

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет машинобудування та транспорту
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра галузевого машинобудування
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему:

«Структурутворення поверхневих шарів прокатних валків стану 600 під час відновлення»

Виконав: студент 2 курсу, групи 13В-23м
спеціальності 132 – «Матеріалознавство».

(шифр і назва спеціальності)

Владислав ГЛАДКИХ

(прізвище та ініціали)

« 12 » 12 2024 р.

Керівник: к.т.н., доц. Олена ШИЛІНА

(прізвище та ініціали)

« 12 » 12 2024 р.

Опонент: к.т.н., доц. Микола МИТКО, доц. каф. АТМ

(прізвище та ініціали)

« 16 » 12 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ГМ

д.т.н., проф. Леонід ПОЛІЩУК

(прізвище та ініціали)

« 16 » 12 2024 р.

Вінниця ВНТУ – 2024 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет Машинобудування та транспорту
Кафедра Галузевого машинобудування
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 13 Механічна інженерія
Спеціальність – 132 – Матеріалознавство
Освітньо-професійна програма – Інтелектуальні технологічні системи в інженерії поверхні

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ГМ
Л. М. М. М. М. М. Леонід ПОЛЩУК
«18» вересня 2024 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Владиславу ГЛАДКИХ
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ПРОКАТНИХ ВАЛКІВ СТАНУ 600 ПІД ЧАС ВІДНОВЛЕННЯ

керівник роботи к.т.н., доц. Олена ШИЛІНА

Затверджені наказом вищого навчального закладу від
« 17 » вересня 2024 року № 310

2. Строк подання студентом роботи «12» грудня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи:

Креслення прокатних валків стану 600;

Режим навантаження – довготривалий;

Річна програма відновлення деталей N=500 шт.;

4. Зміст текстової частини:

Вступ. Розділ 1. Аналітичний огляд існуючої проблеми відновлення валків прокатного стану. Розділ 2. Процес структуроутворення зносостійкої поверхні при відновленні валків прокатного стану. Розділ 3. Обґрунтування параметрів технологічного процесу відновлення прокатних валків прокатного стану. Розділ 4. Економічна частина. Загальні висновки; Список використаних джерел; Додатки.

5. Перелік графічної частини (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Робоче креслення деталі – 1 л. ф. А2; 2. Ремонтне креслення деталі – 1 л. ф. А2; 3. 3-D модель прокатного валка – 1 л. ф. А2; 4. Технологічний процес відновлення прокатного валка – 2 л. ф. А1.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.669

Владислав ГЛАДКИХ. СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ
ШАРІВ ПРОКАТНИХ ВАЛКІВ СТАНУ 600 ПІД ЧАС ВІДНОВЛЕННЯ

Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 132 – Матеріалознавство, освітня програма – Інтелектуальні технологічні системи в інженерії поверхні. Вінниця: ВНТУ, 2024. 95 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 21 назв; рис.: 17; табл. 30.

У магістерській кваліфікаційній роботі досліджено формування зносостійких покриттів при накладанні валків наплавленням та вплив температурних полів, які виникають в процесі відновлення на структуру і експлуатаційні якості наплавленого шару.

Показано утворення мікроструктури при наплавленні деталі наплавочним дротом Нп-30ХГСА у перехідній зоні наплавленого шару. Обґрунтована модель використання методу кінцево-елементного аналізу для розрахунку температурних полів процесу наплавлення покриття. Показано, що твердість деталі зменшується в прямому порядку від місця початку наплавлення, до місця закінчення наплавлення, а вирівнювання твердості потребує додаткового нагріву деталі.

У технологічній частині розроблений технологічний процес відновлення валків прокатного стану з використанням електродугового наплавлення, який забезпечує відновлення експлуатаційних характеристик робочих поверхонь валка.

Графічна частина складається з 5 плакатів.

Результати здійсненого технологічного аудиту вказують на високий рівень комерційного потенціалу. У порівнянні з аналогічним виробом виявлено, що нова розробка вищої якості і більш конкурентоспроможна, як з технічних, так і економічних позначень.

Ключові слова: температурне поле, кінцево-елементний аналіз, електродугове наплавлення, мікроструктура, твердість.

ABSTRACT

UDC 621.669

Vladyslav GLADKYH. STRUCTURE FORMATION OF SURFACE LAYERS OF ROLLING ROLLS OF 600 DURING RESTORATION

Master's qualification work in the specialty 132 - Materials Science, educational program - Intelligent technological systems in surface engineering. Vinnytsia: VNTU, 2024. 95 p.

In Ukrainian. Bibliography: 21 titles; Fig.: 17; Table. 30.

The master's qualification work investigated the formation of wear-resistant coatings during the application of rolls by surfacing and the influence of temperature fields that arise during the restoration process on the structure and operational qualities of the surfacing layer.

The formation of a microstructure during surfacing of a part with surfacing wire NP-30KhGSA in the transition zone of the surfacing layer is shown. A model for using the finite element analysis method to calculate the temperature fields of the coating deposition process is substantiated. It is shown that the hardness of the part decreases in a direct order from the place of the start of the deposition to the place of the end of the deposition, and the leveling of the hardness requires additional heating of the part.

In the technological part, a technological process for restoring the rolls of a rolling mill using electric arc deposition is developed, which ensures the restoration of the operational characteristics of the working surfaces of the roll.

The graphic part consists of 5 posters.

The results of the technological audit indicate a high level of commercial potential. Compared to a similar product, it was found that the new development is of higher quality and more competitive, both in technical and economic terms.

Keywords: temperature field, finite element analysis, electric arc deposition, microstructure, hardness.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ІСНУЮЧОЇ ПРОБЛЕМИ ВІДНОВЛЕННЯ ВАЛКІВ ПРОКАТНОГО СТАНУ.....	11
1.1 Досвід промислового застосування відновлення прокатних валків...	11
1.2 Висновки. Постановка мети і наукових завдань досліджень.....	14
2 ПРОЦЕС СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОЇ ПОВЕРХНІ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ВАЛКІВ ПРОКАТНОГО СТАНУ.....	16
2.1 Матеріали та методика досліджень.....	16
2.2 Дослідження зон температурного впливу в процесі наплавлення функціональних покриттів.....	16
2.3 Висновки до другого розділу.....	29
3 ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ПРОКАТНИХ ВАЛКІВ ПРОКАТНОГО СТАНУ.....	30
3.1 Аналіз службового призначення вузла, деталі. Вимоги до деталі, що відновлюється та її поверхонь.....	30
3.2 Матеріал деталі і його властивості.....	32
3.3 Якісна характеристика технологічності.....	33
3.4 Кількісна характеристика технологічності.....	34
3.5 Побудова ремонтного креслення та його аналіз	36
3.6 Вибір та обґрунтування способу відновлення валка	38
3.7 Розрахунок припусків на механічну обробку	43
3.8 Розрахунок режимів механічної обробки до нанесення покриття	43
3.9 Розрахунок режимів наплавлення.....	44
3.10 Експертне визначення режимів наплавлення.....	45
3.11 Вибір та обґрунтування обладнання та джерел живлення.....	47
3.12 Нормування операцій технологічного процесу.....	51
3.13 Висновки до третього розділу.....	51
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	53

4.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки	53
4.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи..	59
4.3 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки	68
4.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності.....	69
4.5 Висновки до економічного розділу	72
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	75
ДОДАТКИ.....	78
Додаток А (обов'язковий): ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ	78
Додаток Б (обов'язковий): ГРАФІЧНА ЧАСТИНА	85
Додаток В (обов'язковий): СПЕЦІФІКАЦІЯ	92
Додаток Г(обов'язковий): ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ.....	94

ВСТУП

Актуальність теми. Полягає в збільшенні терміну експлуатації робочих поверхонь деталей. Завдяки процесам відновлення вдається значно зекономити сировину. В сучасному світі широкого застосування набули різні металоконструкції, які використовуються для виготовлення всього, починаючи від велосипеда до багатоповерхових будівель. В таких конструкціях використовується різний металопрокат, такий як прутти, кутники, двотаври, листи та багато іншого. Для виготовлення сортової продукції найчастіше використовують під конкретний прокат прокатні стани із прокатними валками відповідних форм.

