

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

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

на тему: «Відновлення деталей механізованим наплавленням у середовищі CO₂
з одночасним термомеханічним зміцненням»

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

Рецензент: Науменко А.О.
Прізвище та ініціали рецензента

ВСТУП

Підтримка коефіцієнта технічної готовності автомобільного парку на високому рівні, чітка, ритмічна робота автотранспортних (АТП) і авторемонтних підприємств (АРП) у значній мірі визначаються ступенем задоволення їх потреб у запасних частинах.

Забезпечення потреб підприємств по експлуатації і ремонту автотранспортної техніки в запасних частинах здійснюється за рахунок виготовлення і відновлення деталей автомобілів. Випуск нових виробів обмежується лімітом металу і металопродукату, а також виробничими можливостями автомобільної промисловості, авторемонтного виробництва і автомобільного транспорту.

У цих умовах велика увага повинна приділятися ощадливому використанню матеріальних засобів, більш широкому залученню в господарську сферу вторинних матеріальних і паливно-енергетичних ресурсів, розвитку робіт по відновленні зношених деталей транспортних засобів.

Технології відновлення деталей відносяться до розряду найбільш ресурсозберігаючих, тому що в порівнянні з виготовленням нових деталей різко скорочуються витрати, ресурсозбереження при цьому становить близько 70%.

Багаторічними дослідженнями встановлено, що у деталей, що надходять в ремонт, зношуються несучі поверхні і зберігається значний ресурс по параметру втомної міцності. Відомо, що зношені деталі машин часто відновлюють за допомогою нанесення шару металу різними методами. Одним з таких методів, що одержали найбільше поширення в практиці ремонту, є нанесення металу механізованим електродуговим наплавленням, У цьому випадку надійність і довговічність відновлених деталей, а отже, надійність та довговічність машини, у цілому, визначаються якістю нанесеного металу. Одним із шляхів підвищення надійності і довговічності деталей машин є застосування зміцнення металу термомеханічною обробкою, що представляє собою раціональну комбінацію в одному технологічному процесі обробку тиском і термічну обробку.

Численні дослідження, проведені в нашій країні та за кордоном, показали,

що термомеханічна обробка дозволяє одержати більш високу, ніж при термічній обробці, міцність металів і сплавів при збереженні досить високої пластичності.

У цей час широко використовуються способи термомеханічної обробки при прокатці, куванні, штампуванні і видавлюванні металу стосовно до машинобудування.

Застосування зміцнюючої термомеханічної обробки в ремонтному виробництві при відновленні зношених деталей машин механізованим наплавленням є більшим резервом підвищення їх надійності і довговічності. При цьому технологічно і економічно найбільш вигідним є сполучення способів механізованого наплавлення й термомеханічної обробки, що дає можливість використовувати нагрівання металу теплом зварювальної дуги для його пластичного деформування і наступного загартування.

У цій роботі приводяться результати досліджень механізованого наплавлення з одночасним термомеханічним зміцненням стосовно до автомобільних деталей типу тіл обертання,

Для досліджень був обраний спосіб механізованого наплавлення в середовищі вуглекислого газу як найбільш прийнятний для сполучення з термомеханічною обробкою.

1. ВИВЧЕННЯ СТАНУ ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Термомеханічна обробка при наплавленні деталей

Новим, найбільш перспективним і прийнятним способом підвищення довговічності деталей як при виготовленні, так і при ремонті є термомеханічна обробка.

Термомеханічна обробка представляє раціональне сполучення в одному технологічному процесі пластичної деформації і разових перетворень при термічній обробці. Перетворення, що відбуваються при термомеханічній обробці, сприяють підвищенню міцності і зносостійкості сталі за рахунок утворення окремих фрагментів, виникнення дрібноігольчатого мартенситу, скупчення дислокацій у границь блоків і зерен.

Одним з основних зміцнюючих факторів при ТМО є збільшення щільності дислокацій і більш рівномірний розподіл їх за обсягом металу, ніж у вихідному стані. Дослідження впливу ТМО на дислокаційну структуру сталей 3Х2В8, Р9 і 3Х13 рентгенівським вимірюванням, ширина лінії (110), встановлено, що дислокації, наявні в аустеніті, приводять до одержання мартенситу, що містить підвищене число дислокацій. Межа міцності сталей сильно залежить від величини обтиснення. Таке положення пояснюється впливом рухливості дефектів, рівномірністю їх розподілу опору сталі при пластичній деформації. У процесі обтиснення багато дислокацій накопичуються у границь блоків зерен, а також закріплюються у бар'єрів усередині структурних утворень і стають нерухливими. Малорухомі дислокації підвищують здатність матеріалу зовнішньому навантаженню.

Теоретичні і експериментальні дослідження свідчать про те, що зі збільшенням розміру зерна міцність металу знижується, а зі зменшенням розміру зерна збільшується [1]. Досліджуючи мікро- і субмікроструктури мартенситу на зразках зі сталі 40ХН5С, Л.І. Коган і Р.І.Энтин підтвердили, що ТМО приводить до зменшення розмірів мартенситних кристалів. Встановлено, що характеристикою мікроструктури є величина зерна аустеніту, що вийшла у

результаті сполучення певних режимів термічної обробки і пластичної деформації в момент, що передує загартуванню на мартенсит, тобто величина зерна аустеніту визначає розмір мартенситних пластинок. Вплив на метал ТМО в різній комбінації дозволяє одержати розмір зерна до 1 мкм.

Багатьма дослідниками встановлено, що при термомеханічній обробці суттєво змінюються фізико-механічні властивості металів у результаті випадання дисперсної фази. Так, М.Е. Блантер вважає, що зміцнення за рахунок випадання дисперсних часток у сталі 40ХНМА є основним при старінні заліза під час пластичної деформації ТМО [1]. Деформація аустеніту при високій температурі приводить до утворення по його границях більш дисперсних виділень, що суттєво знижує міжкристалітне руйнування.

Відзначається, що зносостійкість сталі 47Х8 підвищилася в 1,8-1,9 рази, а в сталі 55ХГР в 2,0-2,5 рази, що пояснюється загальним диспергуванням структур і підвищенням пластичності, що дозволяє реалізовувати високу міцність мартенситу. Виділення високодисперсної карбідної фази та інші її розташування роблять свій додатковий внесок у зміцнення сталі при ТМО.

Акад. Г.В. Курдюмов указує, що поряд з опором руху дислокацій в областях, вільних від субграниць, що забезпечують опір деформованого металу, досить важливим фактором у цьому є субструктура зерна, тобто наявність у ньому внутрішніх границь, що є бар'єрами для руху дислокацій [2].

Отже, по даним більшості дослідників, у процесі проведення ТМО створюється фрагментована структура з великою щільністю дефектів, що відповідно визначає високі фізико-механічні властивості металів.

Акад. Г.В. Курдюмов також відзначає, що головну роль у великому опорі деформації загартованої сталі відіграє зміна властивостей кристалітів мартенситу за рахунок розчиненого вуглецю. Це впливає з того, що границя текучості і твердість дуже швидко ростуть зі збільшенням змісту вуглецю в сталі до протікання дифузійних процесів. Загальної думки про роль вуглецю в зміцненні металів при проведенні ТМО немає. Однак, виходячи з аналізу наведеної літератури, впливає, що міцність металів при ТМО зростає зі

збільшенням змісту вуглецю тільки до певної величини. При ТМО дислокації випробовують гальмування з боку атомів вуглецю, що приводить до підвищення механічних властивостей металів.

Одним з основних параметрів режиму ТМО, що впливають на фізико-механічні властивості металу, є величина деформації. У роботах М.Л. Берштейна, Л.І. Когана й Р.Л. Энтина досліджений вплив ступеня обтиснення при ТМО різних сталей і сплавів [3]. Так, вказується, що при підвищенні ступеня деформації межа міцності плавно зростає, причому при обтисненні 20-25% його ріст уповільнюється. Збільшення ступеня деформації при ТМО до 90% у зоні стійкості аустеніту нижче температури рекристалізації, значно підвищує міцність. Поряд з підвищенням міцності підвищується твердість і пластичність стали. Проведені в широкому діапазоні (від 5 до 75%) дослідження впливу ступені деформації на стан тонкої структури і стійкість аустеніту показали, що деформація впливає на стійкість аустеніту і що зміцнення найбільш швидко розвивається в інтервалі деформацій, які ще не викликають мартенситних перетворень.

Отже, на підставі викладеного можна стверджувати, що сутність зміцнення при ТМО полягає в створенні і рівномірному розподілі в обсязі металу субмікроскопічної неоднорідності, що перешкоджає протіканню процесів пластичної деформації до руйнування.

Найбільше поширення в промисловості одержали два види термомеханічної обробки - високотемпературна - ВТМО і низькотемпературна - НТМО, що полягають у пластичній деформації відповідно стабільного і метастабільного аустеніту з наступним загартуванням і низьким відпуском (рис. 1.1).

Застосування ВТМО дозволяє досягти межі міцності стали, рівної 2400-2600 Н/мм², при гарних значеннях пластичності і в'язкості, НТМО дає ще більш високі міцнісні показники; межа міцності досягає 3300 Н/мм², текучості 2700-3000 Н/мм².

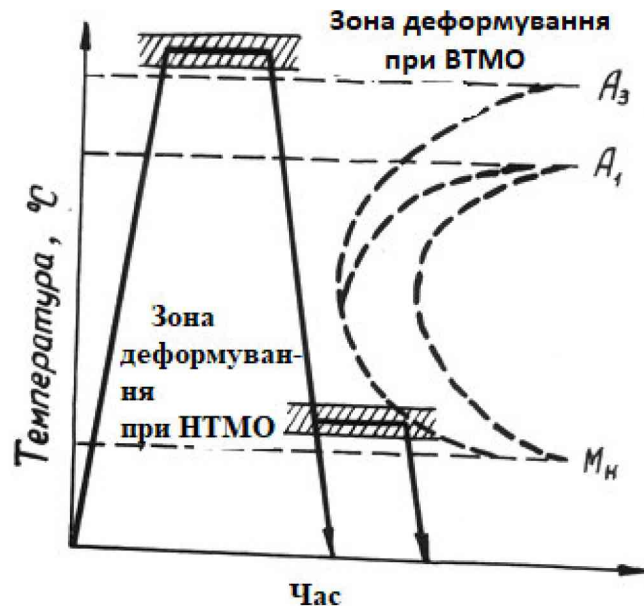


Рисунок 1.1 - Схема високотемпературної і низькотемпературної термомеханічної обробки металу

Проф. Б.Г.Гринберг відзначає, що "...низькотемпературна термомеханічна обробка збільшує втомну міцність, підвищує довговічність сталі в 1,5-2,0 рази. Застосування НТМО дозволило перейти до виробництва ресор, наприклад, зі сталі (0,5% С, 1% Мо, 1% С, 0,5%), це підвищило міцність виробів і одночасно знизило їхню вагу на 30%, збільшивши в кілька разів довговічність" [4].

Термомеханічна обробка може також застосовуватися і для зміцнення тільки поверхневих шарів деталей. Багато важконавантажених деталей працюють в умовах змінних циклічних навантажень, тому довговічність і надійність роботи визначається, у першу чергу, властивостями і станом поверхні.

У цьому зв'язку особливий інтерес представляють високотемпературна і низькотемпературна поверхнева термомеханічна обробка (ВПТМО НПТМО) як при виготовленні, так і при ремонті деталей машин механізованим наплавленням.

Досліджень, присвячених застосуванню термомеханічної обробки при проведенні зварювально-наплавочних робіт, дуже мало. Відзначаємо, що спосіб НТМО в процесі зварювання для зміцнення зварених з'єднань і виробів зі сталей, що гартуються, дозволив різко збільшити якість зварених швів. Найбільш ефективний цей процес для мартенситних сталей з 12-15% С и 0,15-0,3% С, а

також для сталей з 1,5-5% С и 0,3-0,45% С. Дослідження НТМО при зварюванні дозволили встановити, що з підвищенням обтиснення від 8-10 до 28-35% ступінь зміцнення стали 15Х12НМВФА збільшується з 14 до 23%, а сталі 30Х2ГСНВМ з 19 до 70%. При ступені деформації від 18% і більш зварені з'єднання мають такі ж механічні властивості, як і основний метал. Наведені дані показують, що НТМО є одним з досить перспективних шляхів підвищення міцності зварених з'єднань сталей, які гартуються".

Результати дослідження формоутворення і зміцнення (за допомогою ВПТМО) металу, наплавленого на зношені поверхні деталей залізничного рухливого складу, безпосередньо в процесі наплавлення, свідчать про ефективність ТМО. Встановлено, що поліпшується макро- і мікроструктура, усуваються дефекти (пори, тріщини) збільшується твердість і зносостійкість, однак втомна міцність підвищується незначно.

Застосування способів зварювання і наплавлення в комбінації з зміцнюючими методами обробки дозволяє різко підвищити довговічність деталей автомобілів, тракторів, сільськогосподарських машин тощо.

Спосіб термомеханічного зміцнення (ВТМО) у процесі вібродугового наплавлення дозволив значно підвищити фізико-механічні і експлуатаційні властивості металопокриття, нанесеного вібродуговим наплавленням. Так, при ступені обтиснення 12% і витраті охолоджуючої рідини 1,5 л/хв межа міцності наплавленого металу підвищилася на 190 Н/мм², а досягнута межа втомної міцності склала 578 Н/мм². За тих самих умов, але без застосування ТМО, втомна міцність склала лише 121 Н/мм².

За допомогою дефектоскопії наплавленого металу було встановлено, що вже при ступені обтиснення 5-7% усуваються тріщини і різко зменшується кількість пор. Зміна ступеня обтиснення впливає на розкид значень твердості* так, при $\lambda=7-15\%$ поле розсіювання значень твердості зменшується в 1,5 рази.

Застосування ВТМО дозволяє в 4-5 разів підвищити межу міцності металопокриття, причому втомна міцність при цьому, підвищується в три рази. Підвищення міцності приводить до поліпшення міцності зчеплення з основним

металом. Вирівнюється структурна неоднорідність, однак твердість одночасно знижується на HRC 5-8. У результаті цього зносостійкість виявилася на 12% нижче в порівнянні з незміцненими металопокриттями і на 31% - у порівнянні зі зносостійкістю основного металу, загартованого СВЧ. Втомна міцність також виявилася значно менше, ніж в основного металу.

З метою усунення цих недоліків, тобто підвищення твердості, зносостійкості і втомної міцності, запропоновано використовувати загартування СВЧ металопокриття, наплавленого вібродуговим способом із ВТМО. Дослідження показали, що ефект зміцнення у результаті ВТМО "успадковується" при загартуванні СВЧ. Зразки, наплавлені ВТМО і загартовані СВЧ, по зносостійкості на 25% перевершують ненаплавлені зразки зі сталі 45, загартовані СВЧ. Однак застосування при вібродуговому наплавленні із ВТМО наступного загартування СВЧ ускладнює й здорожує технологічний процес відновлення деталей.

Суть застосування НТМО для зміцнення металопокриття при наплавленні колінчастих валів під шаром легуючого флюсу полягає в тому, що в процесі наплавлення, наплавлений метал після видалення кірки флюсу в інтервалі низьких температур (650-400°C) зазнає пластичної деформації і охолодження на повітрі.

Проведені дослідження показують, що твердість, завдяки НТМО, збільшується на 5-10 одиниць HRC, мікротвердість по глибині наплавленого металу на 1400-1500 Н/мм². Зносостійкість при цьому підвищується на 40-50%. Залишкові стискаючі напруги в 3-4 рази більше, ніж у наплавлених без НТМО. Наплавлений метал укочується по діаметру на 180-220 мкм, що приводить до зниження припуску на обробку. Поліпшується зовнішній вигляд наплавленої поверхні і стає більш сприятливим для наступної механічної обробки.

У той же час цьому способу властиві недоліки. При наплавленні корінних і шатунних шийок температура металу перших валиків не відповідає температурному інтервалу НТМО, що викликає необхідність проведення додаткового підігріву шийок колінчастих валів перед наплавленням до 200°C. Наявність пристосування для пластичного деформування наплавленого металу

на супорті наплавочного верстата погіршує умови видалення флюсової кірки, що може привести до порушення стабільності процесу наплавлення і погіршенню захисту розплавленого металу. Доведена ефективність термомеханічного зміцнення при проведенні зварювально-наплавочних робіт.

У той же час, основні переваги НТМО в порівнянні із ВТМО, що забезпечують комбінацію високої твердості, міцності, зносостійкості наплавленого металу, є свідченням того, що механізоване наплавлення із НТМО є одним з основних резервів підвищення довговічності деталей при ремонті сільськогосподарської техніки.

Поряд із цим, відсутність глибоких досліджень, присвячених механізованому наплавленню із НТМО, а також наявність недоліків, їй властивих, підтверджують необхідність проведення подальших досліджень.

Робота присвячена розробці ефективної технології відновлення зношених деталей автомобілів механізованим наплавленням з термомеханічною обробкою металопокриття.

Для дослідження термомеханічної обробки був вибраний спосіб механізованого наплавлення в середовищі вуглекислого газу, як найбільш прийнятний при проведенні ТМО по різних схемах.

Висновки:

З аналізу робіт, присвячених дослідженню підвищення довговічності деталей при ремонті автомобілів, можна зробити наступні висновки:

- деталі, що надходять у ремонт, здебільшого невеликої ваги (1-4кг) і таких габаритів - діаметр 8-160мм, довжина зношеної поверхні 20-60мм; виключення становлять такі деталі, як опорні котки, ролики і напрямні колеса; твердість робочих поверхонь деталей не перевищує HRC 40-60;

- якщо проблема відновлення деталей діаметром понад 50мм, з погляду одержання якості наплавленого металу, у певній мері вирішена (мається на увазі наплавлення їх під шаром флюсу), то проблема відновлення деталей діаметром менш 50мм залишається відкритою;

- відомі і широко застосовувані для відновлення деталей діаметром менше 50мм вібродугове наплавлення в охолоджуючих середовищах і наплавлення в

середовищі вуглекислого газу не дозволяє одержати наплавлений метал необхідної якості із заданими властивостями;

- механізоване наплавлення з наступною зміцнюючою обробкою (термічною і хіміко-термічною, електромеханічною і поверхневим наклепом) дає набагато кращі результати в порівнянні зі звичайним наплавленням, однак кожна з них має ряд недоліків, які стримують або взагалі виключають їх застосування;

- найбільш прийнятною і перспективною зміцнюючою обробкою при відновленні деталей є ВТМО і НТМО.

Аналіз літературних даних показує, що для зміцнення наплавлених металопокриттів з використанням тепла, отриманого деталлю в процесі наплавлення, найбільший інтерес представляє НТМО.

