	S	15
Висота будівлі, м	H	6
Вартість 1 м ³ будівлі, грн.	$B_{\text{м}^3}$	15000
Відсоток амортизації частини будівлі [184], %	a_1	1,2
Відсоток амортизації на установку [184], %	a_2	8,2
Ефективний річний фонд роботи обладнання [185,186], год	Φ	2056

Калькуляція на відновлення деталей тракторів (грн.) наведена в додатку А.

Повна собівартість C_B (грн.) відновлення будь-якої деталі на конкретному підприємстві визначається за формулою [35,36]:

$$C_B = B_{\text{зд}} + B_M + B_U + B_{\text{на}} + B_{\text{зп}} + B_B, \quad (5.2)$$

де $B_{\text{зд}}$ та B_M – вартості відповідно зношеної деталі та матеріалів (дроту), що використовуються для відновлення;

B_U – витрати на утримання та експлуатацію установки для ЕКН;

$B_{\text{на}}$ – накладні витрати;

$B_{\text{зп}}$ – витрати на заробітну плату;

B_B – втрати від браку.

Вартість зношеної деталі $B_{\text{зд}}$ визначається за ціною металевих брухтів. Ціна купівлі чорного металу у ТОВ «Вторчермет» м. Чернівці становить 6000 грн.

[193] за одну тону. Маса нової осі катка дорівнює 3,36 кг, тоді вартість зношеної деталі становитиме $B_{зд} = 20,16$ грн.

Вартість матеріалів включає витрати на всі матеріали, які застосовують у технологічному процесі відновлення деталей ЕКН, тобто:

$$B_M = \sum_{i=1}^n G_{\Pi} \cdot B_{\Pi}, \quad (5.3)$$

де G_{Π} – маса присадного матеріалу (дроту або порошку) з урахуванням технологічних втрат, що витрачається на відновлення однієї деталі, кг;

B_{Π} – вартість 1 кг присадного матеріалу, яка визначається за прайс-листами фірм виробників;

n – кількість найменувань матеріалів.

У ТОВ "Машзавод" заробітна плата робітників ґрунтується на почасовій оплаті праці, тоді витрати на заробітну плату визначаються за формулою [51]:

$$B_{зп} = \tau \cdot C_{г.ср} \cdot K_{\Pi} \cdot K_{Д} \cdot K_{с}, \quad (5.4)$$

де τ – трудомісткість відновлення деталі, люд. год;

$C_{г.ср}$ – середня годинна тарифна ставка за виконуваними роботами, грн;

K_{Π} – коефіцієнт, що враховує премії та інші доплати, що збільшують фактичний годинний заробіток робітника порівняно з тарифною ставкою, $K_{\Pi} = 1, 2, \dots, 1, 4$ [34];

$K_{Д}$ – коефіцієнт додаткової заробітної плати (оплата відпусток, чергувань, компенсацій, пільгових годин неповнолітніх робітників та ін.), $K_{Д} = 1, 1$ [34];

$K_{с}$ – коефіцієнт відрахувань до фонду соціального страхування, $K_{с} = 1, 26$.

Витрати B_V (грн.) на утримання та експлуатацію установки для ЕКП у розрахунку на одну відновлювану деталь визначали за формулою.

$$B_V = B_{PO} + B_{El} + B_{СП} + B_B + B_{AB} + B_{AV}, \quad (5.6)$$

де B_{PO} – витрати на ремонт і обслуговування установки для ЕКП, грн;

B_{El} , $B_{СП}$, B_B – витрати відповідно на електроенергію, стиснене повітря та воду, грн;

B_{AB} – витрати на амортизацію частини будівлі, що належить до цієї установки, грн;

B_{AV} – витрати на амортизацію установки, грн.

Витрати на ремонт і обслуговування установки для ЕКП B_{PO} становлять близько 10...11 % від вартості установки [34]:

$$B_{PO} = \frac{K_{PO} \cdot T_{шт.к} \cdot B_{уст}}{\Phi \cdot 60 \cdot 100}, \quad (5.7)$$

де K_{PO} – коефіцієнт, що враховує річні витрати на ремонт відповідно механічної та електричної частин установки, $K_{PO}=1,0...1,1$;

$T_{шт.к}$ – штучно-калькуляційний час, хв;

$B_{уст}$ – вартість електроконтактною установки;

Φ – ефективний річний фонд роботи, год.