Прокатні валки працюють у важких умовах, постійне тертя, підвищені температури, велике навантаження. Це все призводить до швидкого зношування їх робочих поверхонь(бочки валка), внаслідок чого з'являється брак сортаменту. Так як прокатні стани мають великі розміри, то їхні валки доцільно та економічно вигідно відновлювати ніж встановлювати нові.

Ефективність застосування наплавлення прокатних валків багато в чому залежить від складу утвореного наплавленого шару, режимів відновлення та термообробки, вибору присадного матеріалу. Ретельний аналіз умов роботи валків, характер й інтенсивність зношування робочої поверхні впливає на вибір присадного матеріалу для відновлення валків. Найчастіше на різних металургійних підприємствах валки навіть однотипних прокатних станів зношуються по-різному, тому необхідно і відновлювати їх різними методами наплавлення.

Відновлення прокатних валків є перспективною і актуальною темою, яку ми розглянемо в даній магістерській кваліфікаційній роботі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основні етапи роботи визначалися та виконувалися відповідно до завдання на магістерську кваліфікаційну роботу та положення про магістерську кваліфікаційну роботу кафедри Галузевого машинобудування Вінницького

національного технічного університету. Рівень участі в роботах – відповідальний виконавець.

Мета і задача дослідження. Підвищення якості відновлення робочих поверхонь прокатних валків за рахунок автоматизації робочого процесу, використання новітніх розробок відновлювального обладнання, вибір та обґрунтування раціональних параметрів і режимів технологічного процесу.

Для здійснення поставленої мети необхідно виконати наступні задачі:

- 1) на основі аналізу службового призначення вузла та деталі провести дефектацію прокатних валків з метою виявлення поверхонь з недостатньою зносостійкістю;
- 2) дослідити вплив температурних полів, які виникають в процесі відновлення на структуру та експлуатаційні якості наплавленого шару;
- 3) вибрати та обґрунтувати раціональний спосіб відновлення та зміцнення зношених поверхонь і на основі цього розробити маршрут технологічного процесу відновлення прокатного валка;
- 4) розрахувати виробничу собівартість та ціну реалізації нового технічного рішення з метою визначення прибутку, який може отримати виробник протягом року від реалізації нового технічного рішення.

Об'єкт дослідження. Процеси формування зносостійких покриттів при накладанні валиків наплавленням.

Предмет дослідження. Механізм впливу розповсюдження температури при накладанні валиків на структуру та експлуатаційні якості наплавленого шару.

Наукова новизна одержаних результатів. Основні результати виконаних теоретичних і експериментальних досліджень магістерської кваліфікаційної роботи наступні:

- отримало продовження дослідження на натуральних зразках та імітаційній моделі впливу тепловкладення на формування температурних полів та напружень;
- показано, що порядок накладення валків істотно впливає на

твердість наплавленого шару та його структуру, твердість при цьому зменшилась і становить близько 50 HRC_e та далі знижується;

- доведено, що твердість деталі зменшується в прямому порядку від місця початку наплавлення, до місця закінчення наплавлення, а вирівнювання твердості потребує додаткового нагріву.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Проведені автором і за його участю дослідження дозволили зробити рекомендації про модернізацію технологічного процесу відновлення робочих поверхонь прокатних валків.

2. Для відновлення прокатного валка із сталі 40X під час наплавлення доцільно слідкувати за порядком нанесення валків, це забезпечить потрібну твердість наплавленого шару та прискорить процес відновлення.

Апробація результатів магістерської кваліфікаційної роботи

Матеріали магістерської кваліфікаційної роботи доповідались та обговорювались на Міжнародній науково-практичній Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «**МОЛОДЬ В НАУЦІ: ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРОБЛЕМИ, ПЕРСПЕКТИВИ (МН-2024)**».

Публікації результатів магістерської кваліфікаційної роботи

Основні положення і результати магістерської кваліфікаційної роботи викладені у тезах міжнародної науково-практичній Інтернет-конференції:

1. Шиліна О.П. Досвід промислового застосування відновлення прокатних валків. / Шиліна О.П., Гладких В.О. – [Електронний ресурс] // Матеріали тез доповідей КОНФЕРЕНЦІЇ ВНТУ електронні наукові видання, Міжнародна науково-практична Інтернет-конференція студентів, аспірантів та молодих науковців «**МОЛОДЬ В НАУЦІ: ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРОБЛЕМИ, ПЕРСПЕКТИВИ (МН-2025)**».

<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2025/paper/viewFile/22902/18880>

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ІСНУЮЧОЇ ПРОБЛЕМИ ВІДНОВЛЕННЯ ВАЛКІВ ПРОКАТНОГО СТАНУ

1.1 Досвід промислового застосування відновлення прокатних валків

Заміна (перевалка) валків, що зносилися, викликає простої прокатних станів; губиться багато часу також на налаштування стану після кожної перевалки. Зношені валки обточують зі зменшенням діаметру й установлюють повторно доти, поки діаметр не зменшиться приблизно до 90% первісного розміру, після чого валки йдуть у лом. Зменшення діаметра валків при переточуваннях знижує їх окружну швидкість і, отже швидкість прокатки, у результаті чого падає продуктивність станів. Величезна кількість металу, праці й засобів витрачається щорічно на виробництво нових валків та переточування їх у процесі роботи. [11]

Зберігти постійно максимальний діаметр валків можна застосуванням автоматичного наплавлення їхньої поверхні. Успішне застосування наплавлених валків стимулювало розвиток автоматичного зносостійкого наплавлення багатьох інших деталей металургійного устаткування. Наплавлення вертикальних обтискних валків було зроблено низьколегованим дротом. Стійкість таких валків складала 20 змін проти 12 для ненаплавлених [19]. Чистові валки були наплавлені середньолегованим дротом; наплавлений метал мав склад: 0,23% С; 0,92% Si; 1,18 % Mn; 4,08 % Cr та 1, 5 % W. Наплавлення виконувалось з попереднім підігріванням до 350 °С. Після наплавлення валки піддавали нормалізації. Стійкість їх була такою ж, як із вибіленого чавуну [11, 15]

При застосуванні для наплавлення аустенітного електродного дроту 18% Cr; 8% Ni; 6,5% Mn, а також хром-молібдено-ванадієвого і марганцовистого дроту було досягнуто максимальне підвищення стійкості у 2...3 рази у порівнянні зі звичайними валками.

Наплавлення шийок дозволяє знову використовувати опорні валки, що вийшли із ладу в результаті ослаблення посадкових місць під підшипники кочення; раніше з цієї причини валки здавалися на металобрухт.

У тих випадках, коли застосування для валків легованої сталі викликано прагненням підвищити зносостійкість поверхні й необов'язково з погляду міцності валка, наплавлення дозволяє замінити леговану сталь вуглецевою і одержати значну економію легуючих домішок [11].

Так наприклад, у валку блюмінга зі сталі ХГН вагою 30 т закладено 300 кг нікелю та 300 кг хрому. Лише невелика частина цих легуючих домішок може бути використана при переплавленні металобрухту з валків. Частина наплавленого шару, що зношується, такого валка важить 400 кг, і містить при наплавленні сталі 3Х2В8 усього біля 35 кг вольфраму та 10 кг хрому, причому ці домішки сконцентровані саме там де вони корисні, – у поверхневому шарі. Перехід до вуглецевих сталей дозволяє спростити й здешевити лиття й кування.