1.2. Мета і завдання дослідження

Метою роботи є розробка способу механізованого наплавлення зношених деталей з низькотемпературним термомеханічним зміцненням наплавленого металу з використанням при цьому температури нагрівання деталі в процесі проведення наплавлення, а також дослідження впливу НТМО на якість і основні властивості металопокриттів, нанесених пропонованим способом.

Основними завданнями для досягнення поставленої мети є наступні:

- 1) розробити і виготовити установку для проведення механізованого процесу наплавлення з термомеханічною обробкою наплавленого металу по різних схемах ВТМО і НТМО з дослідженням нагрівання деталей при наплавленні;

- 2) провести експериментальне визначення температури нагрівання деталі при механізованому наплавленні по гвинтовій лінії для проведення НТМО;

- 3) досліджувати вплив НТМО на якість і основні властивості наплавленого металу;

- 4) провести аналіз отриманих результатів і встановити оптимальні режими механізованого процесу наплавлення із НТМО;

- 5) перевірити надійність деталей, дати техніко-економічне

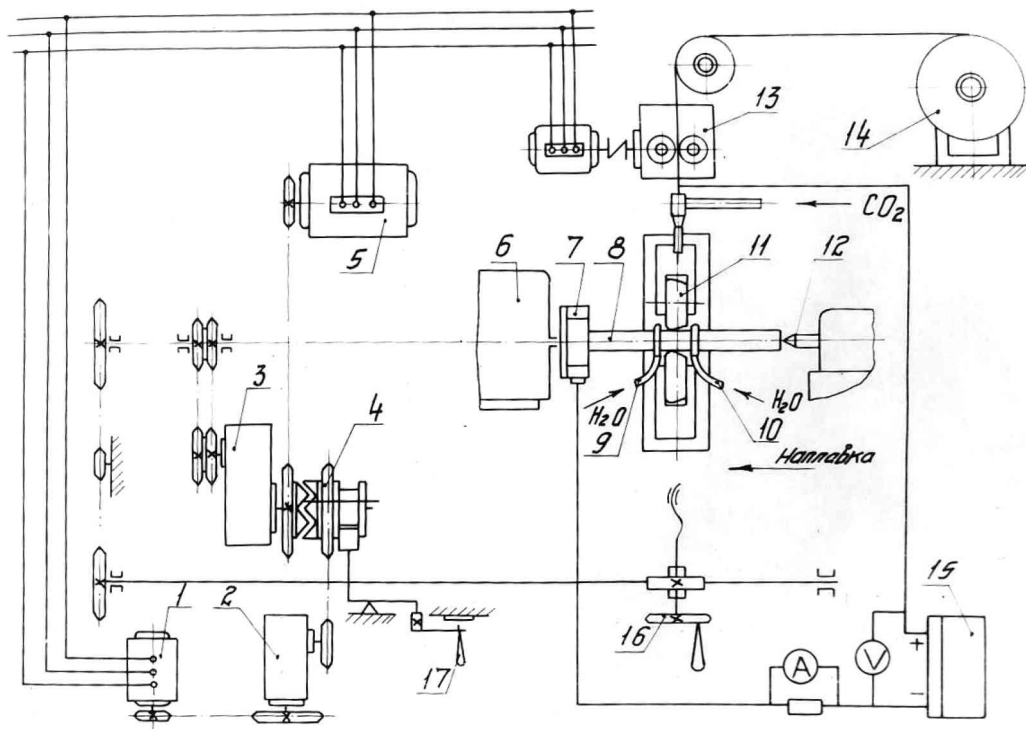
обґрунтування досліджуваного способу і розробити рекомендації виробництву по його застосуванню.

2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

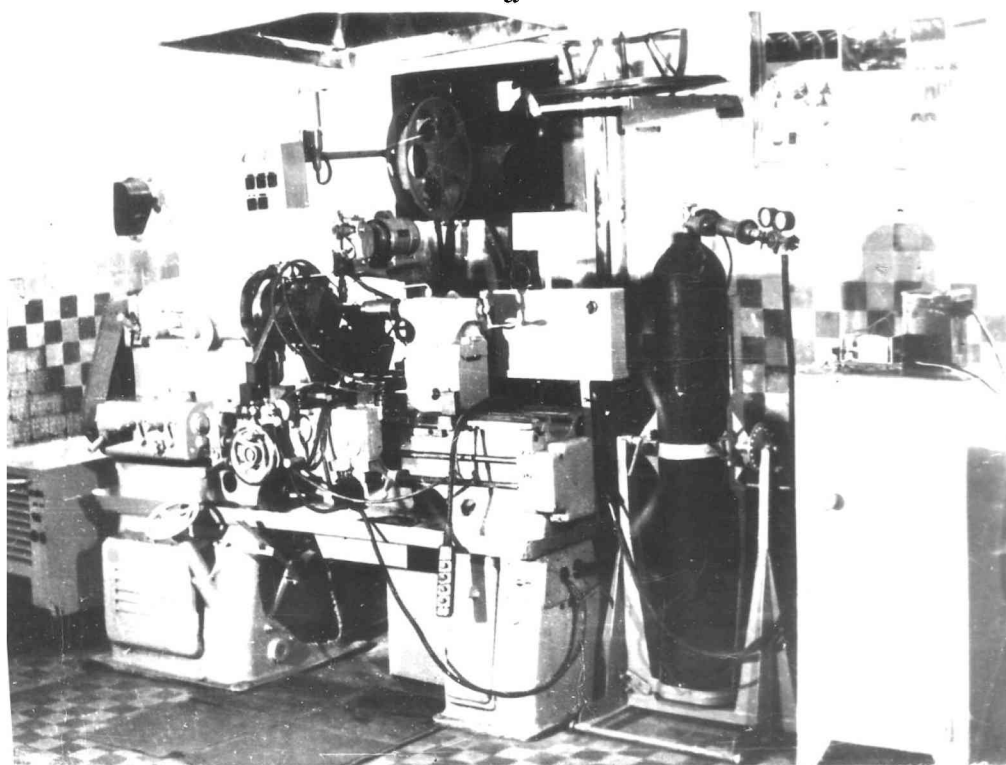
2.1. Установка для механізованого наплавлення в середовищі вуглекислого газу із ТМО

Наплавлення зразків для всіх випробувань, а також наплавлення зношених деталей проводилося на установці, розробленої і виготовленої в лабораторії кафедри "Технологічні системи ремонтного виробництва" Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Установка (рис. 2.1) складається з переустаткованого токарно-гвинторізного верстата 6, модернізованої наплавочної головки ПАУ-113, системи охолодження 9-10, пристосування для деформування наплавленого металу 2, пристрою для наплавлення в середовищі вуглекислого газу (балон, підігрівач, осушувач, редуктор, шланг підведення газу), пристосування для видалення води з балонів 4, пристосування для запобігання прогину деталей у процесі наплавлення. У якості джерела зварювального струму використовувався пересувний зварювальний випрямляч ВДУ-500 (рис. 2.1).

Токарно-гвинторізний верстат. Поряд з підйомом центрів і зниженням частоти обертання шпинделя верстата, що має місце при їхній модернізації для звичайного наплавлення, був виготовлений другий привод до шпинделя для проведення НТМО після припинення процесів наплавлення, що забезпечує частоту обертання деталі від 25 до 800 об/хв і подачу супорта від 0,1 до 3,0 мм/об. При звичайному напавленні або напавленні із ВТМО згідно рис. 2.1, привод до шпинделя 7 здійснюється від електродвигуна 1 через понижувальний редуктор 2, храпову муфту 4 і коробку зміни подач 3. При НТМО металопокриття після наплавлення, привод до шпинделя 7 здійснюється від електродвигуна 5 і коробки зміни передач 3. Відключення понижувального редуктора 2 у другому випадку здійснюється храповою муфтою 4 за допомогою рукоятки 17. Переміщення супорта верстата 16, на якому встановлені наплавочна головка 13 і пристосування для пластичної деформації 11, здійснювалося за допомогою ланцюгової передачі від шпинделя верстата 7. Другий привод і ланцюгова передача були встановлені з урахуванням зусиль, прикладених до деталі 8 у процесі ТМО.



а



б

Рисунок 2.1 - Експериментальна установка для проведення наплавлення з термомеханічною обробкою. а – схема; б - загальний вид

Наплавочна головка ПАУ-1 поставляється на ремонтні підприємства з метою наплавлення зношених деталей під шаром флюсу. Модернізація її полягала у виготовленні спеціального пальника (рис. 2.2), використання якого дозволяє проводити наплавлення під шаром флюсу, у середовищі захисних газів

і у водокисневому середовищі. Універсальність пристрою пальника для наплавлення в середовищі вуглекислого газу у цьому випадку забезпечується за рахунок змінних сопів. Крім того, для більш плавного регулювання подачі зварювального дроту в зону наплавлення до наплавочної головки були виготовлені додаткові змінні шестірні.

Система охолодження включає бак на сто літрів з 5%-м розчином кальцинованої соди і 10%-м розчином технічного гліцерину у воді, відцентровий насос, гумові трубки, що подають, спреєр, запірний і регулювальні крани.

Пристосування для видалення води з балонів дозволяє, поряд з видаленням води, забезпечити транспортування балонів і техніку безпеки на робочому місці оператора.

Пристосування для пластичного деформування наплавленого металу (рис. 2.3) було спроектовано і виготовлено з урахуванням проведення термомеханічної обробки металопокриттів безпосередньо в процесі наплавлення, а також відразу після її припинення. Воно складається із кронштейна 20, за допомогою якого кріпиться до супорта верстата 21, рухливої плити з кулісою 19, на якій установлені напрямні 18 із притискними планками 17 і рухливі бугелі 4. Пристосування є самоцентрувальним, тому що бугеля разом зі стяжним гвинтом 1 можуть вільно переміщатися в напрямних по рухливій плиті, що виключає необхідність точної установки бугелів разом з роликами 9 при зміні діаметрів оброблюваних виробів 10.

Куліса, виконана на рухливій плиті, дозволяє забезпечити необхідну відстань від зварювальної дуги до контакту ролика з деталлю. У бугелях установлюються тримачі роликів 8 які є тарілчастими пружинами. Зусилля, передане пружинам на деформуючий ролик, визначається тарованою індикаторною головкою, установленою на передньому бугелі. Вільний хід пружин обмежується фланцем 3 за допомогою гайок 13, 16.

Ролики виготовляли зі сталі ШХ15 і термічно обробляли до твердості HRC 62-64. У роликівих тримачах були передбачені посадкові місця під підшипники кочення з урахуванням періодичного їхнього змащення. Застосування тарілчастих пружин дозволяє значно зменшити габарити пристосування, поряд з

можливістю одержання більших зусиль обтиснення (до 15000 Н). Для установки роликів відносно деталі в необхідному положенні на тримачах виконані під заданим кутом пази, а на передньому і задньому бугелях установлені спеціальні фіксуєчі болти 13.

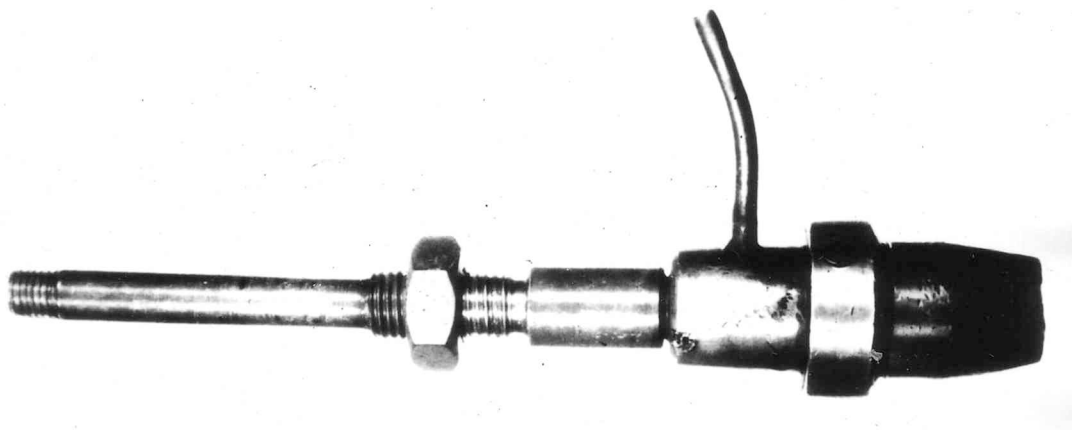


Рисунок 2.2 - Зварювальний пальник до наплавочної головки ПАУ-1

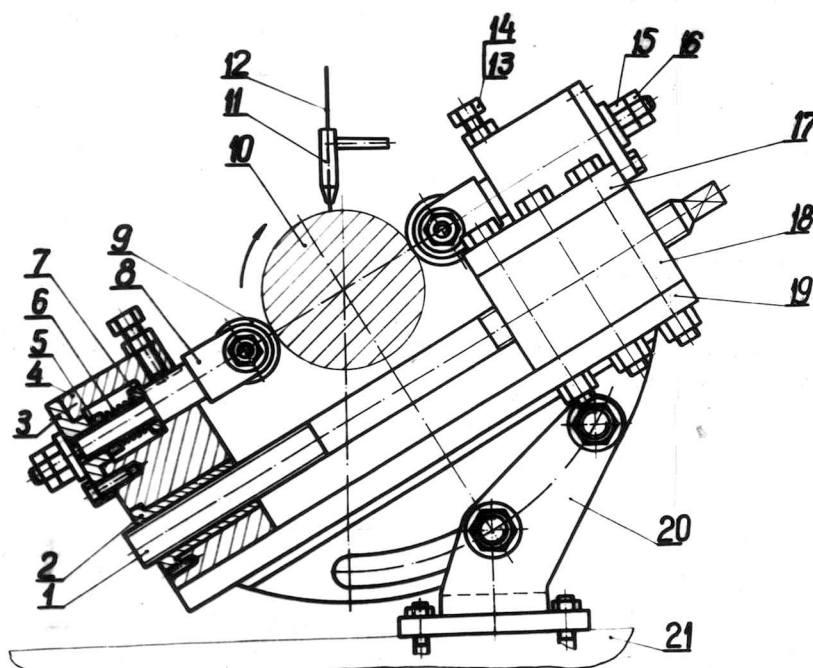


Рисунок 2.3 - Пристосування для пластичного деформування наплавленого металу.

2.2. Основний метал і наплавочні матеріали

Відомо, що 60-70% до загального числа деталей, що надходять на відновлення, становлять деталі, виготовлені з конструкційної сталі 40 і 45. Тому всі зразки, що підлягають наплавленню, виготовлялися зі сталі 45 (ГОСТ 1050-88). Хімічний склад сталі наведений у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Хімічний склад сталі 45 і зварювального дроту Св-2Х13

Найменування сталі	Хімічний склад, %						
	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
Сталь 45	0,42-0,5	0,5-0,8	0,17-0,13	0,25	0,25	0,04	0,04
Св-2Х13	0,2	0,38	0,37	12,72	0,2	0,023	0,012

Вибір наплавочного дроту визначався вимогами, пропонованими до відновлюваних деталей (наприклад, по твердості, зносостійкості, втомній міцності тощо), а також можливостями проведення ТМО по різних схемах (ВТМО і НТМО). Як показали раніше проведені дослідження, такими матеріалами можуть служити зварювальні дроти мартенситного класу, які дозволяють одержати твердість наплавленого металу відразу після наплавлення в межах HRC 45-50. Крім цього, наплавлений метал цим дротом перебуває в аустенітному стані в досить великому діапазоні температур, що дуже важливо при проведенні термомеханічної обробки. Виходячи із цього, у якості наплавочного матеріалу використовувався зварювальний дріт марки Св-2Х13, хімічний склад якого наведений у табл. 2.1.

Діаметр дроту був прийнятий 1,6мм, як найпоширеніший у ремонтній справі. В якості захисного газу використовувався вуглекислий газ.

2.3. Технологічний процес механізованого наплавлення із ТМО

При механізованому наплавленні в середовищі вуглекислого газу, як з ТМО, так і звичайним способом, особлива увага приділялася підготовці зварювальних матеріалів, зразків і деталей.

Підготовка зварювального дроту проводилася наступним чином [5].

Спочатку проводили травлення дроту в 15%-м водяному розчині соляної кислоти протягом 5-10 хв. Після цього пасивували дріт у суміші 10%-го водяного розчину нітриту натрію (NaNO_3) і 15-ї кальцинованої соди протягом 10-15 хв. Дріт після такої обробки добре очищувався і протистояв корозії. Підготовка зразків і деталей полягала в очищенні від бруду і промиванню в 10% гарячому розчині каустичної соди, промиванню в проточній воді і наступному сушінню. Крім цього, посадкові місця деталей, що мають велике однобічне зношування, проточувалися перед наплавленням на токарно-гвинторізному верстаті до їх усунення.

Перед початком проведення наплавочних робіт усі балони переверталися нагору дном за допомогою спеціального пристосування і витримувалися в такому положенні протягом доби. Після цього випускалися назовні перші порції газу разом з водою. При цьому було встановлено, що в окремих балонах утримувалося до 1 л води.

Режими наплавлення без ТМО, з ВТМО і із НТМО вибирали виходячи з необхідної товщини наплавленого металу, найкращого для відповідного способу якості при високій продуктивності.

На якість і продуктивність відновлення деталей великий вплив мають крок наплавлення і частота обертання деталі. При звичайному наплавленні в середовищі вуглекислого газу деталей циліндричної форми рекомендується вибирати крок таким, щоб наступний валик перекривав попередній на $1/3$ його ширини. Частота обертання деталі, за інших рівних умов, пов'язана із кроком: збільшення частоти обертання, вимагає зменшення кроку і навпаки. При наплавленні із ТМО метал укочується, гребінці згладжуються і, відповідно, зменшується товщина наплавленого шару.

Тому для визначення оптимальної частоти обертання і кроку при наплавленні зразків діаметром 30мм були прийняті: крок наплавлення 3,5; 4,0; 4,5; 5,0 мм/об; частота обертання 8; 10 об/хв.

Товщина металопокриття і припуск на механічну обробку при наплавленні зношених деталей приймалися, виходячи з величини зношування і різновиду нанесеного металопокриття.