Витрати стисненого повітря $B_{СП}$ при ЕКН дуже малі, тому облік цього показника доцільніше проводити за обліком електроенергії, що витрачається компресорною установкою.

Витрати на воду B_B були прийняті за отриманими результатами добірки оптимальних режимів ЕКН, де вони становили $q=1,0...1,5$ л/хв.

$$P_B = \frac{q \cdot T_{шт.к} \cdot B_B}{1000}, \quad (5.8)$$

де q – витрата охолоджувальної рідини, л/хв;

B_B – вартість води для підприємств і організацій, $B_B = 21,45$ грн./м³.

Витрати на технологічну електроенергію для одиниці обладнання визначалися за формулою:

$$B_{En} = (N_E \cdot T_{шт.к} \cdot K_T \cdot K_N \cdot B_E) / 60, \quad (5.9)$$

де N_E – встановлена потужність усіх електродвигунів, кВт;

K_T – коефіцієнт використання часу, $K_T = 0,4$ [35];

K_N – коефіцієнт використання потужності, $K_N = 0,5$ [35];

B_E – вартість 1 кВт-год електроенергії.

Витрати B_{AB} на утримання та амортизацію частини будівлі, що належить до даної установки для ЕКН, розраховували за формулою:

$$B_{AB} = \sum [(S \cdot H \cdot V_{M3} \cdot a_1 \cdot T_0) / \Phi \cdot 60 \cdot 100], \quad (5.10)$$

де S – площа будівлі, яку займає установка і яка забезпечує можливість відновлення на ній різних деталей;

H – висота будівлі, м;

V_{M3} – вартість 1 м³ будівлі, грн;

a_1 – відсоток амортизації частини будівлі, $a_1 = 1,2\%$;

Φ – ефективний річний фонд роботи обладнання, год;

T_0 – час, що витрачається на операцію, хв.

$$B_{PO} = \frac{a_2 \cdot T_{шт.к} \cdot V_{уст}}{\Phi \cdot 60 \cdot 100}, \quad (5.11)$$

a_2 – відсоток амортизації на установку (для електрофізичних та електрохімічних методів обробки), $a_2 = 8,2\%$ [35,36].

У таблиці 4.6 наведено результати розрахунків собівартості відновлення деталі вісь катка 85.31.018P01 трактора ДТ-75 за основним і базовим варіантами.

Підставивши прийняті та розрахункові значення, представлені в таблиці 4.6, визначимо річний економічний ефект від упровадження у виробництво нового способу відновлення замість наявного.

Таблиця 5.2.

Складові собівартості відновлення осі катка за базовим і пропонованим способами (грн.)

Показники	Значення	БКН	
		Порошкова ФБХ-6-2 (базовий)	Сталевим дротом Нп-3ОХГСА (новий)
Вартість нової деталі [193, 195-206], грн.	B_H	625	625
Собівартість відновлення, грн., у тому числі:	C_{B1}, C_{B2}	208,9	143,4
- вартість присадного матеріалу, грн/кг.	B_M	300	50

- вартість зношеної деталі грн.	$B_{зд}$	24,2	24,2
- витрати на заробітну плату грн.	$B_{зп}$	42,3	40,1
- накладні витрати (120% від $B_{зп} + B_{зд}$), грн.	$B_{на}$	50,7	48,1
- витрати на утримання та експлуатацію установки для ЕКН, грн	$B_{у}$	22,8	20,3
- вартість витрат від браку грн.	$B_{б}$	8,7	3,5
- додаткова заробітна плата (11% від $B_{зп}$) [185,186].	$B_{зпд}$	4,6	4,4

Електроконтактні способи забезпечують ресурс відновлюваних деталей не нижчий за ресурс нових деталей. При обчисленнях економічного ефекту за формулою (4.1) приймаємо $T_{сл1} = T_{сл2}$. Відновлення за основним і базовим варіантами проводиться на установці 01-11-02Н, яка наявна на ремонтному підприємстві, тобто $E_{к1} = E_{к2}$.

Підставляємо дані у формулу (4.1) і отримуємо:

$$E_p = \left(\frac{208,9 + E_{к1}}{T_{сл}} \right) - \left(\frac{143,4 + E_{к2}}{T_{сл}} \right) \cdot V \cdot T_{ср} = 91798 \text{ грн}$$

Результат обчислень економічної ефективності деталей інших найменувань виконано аналогічно і наведено в таблиці 4.2. Загальний річний ефект відновлення деталей 17-ти найменувань становить 77263,1 грн.