На більшості заводів автоматичне наплавлення виконується на пристосованих вальцетокарних верстатах. Це, звичайно, звужує можливість використання наплавлення для підвищення стійкості валків на багатьох підприємствах навіть у таких несприятливих умовах отримані значні успіхи. Технологія зносостійкого наплавлення звичайна: дріт ПП-3Х2В8, флюс АН-20, попередній підігрів до 380...400⁰С, і наступне уповільнене охолодження після наплавлення. За допомогою індукторів нагрів валків протікає цілком успішно: валок діаметром 350...370 мм із довжиною бочки 1200 мм нагрівається до потрібної температури на 60...70 хв., а валок діаметром 590 мм і довжиною бочки 1600 мм – 2,5 години. Після наплавлення валки розміщують у короб із сухим піском, де охолодження триває 18...24 год. [11,15]

Досвідом встановлена необхідна товщина наплавленого шару в залежності від умов роботи валка. Так наприклад, для овальних калібрів першої кліті чистової лінії стана 280, де ступінь обтискання сягає 54 %, товщина наплавленого шару прийнята 10 мм, а для квадратних калібрів (ступінь обтиснення 48 %) – 7 мм. Зміною режиму також регулюється вміст вуглецюв

наплавленому шарі. Напвлений метал квадратних калібрів повинен мати 0,38...0,43 % С, а овальних – 0,42...0,47 % С. Дуже важливо, що зношування наплавлених валків за час служби невеликий; це дозволяє поліпшити якість прокату.

На листопрокатному стані 2800 зношування сталевих валків зі сталі 50ХГ, 60ХГ і 50ХН виявилось дуже великим. Тривалість безперервної роботи валків у чистовій кліті не перевищувала 8 годин. Після 15 переточувань діаметр валків настільки зменшувався, що вони ставали не придатними до подальшої експлуатації. Таким чином, термін служби пари валків вагою 30 т. складав усього 120 годин. За конструкцією кліті заміна сталевих валків чавунними, які зазвичай зостосовуються у чистових клітях листопрокатних станів, виявилось неможливим.

Освоєно автоматичне наплавлення валків діаметром 800 мм із довжиною бочки 2800 мм для чистової кліті стана. Для наплавлення застосовувався переустаткований великий вальцепрокатний верстат. На його супорті на колону встановлено три автомата для наплавлення: А-384, які переміщуються у вздовж валка ходовим гвинтом верстату. Попереднє нагрівання виконується за допомогою трьох індукторів на спеціальному стенді. Використання асбестового кожуха для зменшення втрат тепла дозволило скоротити час нагрівання: тривалість нагрівання до 400⁰С не перевищує 7 годин. Наплавлення виконується дротом ПП-3Х2В8 під шаром флюсу АН-20. Кожна головка наплавляє близько 7 кг на годину. По закінченні наплавлення для вирівнювання температури валка виконується нагрівання до 400⁰С, а потім уповільнене охолодження під утепленням кожухом [11, 4].

Техніка наплавлення освоєна на заводі в такій мірі, що припуск на обробку не перевищує 1 мм. Це дозволило змінити обточування наплавлених валків шліфуванням. Шлакову кірку видаляють шребком-різцем із твердосплавною пластиною, встановленим на пружинних амортизаторах, який переміщується разом із супортом. Стійкість валків між переточуваннями завдяки наплавленню збільшилася у 3...4 рази (до 24...36 гарячих годин), при цьому,

зношування за час роботи на 50% нижче, ніж виходило на звичайних валках. Висока зносостійкість поверхні наплавленого валка дає можливість у будь-який момент перейти на прокатку листа різної ширини, що раніше було нездійсненно й створювало істотні виробничі труднощі.

Валки блюмінга наплавляють дротом Св-30ХГСА під флюсом АН-348-А з попереднім підігрівом виробу до 200⁰С [3].

У результаті значно знижена втрата валків і досягнуто значний економічний ефект .

1.2 Висновки. Постановка мети і наукових завдань досліджень

Аналіз показує необхідність розробки перспективних технологій та обладнання для відновлення прокатних валків, при цьому необхідно прагнути до максимального зниження витрат виробництва, тобто, зниження собівартості відновлення деталей.

В даний час техніка наплавлення освоєна на заводах в такій мірі, що припуск на обробку не перевищує 1 мм. Це дозволило змінити обточування наплавлених валків шліфуванням.

Наплавлення дозволяє замінити леговану сталь вуглецевою і одержати значну економію легуючих домішок.

Метою роботи є підвищення якості відновлення робочих поверхонь прокатних валків за рахунок автоматизації робочого процесу, використання новітніх розробок відновлювального обладнання, вибір та обґрунтування раціональних параметрів і режимів технологічного процесу.

Для здійснення поставленої мети необхідно виконати наступні задачі:

1. На основі аналізу службового призначення вузла та деталі провести дефектацію прокатних валків з метою виявлення поверхонь з недостатньою зносостійкістю.
2. Дослідити вплив температурних полів, які виникають в процесі відновлення на структуру та експлуатаційні якості наплавленого шару;

3. Вибрати та обґрунтувати раціональний спосіб відновлення та зміцнення зношених поверхонь і на основі цього розробити маршрут технологічного процесу прокатного валка.

2. ПРОЦЕС СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОЇ ПОВЕРХНІ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ВАЛКІВ ПРОКАТНОГО СТАНУ

2.1 Матеріали та методика досліджень

При виконанні даної роботи було використано таке обладнання: установка для наплавлення типу УД – 209М, наплавочний дріт Нп -30ХГСА ГОСТ 10543-98, вміст вуглецю (0,25-0,35%), марганцю (0,80-1,20%), кремнію (0,80-1,20%), хрому (0,80-1,20%), нікелю (не більше 0,40%), сірки (0,025%) та фосфору (0,025%). Вал зі Ст. 3 ГОСТ 380-71 із зовнішнім діаметром 32 мм, на який наплавлялися валики, мікроскоп МИМ – 10, твердомір ТК-2М, комп'ютер на базі Intel® Core™ 2 Duo CPU з пакетом прикладним програм.

2.2. Дослідження зон температурного впливу в процесі наплавлення функціональних поверхонь

Особливість фазових і структурних перетворень при зварюванні в порівнянні з термічною обробкою полягає в тому, що вони протікають в нерівноважних умовах зварювального термодеоформаційного циклу (ЗТДЦ), тобто в умовах швидкого нагрівання і охолодження і одночасного розвитку зварювальних напружень і деформацій. Характер перетворень залежить від складу сплаву, максимальних температур нагрівання, а їх завершеність – від швидкісних і деформаційних параметрів зварювального циклу [2,4,5].

Нагрівання тонкостінного циліндра: нагрівання при однопрохідному дуговому зварюванні подовжніх і кільцевих швів тонкостінних циліндричних оболонок, незважаючи на їх кривизну, може бути прирівняне до випадку нагрівання пластини лінійним джерелом теплоти. Це пояснюється тим, що циліндр являє собою поверхню, що розгортається

При великих розмірах циліндра (діаметр і довжина) процес розповсюдження теплоти аналогічний процесу в нескінченній пластині [2].

Проте при малих діаметрах відбувається накладення теплових потоків від різних ділянок виконуваного шва. Розглянемо спільний випадок нагрівання тонкостінного циліндра джерелом, яке починає свій рух з точки O під деяким кутом α до твірної циліндра достатньо великої довжини. Процес розповсюдження теплоти в циліндрі діаметром d в цьому випадку аналогічний випадку одночасного руху нескінченно великого числа джерел теплоти з точок $O_1, O_2, \dots, O_n$, які зміщені один відносно одного на крок πd . Температурне поле достатньо розглядати в межах одного інтервалу πd , оскільки воно повторюватиметься у всіх інших інтервалах.

Якщо кут α дорівнює 90° , то це відповідає випадку зварювання кільцевого шва. Інколи при зварюванні кільцевих швів тонких оболонок виконують другий, третій і подальші проходи без зупинки – або з метою заповнення кромки шва чи з метою виконання так званого автопресування (для отримання збільшеної поперечної усадки кільцевого шва). В цьому випадку джерела теплоти, що вийшли з $O_2, \dots, O_4$ і т. д., перекривають точку O , звідки почало рух «основне» джерело, яке відіграє роль джерела теплоти першого проходу [2].