На підставі викладеного, після попередніх досліджень, були прийняті наступні параметри режиму наплавлення: напруга $U = 18-20\text{В}$, струм $I = 120-150\text{А}$, швидкість подачі електрода $V_e = 1,95\text{м/хв}$, зсув електрода із зеніту $5-7\text{мм}$, виліт електрода $7-10\text{мм}$, витрата вуглекислого газу $8-10\text{л/хв}$; крок наплавлення без ТМО - $S = 3,5\text{мм/об}$, із ВТМО - $S = 4,0\text{мм/об}$, із НТМО - $S = 4,5\text{мм/об}$; частота обертання деталей при напавленні: без ТМО - $n = 8\text{об/хв}$, з ТМО - $n = 10\text{об/хв}$ витрату охолоджувальної рідини $1-1,5\text{ л/хв}$. Режим ВТМО: зусилля обтиснення $P = 1000-5000\text{Н}$, частота обертання і крок відповідали параметрам, прийнятим при напавленні. Режим НТМО: зусилля обтиснення $P = 5000-15000\text{Н}$, частота обертання $n = 500\text{об/хв}$, подача деформуючих роликів $S = 0,6-1,0\text{мм/об}$. НТМО у всіх випадках передувала пластична деформація напавленого металу із зусиллям обтиснення $P = 3000-5000\text{Н}$, при цьому подача деформуючих роликів відповідала кроку напавлення.

Послідовність проведення операцій при напавленні із ВТМО полягала в наступному (рис. 2.4 а). Деталь 6, встановлена в центрах верстата 1, напавлялася по гвинтовій лінії напавочною головкою 2 за допомогою зварювального дроту 3, Одночасно напавлений метал 5 деформувався за допомогою роликів 4 із зусиллям, рівним P_1 , і охолоджувалася.

При напавленні із НТМО (рис. 2.4.б) напавлений метал спочатку зазнавав пластичної деформації в процесі напавлення в інтервалі високих температур, а після припинення процесу напавлення він зазнавав тими ж роликами 4 повторної деформації із зусиллям P_2 в інтервалі низьких температур і охолоджувався через спреєр 8.

Після напавлення зразки і деталі піддавалися відповідній механічній обробці.

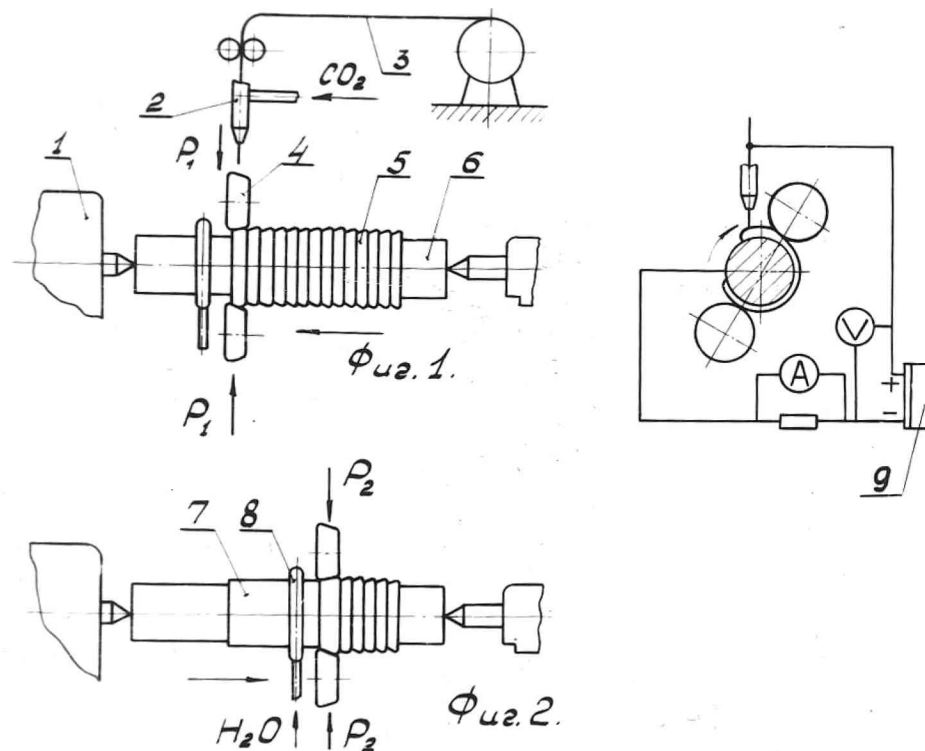


Рисунок 2.4 - Схема проведення ВТМО в процесі наплавлення і НТМО після її припинення. а - ВТМО; б - НТМО 1 - верстат; г - наплавочна головка; 3 - зварювальний дріт; 4 - деформуючі ролики; 5 - наплавлений метал після ВТМО; 6 - деталь; 7 - наплавлений метал після НТМО; 8 - спреєр; 9 - випрямляч

2.4. Методика визначення хімічного складу наплавленого металу

Встановлено, що на ефект ТМО істотно впливає хімічний склад металу. Тому враховуючи, що при наплавленні, внаслідок вигорання елементів, а також перемішування основного й зварювального матеріалу, состав металопокриття змінюється, було проведене визначення розподілу хімічних елементів по глибині наплавленого шару [1, 3].

Для вивчення розподілу хімічних елементів з поверхні в глиб наплавленого шару наносилися шари металу товщиною 1,5мм на зразки діаметром 30мм на довжині 80мм. Наплавлення робили на оптимальних режимах. З кожного зразка знімалося по шість шарів від поверхні вглиб наплавленого металу через 0,5мм на сторону.

Зміст хімічних елементів у кожному шарі визначався спектральним аналізом.

2.5. Методика вимірювання температурних полів наплавленого металу

Якість проведення ТМО наплавленого металу багато в чому визначається його температурою в зоні деформації, для того, щоб установити відповідність раніше проведених розрахункових даних [6] при наплавленні одного кільцевого валика і у цілому металопокриття, у момент припинення процесу наплавлення були проведено експериментальні дослідження температурного поля.

Експериментальні дослідження зміни температури наплавленого металу одного кільцевого валика (рис. 2.5) проводилися по методу "занурення термопар" [6]. У цьому випадку спай термопар "вистрелювався у хвіст" зварювальної ванни і після "заморожування" у ванні рухався разом з наплавленим валиком.

При визначенні температури металопокриття (рис. 2.6) температура реєструвалася в процесі наплавлення на початку і в кінці, Для цих цілей були виготовлені спеціальні зразки діаметром від 15 до 50мм із інтервалом 5мм, на яких були виконані пази. У ці пази вкладалися мідні пластинки із закарбованими в них спаями термопар, глибина яких перебувала на відстані 0,5-2,5мм від поверхні зразка. Наплавлення робили на довжині наплавляємої поверхні $L = 30-80\text{мм}$ при $n = 3-12 \text{ об/хв}$ і $S = 1,5-5,5\text{мм/об}$. При наплавленні із ВТМО зусилля обтиснення становило 1000-5000Н.

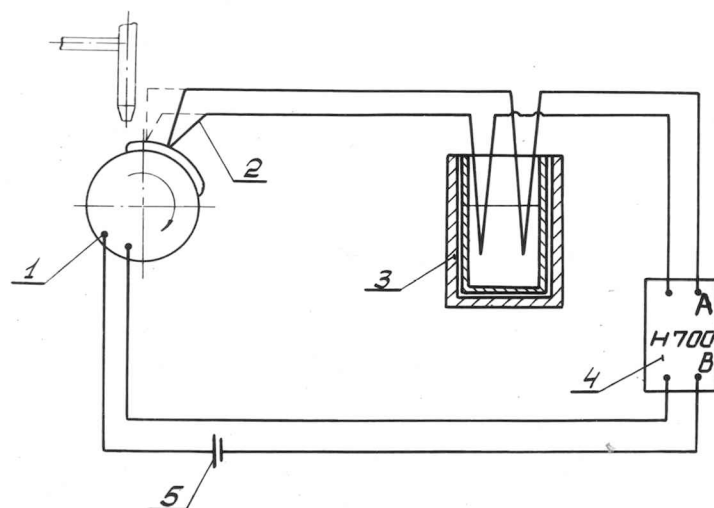


Рисунок 2.5 - Принципова схема для запису термічного циклу при наплавленні одного кільцевого валика: 1 - зразок; 2 - термопара; 3 - термостат; 4 - осцилограф; 5 - ємність

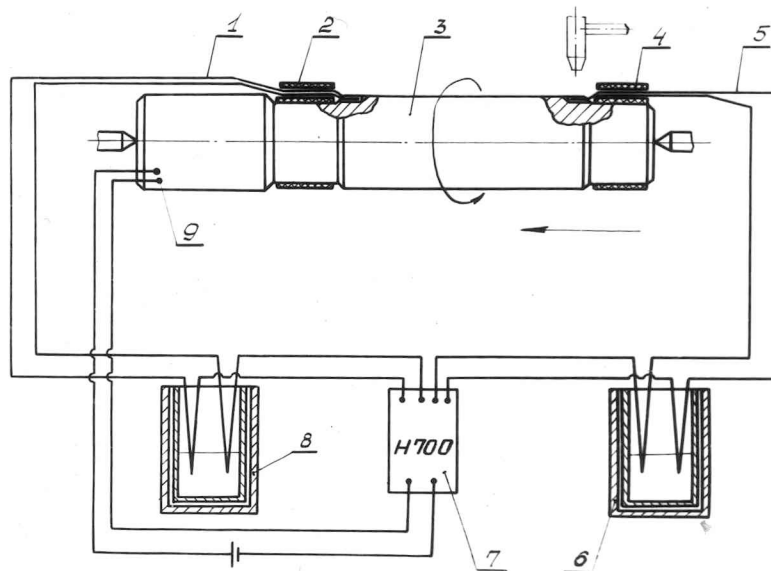


Рисунок 2.6 - Принципова схема для запису температури металопокриття в процесі наплавлення: 1, 5 - термопари кінцевої і початкової крапки; 2, 4 - термоізоляція; 3 - зразки; 6,8 - термоси; 7 - осцилограф

Вимірювання температури проводилося за допомогою хромель-алюмінієвих термопар діаметром 0,45мм із термостійкою ізоляцією. У якості приладу, що реєструє, використовували осцилограф Н-700. Крім запису термо-ЕДС записувалися відмітки частоти обертання зразка. Швидкість переміщення фотопаперу була прийнята рівною 0,25 і 1,0 см/с. Реперні спаї були поміщені в термоса з льодом, що тане, температура яких не перевищувала 0°C. Робочі термопари градуювалися разом з реєструючим приладом, по еталонній термопарі типу ТХАУШ ГОСТ 6616-74. Контроль еталонної термопари проводився по реперних крапках (температурам затвердіння) свинцю, повареної солі і по температурі кипіння води.

2.6. Методика дослідження зовнішнього вигляду поверхні наплавленого металу

Зовнішній вигляд поверхні наплавленого металопокриття після наплавлення дуже впливає на умови й продуктивність наступної механічної обробки. Нерівномірність зовнішнього вигляду, наявність гребінців і напливів, охолоджених крапель, які потрапили на поверхню в результаті розбризкування металу, усе це ускладнює і здорожує технологічний процес відновлення деталей.

Встановлено, що застосування ТМО при наплавленні дозволяє поліпшити якість зовнішнього вигляду наплавленої поверхні. Візуально розглядаючи шийки, наплавлені без обкатування і з обкатуванням, видно, що наплавлені з обкатуванням мають більш гладку поверхню, без різких виступів і западин у порівнянні із шийкою, наплавленої без НТМО". Поряд зі згладжуванням, застосування ТМО дозволяє, зі збільшенням зусилля обтиснення, зменшити товщину наплавленого металу і підвищити чистоту його поверхні.

У нашій роботі дослідження зовнішнього вигляду поверхні наплавленого металу проводилося візуально, за допомогою мікроскопа МИР-2, а також визначенням шорсткості за допомогою профілографа-профілометра типу "Калібр-ВЕИ" (збільшення вертикальне 8000, горизонтальне 116,7) і подвійного мікроскопа МІМ-8М відповідно ГОСТ 2789-73.

Для визначення висоти макронерівностей наплавленого металу використовувалися інструментальний мікроскоп і індикаторна головка на штативі. До індикаторної головки була виготовлена спеціальна голчаста п'ята. Зразок, що підлягає дослідженню, установлювався в центрах бабки, закріпленої на столі мікроскопа. За допомогою мікрогвинта для поперечного переміщення ползка мікроскопа, голчаста п'ята індикаторної головки виставлялась по центру зразка. За базу приймалася ненаплавлена поверхня. Після цього періодично піднімалася п'ята індикатору і за допомогою мікрогвинта для поздовжньої подачі ползка здійснювали поздовжнє переміщення зразка.

Висоту мікронерівності поверхні наплавленого металу заміряли на довжині 20мм із інтервалом 0,5мм.

Візуально визначалася якість формування шва, наявність непроварів, черновин тощо. Укочування зразків визначали індикаторною скобою з точністю до 0,01мм.

Наплавлення робили на зразках діаметром 29мм на довжині 80мм, частота обертання зразків $n = 8$ і 10 об/хв, крок наплавки $S = 3,5; 4,0; 4,5; 5,0$ мм/об.

2.7. Металографічний аналіз і дефектоскопія наплавленого металу

Металографічний аналіз металу, наплавленого без ТМО і із ТМО, полягав у вивченні мікроструктури наплавленого металу і зони термічного впливу, а також у вивченні макроскопічного характеру зламів зразків.

Дефектоскопія наплавленого металу здійснювалася з метою визначення в ньому дефектів і включала: візуальний огляд і магнітну дефектоскопію.

Макроскопічний аналіз проводився на мікрошліфах і щалівниках неозброєним оком і при 7-кратному збільшенні. По макроструктурі зразків, наплавлених без ТМО і із ТМО, визначали: мікроскопічні дефекти, тріщини, пори, шлакові включення і характер первинної кристалізації, макроструктуру основного металу і дефекти в ньому, характер сплавлення наплавленого металу з основним, величину зони термічного впливу. Макроскопічний аналіз зламів проводився по зламах зразків для випробувань на статичну міцність наплавленого металу.

Мікроскопічний аналіз проводився на поздовжніх і поперечних мікрошліфах за допомогою металографічного мікроскопа МІМ-8М. Мікроскопічний аналіз проводився з метою визначення структурних складових наплавленого металу, характеру структур у зони сплавлення наплавленого металу з основним і наплавлених валиків між собою, характеру структур у зоні термічного впливу.

За допомогою мікроскопічних досліджень також вивчалися дефекти наплавлення: мікропори, мікротріщини, шлакові включення, перегріви і перепал, непровари між окремими валиками і основним металом.

При виборі місця вирізки шліфа керувалися поставленими завданнями з урахуванням специфіки досліджуваного способу наплавлення. Шліфи вирізалися вулканітовими колами з рясним охолодженням, що виключало перегрів зразків. Для цих цілей був модернізований універсальний верстат для шліфування клапанів. Модернізація його полягала в тому, що був замінений електромотор (поставлений більш потужний), установлена клиноремінна передача, подовжений і повернутий вал бабки, з метою установки на ньому вулканітових кіл. Був виготовлений спеціальний столик із центрами, на якому встановлювалися зразки, що підлягають розрізуванню. Столик кріпився до

супорта від токарно-гвинторізного верстата, використаного для переміщення столика у вертикальному положенні.

Подібна методика підготовки шліфів описана в багатьох роботах і тому в даній роботі не приводиться.

Вивчення шліфа починалося під мікроскопом у нетравленому виді при збільшенні 80-150 разів, з метою визначення пор, тріщин і інших дефектів у шарі. Травлення зразків здійснювалося в щалівники наступного складу: 1см³ пікринової кислоти, 5см³ соляної кислоти і 94см³ етилового спирту. Для більш чіткого виявлення структури наплавленого металу проводилося багаторазове полірування шліфів після протравлення в реактиві. Тривалість травлення становила від 0,5 до 2,5хв, при цьому для менших збільшень ухвалювався більший час витримки в щалівники.

Підготовлені шліфи досліджувалися під мікроскопом при наступних збільшеннях: x100, x200, x600. Невеликі збільшення давали можливість проаналізувати загальну картину будови наплавленого металу, зони сплавлення і зони термічного впливу. Більше збільшення дозволяли вивчити більш тонкі елементи структури. Мікроструктура досліджуваного металу фіксувалася фотографуванням; крім цього, окремі структури описувалися в лабораторному журналі.

Дефектоскопія наплавлених зразків проводилася візуальним і магнітним способом. Візуальна дефектоскопія поверхні наплавленого металу проводилася на шліфованих зразках неозброєним оком і при 10-кратному збільшенні. Наявність пор, тріщин і інших дефектів вивчали за допомогою мікроскопа МИР-2. Найбільш характерні особливості поверхонь записувалися в лабораторний журнал.

Магнітна дефектоскопія наплавлених зразків після шліфування здійснювалася за допомогою переносного магнітного дефектоскопа 77 ПМЦ-3М. Поверхня досліджуваних зразків перед контролем підлягала ретельного очищення і знежирення. Контроль наплавлених зразків був заснований на залишковому намагнічуванні в поле соленоїда з використанням змінного струму. Метод магнітної дефектоскопії дозволяє виявляти дефекти (пори, тріщини,

неметалічні включення тощо) на глибині до 2мм. У якості магнітної суспензії застосовували склад з 40г феромагнітного порошку (окису заліза) на 1л гасу.

2.8. Методика виміру твердості і мікротвердості наплавленого металу

Розширення діапазону нормального зношування і мінімізація його інтенсивності можливі за рахунок збільшення твердості і зниження пластичності поверхневого шару. Твердість є найбільш важливою механічною властивістю наплавлених металопокриттів, тому на практиці дуже часто при оцінці покриття користуються методом визначення його твердості.

Відомо, що залежно від твердості змінюються такі показники, як пластичність, міцність, пружність і інші властивості металу. Дуже важливим є й те, що зносостійкість сталі прямо пропорційна її сгладжувальній здатності, яка визначається, головним чином, твердістю сталі.

Для більш повної характеристики властивостей наплавленого металу необхідно використовувати як метод твердості, так і мікротвердості. Мікротвердість дозволяє визначити твердість різних структурних складових неоднорідних металопокриттів.

Вимірювання твердості здійснювався за ГОСТ 9013-76 "Вимірювання твердості по Роквелу". Підготовка зразків при цьому полягала в шліфуванні уздовж утворюючої чотирьох діаметрально розташованих лисок шириною 2мм. Вимірювання мікротвердості металопокриття, зони термічного впливу і основного металу робили на приладі ПМТ-3 по ГОСТ 9450-76 "Метод випробування на мікротвердість вдавненням алмазною пірамідою". Навантаження на індентор була прийнята рівною 100г. При проведенні досліджень, вимоги по підготовці зразків відповідали вимогам ГОСТ 9450-76.

2.9. Методика дослідження зносостійкості наплавленого металу

Зношування являє собою дуже складний процес, основними параметрами якого є наступне: характер і рід тертя; величина питомого тиску і характер

прикладення навантаження; якість, кількість і спосіб підведення змащення; наявність абразиву; його розміри і якість; спосіб видалення продуктів зношування; температурні умови тертьових пар; форма і розмір тертьових поверхонь; фізико-механічні властивості поверхонь.