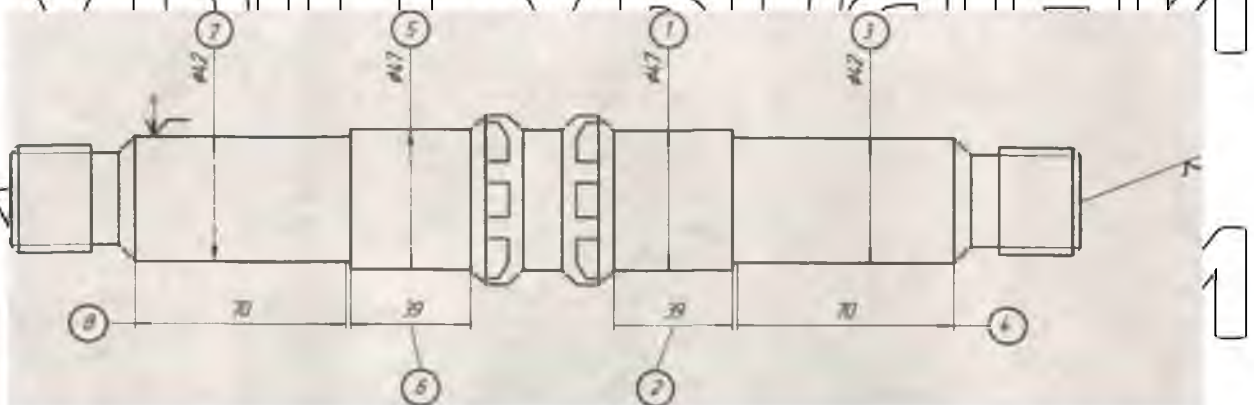


Рис. 5.1. Поверхні, що відновлюються, осі котка 85.31.01800



Рис. 5.2. Фотографії деталей, відновлених ЕКН дротом

5.2 Виновки

1. Визначено технологічні параметри режимів ЕКН вуглецевих присадних дротів і легованого дроту Нп3ОХГСА, що забезпечують одночасно максимально високу міцність зварного з'єднання, високу зносостійкість і структурну однорідність металопокриття. Методика визначення оптимальних режимів наплавлення може бути поширена і на інші марки присадних дротів.

2. Розроблено на підставі проведених досліджень пропозиції щодо вдосконалення технологічного процесу відновлення автотракторних валів ЕКН.

3. Розроблено та впроваджено технологічні процеси ЕКН у ТОВ "Машзавод" Чернівецької області з економічним ефектом 77263,1 грн. в цінах 2022 року. Економічний ефект отримано за рахунок використання недорогих і доступних присадних дротів і більш високою продуктивністю процесу ЕКН (порівняно з базовим процесом напикання металевих порошків).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

НУБІП України

1. Отримано умову формування зварного з'єднання в межах контактних ділянок у вигляді залежностей (10-11).

Встановлено зв'язок для випадку наплавлення дроту Нп-30ХГСА на основу з однойменної сталі між міцністю зварного з'єднання і осьової деформації присадного дроту у вигляді формули:

$$\sigma = 3,04\varepsilon_v^{0,70} - 0,922.$$

НУБІП України

2. Розроблено спосіб визначення величини зносу ролика-електрода, заснований на вимірюванні відносної осьової деформації присадного дроту під час його наплавлення на однакових режимах зношеним і незношеним інструментом.

Встановлено, що задовільну зносостійкість мають ролики-електроди з нікель-берилієвих бронз БрНБТ. Доцільно при відновленні автотракторних деталей типу "вал" використовувати ролики-електроди діаметром 300 мм. Запропоновано нові конструкції роликів-електродів, що дають змогу істотно підвищити їхню зносостійкість шляхом захисту робочих поверхонь змінними елементами з мідної фольги.

НУБІП України

3. Встановлено, що найвища міцність зчеплення металопокриття з основою досягається за режимів наплавлення, що забезпечують максимально можливе 44...48%-ве подовження присадного дроту. Під час наплавлення вуглецевих дротів міцність зварного з'єднання може досягати міцності основного металу валу. Середня твердість металопокриття з вуглецевого дроту ПК-2 дорівнює 52...54 HRC, а для легованого дроту 30ХГСА – 48...50 HRC. Зносостійкість металопокриття з дроту ПК-2 в 1,4...1,5 рази, а для дроту 30ХГСА – в 1,2...1,25 рази вища за зносостійкість зразків зі сталі 45, загартованої ТВЧ.