Випадок $0 < \alpha < 90^\circ$ відповідає зварюванню спірального шва або наплавленню по гвинтовій лінії.

Види перетворень в металі зварних з'єднань: у зоні термічного впливу в процесі нагрівання і охолодження при зварюванні, а також в шві при охолодженні мають розвиток цілий ряд фазових і структурних перетворень. Під фазовими перетвореннями (переходами I роду) розуміють перетворення з утворенням нових фаз, що відрізняються від початкових атомно-кристалічною будовою, часто складом, властивостями, і розмежованих з ними поверхнями розділу (міжфазними границями). При утворенні нової фази в її об'ємі змінюється вільна енергія, стрибкоподібно змінюються ентропія, тепловміст і у момент перетворення теплоємність прямує до нескінченності. У зв'язку з цим фазове перетворення супроводжується виділенням або поглинанням теплоти. При структурних перетвореннях (переходах II роду) відбувається перерозподіл

дефектів кристалічної ґратки, легуючих елементів та домішків і зміна субструктури існуючих фаз. Структурні перетворення супроводжуються плавною зміною вільної енергії, ентропії і тепловмісту, стрибкоподібною зміною - теплоємності, і не супроводжується виділенням теплоти [5].

Особливість фазових і структурних перетворень при зварюванні в порівнянні з термічною обробкою полягає в тому, що вони протікають в нерівноважних умовах зварювального термодформаційного циклу (ЗТДЦ), тобто в умовах швидкого нагрівання і охолодження і одночасного розвитку зварювальних напружень і деформацій. Характер перетворень залежить від складу сплаву, максимальних температур нагрівання, а їх завершеність - від швидкісних і деформаційних параметрів зварювального циклу [4].

Досліди проводили при накладанні валиків наплавлення на вал. В процесі досліджень змінювали: силу струму, відповідно і напругу та кількість витків. Постійний параметр – крок наплавлення.

1. Розрахунок режимів наплавлення.

Діаметр $d = 32\text{мм}$, спіральне наплавлення, діаметр електродного дроту $d_e = 1,2\text{мм}$

За стандартною методикою [12, 13, 14], знаючи геометричні розміри деталі визначили режими наплавлення

Значення струму, напруги, кількості витків та крок наплавлення вказані в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. – Вихідні параметри для експерименту

№ п/п	$I_{зв},$ А	U, В	n (кількість витків)	t (крок наплавки)
1	140	24	2	2,8
2	60	19	4	2,8
3	140	24	6	2,8
4	60	19	8	2,8
5	127	22	2	2,8
6	127	22	4	2,8

Результати вимірювань твердості наведено у таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Результати вимірювання твердості.

Твердість HRC основного металу	Твердість HRC валків							
	1	2	3	4	5	6	7	8
21	41	37	-	-	-	-	-	-
19	38	37	37	34	-	-	-	-
22	42	41	41	40	40	38	-	-
21	38,8	38	37,5	37	36,7	36	35,7	35
20	40	37	-	-	-	-	-	-
22	41	40	40	38	-	-	-	-

Графічно на рис. 2.1 наведена залежність твердості від порядку накладання валика.

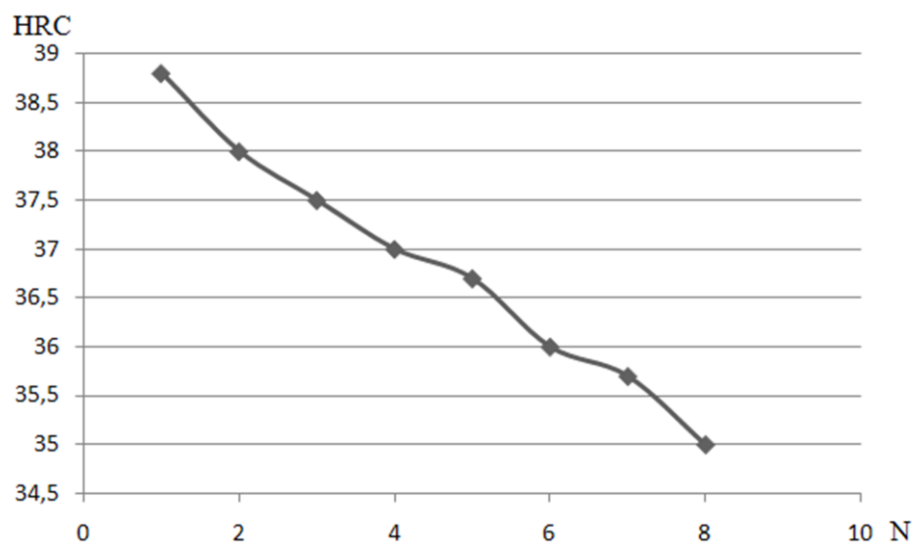


Рисунок 2.1 – Залежність твердості валків.

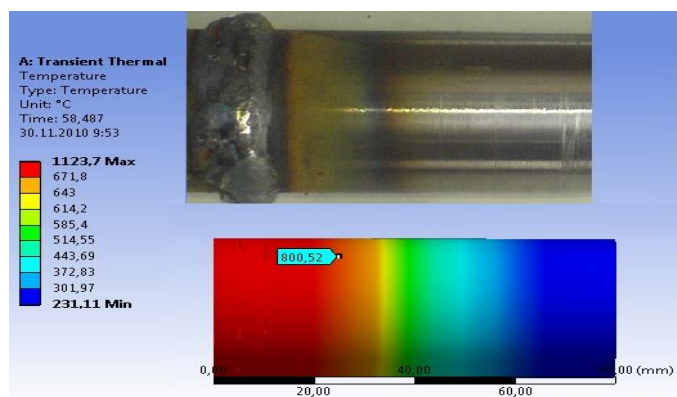
N – порядок наплавлення валків

Після наплавлення шести зразків, які досліджуються, кожен з них був сфотографований, для кожного з них побудована модель розподілу температур за допомогою програми кінцевого елементного аналізу та проведено мікроструктурний аналіз основного та наплавленого металу.

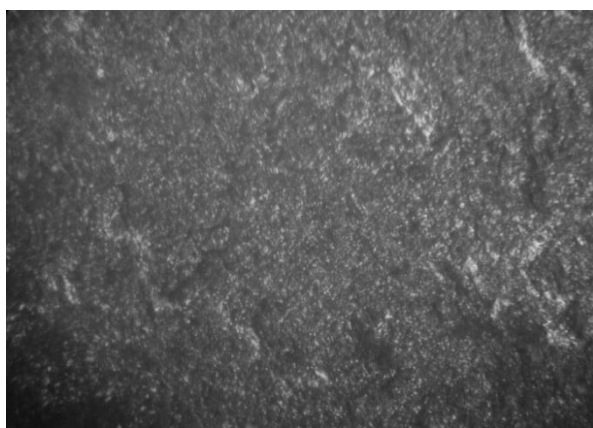
Процес моделювання проводився в наступному порядку [2, 15]:

- створення 3D-моделей кожного із шести досліджуваних зразків із зазначенням місця наплавлення валиків;
- перенесення створених 3D-моделей в програму кінцевого елементного аналізу;
- генерація сітки на створених моделях;
- введення кількості кроків впливу температури із вказанням часу дії напружень на один валок;
- введення виду температурного впливу, який діє на тіло із вказанням поверхонь, що підлягають цьому впливу:
 - задання значення конвекції із вказанням коефіцієнту розповсюдження теплоти;
 - введення теплового потоку і задання кількості енергії, яка діє на одиницю площі;
- вказання періоду часу коли дії кожне з напружень;
- виведення на екран результатів досліджень, що нас цікавлять (в даному випадку – розподіл температури по тілу);
- визначення на зразках середні координати кінця межі синьоламкості;
- перенесення даних координати кінця межі синьоламкості на модель зразків із виведенням значення температури в даному місці;
- зберігання отриманих даних.