Експериментальні дослідження зношування можуть здійснюватися лабораторним і експлуатаційним шляхом. Позитивним у лабораторних дослідженнях є порівняно невеликий час проведення випробувань, гарні умови для спостережень за тертьовими парами, забезпечення, у відповідності із поставленими завданнями, різних умов роботи досліджуваного об'єкта.

Основною перевагою експлуатаційних випробувань є те, що дослідження відбуваються в реальних умовах. Однак такі недоліки, як погані умови спостереження за об'єктом, більша тривалість випробування, яка здебільшого визначається умовою і часом роботи машини, а також дорожнеча проведення дослідів свідчать про перевагу лабораторних випробувань у порівнянні з експлуатаційними.

При проведенні досліджень, з метою визначення порівняльної зносостійкості металу, наплавленого по різним схемам, були прийняті лабораторні випробування.

Переважним видом тертя для деталей машин є тертя ковзання. Тому у дослідженнях було прийнято найпоширеніше сполучення "вал-підшипник", що працює в умовах, близьких до напіввідинного і граничного тертя. Випробування проводили в умовах граничного тертя на машині типу МІ-1М (рис. 2.7), як найбільш універсальної і часто застосовуваної.

Форма й розміри роликів і колодочок, прийнятих при випробуваннях, показані на рис. 2.8. Зусилля на ролик через колодочку передавалося за допомогою кульки, яка дозволяла колодочки самоцентруватися. Діаметр і товщина ролика були обумовлені конструкцією машини. Ролики вирізали зі зразків і піддавали механічній обробці згідно з вимогами, зазначеними на рис. 2.8. Колодочки виготовлялися із сірого чавуну (НВ 183-187). Ширина робочої поверхні колодочок визначалася величиною питомих навантажень і тепловідводом. Випробуванням на зношування зазнали три партії зразків:

ролики, наплавлені без ТМО (HRC 46-54);
ролики, наплавлені із ВТМО (HRC 50-54);
ролики, наплавлені із НТМО (HRC 56-58).

Питомий тиск багато в чому визначає величину зношування сполучених деталей. Відомо, що величина питомого тиску на шатунні шийки колінчастих валів автотракторних двигунів досягає 800Н/см^2 . Зі збільшенням питомого тиску змінюється температура в зоні тертя й інтенсивність зношування тертьових поверхонь. У наших випробуваннях при дослідженні зносостійкості наплавлень питомий тиск дорівнював $7,5\text{Н/мм}^2$. При цьому спостерігався стабільний процес тертя при температурі, що не перевищує 110°C [7].

Температура поверхонь тертя впливає на в'язкість змащувального середовища і є критерієм міцності масляної плівки.

При температурах понад 120°C у зоні тертя порушується цілісність масляної плівки, що, відповідно, приводить до різкого підвищення коефіцієнта тертя. Враховуючи це, температура в зоні тертя контролювалася за допомогою мідноконстантанових термопар, які закарбовувалися колодочку. У наших випробуваннях температура колодочки не перевищувала $105-110^\circ\text{C}$.

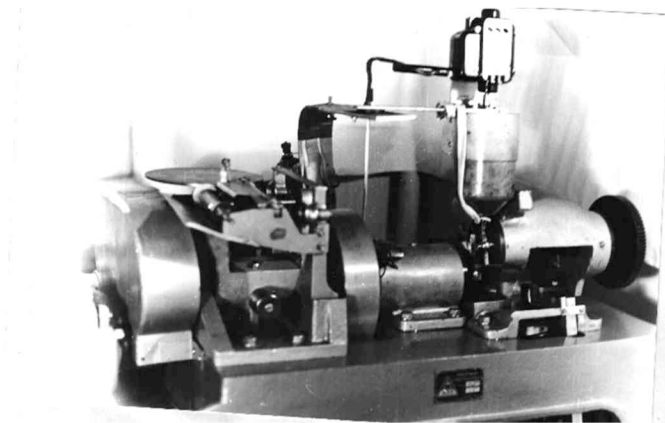


Рисунок 2.7 - Загальний вид машини тертя МІ-1М зі змішувачем-дозатором

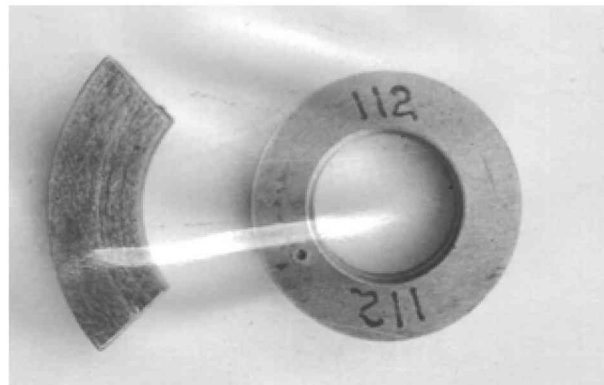
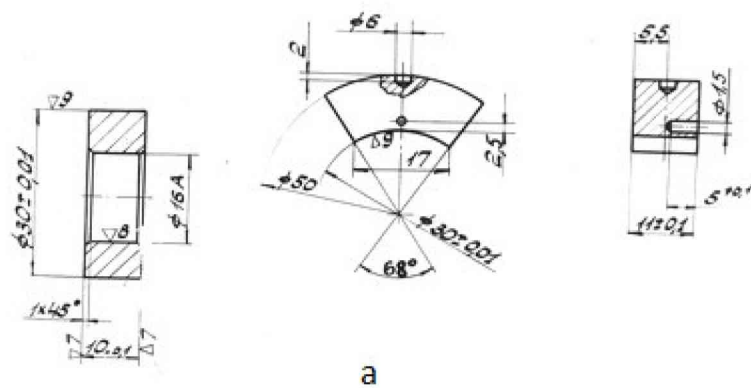


Рисунок 2.8 - Зразки для проведення зносних випробувань

Швидкість відносного переміщення тертьових поверхонь була обумовлена конструкцією машини $n = 425$ об/хв і була рівною $0,67$ м/с.

Умови змащення. Згідно із загальноприйнятою методикою зносних випробувань зразків на машині тертя МІ-1М, зношування тертьової пари роблять в абразивному середовищі. Для запобігання осідання абразиву в ній на вал шпинделя машини встановлюють крильчатку. Однак, як показали попередні дослідження, подача в такий спосіб змащення приводить до осідання абразивного порошку, влученню в зону тертя продуктів зношування, порушенню концентрації суспензії і до великого розкиду одержуваних результатів.

У наших випробуваннях застосовувалися періодична подача змащення. За основу був прийнятий змішувач із видозміненим дозатором. Зміна полягала в тому, що замість скляного патрубку з наконечником, був установлений градуйований скляний резервуар з гумовою піпеткою. Це було викликано тим, що застосовуваний раніше дозатор не забезпечував примусової подачі змащення й гарного спостереження за її подачею, не дозволяв здійснювати плавного

регулювання кількості поданого змащення при проведенні пошукових випробувань.

При випробуваннях використовувалося дизельне мастило ДС-11. У якості абразиву застосовували пил ГОСТ 2138-84, який знаходить широке застосування при випробуваннях повітроочисників, а також при проведенні самих різних прискорених випробувань. Виготовляється пил із кварцового піску, розмеленого й просіяного через сито з отворами 250мкм. Гранулометричний склад її близький до найбільш дисперсного природнього пилу(табл. 2.2).

Таблиця 2.2 - Гранулометричний склад абразивного пилу

Розмір часток, мкм	0-5	0-10	0-15	0-20	0-25	0-30	Понад 30
Вміст по вазі, %	15	41	63	75	83	88	решта

Попередніми випробуваннями було встановлено, що момент тертя й температура стабілізуються через 1год 20хв, тому тривалість приробляння при прийнятих питомих тисках, швидкості відносного переміщення і режиму змащення становило 1год 30хв. Загальна тривалість випробування кожної пари була прийнята рівною 3,5 год.

Показання знімалися в період приробляння через кожні 5хв, у період нормальної роботи - через 10хв. Величину зношування визначали шляхом зважування ролика й колодки до і після випробувань на зношування на вагах АДВ-200 з точністю 10^{-4} г. Перед випробуваннями зразки піддавалися просоченню в маслі ДС-11 при кімнатній температурі протягом 3-х год, дворазовому промиванню в авіаційному бензині і спирті, наступному сушінні в сушильній шафі протягом 1,5год при 30°C і в закритій шафі протягом 10год при кімнатній температурі.

Після кожного циклу випробувань зразок підготовляли в зазначеній послідовності. Зношування кожної серії зразків визначали як середню арифметичну величину зносів трьох зразків.

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МЕХАНІЗОВАНОГО ПРОЦЕСУ НАПЛАВЛЕННЯ З ТЕРМОМЕХАНІЧНИМ ЗМІЦНЕННЯМ НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ

На рис. 3.1 наведені результати хімічного аналізу металу, наплавленого на зразки зі сталі 45 дротом 2Х13. Як видно з наведених даних, наплавлений метал по хімічному складу різко відрізняється від вихідних матеріалів. Наплавлений метал містить менше хрому й більше вуглецю, ніж зварювальний дріт. Значно зменшується кількість кремнію і особливо марганцю в порівнянні зі вмістом в основному металі. Вигоряння кремнію й марганцю свідчить про порівняно високу їх розкиснену здатність.

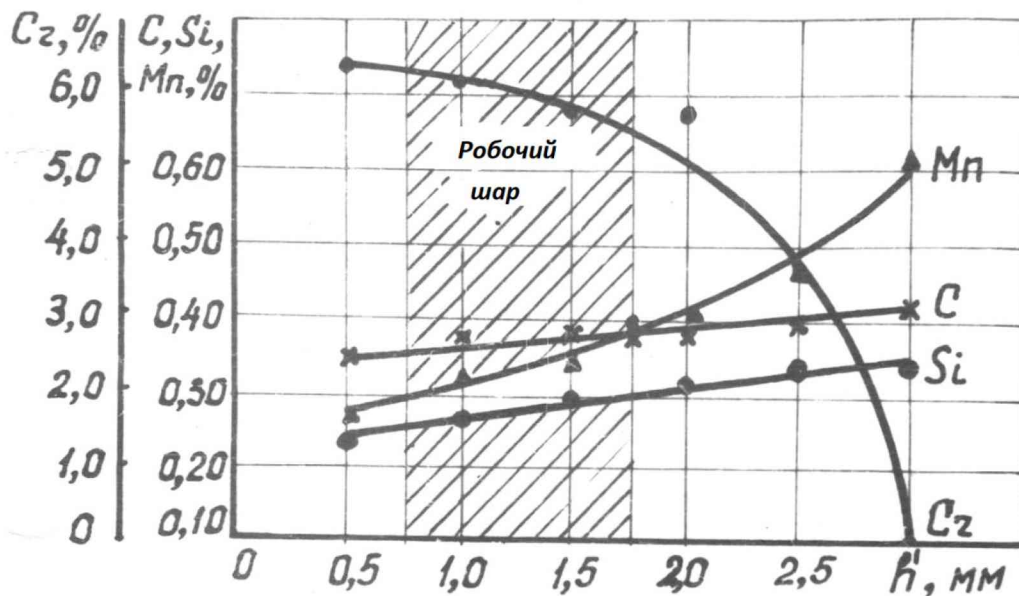


Рисунок 3.1 - Розподіл хімічних елементів по перетину наплавлених зразків

Збільшення змісту вуглецю в шарі, викликане домішуванням електродного й основного металу у зварювальній ванні.

Результати хімічного аналізу свідчать про те, що елементи досить рівномірно розподіляються по глибині робочого шару. Деяке порушення рівномірності розподілу хімічних елементів має місце на поверхні наплавленого металу й набагато більше в перехідній зоні до основного металу. Нерівномірність розподілу елементів викликається, очевидно, тим, що поверхневий шар більше взаємодіє із захисним середовищем; це, у свою чергу, підтверджує окисну здатність вуглекислого газу, а також тим, що хімічний склад зварювального

дроту суттєво відрізняється від основного металу.

Хімічний аналіз дозволяє зробити висновок про те, що наплавлений метал по своєму складу відповідає вимогам проведення тепломеханічної обробки по різних схемах.

3.2. Результати вимірювання температурних полів наплавленого металу і відповідність розрахункових і експериментальних даних

За даними обробка осцилограм були побудовані графіки розподілу температур при наплавленні зразків по гвинтовій лінії.

На рис. 3.2 представлені криві термічного циклу крапок при наплавленні одного кільцевого валика на глибині 0,5мм. Вимірювання температури робили при наплавленні з термомеханічною обробкою і без неї. У результаті аналізу отриманих даних було встановлено, що термічні цикли відрізняються з моменту дотику деформуючого ролика з наплавленим шаром металу. Оптимальна температура наплавленого металу для проведення ВТМО в процесі наплавлення перебуває на відстані до 11,8мм від зварювальної дуги. Зіставлення розрахункових даних і результатів отриманих експериментальних даних свідчить про те, що помилка при визначенні оптимальної температури для проведення ВТМО при наплавленні одного валика не перевищує 10% [6]. У початковий момент, після дотику в крапці А з роликом, температура наплавленого металу трохи знижується, після закінчення часу в крапці А₁ температура вирівнюється і надалі підвищується до крапки А₂. Після цього температура, як у випадку деформування, так і без нього, різко зростає й досягає максимальних значень при наближенні її до зварювальної дуги.

На швидкість охолодження, на ділянці кривій нижче крапки А₁ має тепловий вплив нагрітого деформуючого ролика, тепло роботи сил тертя кочення, що супроводжує підігрів зварювальною дугою, витрата захисного газу і тепло, що виділяється в процесі пластичної деформації. При проведенні наших досліджень на всьому їхньому протязі такі показники, як матеріал роликів і основного металу, потужність зварювального джерела й витрата захисного газу, залишалися постійними, тому передбачалося, що при наплавленні одного

кільцевого валика вплив на зміну термічного циклу повинні надавати зусилля деформування і відстань від поверхні в глиб зразка.

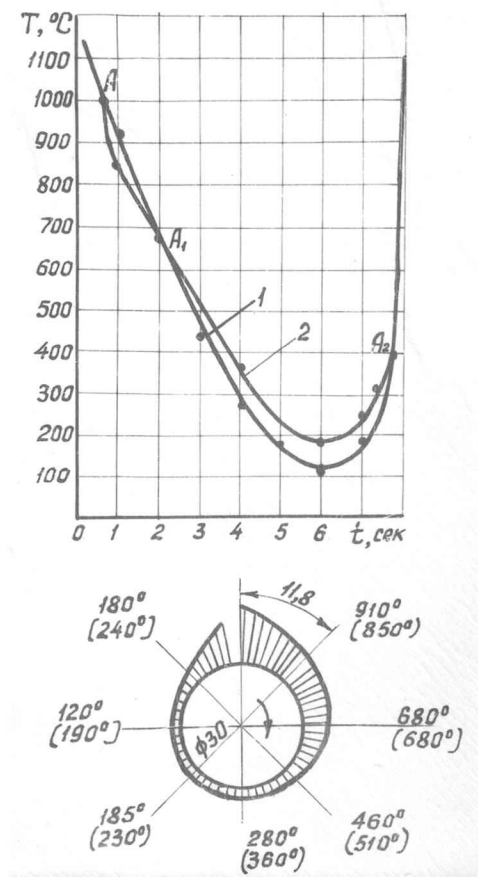


Рисунок 3.2 - Термічні цикли крапок при наплавленні одного кільцевого валика без деформування і з деформуванням металу роликом 1 - без деформування; 2- з деформуванням

У результаті дослідження зміни температури в зоні деформації по глибині наплавленого металу встановлено, що зі зміною глибини від 0,5 до 2,5 мм температура металу трохи змінюється і на глибині 2,5 мм від поверхні зразка до наплавлення вона знижується на 70°C . При наплавленні одного кільцевого валика температура в зоні деформації зменшується також за рахунок відводу тепла деформуючим роликом. У цьому випадку зниження температури становить $40\text{-}50^\circ\text{C}$ у порівнянні зі звичайним наплавленням.

Посилення деформування в межах від 1000 до 5000Н не виявляє істотних змін на температуру крапок по глибині наплавленого металу від поверхні зразка. Отже, тепло роботи сил пластичного деформування й сил тертя кочення не має

практичного впливу на зміну теплового режиму в зоні деформування при наплавленні одного кільцевого валика.

З осцилограм, що відображають характер зміни температури наплавленого металу на глибині 1,8мм у процесі наплавлення і після її припинення слідує, що при наплавленні перших 4-х валиків температура початкової крапки різко коливається [8]. Надалі температура початкової крапки значно стабілізується, з тенденцією її підвищення в міру збільшення довжини наплавленої поверхні, за рахунок супутнього підігріву зварювальною дугою. Для деталей діаметром 30мм підвищення температури спостерігається при довжині наплавленої поверхні до 60-70мм, після чого температура початкової крапки трохи знижується й при досягненні кінця наплавлення (у нашому випадку довжина наплавленої поверхні 80мм) її температура рівна 650-700°C.

Температура кінцевої крапки в міру збільшення довжини наплавленої поверхні також змінюється. Спочатку підвищення температури носить плавний характер, при наплавленні останніх трьох валиків температура кінцевої крапки різко збільшується, однак температура двох передостанніх валиків має більш плавну зміну в порівнянні із другим і третім валиками початкової крапки. Температура кінцевої крапки вище початкової і у момент припинення наплавлення температура останнього валика перебуває в межах 750-1100°C.

Крім цього, істотний вплив на температуру наплавленого металу має діаметр наплавлених деталей. Встановлене, що зі збільшенням діаметра деталей температура наплавленого металу зменшується. З отриманих даних випливає, що оптимальними діаметрами, з погляду одержання необхідної температури для проведення НТМО при наплавленні на прийнятих режимах, є деталі діаметром 30-45мм, а також деталі діаметром 50мм при довжині наплавленої поверхні 40-80мм. Деталі діаметром менше 30мм при наплавленні на цих режимах сильно перегріваються, що не дозволяє одержувати стабільних процесів наплавлення й відповідної якості наплавленого металу. У цьому випадку доцільно використовувати зварювальні дроти менших діаметрів і режими наплавлення, що забезпечують менше нагрівання наплавлених деталей.

Деталі діаметром 50мм при довжині наплавленої поверхні менше 30мм

перед наплавленням необхідно підігрівати до температури, яка змогла б забезпечити після наплавлення оптимальне нагрівання металу для проведення НТМО.