Встановлено, що крок наплавлення по довжині зварного валика повинен забезпечувати перекриття зон контактних ділянок, у яких утворюється зварне з'єднання. Якісне суцільне покриття без непроварів формується за 5-10%-ного

перекриття цих зон у разі наплавлення вуглецевих дротів і 40-45%-ного – при наплавленні легованих дротів 30ХГСА.

Рациональними є крок наплавлення по гвинтовій лінії, що забезпечують мінімальне 10...15%-ве перекриття суміжних зварних валиків за їхньою шириною.

Встановлено, що в металопокриттях, сформованих за рекомендованими режимами ЕКН, діють стискаючі залишкові напруги, що дорівнюють 0,1...0,2 межі плинності наплавленого металу. Сприятливі залишкові напруження пояснюються термомеханічним впливом ролика-електрода на присадний метал

під час його наплавлення.

4. Розроблено методики визначення режимів ЕКН, які можуть знайти застосування під час відновлення деталей типу "вал" присадними дротами різного діаметру та хімічного складу. Технологічний процес відновлення ЕКН впроваджено в ТОВ "Машзавод" Чернівецької області з річним економічним ефектом 80000 грн.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Восстановление и упрочнение деталей на современном этапе экономических реформ // В сб.: Восстановление и упрочнение деталей - современный эффективный способ надежности машин./ Лялякин В.Л. - М.: ВНИИТУВИД «Ремдеталь», 1997. - 163 с.

2. Организация и технология восстановления деталей машин. Изд. 2-е / доп. и перераб./ Черноиванов В.И., Лялякин В.Л. - М.: ГОСНИТИ, 2003 - 488 с.

3. Довідник по відновленню деталей./ Воловик Є.Л. - М.: Колос, 1981.-351 с.

4. Восстановление автомобильных деталей. Технология и оборудование: Учебник для вузов./ Канарчук В.Е., Чигиринцев А.Д. и др. - М.: Транспорт, 1995. - 303 с.

5. Восстановление деталей машин. Справочник./ Молодых Н.В., Зенкин А.С. - М.: Машиностроение. 1989.

6. Восстановление деталей плазменной металлизацией./ Суденков Е.Г., Румянцев С.И. - М.: - Высшая школа, 1980 - 36 с.

7. Гальванические покрытия при восстановлении деталей./ Петров Ю.Н. - М.: Колос, 1965. - 120 с.

8. Состояние и перспективы восстановления деталей электроконтактной приваркой материалов./ Каракозов Э.С., Латыпов Р.А., Молчанов Б.А. - М.: Информагротех, 1991. - 85 с.

9. Электроконтактная наплавка./ Клименко Ю.В. - М.: Metallurgy, 1978.- 128 с.

10. Упрочнение и восстановление деталей электромеханической обработкой./ Аскинази Б.М. - Л.: Машиностроение, 1977 - 183 с.

11. Восстановление деталей сельскохозяйственной техники механизированной наплавкой с применением упрочняющей технологии / Под ред. В.М. Кряжкова - М.: ГОСНИТИ, 1972. - 230 с.

12. Организация восстановления деталей машин в сельском хозяйстве./ Молоков Б.М. - М.: Колос, 1979. - 192 с.

13. Современные способы восстановления деталей машин. Учебное пособие. / Ибрагимов В.С. - Ульяновск: Издательство Ульяновского СХИ, 1988. - 96 с.

14. Новые способы восстановления и упрочнения деталей машин электроконтактной наваркой. / Амелин Д. В., Рымов Е. В. - М.: ВО «Агропромиздат», 1987. - 151 с.

15. Восстановление автотракторных деталей / Лившиц Л. Г., Поляченко А. В. - М.: Колос, 1966. - 479 с.

16. Композиційні запечені антифрикційні матеріали. / Федорченко І.М., Пугина Л.І. - Київ: Наукова думка, 1980. - 403 с.

17. Образование прочного сцепления при напылении порошков и металлизации // Получение покрытий высокотемпературным распылением. Под ред. ЦК. Дружинина - М.: Агроиздат, 1973.