На рисунок 2.2 показано зразок 1 після наплавлення та модель в програмі кінцевого елементного аналізу (рис. 2.2а). На рис. 2.2б показана мікроструктура, що утворилась внаслідок повної перекристалізації – ділянка дрібнозернистої структури, рис. 2.2в ділянка перегріву, де спостерігаються крупні зерна – класична видманштеттова структура, ділянка дрібнозернистої структури, що утворилась внаслідок повної перекристалізації (рис. 2.2 г), ділянка переходу між основним металом та наплавленим (рис. 2.2 д), і далі основний метал та вихідна мікроструктура Ст. 3 (рис. 2.2 ж) [1, 2].



a)



б)



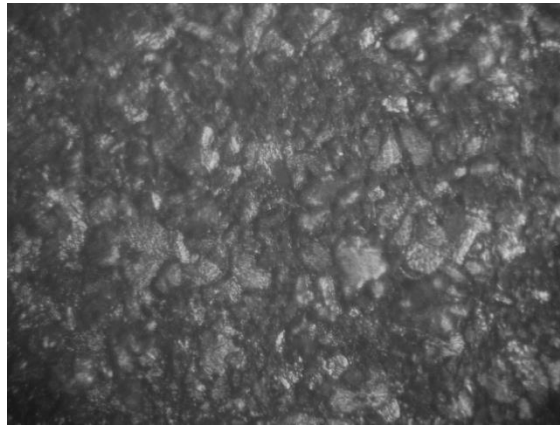
в)



г)



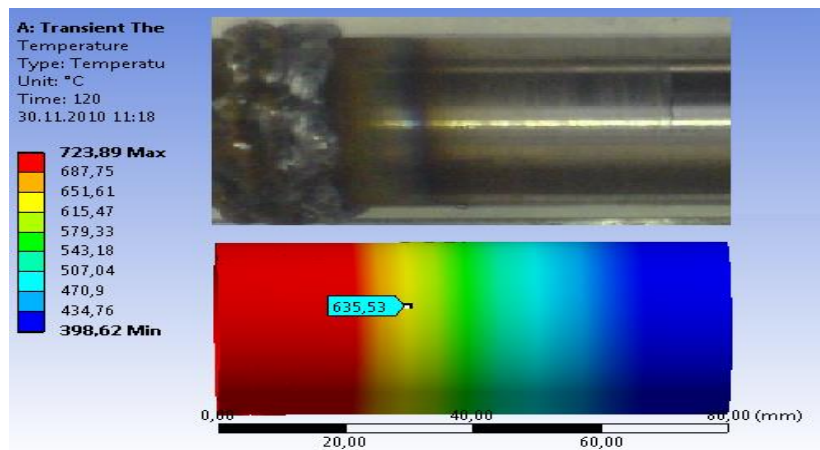
д)



ж)

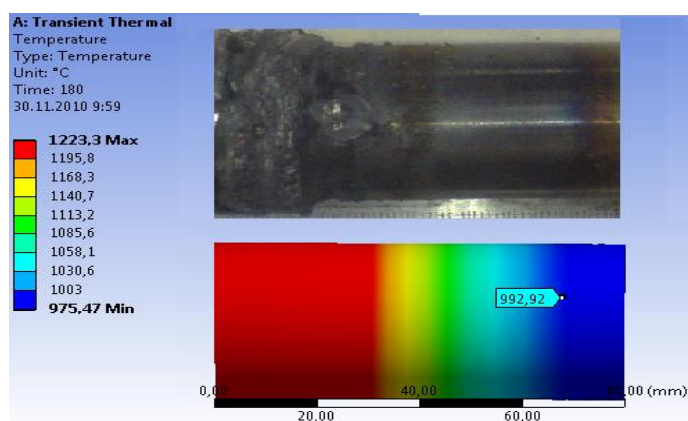
Рисунок 2.2 – Зразок 1 після наплавлення та модель в програмі кінцевого елементного аналізу та його мікроструктура

На рисунок 2.3 показано зразок 2 після наплавлення та модель за допомогою програми кінцевого елементного аналізу (рис.2.3 а), основний метал та структура Ст 3 (рис. 2.3 б), перехідна зона між першим валиком і основним металом та структури, що утворилась внаслідок повної перекристалізації і ділянка перегріву (рис. 2.3 в), ділянка дрібнозернистої структури, що утворилась внаслідок повної перекристалізації (рис. 2.3 г). [1, 20].

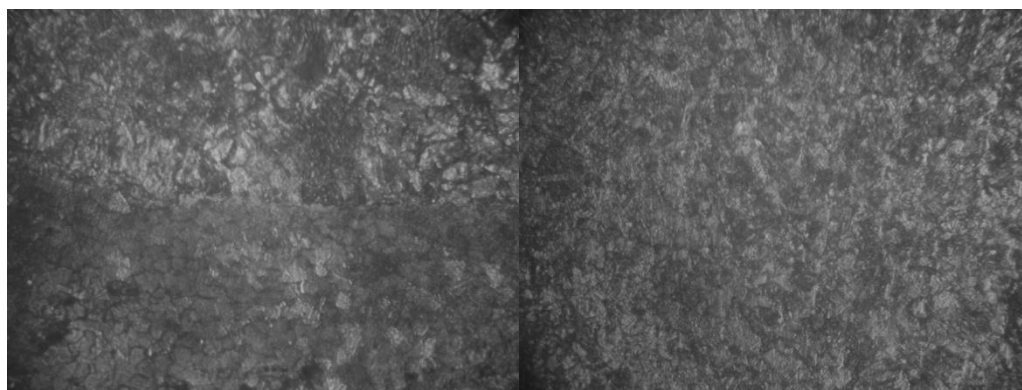


а)

видманштеттової структури (рис. 2.4 д), середина 6 валика, ділянка неповної перекристалізації, де перлітна ділянка не встигла при нагріванні перетворитись в аустеніт і тому після охолодження має розрихляний вид без чіткої пластинчатої будови (рис. 2.4 е), основний метал під 5 - 6 валиком одразу після переходу та мікроструктура ферито-перлітна, в якій утворюються дендрити (рис. 2.4 є), середина 5 валика та стовпчаста структура, що вказує на напрямок кристалізації із рідкого стану (рис. 2.4 ж) [15, 20].



а)



б)

в)



г)

д)