Було також встановлено, що для деталей, починаючи з діаметра 25мм, у міру збільшення довжини наплавляємої поверхні температура початкової крапки збільшується тільки до $L = 60\text{мм}$, після цього вона починає зменшуватися. Треба вважати, що в цьому випадку основними причинами зменшення нагрівання початкової крапки є зменшення притоку тепла за рахунок видалення джерела, а також більш інтенсивний відбір тепла навколишнім середовищем.

Зміна кроку і частоти обертання деталі впливає на температуру наплавленого металу. Встановлено, що зі збільшенням кроку наплавлення і частоти обертання деталі, при тих самих електричних і кінематичних параметрах режиму наплавлення, температура наплавленого металу зменшується. Отримані дані свідчать про обернено пропорційну залежності температури від кроку наплавлення і прямо пропорційну від довжини наплавляємої поверхні до $L = 60\text{мм}$, при подальшому її збільшенні температура у всіх випадках знижується.

Аналізуючи отримані результати, необхідно також вказати, що при наплавленні із частотою обертання $n = 8 \text{ об/хв}$ оптимальній температурі для НТМО, при довжині наплавляємої поверхні до $L = 80\text{мм}$, відповідають усі подачі. При $L = 30\text{-}40\text{мм}$ температура, що відповідає НТМО, має місце тільки при $S = 3,5\text{-}4,0\text{мм/об}$.

Одночасне збільшення частоти обертання деталі і кроку наплавлення приводить до ще меншого нагрівання наплавленого металу. Встановлено, що при $n = 10 \text{ об/хв}$ у цілому характер зміни температури відповідає характеру її зміни при $n = 8 \text{ об/хв}$, однак температура значно знижується. Так, при $L = 60\text{-}80\text{мм}$ для проведення НТМО відповідає подача $3,5\text{-}5,0\text{мм/об}$, у той же час при $L = 30\text{-}40\text{мм}$ відповідає всього лише подача $3,5\text{мм/об}$.

З отриманих даних розподілу температур у металопокритті слідує:

- зіставлення температур, отриманих розрахунковим шляхом і за результатами експериментальних даних, свідчить про те, що максимальна розбіжність не перевищує 10%;

- оптимальна температура для проведення ВТМО в процесі наплавлення зразків діаметром 30мм дротом 2Х13 перебуває на відстані 11,8мм від зони горіння дуги;

- при напавленні одного кільцевого валика із ВТМО температура в зоні деформації спочатку зменшується на 40-50°C за рахунок відводу тепла деформуючим роликком, після чого підвищується за рахунок тепла, що віддається їм після його нагрівання;

- тепло роботи сил пластичного деформування й сил тертя кочення при напавленні із ТМО не має практичного впливу на зміну теплового режиму в зоні деформації;

- істотний вплив на температуру напавленого металу має довжина напавляємої поверхні, діаметр деталі, частота обертання деталі й крок напавлення;

- оптимальна комбінація режиму напавлення, діаметра зварювального дроту і діаметра деталі дозволяє одержувати температуру напавленого металу, відповідну до проведення ВТМО в процесі напавлення і НТМО відразу після неї.

3.3. Результати дослідження зовнішнього вигляду поверхні напавленого металу

При напавленні було встановлено, що зовнішній вигляд поверхні деталей різко змінюється залежно від виду напавлення. На рис. 3.3 представлений зовнішній вигляд зразків, напавлених звичайним способом, а також з високотемпературною й низькотемпературною термомеханічною обробкою.

Аналізуючи отримані результати, можна сказати, що у випадку напавлення звичайним способом напавлений валик добре формується, однак у цілому зовнішній вигляд поверхні, напавленої по гвинтовій лінії, носить характер різьблення з досить більшими виступами і западинами. Крім того, на поверхні є окісна плівки, дрібні краплі розбризканого металу, в окремих випадках невеликі напливи і нерівності напавлених валиків. При напавленні із ВТМО поверхня металу має більш згладжений характер у порівнянні зі звичайним напавленням.

У процесі деформування наплавлений метал добре укочується, у результаті чого усуваються зовнішні дефекти й поліпшується зовнішній вигляд поверхні. У той же час сліди наплавлення залишаються, мають місце черновини й невеликі раковини.



Рисунок 3.3 - Зразки, наплавлені без ТМО, із ВТМО й із НТМО:
а - без ТМО; б – із ВТМО; в – із НТМО

При наплавленні із НТМО наплавлений метал дуже сильно укочується і нагадує зовнішній вигляд металу після звичайної прокатки. У цьому випадку на наплавленій поверхні практично повністю відсутні сліди наплавлення, усуваються черновини та інші зовнішні дефекти.

На зовнішній вигляд дуже великий вплив має конфігурація деформуючих роликів» У якості деформуючих роликів використовували сферичні, циліндричні й конусні ролики. З отриманих даних випливає, що найгірший зовнішній вигляд поверхні має зразок при деформуванні сферичними роликами. Деформування циліндричними і роликами конусного типу дозволяє одержати при ВТМО набагато згладжений і більш сприятливий вид поверхні наплавленого металу.

Було також встановлено, що великий вплив на якість поверхні має частота обертання деталі й крок наплавлення.

Встановлено, що зі збільшенням кроку наплавлення й частоти обертання поверхня зразків, наплавлених звичайним способом, різко змінюється. При наплавленні із ВТМО поверхні зразків мають більш згладжений характер, однак

зі збільшенням кроку чітко видні окремі валики, які здебільшого мають трапецієвату форму. Наплавлення із НТМО дозволяє на всіх подачах і частоті обертання, відповідних до наплавлення й попередньої пластичної деформації, одержати значно кращий зовнішній вигляд у порівнянні із ВТМО. Так, при $n = 8$ об/хв і $S = 3,5-5,0$ мм/об на поверхні практично повністю відсутні сліди наплавлених валиків, при $n = 10$ об/хв сліди валиків мають свої обриси тільки при $S = 5,0$ мм/об. Зміна подачі від 0,6 до 1,0 мм/об при низькотемпературній термомеханічній обробці показує, що найкращою подачею при $n = 500$ об/хв є $S = 0,6$ мм/об.

Зі збільшенням зусилля пластичного деформування до 10000Н зовнішній вигляд поверхні поліпшується, при подальшому збільшенні зусилля відбувається перенаклеп напавленого металу. У результаті перенаклепу напавленого шару відбувається відшолушування металу й погіршення зовнішнього вигляду поверхні. Зусилля деформування впливає не тільки на зовнішній вигляд поверхні, але й на укочуваність металу. Встановлено, що зі збільшенням зусилля пластичного деформування при ВТМО до $P = 4000$ Н укочуваність металу інтенсивно зростає, при подальшому збільшенні зусиль напавлений метал видавлюється з-під роликів, у результаті чого кожний наступний валик наповзає на попередній, утворюючи в такий спосіб погану якість поверхні напавленого металу, що негативно позначається на укочуваності.

При напавленні із НТМО укочуваність металу ще більше зростає, однак зі збільшенням зусиль від 11000 до 15000Н укочуваність щодо зусилля 10000Н підвищується незначно. Більш того, як відзначалося вище, при подальшому підвищенні зусиль метал перенаклепується й відшолушується.

Зміна кроку напавлення й частоти обертання деталі приводить до зміни не тільки зовнішнього виду, але й товщини напавленого металу. Встановлено, що зі збільшенням зазначених параметрів зменшується товщина напавленого металу. Так, при напавленні без ТМО товщина напавленого металу при $S = 3,5$ мм/об й

$n = 10$ об/хв зменшується в порівнянні з товщиною металу, напавленого на цій же подачі, але при $n = 8$ об/хв, на 16%. У випадку напавлення без ТМО при $n =$

8 об/хв і $n = 10$ об/хв товщина наплавленого металу зменшується, зі збільшенням кроку наплавлення від $S = 3,5\text{мм/об}$ до $S = 5,0\text{мм/об}$, відповідно, на 17 і 21% при наплавленні із ВТМО - на 31 і 27% при наплавленні із НТМО - на 34 і 28%.

Крім цього, як впливає із отриманих даних, товщина наплавленого металу суттєво змінюється на кожній з подач і залежить від виду наплавлення. При наплавленні на оптимальних режимах товщина металу, наплавленого із ВТМО ($S = 4,0\text{мм/об}$, $n = 10$ об/хв) зменшується в порівнянні зі звичайним наплавленням ($S = 3,5\text{мм/об}$ й $n = 8$ об/хв), відповідно, на 50 і 57%. Перед механічною обробкою зразків досліджували характер зміни зовнішнього вигляду наплавлених поверхонь і чистоту поверхонь після ВТМО і НТМО.

Отримані результати свідчать про те, що макрогеометрія поверхонь деталей, наплавлених на оптимальних режимах, сильно відрізняється друг від друга. Поверхням зразків, наплавлених без термомеханічної обробки, характерні різкі виступи й западини, причому величина їх на досліджуваній довжині різна. Поверхні зразків, наплавлені із ВТМО, не мають таких різких контрастів, які властиві звичайному наплавленню, однак є періодичні поглиблення й виступи, які нагадують про сліди наплавлення окремих валиків, розташованих по гвинтовій лінії. Зразки, наплавлені із НТМО, мають практично рівну поверхню з ледь помітними нерівностями.

Дослідження макрогеометрії наплавлених поверхонь дозволило встановити, що зі зміною кроку наплавлення й частоти обертання деталі змінюється і висота макронерівностей (рис. 3.4). Як видно з наведеного графіка, збільшення кроку наплавлення приводить до збільшення висоти нерівностей. Тому при звичайному наплавленні, для забезпечення нормального перекриття кожним попереднім валиком кожного наступного, збільшення частоти обертання деталі вимагає зменшення кроку наплавлення і навпаки.

При наплавленні із ВТМО і особливо із НТМО надається можливість, як показують дослідження, розширити діапазон зазначених параметрів режиму наплавлення, без погіршення якості наплавленого металу. У цьому випадку, внаслідок зміни геометрії наплавлених валиків, зона перекриття кожного наступного - кожним попереднім значно зменшується, що дозволяє, поряд зі

збільшенням кроку, збільшити і частоту обертання деталі. На підставі візуального огляду і вимірювання геометрії поверхонь зразків діаметром 30мм встановлено, що найкраща якість має місце у випадку наплавлення без ТМО при $S = 3,5\text{мм/об}$ й $n = 8\text{ об/хв}$, при ВТМО і НТМО, відповідно, $S = 4,0\text{мм/об}$, $n = 10\text{ об/хв}$ і $S = 4,5\text{мм/об}$, $n = 10\text{ об/мм}$.

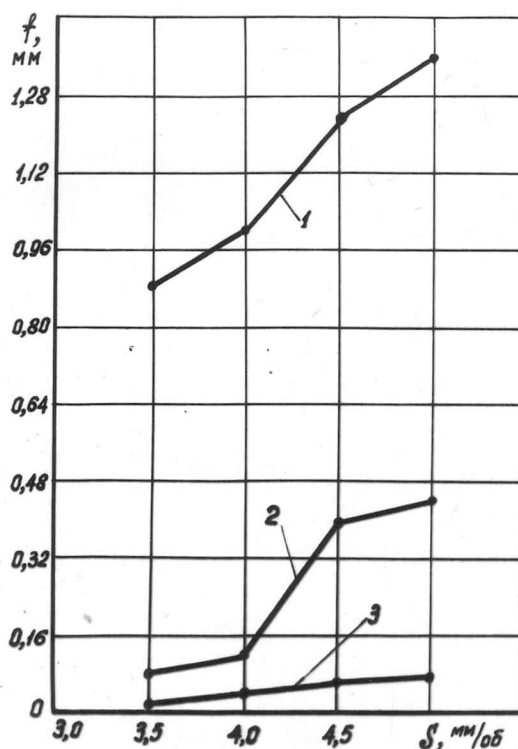


Рисунок 3.4 - Залежність висоти макронерівностей поверхні від шага і виду наплавлення при частоті обертання 10 об/хв: 1 - наплавлення без ТМО; 2 - наплавлення із ВТМО; 3 - наплавлення із НТМО

Дослідження поверхонь дозволило встановити, що залежно від виду наплавлення і зусиль пластичного деформування шорсткість змінюється.

У табл. 3.1 показані значення висоти нерівностей і класу шорсткості наплавленої поверхні. З табл. 3.1 випливає, що зі збільшенням зусиль пластичного деформування металу нерівності наплавлення зменшуються, а шорсткість поверхні при ВТМО й НТМО досягає, відповідно, 7 і 9 класів.

Поліпшення зовнішнього вигляду поверхні при наплавленні із ТМО, внаслідок зменшення висоти нерівностей і дефектного шару, можливість одержання оптимальної товщини наплавленого металу дозволяє значно знизити припуск на механічну обробку в порівнянні зі звичайним наплавленням. Крім

того, поліпшення зовнішнього вигляду поверхні, можливість одержання оптимальної товщини наплавлення й зниження припуску на обробку приводять до набагато кращих умов механічної обробки й підвищенню продуктивності відновлення деталей.

Таблиця 3.1 - Значення висоти нерівностей Rz і класу шорсткості наплавленої поверхні

Наплавлення із ВТМО					
Н	1000	2000	3000	4000	5000
мкм	27-24	18-16	9-7	6-4	6-4
Клас шорсткості	4	5	6	7	7
Наплавлення із НТМО					
Н	5000	7500	10000	12500	15000
мкм	5-4	3-2	2-1	3-2	3-2
Клас шорсткості	7	8	9	8	8

3.4. Результати металографічного аналізу і дефектоскопії наплавленого металу

Дослідження макроструктури зразків, наплавлених звичайним способом, із ВТМО і із НТМО показали, що відбулася повна сплавлення наплавленого металу з основним. Товщина наплавленого шару металу залежить від виду наплавлення і перебуває в межах від 0,72 до 1,64мм, при цьому зона термічного впливу при НТМО відповідає зоні при звичайному наплавленні й поширюється вглиб металу на 1,5-1,7мм.

Ділянки основного металу, що граничать із наплавленим шаром, у процесі наплавлення зазнають нагрівання, у результаті чого змінюють структуру і механічні властивості. Структура основного металу від границі вглиб змінюється. На границі сплави, у результаті перегріву металу, зерна збільшуються, кількість фериту зростає, а потім спостерігається поступовий перехід до структури основного металу, що полягає із сорбітообразного перліту і фериту. Слід зазначити, що зміна структури з переміщенням углиб основного металу носить плавний характер.

Наплавлений метал у всіх випадках утворює шар, що погано травиться, це

очевидно, пов'язано з більшим легуванням його хромом.

При звичайному наплавленні (рис. 3.5) метал являє собою типову литу структуру з явно вираженим стовпчастою (витягнутою) будовою зерен, причому величина і напрямок цих зерен змінюються по глибині від поверхні до границі сплавки з основним металом. У поверхні (рис. 3.5 а) і в середній частині (рис. 3.5 б) зерна більші й менш розорієнтовані в порівнянні із зернами в границі сплавки з основним металом (рис. 3.5 в). Це можна пояснити більш інтенсивним і спрямованим тепловідводом. У цьому випадку наплавлений метал має структуру маловуглецевого трооститу і мартенситу з феритовими включеннями, іноді з феритною сіткою по границях зерен.

У поверхні наплавленого шару спостерігається троостит, а в міру переміщення до границі сплавки з основним металом і особливо в кінці границі - тростомартенсит. Така відмінність структур при наплавленні одним і тим же дротом викликане відпуском попередніх валиків при накладенні наступних. При звичайному наплавленні твердість трооститних ділянок становить 5110-5850Н/мм² і тростомартенситних 5920-6530Н/мм². Твердість ділянок, що включають високолегований ферит, перебуває в межах 4500-5450Н/мм². Загальна твердість наплавленого шару становить HRC 46-52. Утворення у цьому випадку тростомартенситної структури з певною кількістю легovanого фериту, імовірно, викликане недостатнім вирівнюванням наплавленого металу по хімічному складу, причиною чого, як правило, є більша швидкість кристалізації зварювальної ванни. Встановлено, що хром у сталях має недостатню дифузійну здатність і, крім того, ускладнює дифузію багатьох елементів, у тому числі й дифузію вуглецю. Незначний час існування зварювальної ванни й недостатня дифузія легуючих елементів приводить до появи невеликих ділянок з різним змістом вуглецю і хрому, у результаті чого спостерігається тростомартенситне перетворення. Поряд із цим, ділянки з надлишковим змістом хрому і недостатнім – вуглецю, таких перетворень не мають, а тому на цих ділянках утворюється структура підкаленого фериту високої твердості.

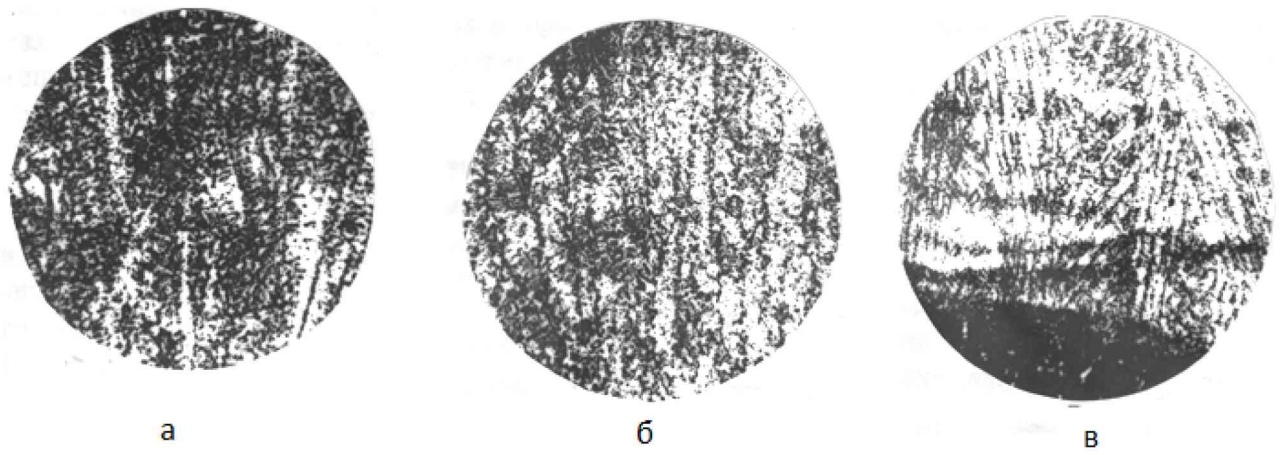


Рисунок 3.5 - Мікроструктура по глибині металу, наплавленого без ТМО x200

При наплавленні із ВТМО характер структури суттєво відрізняється від характеру структури металу, наплавленого без ТМО. Порушується орієнтація стовпчастої структури, структура стає більш рівномірною й більш дисперсною по всій товщині наплавленого металу (рис. 3.6). Треба вважатися, що основною причиною цього є те, що під дією пластичної деформації стовпчасті зерна аустеніту деформуються й роздрібнюються. При наступних поліморфних перетвореннях з дисперсної блокової структури аустеніту утворюються високодисперсні складові структури. При цьому деяка відмінність структури по глибині шару від поверхні (рис. 3.6 а, б, в) можна пояснити тим, що при наплавленні із ВТМО в результаті теплового впливу, при накладенні кожного наступного валика, отримані структурні складові перетерплюють різні стадії відпуску, а якщо температура нагрівання перевищує A_{c1} і A_{c3} , то відбувається повторне загартування. Дослідження мікрошліфів і вимірювання мікротвердості по утворюючій наплавлених зразків свідчить про те, що поряд з вирівнюванням структури в процесі ВТМО підвищується й вирівнюється твердість у порівнянні зі звичайним наплавленням у середньому на 1000 Н/мм^2 і становить HRC 52-54.