18. Восстановление деталей сельскохозяйственных машин. / Дорожкин Н.Н., Гиммельфарб В.Н. - Минск: Ураджай, 1987.

19. Восстановление изношенных деталей: - М.: Россельхозиздат, 1973. - 45 с.

20. Электроискровые технологии восстановления и упрочнения деталей машин и инструментов. / Бурумкулов Ф.Х., Лезин П.П., Сенин П.В. и др. - Саранск: Тип. «Крас. Окт.», 2003 - 504 с.

21. Технологические процессы и указания по восстановлению деталей контактной приваркой присадочных материалов, ВНИО «Ремдеталь». - М.: ГОСНИТИ, 1978. - 344 с.

22. Повышение надежности деталей, восстанавливаемых гальванопокрытиями. - М.: Россельхозиздат, 1983. - 56 с.

23. Диффузионная сварка жаропрочных сплавов. / Мусин Р.А., Анциферов В.Н., Квасницкий В.Ф. - М.: Металлургия, 1979. - 208 с.

24. Ремонт и восстановление деталей методом припекания износостойких порошков. Обзор. / Романов А. В. Авдеев Н. В. УзНИИТИ. - Ташкент, 1988. - 35 с.

25. Zur Trade der platzwechsel bei der Kalt-pressung der Metalle // Zeitschrift fur Metallkunde. / Hofmann W., Kirch I. 1966, №4.

26. Восстановление деталей машин: Справ. / Ф.И. Пантелеенко, В.П. Лялякин, В.Н. Иванов, В.М. Константинов; под ред. В.М. Иванова. - М.: Машиностроение, 2003. - 672 с.

27. ГОСТ 6623-86 Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками. - М.: Издательство стандартов, 1988.

28. Усталость сварных конструкций / Кудрявцев И. В., Наумченков Н. Е. - М.: Издательство «Машиностроение», 1976. - 270 с.

29. Взаимодействие металлов с полупроводником в твердой фазе. / Красулин Ю.Л. - М.: Наука, 1971. 119 с.

30. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. 2-е изд. / Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. - М.: Наука, 1976. - 279 с.

31. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. / Мельников С.В., Алешкин В.Р., Рошин П.М. - М.-Л.: Колос, 1972. - 200 с.

32. Контактная сварка. / Кочергин К.А. - Л.: Машиностроение, 1987. - 240 с.

33. Контактная сварка. В помощь рабочему сварщику. / Чулочников П.Л. - М.: Машиностроение, 1977. - 144 с.

34. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов. Справочник. Издание второе, переработанное и дополненное. / Полухин И.И., Гун Г.Я., Галкин А.М. - М.: Металлургия, 1983. 352 с.

35. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2 / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Сулова, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. - 5-е изд. исправл. - М.: Машиностроение - 1, 2003 г. 944 с.

36. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. М.: ВНИИЭСХ, 1989. - с. 220.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Номенклатура деталей, відновлених розробленим способом

№	Найменування деталі	Марка трактора	Номер по каталогу	Собівартість відновлення	Ціна нової деталі
1	Вісь катка	ДТ-75	85.31.01800	143,4	625
2	Вісь гойдання	ДТ-75	85.31.117	193,8	954
3	Вісь підтримуючого ролика	ДТ-75	77.33.101	106,9	563
4	Вісь колодки гальма	ДТ-75	77.36.125	10,4	65
5	Додатковий вал	ДТ-75	77.37.002	67,7	386
6	Вторинний вал	ДТ-75	77.Т37.125-2	108,7	577
7	Направляюча муфти	ДТ-75	77.35.144	106,5	596
8	Вісь відомої шестерні	ДТ-75	77.55.134-1А	23,7	105
9	Первинний вал	ДТ-75	36-1701030	135,4	635
10	Вал ведений	ДТ-75	77.41.336-1	46,6	232
11	Вісь підтримуюча катка	Т-4А	04.33А.101-4	129,0	544
12	Шестерня кінцева передачі ведуча	Т-4А	04.38.132-2	176,8	1005
13	Вісь нижня	Т-4А	04.56.110-3А	295,1	1653
14	Вісь катка	Т-4А	04.31.101-2	125,38	560
15	Вісь направляючого колеса	Т-4А	04.32.105-5	129,6	654
16	Вісь редуктора	МТЗ-80	6ТЗ-1910	116,1	511
17	Вал приводу гідронасоса	МТЗ-80	6ТЗ-2626	138,8	560

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України