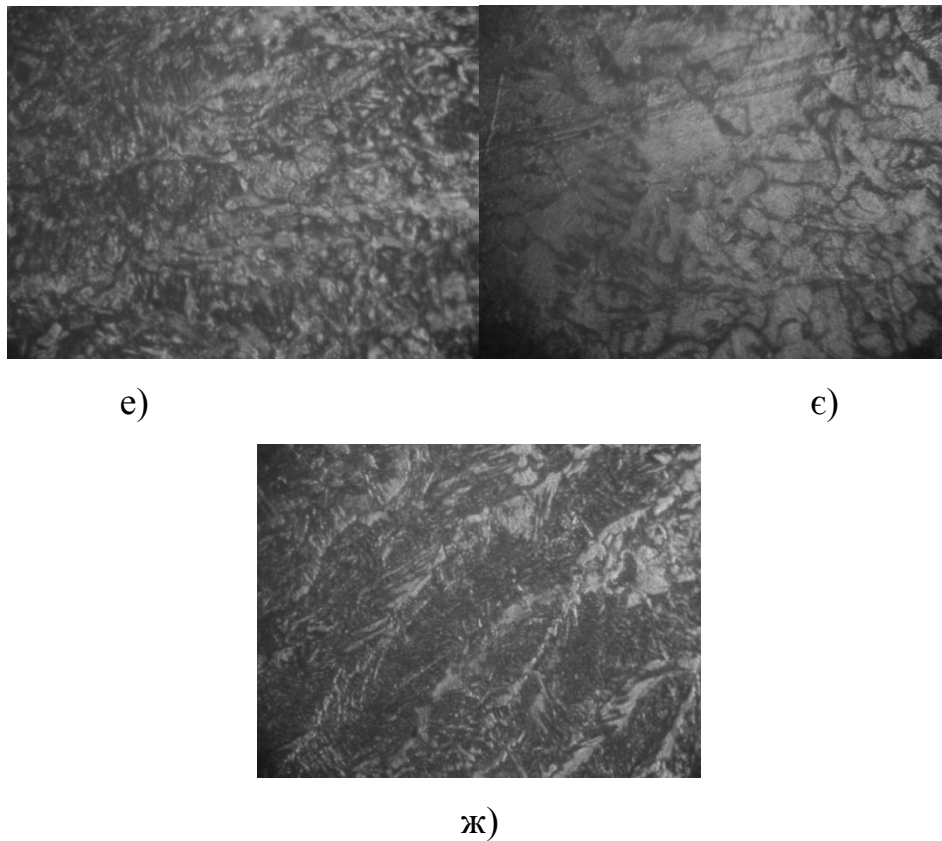
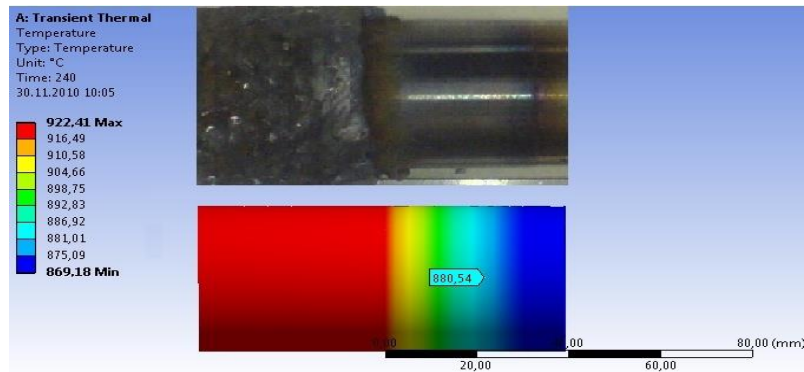
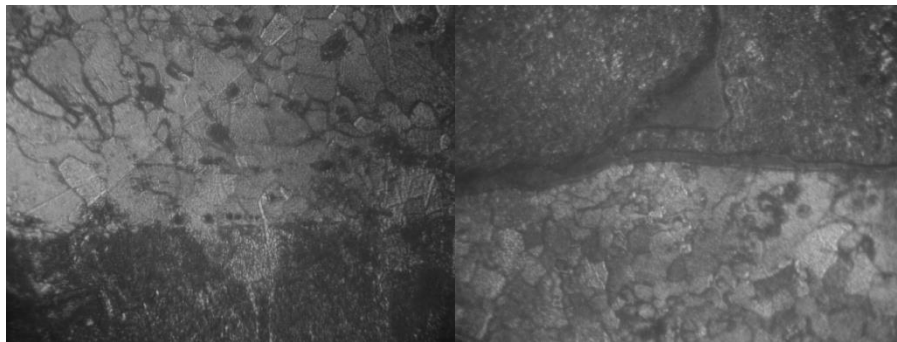


Рисунок 2.4 – Зразок 3 після наплавлення та модель в програмі кінцевого елементного аналізу та його мікроструктура

На рисунок 2.5 показано зразок 4 після наплавлення та модель, що створена за допомогою програми кінцевого елементного аналізу (рис. 2.5 а), перехідна зона між першим валиком і основним металом, дрібнозерниста структура, утворилась внаслідок повної перекристалізації, а перлітна ділянка не встигла при нагріванні перетворитись в аустеніт і тому після охолодження має розрихляний вид без чіткої пластинчастої будови (рис. 2.5 б), в перехідній зоні між першим і другим валиком є дефект – непровар, структура, подібна до попередньої і має розрихляний вид без чіткої пластинчастої будови (рис. 2.5 в), середина 4-го валика, дрібнозерниста, що утворилась внаслідок повної перекристалізації (рис. 2.5 г), Перехідна зона між 6 валиком і основним металом та ділянка перегріву, де спостерігаються великі зерна видманштетової структури (рис. 2.5 д).

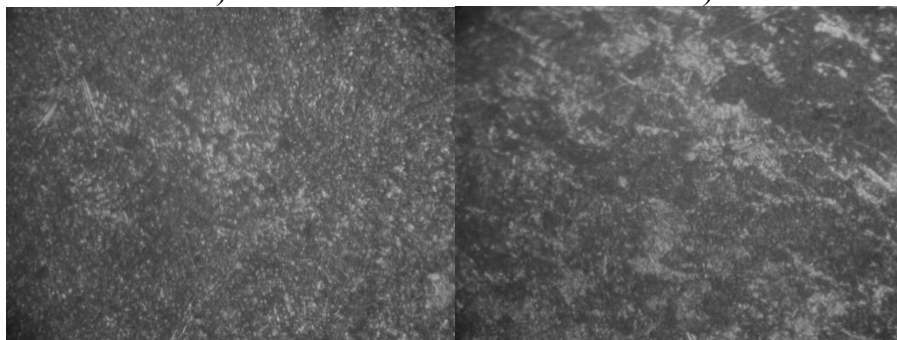


a)



б)

в)

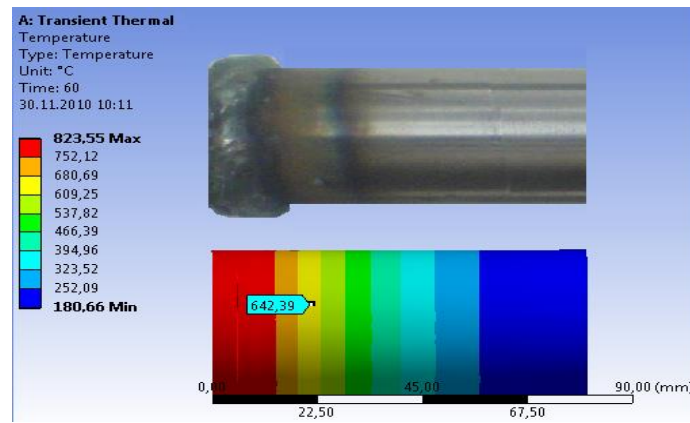


г)

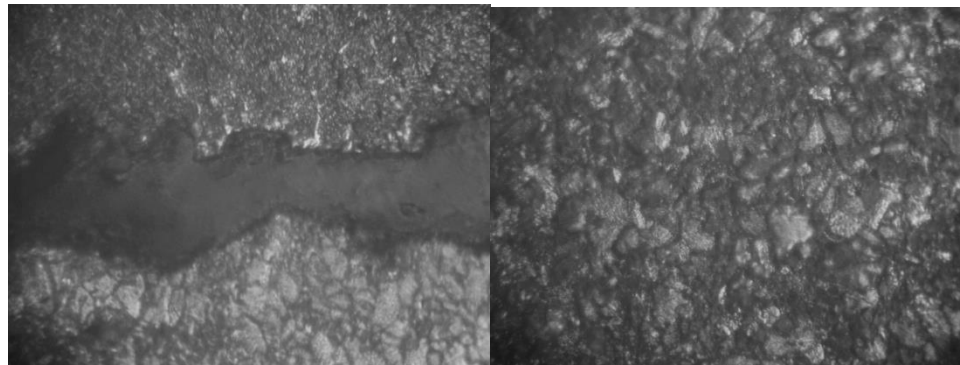
д)

Рисунок 2.5 – Зразок 4 після наплавлення та модель в програмі кінцевого елементного аналізу та його мікроструктура

На рисунок 2.6 показано зразок 5 після наплавлення та змодельований за допомогою програми кінцевого елементного аналізу (рис. 2.6, а), перехідна зона між першим валиком і основним металом, дефект – непровар, дрібнозерниста структура, що утворилась внаслідок повної перекристалізації і мікроструктура Ст3 (рис. 2.6, б), основний метал. мікроструктура Ст 3 (рисунок 2.6 в).