У зразків, наплавлених із НТМО (рис. 3.7) структура металу стає ще більш рівномірною й надзвичайно дисперсною. При цьому, якщо у випадку наплавлення із ВТМО мало місце деяка відмінність у структурі по глибині шару, то при НТМО (рис. 3.7 а, б, в) відмінність у структурі практично відсутня. Про вирівнювання структурної неоднорідності свідчать також і результати

мікротвердості. Із графіків, наведених на рис. 3.8, видно, що при НТМО мікротвердість по утворюючій зразка ще більш вирівнюється й підвищується в порівнянні з наплавленням без ТМО в середньому на 2000Н/мм^2 . У випадку НТМО пластична деформація, що передує, у процесі наплавлення приводить до деформування й дробленню аустеніту, руйнуванню сульфідних і фосфідних прошарків, видаленню азоту й інших шкідливих складових, сприяють утвору пор і тріщин у наплавленому шарі. При цьому також замикаються й заварюються тріщини. Наступна, відразу після наплавлення, низькотемпературна термомеханічна обробка приводить до утворення в шарі високодисперсного безголчастого мартенситу, твердість якого перебуває в межах 7000Н/мм^2 . Мікроструктурний аналіз поверхневих шарів на всіх зразках, підданих ВТМО і особливо НТМО, виявив шар підвищеної щалівності, глибина яких збільшується зі збільшенням зусиль деформації. Підвищена щалівність зміцнених шарів може бути пояснена більш високим рівнем викривлень деформованих об'ємів після пластичної деформації.

Порівняння наведених у цілому структур і даних твердості металу, наплавленого без ТМО, із НТМО й із ВТМО, показує, що термомеханічна обробка приводить до істотної зміни структури й підвищенню твердості.

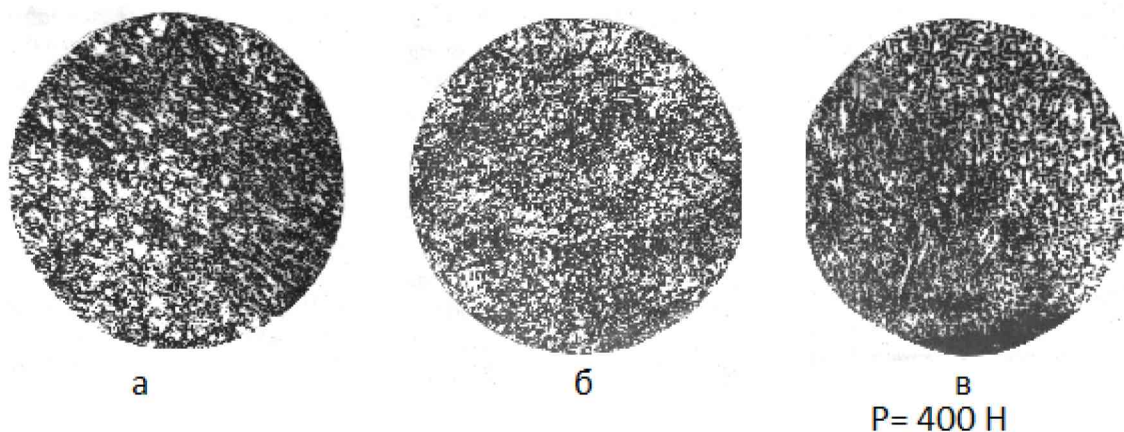
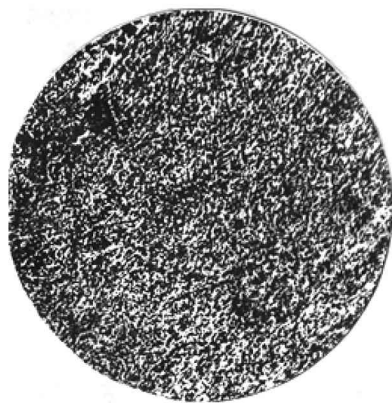
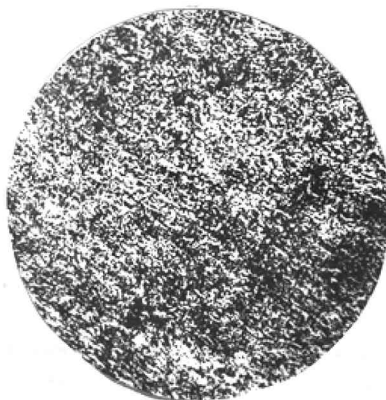


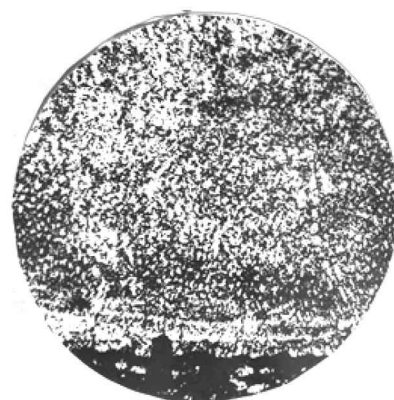
Рисунок 3.6 - Мікроструктура по глибині металу, наплавленого із ВТМО x200



а



б

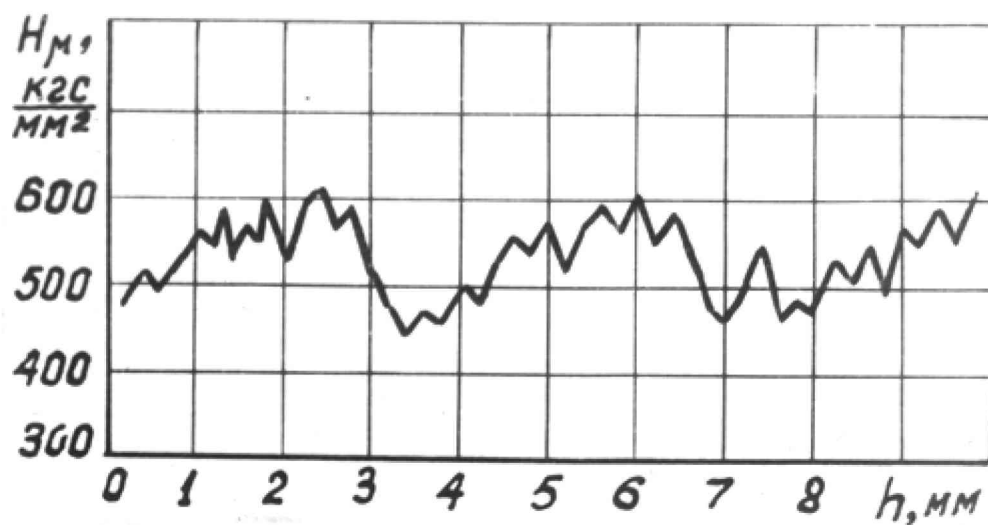


в $p=10000 \text{ Н}$

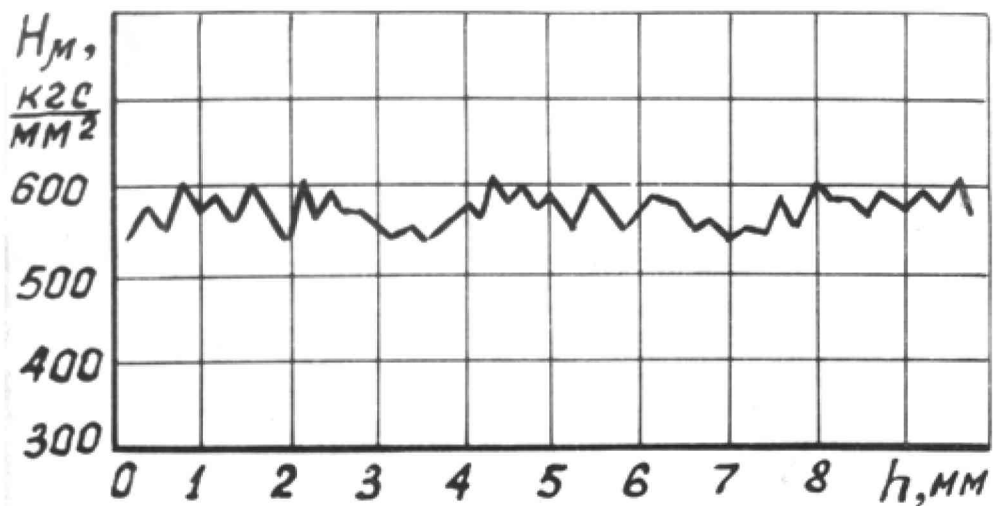
в

$P = 10000 \text{ Н}$

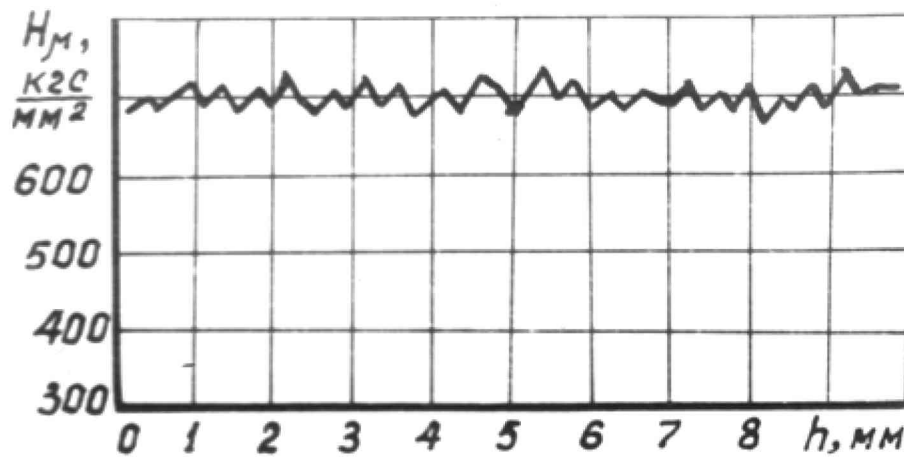
Рисунок 3.7 - Мікроструктура по глибині металу, наплавленого із НТМО



а



б



В

Рисунок 3.8 - Розподіл мікротвердості по утворюючій роликів при наплавленні без ТМО, із ВТМО й із НТМО: а – без ТМО; б – із ВТМО; в – із НТМО $P = 4000\text{H}$

Значний інтерес має зміна структури наплавленого металу при термомеханічній обробці залежно від зусилля деформації. З фотографій, наведених на рис. 3.9, видно, що при наплавленні без ТМО (рис. 3.9 а) метал має типову тростомартенситну структуру з явно вираженими великими мартенситними голками. Причому, голки дуже нерівномірні по величині і по характеру їх розподілу. Темні ділянки свідчать про нерівномірний розподіл трооститу.

У зразків, наплавлених із НТМО із зусиллям деформації 5000H (рис. 3.9 б), структура металу більш здрібнена, мартенситні голки набагато менше по величині й більш розорієнтовані відносно один одного. Подальше збільшення зусиль приводить до ще більшого здрібнювання голок мартенситу (рис. 3.9 в, г, д). При зусиллях деформації 10000 , 12500H і більших виходить високодисперсна безголчаста мартенситна структура.

Було також встановлено, що при деформації металу у випадку НТМО із зусиллями більше 10000H спостерігається порушення суцільності металу по границях зерен і утворення мікротріщин. Основною зовнішньою ознакою утворення мікротріщин у шарі служив початок шелушіння, таким чином перенаклеп поверхневих шарів металу, мікротріщини, як правило,

розташовувалися рівномірно поверхні металу, проникаючи вглиб на 0,30-0,40мм.

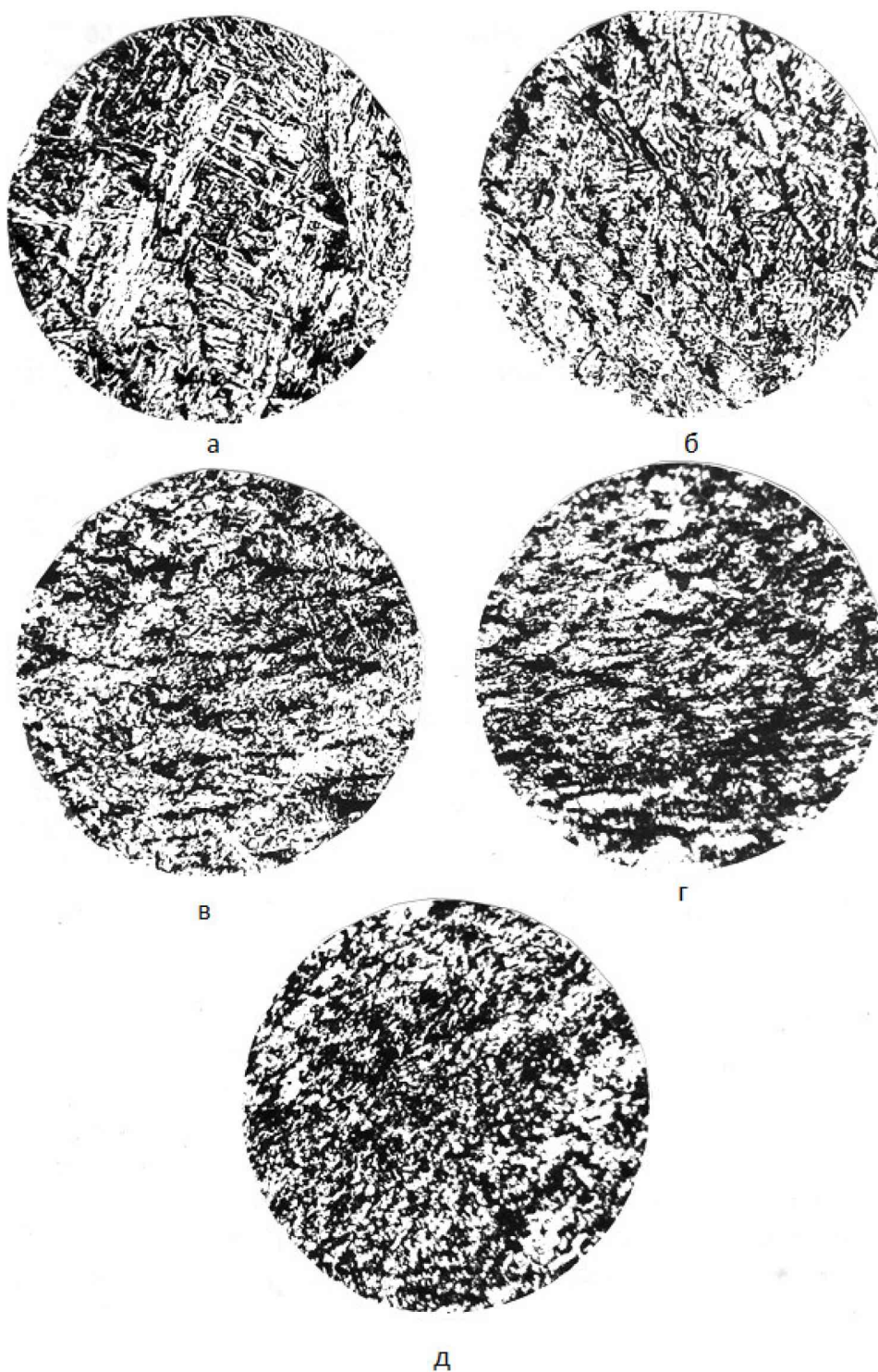


Рисунок 3.8 - Мікроструктура металу, наплавленого із НТМО при різних зусиллях деформації $\times 600$; а - $P = 0$; б - $P = 5000\text{H}$; в - $P = 7500\text{H}$; г - $P = 10000\text{H}$; д - $P = 12500\text{H}$

Відомо, що залишкові стискаючі напруження в поверхневих шарах деталі

підвищують опірність втоми, розтягуючі - зменшують. Це особливо позначається при наявності у верхніх шарах різних концентрацій напружень.

У процесі наплавлення відбувається нерівномірне нагрівання деталей, що приводить, внаслідок підведення значної кількості тепла до верхніх шарів, до істотних об'ємних змін. Температура серцевини деталі, залишаючись у цей час порівняно холодною, перешкоджає тепловому розширенню поверхневих шарів, в результаті чого, з'являються внутрішні термічні напруження.

При обробці металу тиском, внаслідок значного росту щільності дислокацій, відбувається певне збільшення об'єму деформуємого металу, чому, природно, перешкоджають нижчележачі шари. У зв'язку із цим у зовнішніх шарах виникають напруження стиску, а у внутрішніх - які, їх врівноважують, розтягуючи напруження.

Значний вплив на характер і величину залишкових напружень має також перетворення аустеніту в мартенсит, яке, як відомо, завжди супроводжується збільшенням питомого об'єму.

Основний позитивний вплив стискаючих напружень у всіх перерахованих вище випадках полягає в тому, що стискаючі залишкові напруження, складаючись з розтягувальними, зменшують їхню величину а, відповідно, значно знижують навантаження поверхневих шарів [8].

Оптимальна комбінація електричних і кінематичних параметрів режиму наплавлення, а також відповідна підготовка наплавочних матеріалів (дроту, вуглекислого газу) сприяли одержанню при звичайному наплавленні металопокриттів з добре сформованими валиками окремо, і у цілому всієї напавленої поверхні, без зовнішніх пор і окремих виплесків. Однак пошарове шліфування зразків показало, що в напавленому металі мають місце пори.