а)

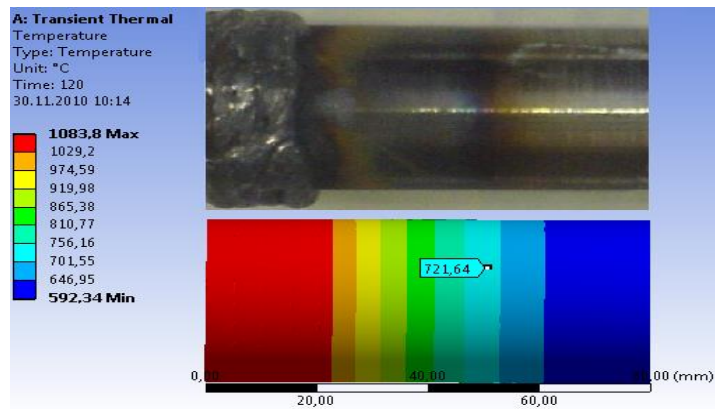


б)

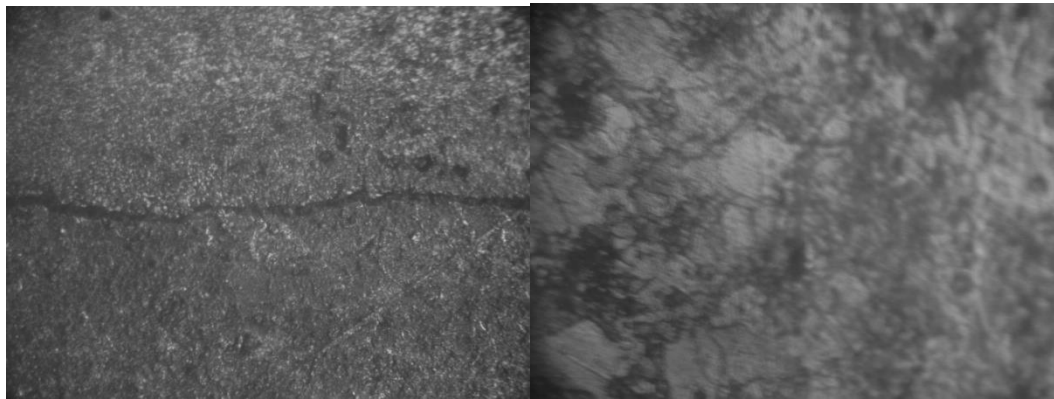
в)

Рисунок 2.6 – Зразок 5 після наплавлення та модель в програмі кінцевого елементного аналізу та його мікроструктура

На рисунок 2.7 показано зразок 6 після наплавлення та змодельований за допомогою програми кінцевого елементного аналізу (рис. 2.7 а), перехідна зона між першим валиком і основним металом – обидві структури у вигляді дрібнозернистої структури, що утворилась внаслідок повної перекристалізації (рисунок 2.7 б), середина шва, ділянка неповної перекристалізації, де перлітна ділянка не встигла при нагріванні перетворитись в аустеніт і тому після охолодження має розрихляний вид без чіткого пластинчастої будови (рисунок 2.7 в).



а)



б)

в)

Рисунок 2.7 – Зразок 6 після наплавлення та модель в програмі кінцевого елементного аналізу та його мікроструктура

Дослідження впливу температурних режимів при наплавленні показало фазові перетворення в сталевих деталях під час наплавлення. В ході дослідження було виявлено, що кожен наступний наплавлений валик температурно впливає на попередній. Результати дюрOMETричного аналізу показали, що твердість першого валка є найбільшою і поступово зменшується від валка до валка. Тобто, в процесі наплавлення, коли наплавляли перший валик і перейшли до наплавлення другого, то перший починає охолоджуватися. В процесі наплавлення другого валика, температура, що виділяється, загартовує перший валик. Отже, твердість деталі зменшується в прямому порядку від місця початку наплавлення, до місця закінчення наплавлення. Це є серйозною проблемою, яка може бути вирішена шляхом використання пристосувань, що поступово змінюють

потужність джерела тепла в процесі наплавлення без переривання самого процесу. Наплавлення великогабаритних деталей необхідно провадити з попереднім та супутнім підігрівом, який попереджає утворення різнорідних структур [19].

При дослідженні дефектів були виявлені наступні залежності: чим більша сила струму тим дефектів менше, при високій силі струму та великій площі поверхні, що наплавляється, виділення тепла дуже високе – з’являються пропали за рахунок великої зони термічного впливу, а також структурні перетворення, які суттєво змінюють властивості наплавленого шару.

2.3 Висновки до 2 розділу

1. Дослідження впливу температурних режимів при наплавленні показало, що відбуваються фазові перетворення в поверхневих шарах під час наплавлення. Було виявлено, що кожен наступний наплавлений валик температурно впливає на попередній, а твердість першого валка є найбільшою і поступово зменшується від валка до валка. Це є серйозною проблемою, яка може бути вирішена шляхом використання пристосувань, що поступово змінюють потужність джерела тепла в процесі наплавлення без переривання самого процесу.

2. При дослідженні дефектів були виявлені наступні залежності: чим більша сила струму тим дефектів менше, при високій силі струму та великій площі поверхні, що наплавляється, виділення тепла дуже високе – з’являються пропали в результаті великої зони термічного впливу, а також структурні перетворення, які суттєво змінюють властивості наплавленого шару.

3. ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ПРОКАТНИХ ВАЛКІВ ПРОКАТНОГО СТАНУ

3.1 Аналіз службового призначення вузла, деталі. Вимоги до деталі, що відновлюється та її поверхонь

Валки прокатні – робочий орган (інструмент) прокатного стану. Валками виконується основна операція прокатки – деформація (обтиснення) металу для надання йому необхідних розмірів і форми.

За своєю формою, конструкцією і технологічними ознаками деталь належить до класу «Вал».

Прокатний стан, має два прокатних валки, що приводяться в рух за допомогою електродвигуна та редукторів. Деталь, що прокатується, пропускають між двома валками із їх стисненням, тим самим деформуючи їх, та надаючи потрібної товщини та форми. Параметри деталі, що прокатується можна змінювати регулюючи силу стискання валків. Креслення валка містить всі необхідні відомості про деталь. Розглянемо всі поверхні прокатного валка та їхнє призначення. (рис. 3.1.) [6,7].

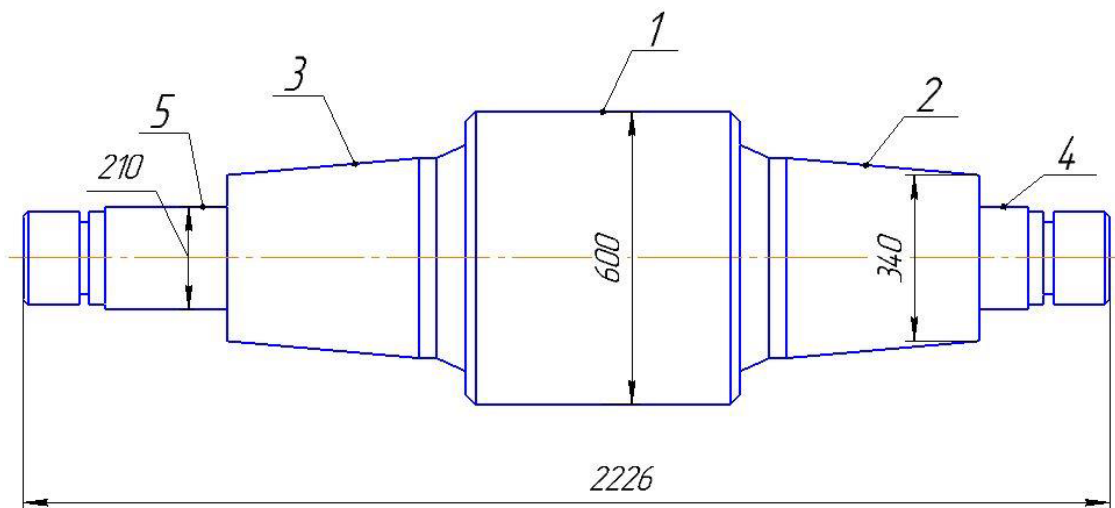


Рисунок 3.1 – Прокатний валок

Поверхня (1) – бочка, має циліндричну форму та є робоча поверхня, яка прокатує вироби, до неї висуваються досить високі вимоги на точність і шорсткість. Поверхня виконується за дванадцятим квалітетом точності з шорсткістю $R_a=12,5$ мкм. Допуск співвідношеності не більше ніж 0,33 мм.