При напавленні в середовищі вуглекислого газу пори в напавленому шарі з'являються при наявності іржі на дроті або деталі, незадовільному захисті зони напавлення, малої витрати вуглекислого газу, нерівномірна його подача тощо, внаслідок чого в зону дуги і у розплавлену ванну попадає велика кількість азоту, недостатній кількості розкиснювачів, підвищеному вмісті азоту у вуглекислому газі, надмірної його вологості. У цьому зв'язку, як відзначалося раніше, питанню

підготовки наплавочних матеріалів і деталей приділялася велика увага, з більшості балонів, для наплавочних робіт, віддалялося до 1л води у вільному стані. Дослідженнями було встановлено, що наплавлення з використанням непідготовленого вуглекислого газу (у цьому випадку без попереднього видалення води з балонів) приводила до утворення значної кількості пор у шарі. Причому, особливо багато їх мало місце при тиску в балоні $15,15 \cdot 10^5 \text{Па}$ і менше. Характерним є також і те, що пори по довжині наплавленої поверхні розташовуються нерівномірно. При наплавленні перших 3-х валиків пори розташовуються густо; далі, по утворюючій зразка, кількість їх поступове зменшується.

Видалення води з балонів дозволило одержати набагато кращі результати, однак при зниженні тиску газу до $15,15 \cdot 10^5 \text{Па}$ кількість пор у шарі трохи підвищувалося.

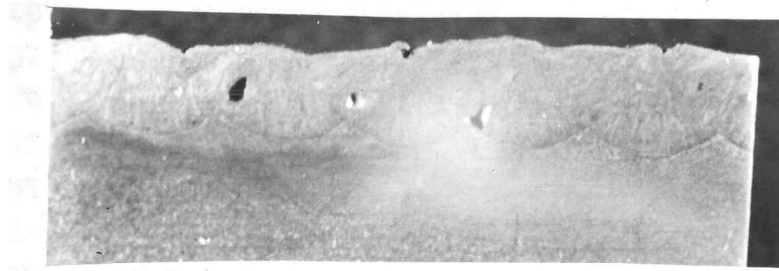
При вивченні зразків по перетину наплавленого металу уздовж утворюючої було встановлено, що пори розташовуються як у кореня шва, так і по всьому шару (рис. 3.10). У кореня шва були виявлені дрібні і великі пори, у середині і у поверхні шару в більшості випадків дрібні.

Різні по розміру пори у кореня шва і в іншій частині шару можуть бути, до деякої міри, пояснені нерівномірною швидкістю охолодження зварювальної ванни.

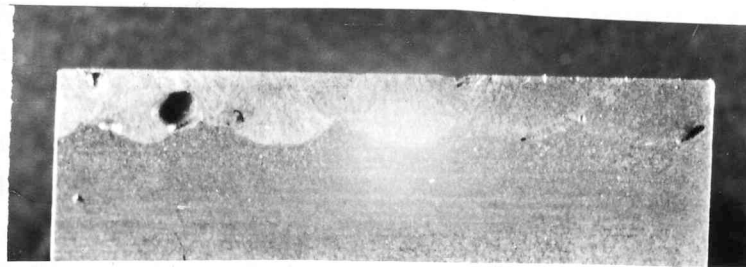
Проведені дослідження показують, що при виборі раціонального режиму наплавлення і якісної підготовки зварювальних матеріалів (дроту і вуглекислого газу) можна значною мірою зменшити кількість пор, однак повністю виключити їх при наплавленні даними методами не представляється можливим. Утворення цих пор зв'язане, очевидно, з вигоранням вуглецю і виділенням його окисі з металу під час кристалізації. Одержати більш щільний наплавлений метал при цьому можливо тільки з використанням наплавочних матеріалів, що містять більшу кількість розкислювачів (Mn, Si) зв'язуючих кисень в оксиди, до моменту розкислення зварювальної ванни.

За допомогою магнітної дефектоскопії було виявлено, що, поряд з порами,

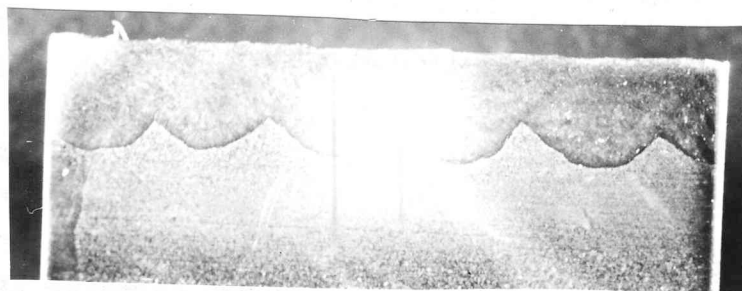
у металі, наплавленому без ТМО, є тріщини. Тріщини, що утворюються у зварювальних і наплавлених швах, підрозділяються на холодні (низькотемпературні) і гарячі (високотемпературні). Холодні тріщини утворюються при температурах нижче 290°C у процесі розпаду переохолодженого аустеніту. Умовою утворення холодних тріщин є розпад аустеніту в області низьких температур, наявність більших об'ємних напруг у металі, наявність великих пластин мартенситу і ін.



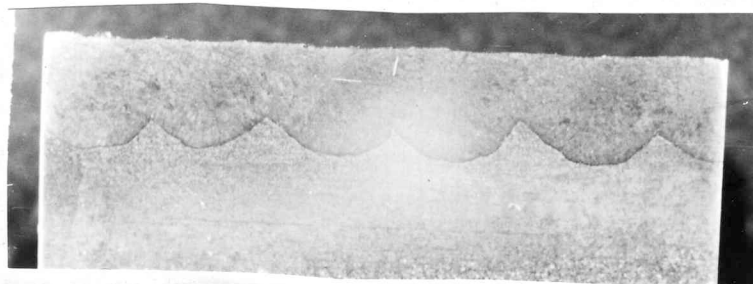
а



б



в



г

Рисунок 3.9 - Зразки, наплавлені без ТМО, із VTMO і із HTMO x4;

а, б – без ТМО; в – із VTMO; г – із HTMO

У практиці зварювально-наплавочних робіт набагато частіше доводиться зустрічатися з гарячими тріщинами, однак дотепер немає ще єдиної точки зору на природу їх утворення. Існує дві основні гіпотези. Відповідно першої, утворення гарячих тріщин пов'язане з наявністю рідких (або напіврідких) міжкристалічних прошарків (найтонших плівок) до того моменту, поки

розтягувальні напруги досягнуть величин, достатніх для роз'єднання кристалітів. Відповідно другої, причиною утворення гарячих тріщин є недостатня міцність і деформаційна здатність (пластичність) металу при високих температурах.

У нашому випадку, найбільше ймовірно перше припущення, тому що, внаслідок швидкої кристалізації і зменшення інтенсивності дифузійних процесів, розбудовується значна, дендритна ліквіація таких елементів, як вуглець, сірка, фосфор. Затвердеваючій в останню чергу розплав евтектичного характеру і є осередком зародження гарячих тріщин. Елементи і умови наплавлення, що підсилюють дендритну ліквіацію і сприяють розтіканню легкоплавкої евтектики між кристалами і несприятливої спрямованості структурі металу, зменшують стійкість наплавлених валиків проти утворення гарячих тріщин.

Суміщення із процесом електродугового наплавлення термомеханічної обробки сприяє усуненню пористості і дозволяє позбутися тріщин у наплавленому металі. Оптимальні режими наплавлення й ТМО (відстань ролика від дуги, зусилля деформації, охолодження металу) забезпечує гарне ущільнення металу, у результаті чого, дрібні пори замикаються і "заварюються". При наявності більших пор у процесі ВТМО, а також у процесі пластичної деформації, що передуює НТМО, спостерігається їхнє змикання, однак повної "заварки" не відбувається. У цьому випадку подібні дефекти негативно впливають на проведення НТМО, будучи осередком зародження тріщин.

Відсутність тріщин у металопокриттях, наплавлених із ТМО, підтверджує відсутність більших пор, різної евтектики, несприятливих напруг тощо. Крім цього, безперервна пластична деформація приводить до здрібнювання аустеніту, а отже, як було відмічено раніше, і до одержання більш здрібненої структури наплавленого металу. Структури що утворюються в такий спосіб, мають більш високі механічні властивості, ніж структури, що не зазнають ТМО. Отже, комбінація в одному технологічному процесі наплавлення і ТМО приводить до гарного формування наплавленого металу, до здрібнювання структури, підвищенню твердості й величини стискаючих напруг, а також усуненню дефектів металургійного походження.

3.5. Зносостійкість наплавленого металу

На рис. 3.10 показана залежність зносів зразків, наплавлених звичайним способом, із ВТМО і із НТМО, від часу випробувань; на рис. 3.11 представлені графіки зміни мікротвердості по глибині роликів, а на рис. 3.12 - фотографії зовнішнього вигляду поверхонь роликів після випробувань.

Як видно з наведених рисунків і даних табл. 3.2, зразки різних серій наплавлення відрізняються друг від друга по зносостійкості. Аналіз отриманих результатів свідчить про те що зразки, наплавлені з термомеханічною обробкою, по своїй зносостійкості перевершують зносостійкість зразків, наплавлених звичайним способом.

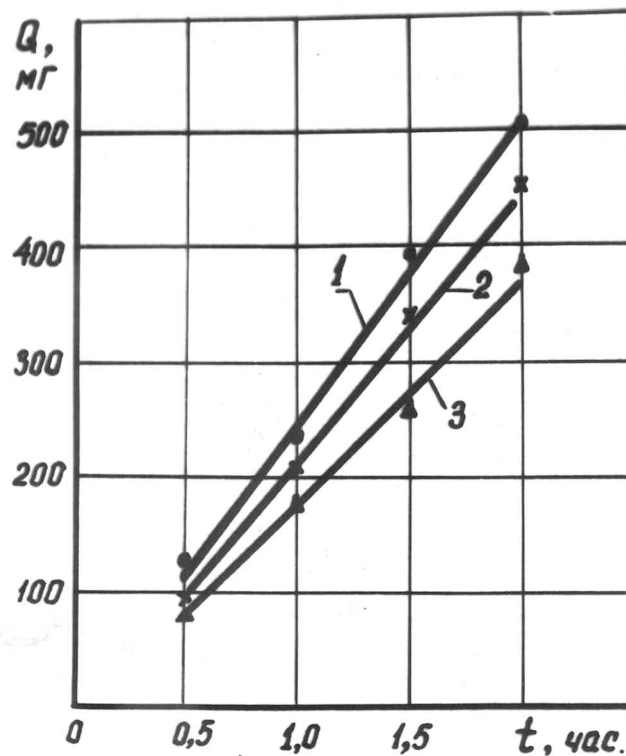


Рисунок 3.10 - Залежність зношування зразків (роликів), наплавлених без ТМО, із ВТМО і із НТМО від тривалості випробувань:
1 - без ТМО; 2 - із ВТМО; 3 - із НТМО

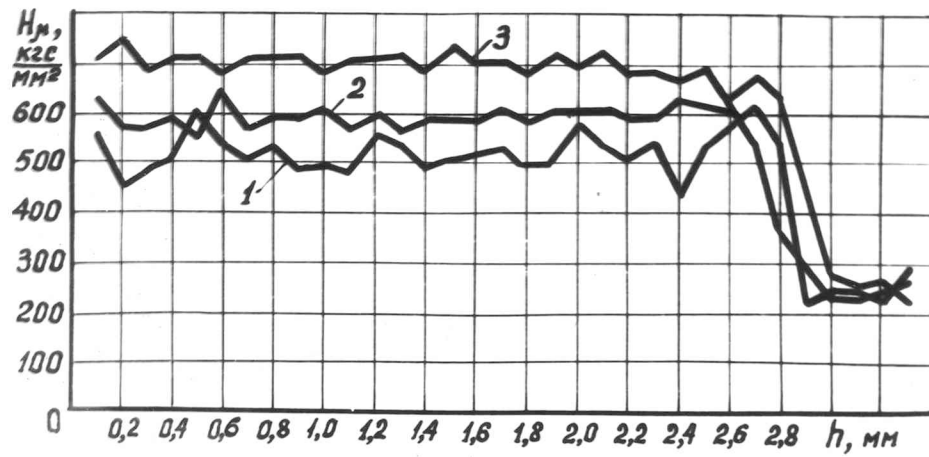
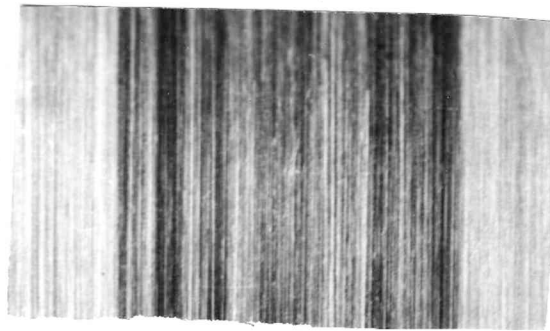
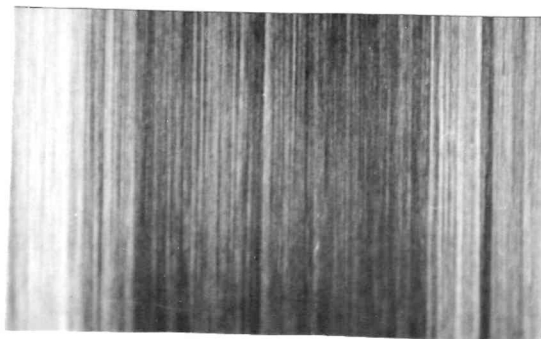


Рисунок 3.11 - Розподіл мікротвердості по глибині роликів, наплавлених без ТМО, із VTMO і із HTMO:

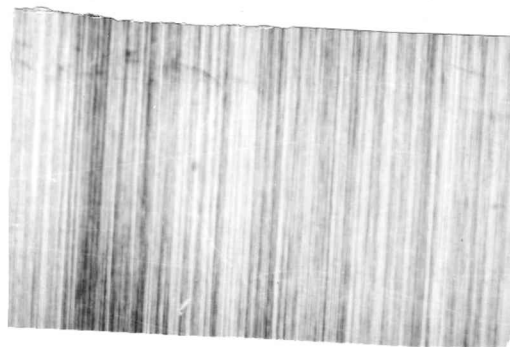
1 - без ТМО; 2 - із VTMO, $P = 4000\text{H}$; 3 - із HTMO, $P = 10000\text{H}$



а



б



в

Рисунок 3.12 - Зовнішній вигляд поверхонь, наплавлених без ТМО, із VTMO і HTMO, після зносних випробувань: а - без ТМО; б - з VTMO; в - із HTMO

Таблиця 3.2 - Результати зношування зразків при порівняльних випробуваннях

№ серії зразків	Вид наплавлення	Твердіс ть	Середнє зношування зразків, мг						Сумарне зношуванн я ролика й колодочки за час випробува нь, мг	Коефіцієнт зносостійкості	
			ролики			колодочки				Ролика	Колодоч ки
			За період приробля ння	За період роботи, що встановився	За час випробув ань	За період приробля ння	За період роботи, що встановився	За час випробув ань			
1	Наплавлення без ТМО	46-52	187,6	319,3	506,9	19,5	60,1	79,6	586,5	1	1
2	Наплавлення із ВТМО	50-54	172,2	290,4	462,4	20,1	54,4	74,5	537,1	1,09	1,06
3	Наплавлення із НТМО	56-58	157,2	228,9	386,9	21,3	46,5	67,9	454,0	1,3	1,17

Зношування роликів при напавленні із ВТМО і НТМО зменшується, відповідно, на 9 і 24%, сумарне зношування роликів і колодочок на 8 і 23%.

Багато дослідників, вивчаючи питання тертя й зношування, абстрагуються від складних дійсних умов процесу, коли діють різні механізми руйнування поверхні і складні переплетення їх механізмів.

У роботах, виконаних під керівництвом М.М. Хрущова, докладно досліджені закономірності абразивного зношування. При цьому встановлений вплив твердості й складу сталі, наклепу, отриманого за допомогою холодної пластичної деформації, а також вплив різних факторів на інтенсивність зношування.

Питанням, пов'язаним із процесами захоплення металів, а також окисним процесам, присвячені роботи В.Д. Кузнєцова, Б.Д. Грозина, Б.І. Костецкого, І.В. Крагельського, Б.В. Дерягина, В.А. Кислина і багатьох інших. Цими дослідженнями встановлений великий вплив на процеси тертя вторинних структур, які виникають у найтонших шарах взаємодіючих поверхонь.

Б.І. Костецький вказує, що обґрунтовано зв'язувати характеристики зносостійкості можна тільки із вторинними структурами окисних плівок, а не з вихідними механічними властивостями, що особливо проявляється в умовах окисного зношування деталей, що сполучаються [9]. У той же час зовсім зрозуміло, що властивості й характер виникаючих окисних плівок залежать не тільки від зовнішніх умов тертя, але, у першу чергу, від фізико-механічних властивостей матеріалу деталей.

Враховуючи, що на поверхнях, що сполучаються, при терті є різні вторинні

структури, утворення яких можливо лише в певних температурних умовах, можна вважати, що локальна температура в контактах може бути дуже високою, що перевищувала температуру аустенітного перетворення. Температури, що перевищують 1000°C у умовах тертя без змащення при швидкості відносного переміщення 2-5 м/с, були встановлені методом штучної термопари.

Висновок про те, що в процесі тертя беруть участь не тільки вторинні структури, що виявляються на зношених поверхнях, але й структури, які існують при температурах вище точки A_{c3} , підтверджується роботою І.М. Любарського, Д.В. Воскобойникова й Л.Я. Гольдштейна [10, 18]. Вони встановили, що при терті в безпосередньому контакті утворюється тонкий, повністю аустенітний шар. Цей шар при виході з контакту, внаслідок швидкого охолодження, перетерплює мартенситне перетворення, яке може сильно гальмуватися через загальне підвищення температури поверхні. При повному розпаді аустеніту відбувається утворення задирок, а потім кількість аустеніту знову починає рости. У цьому випадку аустенізований шар перебуває в постійному контакті й саме він працює на тертя.

При прийнятих умовах випробувань, коли в змащення додавався пил із кварцового піску, домінуючим видом із усієї сукупності було абразивне зношування, про що свідчить зовнішній вигляд поверхонь тертя (рис. 3.12).

Абразивні частки, потрапляючи в зазор між тертьовими парами, сприймають прикладені навантаження, у результаті чого можуть шаржувати в поверхні тертя, дробитися на більш дрібні фракції, сковзати і перекинутися уздовж поверхні тертя, пружно й пластично деформуючи її. При впровадженні частки в одну з поверхонь, що сполучаються, при своєму русі щодо іншої вона дряпає на ній ризки або зрізує мікроскопічну стружку. У випадку влучення на її шляху більш твердої структурної складової вона може "переступити" через неї й знову почати дряпання, зруйнуватися сама або вирвати більш тверду структурну складову сплаву.

При абразивному зношуванні металу основним є дряпання з відтискуванням матеріалу в сторони. Багаторазове пластичне деформування приводить до перенаклепу, а отже, до погіршення пластичності й руйнуванню.

Ґрунтуючись на викладеному, можна вважати, що причиною підвищення зносостійкості у випадку термомеханічної обробки в порівнянні зі звичайним наплавленням є зміцнення аустеніту, підвищення щільності дефектів кристалічних решітки, здрібнювання структури, виділення дрібних зі сфероїдальних карбідів, а також, очевидно, збереження властивостей наплавленого металу, отриманого при ТМО в процесі подальшого короткочасного нагрівання й загартування.

Передбачається, що при локальних впливах третьових поверхонь виникаючий у процесі тертя "вторинний" аустеніт зберігає свою роздробленість, насичену дислокаціями й іншими дефектами кристалічної решітки, тобто проявляється властивий ТМО ефект "спадковості".

Результати досліджень статичної міцності свідчать про підвищення міцності й пластичності наплавленого металу в результаті термомеханічної обробки [11, 12]. Метал, наплавлений із ВТМО й особливо із НТМО витримує без руйнування більшу кількість циклів навантажень від дряпання абразивним зерном у порівнянні зі звичайним наплавленням. Тому що опір двох третьових поверхонь реально відбувається по виступах мікронерівностей, то останні при терті зазнають пружні і пластичні деформації. Кожний виступ жене поперед себе пружно-пластичну хвилю, і кожний перетин у поверхневих мікрооб'ємах послідовно випробовує напруження розтягання і стиску. Виникаючі внаслідок цього втомні явища поширюються на поверхневі шари металу.

У цьому зв'язку підвищення фізико-механічних властивостей і, зокрема, підвищення міцності при ТМО зменшує ймовірність протікання зношування в результаті зрізу, як найбільш інтенсивного виду руйнування. Зносостійкість прямо пропорційна границі текучості основного металу. Чим більше здрібнена мікроструктура сталі, чим вище її міцнісні властивості, тим більшу зносостійкість мають третьові поверхні. Крім цього, зносостійкість залежить від характеру міжатомних зв'язків і наявності мікро- і субмікроскопічних неоднорідностей будови. Тому здрібнювання мозаїчних блоків, збільшення кутів розорієнтованості їх, ріст напружень другого роду, диспергування карбідних включень - усе це сприяє підвищенню зносостійкості металу, наплавленого з

термомеханічною обробкою.

Графіки зміни мікротвердості по ширині зразка (мал.3.7) свідчать про більш рівномірний їх розподіл при наплавленні з термомеханічною обробкою. При звичайному наплавленні характер зміни мікротвердості в деякій мері копіює наплавлення по гвинтовій лінії. У цьому випадку впливає термічна обробка при накладенні кожного наступного валика на кожний попередній.

Більш низька зносостійкість зразків, наплавлених звичайним способом, обумовлюється також, крім більш низького рівня механічних властивостей металопокриття, наявністю дефектів у шарі. При влученні в тріщину й пору абразивних зерен, які шаржують сполучену поверхню, збільшується глибина проникнення й відбувається інтенсивніше руйнування в результаті зрізу [13, 14].

Таким чином, результати досліджень свідчать про те, що високотемпературна й низькотемпературна обробка, проведена, відповідно, у процесі наплавлення і відразу після її припинення, є ефективним засобом підвищення зносостійкості металопокриттів.

3.6. Аналіз результатів досліджень і висновки

На підставі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Хімічний аналіз дозволив установити, що хімічний склад металу, отриманого при наплавленні дротом 2Х13 на зразки, виготовлені зі сталі 45, відповідає вимогам проведення термомеханічної обробки по різних схемах.

2. Оптимальна температура металу для проведення ВТМО й пластичної деформації, що передуює НТМО, перебуває на відстані 7-12мм від зони горіння дуги.

3. Температура металопокриття зразків діаметром до 50мм при довжині наплавленої поверхні до 80мм відповідає умовам проведення низькотемпературної термомеханічної обробки відразу після припинення процесу наплавлення.

4. Дослідження макро- і мікрогеометрії наплавлених поверхонь дозволило встановити, що, завдяки обкатуванню роликами, наплавлений метал дуже сильно

укочується і згладжується. Поверхні зразків, наплавлені із ВТМО, не мають таких різких контрастів, які властиві звичайному наплавленню, однак є періодичні виступи й западини, які нагадують про сліди окремих валиків. Зовнішній вигляд зразків, наплавлених із НТМО, нагадує зовнішній вигляд металу після звичайної прокатки. Зі збільшенням зусиль пластичного деформування при ВТМО до 4000Н и при НТМО до 10000Н нерівності металу зменшуються, а шорсткість поверхні досягає, відповідно, 7 і 9 класів шорсткості.

Подальше підвищення зусиль приводить до видавлювання металу з-під роликів при ВТМО і до перенаклепу й утворення мікротріщин у шарі при НТМО.

5. Укочування окремих валиків і в цілому металопокриття дозволило збільшити при ВТМО і НТМО частоту обертання на 25, а крок наплавлення, відповідно, на 16 і 30% у порівнянні з звичайним наплавленням.

6. Поліпшення зовнішнього вигляду при наплавленні із ТМО, внаслідок зменшення висоти макро- і мікронерівностей і дефектного шару, а також можливість одержання при цьому оптимальної товщини наплавленого металу дозволили зменшити припуск на механічну обробку при ВТМО і НТМО, відповідно, в 1,8 і 2,7 рази в порівнянні зі звичайним наплавленням.

7. При звичайному наплавленні метал являє собою типову литу структуру з явно вираженим стовпчастою будовою зерен. У цьому випадку метал має структуру маловуглецевого троститу й мартенситу з феритними включеннями, іноді з феритною сіткою по границях зерен, твердість якого перебуває в межах 4500-6530Н/мм². Характер структури при ВТМО й особливо при НТМО суттєво відрізняється від характеру структури металу, наплавленого без ТМО. У зразків, наплавлених із НТМО, вона стає більш рівномірною в порівнянні із ВТМО й надзвичайно дисперсною. Низькотемпературна термомеханічна обробка приводить до утворення в шарі безголчастого мартенситу, твердість якого на 1800-2000Н/мм² більше в порівнянні із твердістю металу, наплавленого без ТМО.

8. Металопокриття, наплавлене без ТМО, має різні пори, невеликі раковина й кільцеві тріщини, що проходять по стиках наплавлених валиків. У випадку НТМО й ВТМО зазначені дефекти повністю усуваються.

9. Металографічне дослідження рельєфу зміцненого шару показало, що метал, наплавлений без ТМО, має характерний для мартенситу голчастий рельєф. Світлі ділянки, видимі при вивченні на оптичному мікроскопі, являють собою маловуглецевий мартенсит. У цілому структура нерівномірна й напружена. При ВТМО загальний характер рельєфу змінюється, на окремих ділянках втрачається гольчатість. Структура стає більш однорідною. НТМО приводить до ще більшого вирівнювання структури. Гольчатість практично усувається. Відбувається коагуляція часток, що виділилися раніше, у значно більшій кількості. Передбачається, що, завдяки НТМО, відбувається утворення, замість менш стійких карбідів хрому, більш стійких.

10. Застосування при НТМО циліндричних роликів конусної форми замість циліндричних приводить до зниження зусиль деформації, за рахунок збільшення питомого тиску, на 2500-3000Н при одержанні максимальної міцності наплавленого металу.

11. Дослідження зносостійкості наплавлень показало, що при ВТМО і НТМО зносостійкість підвищується в порівнянні зі звичайним наплавленням, відповідно, на 8 і 23%.

На підставі проведених досліджень наплавлень, зміцнених ВТМО й НТМО, і дослідів при відновленні деталей встановлено, що оптимальними режимами є: зусилля на ролики при ВТМО і НТМО, відповідно, 3000-4000 і 9000-10000Н; подача роликів наплавлення і частотою обертання деталі при ВТМО і попередньої НТМО пластичній деформації обумовлені параметрами режиму наплавлення (кроком наплавлення й частотою обертання деталі), однак у порівнянні зі звичайним наплавленням можуть бути збільшені - частота обертання на 25%, а крок наплавлення, відповідно, на 16 і 30%; подача роликів і частота обертання деталі при НТМО становить 0,6мм/об і 500 об/хв, відповідно; температура металу в зоні деформації при ВТМО 900-950°C, при НТМО 400-600°C.

4. РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ ПО РОЗРОБЦІ І ЗАСТОСУВАННЮ ЗАПРОПОНОВАНОГО СПОСОБУ

На підставі отриманих результатів можна запропонувати наступні рекомендації при розробці технологічних процесів відновлення деталей:

1. Технологічні процеси на відновлення деталей повинні розроблятися з урахуванням характеру й величини зношування.

2. Деталі з величиною однобічного зношування більше 0,5мм перед наплавленням із ТМО слід піддавати механічній обробці з метою відновлення правильної геометричної форми. Неусунення дефекту приводить до нерівномірної товщини наплавленого шару й погіршенню умов проведення ТМО.

3. Беручи до уваги властивості наплавленого металу, зміцненого термомеханічною обробкою, доцільно застосовувати наплавлення із ТМО для відновлення деталей, що зазнають більш контактні й циклічні навантаження.

4. При наплавленні із НТМО необхідно застосовувати наплавочні дроти, наплавлений метал яких має велику стійкість аустеніту в інтервалі низьких температур.

5. Наплавленням із НТМО за розглянутою схемою раціонально відновлювати деталі діаметром до 50мм. Деталі більших розмірів необхідно перед наплавленням підігрівати до температури, що забезпечує оптимальні умови проведення НТМО після припинення процесів наплавлення.

6. При виборі електричних і кінематичних параметрів (напруги, сили струму, діаметра електродного дроту й швидкості її подачі, частоти обертання деталі, кроку наплавлення, витрати захисного газу і ін.) слід виходити зі стабільності процесу, якості наплавленого металу й забезпечення необхідних температурних умов для проведення НТМО.

7. При наплавленні із ВТМО й особливо із НТМО крок наплавлення і частоту обертання деталі необхідно збільшувати, тому що внаслідок деформації валика його ширина зростає. У порівнянні з оптимальними для звичайного наплавлення, крок при ВТМО і НТМО можна збільшити, відповідно, на 16 і 30%,

частоту обертання - на 25%.

8. При проектуванні й виготовленні установки для наплавлення із ВТМО і із НТМО можливо використання як спеціальних головок для наплавлення в середовищі захисних газів, так і модернізованих для цих цілей. При цьому доцільно виготовлення пристосувань для видалення води з балонів і запобігання зігнутості деталей у процесі наплавлення.

9. Найбільш відповідальною частиною установки є пристосування для деформування наплавленого металу. Виготовляти його необхідно з обліком конструктивних даних відновлюваних деталей. Пристрій для навантаження деформуючого ролика повинен мати показчик величини навантаження (індикаторну головку або мірну лінійку). Для передачі тиску на ролик найкраще використовувати тарілчасті пружини.

Застосування цих пружин забезпечує регулювання тиску на ролик, у досить великому діапазоні, а також приводить до значного зменшення габаритів пристосування.

10. Деформуючі ролики можна виготовляти зі сталей ШХ15, 3Х2В8Т, Р9 і Р18 з термічною обробкою до твердості HRC 62-64. Найкращими при НТМО є циліндричні ролики конусної форми. Ролики цього типу дозволяють за рахунок збільшення питомого тиску значно зменшити зусилля деформації при одержанні гарних показників міцності.

11. Кріплення пристосування на супорті верстата повинне забезпечувати його переміщення разом із супортом і регулювання положення роликів щодо зварювальної ванни. Відстань від зварювальної ванни до крапки контакту ролика з наплавленим металом вибирається найменше, технологічно можливе. При наплавленні зварювальними матеріалами мартенситного класу ця величина перебуває в межах 12мм.

12. Подачу охолоджувальної рідини найкраще робити душову через спреєр відразу за роликом у кількості 1,0-1,5л/хв.

13. Величину зусилля, що прикладається до деформуючого ролика, можна брати при ВТМО й попередньої НТМО пластичній деформації 2000-4000Н, при НТМО - 9000-10000Н. Збільшення зусилля при ВТМО понад 5000Н приводить

до видавлювання наплавленого металу з-під роликів і поганому зчепленню металопокриття з основним металом. З подальшим збільшенням зусилля при НТМО ($P = 10000\text{H}$) відбувається перенаклеп наплавленого металу й утворення мікротріщин.

5. РОЗРАХУНКИ ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

Розрахунки зроблені відповідно до методики розрахунків економічної ефективності.

Річний економічний ефект визначений по формулі

$$E_e = \left[3_1 \frac{P_1 + E_n}{P_2 + E_n} - 3_2 \right] A_r$$

де A_r - річний обсяг виробництва нових засобів праці в розрахунковому році в натуральних одиницях;

3_1 і 3_2 - приведені витрати відповідно базового і нового засобу праці;

P_1 і P_2 - частки відрахувань від балансової вартості на повне відновлення (реновацію) базового й нового засобів праці. Розраховуються як величини, зворотні термінам служби засобів праці, обумовленим з обліком їх нормального зношування;

E_n - нормативний коефіцієнт ефективності (0,20,).

Приведені витрати на відновлення деталей типу тіл обертання по порівнюваних варіантах визначені по формулі

$$3_{1,2} = C_{1,2} + E_n \cdot K_{1,2}$$

де $C_{1,2}$ - собівартість відновлення по порівнюваних варіантах;

$K_{1,2}$ - питомі капітальні вкладення по порівнюваних варіантах;

$C_1 = 3,6$ грн. по базовому варіанту;

$C_2 = 1,12$ грн. по запропонованому варіанту.

Питомі капітальні вкладення по базовому і порівнюваному варіантах відповідно рівні 4,75 грн./деталь і 4,8 грн./деталь

Коефіцієнти реновації

$$P_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{1,2} = 0,833$$

$$P_2 = \frac{1}{T_2} = \frac{1}{3,4} = 0,3$$

де $T_{1,2}$ - термін служби деталей по порівнюваних варіантах, рік.

Приведені витрати рівні

$$3_1 = C_1 + E_n \cdot K_1 = 3,6 + 0,2 \cdot 4,75 = 4,55 \text{ грн.}$$

$$З_2 = C_2 + E_n \cdot K_2 = 1,12 + 0,2 \cdot 4,8 = 2,08 \text{ грн.}$$

Таким чином, річний економічний ефект від впровадження запропонованого способу складе

$$E_z = 4,55 \frac{0,833 + 0,2}{0,3 + 0,2} - 2,08 \cdot 7600 = 52592 \text{ грн.}$$

ВИСНОВКИ

1. Вивчення існуючих способів підвищення довговічності зношених деталей сільськогосподарської техніки свідчить про те, що значна питома вага робіт припадає на частку механізованого електродугового наплавлення. З відомих способів зміцнюючої обробки найбільш прийнятною й прогресивною є термомеханічна обробка у всіх її різновидах.

Деталі, що надходять у ремонт, здебільшого невеликої маси (1-4кг) і таких габаритів: діаметр 8-160мм, довжина зношеної поверхні 20-60мм.

Якщо проблема відновлення деталей діаметром понад 50мм, з погляду одержання якості наплавленого металу, у якійсь мірі вирішена, то проблема відновлення деталей менших діаметрів залишається відкритою.

2. З метою підвищення міцності й зносостійкості наплавлених металопокриттів розроблений і досліджений спосіб механізованого наплавлення з низькотемпературною термомеханічною обробкою металопокриття, з попередньої пластичною деформацією його в процесі наплавлення.

3. Виконані експериментальні дослідження з визначення температури нагрівання металу в зоні деформації для проведення ВТМО й НТМО. З урахуванням оптимальної температури для проведення НТМО визначені оптимальні співвідношення розмірів (діаметрів і довжин наплавлених поверхонь) деталей.

Температурний інтервал для деталей діаметром до 50мм відповідає вимогам проведення НТМО відразу після наплавлення. Для деталей більших розмірів необхідно інша комбінація кінематичних і електричних параметрів режиму наплавлення, а також попередній підігрів.

4. Для проведення НТМО після наплавлення, з використанням при цьому нагрівання деталі в процесі її проведення, необхідно застосовувати зварювальні матеріали, наплавлений метал яких має велику стійкість переохолодженого аустеніту.

5. Виготовлена установка для проведення механізованого наплавлення із НТМО. Розроблені й виготовлені пристосування для пластичного деформування

металопокриттів; запобігання зігнутості деталей у процесі механізованого наплавлення; видалення води з балонів з вуглекислим газом. Модернізована наплавочна головка ПАУ-1 з метою її універсальності при проведенні наплавочних робіт.

6. Деформування металу в процесі термомеханічної обробки приводить до усунення дефектів металургійного походження, здрібнюванню й вирівнюванню структури, підвищенню твердості при ВТМО і НТМО, відповідно, на 1000 і 2000Н/мм². Крім цього, значно поліпшується зовнішній вигляд наплавленої поверхні й досягає на оптимальних режимах 7 і 9 класів шорсткості.

Зменшення макро- і мікронерівностей, дефектного шару (при одержанні оптимальної товщини наплавленого металу) дозволяє зменшити припуск на механічну обробку в 1,8 і 2,7 рази.

7. Наплавлений метал після термомеханічної обробки має гарну міцність зчеплення з основним металом (650-740Н/мм²). Статична міцність металопокриття при наплавленні із ВТМО і із НТМО підвищується в 2 і 2,6 рази, зносостійкість, відповідно, на 8 і 23%.

8. Встановлено, що основною причиною деформації вигину деталей, відновлених механізованим наплавленням, є місцеве їхнє кріплення в центрах верстата. Застосування рухливих центрів дозволяє значною мірою запобігти зігнутості деталей (на 75%). Наявність деякої зігнутості в деталей, наплавлених у рухливих центрах, пояснюється нерівномірним їхнім нагріванням і реакцією з боку рухливих центрів.

9. Техніко-економічний аналіз показав, що, завдяки збільшенню кроку наплавлення й частоти обертання деталі при наплавленні із ТМО, поліпшенню зовнішнього вигляду поверхні наплавленого металу, одержанню мінімального припуску на механічну обробку при оптимальній товщині наплавленого металу, зниженню основного часу на проведення наплавочних і механічних робіт, надається можливість підвищити продуктивність відновлення при ВТМО й НТМО на 16 і 24% зменшити витрату наплавочних матеріалів, поліпшити умови механічної обробки і у цілому знизити собівартість відновлення зношених деталей на 27 і 44% у порівнянні зі звичайним наплавленням.

10. У цілому, результати проведених досліджень дозволяють вважати, що комбінація в одному технологічному процесі відновлення механізованим наплавленням і низькотемпературною термомеханічною обробкою є одним з основних резервів підвищення довговічності деталей при ремонті сільськогосподарської техніки.