Конічні поверхні (2 та 3) – цапфи, є опорними поверхнями, які встановлюються на втулках ковзання до яких висуваються вимоги точності за дванадцятим квалітетом і шорсткістю $R_a=1,25$ мкм. Відхилення від форми торців цих поверхонь, не повинні перевищувати 0,33мм

Поверхні (4 та 5) – посадкові під підшипники, мають шорсткість $R_a=1,25$ мкм, а відхилення від форми не повинно перевищувати 0,07 мм.

Основні розміри прокатного валка (діаметр і довжина бочки) залежать від сортаменту продукції, діаметр прокатного валка для гарячої прокатки становить від 250—300 мм (прокатка дроту) та до 1000—1400 мм (прокатка блюмів і слябів). Для холодної прокатки застосовують валки діаметром від 5 – 600 мм.

Прокатні валки поділяться на листові й сортові. Данні валки є листовими, застосовуються для прокатки листів, смуг та стрічки; бочка у цих валках – циліндрична.



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд обладнання прокатного стану

Від постійного тертя та нагрівання, прокатні валки зношуються. Зношені валки прокатують деталі, які стають дефектними. Дефекти зношеного валка, тим самим вибраковують готові деталі. При зносі поверхні валка до 1мм не потрібно наплавляти валки, можливо відновити поверхню лише перешліфовуванням [11]. При більшому зношуванні, потрібно відновлювати валки. Одним з таких методів відновлення є наплавлення з наступним зміцненням поверхні. На (рис.3.3) показано типовий знос робочої поверхні валків перед наплавленням.

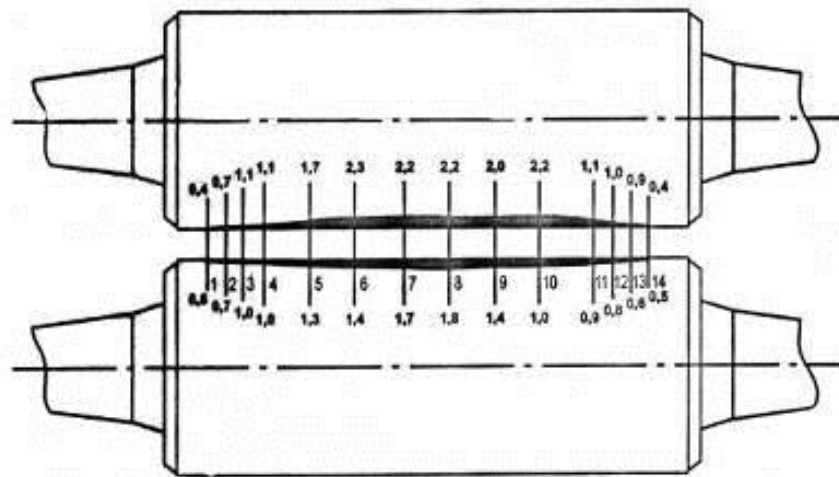


Рисунок 3.3 – Зношення (мм) робочої поверхні валка

3.2 Матеріал деталі і його властивості

Валки виготовлені з легованої сталі 40Х ГОСТ 4543-71. Сталь 40Х характеризується високим ступенем оброблюваності різанням, задовільною пластичністю при обробці, добре та без ускладнень обробляється на металорізальних верстатах, а після відповідної термообробки, має високу міцність та зносостійкість [2, 4].

Хімічні властивості сталі 40Х наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1– Хімічний склад сталі 40Х

Вміст елементів в %						
Вуглець, С	Кремній, Si	Марганець, Mn	Хром, Cr	Нікель, Ni	Фосфор, P	Сірка, S
				Не більше		
0,36–0,48	0,17–0,37	0,3–0,8	0,8–1,1	0,25	0,04	0,04

Механічні властивості сталі 40Х наведені в табл. 3.2

Таблиця 3.2 – Механічні властивості сталі 40Х

Твердість за Брінеллем, НВ	Допустима міцність, МПа (кгс/мм ²)	Допустима текучість МПа (кгс/мм ²)	Відносне видовження, δ %	Відносне звуження, ψ %
207	700(70)	470(47)	17	5

3.3 Якісна характеристика технологічності

Аналіз робочого креслення показав, що найбільш точними поверхнями є циліндрична робоча поверхня $\varnothing 600H14(\pm 0,1)$ – для прокатування заготовок, а також поверхні $\varnothing 210h14(\pm 0,23)$, що є посадковими під підшипники та конусні поверхні $\varnothing 340h14(\pm 0,285)$, які забезпечують точне позиціонування валка у прокатному стані. Тому, за базу взято вісь обертання валка [6,8].

Базування деталі виконується в центрах. Вказані на кресленні деталі квалітети точності механічної обробки відповідають параметрам шорсткості. Вони можуть бути забезпеченими на верстатах з числовим програмним керуванням.

Також розміри деталі, які вказані на кресленні можуть бути проконтрольовані безпосередньо, перешкод для контролю не існує [8].

3.4 Кількісна характеристика технологічності

Кількісний аналіз технологічності конструкції деталі в роботі проведено за наступними показниками: коефіцієнтом уніфікації, коефіцієнтом точності та коефіцієнтом шорсткості [6,8] .

Коефіцієнт уніфікації для валка:

$$K_{ye} = \frac{Q_{ye}}{Q_e} = \frac{39}{52} = 0,75;$$

(3.1)

де Q_{ye} – кількість уніфікованих елементів;

Q_e – загальна кількість елементів.

Всі розміри деталі наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Розміри деталі «Прокатний валок»

Лінійні розміри	Діаметральні розміри	Кутові розміри	Шорсткість	Різь метрична
115*	Ø210($\pm 0,23$) *	84°56'	Ra 1.25	
167	Ø340($\pm 0,285$) *	65°46'	Ra 12.5	
417	Ø410($\pm 0,315$) *			
35*	Ø600($\pm 0,1$) *			
267	Ø190($\pm 0,23$) *			
562(± 0.35)				
2226($\pm 0,875$)				
395($\pm 0,285$) *				
$\Sigma_{\text{заг.}} = 8$	$\Sigma_{\text{заг.}} = 13$	$\Sigma_{\text{заг.}} = 4$	$\Sigma_{\text{заг.}} = 27$	$\Sigma_{\text{заг.}} = 0$
$\Sigma_{\text{уніф.}} = 3$	$\Sigma_{\text{уніф.}} = 5$	$\Sigma_{\text{уніф.}} = 4$	$\Sigma_{\text{уніф.}} = 27$	$\Sigma_{\text{уніф.}} = 0$

Примітка: позначення «*» мають уніфіковані розміри.

Коефіцієнт точності обробки:

$$K = 1 - \frac{1}{T_{cp}} = 1 - \frac{1}{11.96} = 0,89;_{m.ч.}$$

(3.2)

$$T_{\text{нв}} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{323}{27} = 11,96;$$

(3.3)

де T_i – квалітет точності оброблюваних поверхонь даної деталі;

n_i – кількість поверхонь деталі з точністю відповідно за 0..17 квалітетами.

Таблиця 3.4 – Визначення коефіцієнта точності обробки

Квалітет (розміри)	Кількість поверхонь	Розрахунок
14($\varnothing 210(\pm 0,23)$, $\varnothing 340(\pm 0,285)$, $\varnothing 410(\pm 0,315)$, $\varnothing 190(\pm 0,23)$)	26	14*26=312
14 $\varnothing 600(\pm 0,1)$,	1	14*1=14
	27	323

Коефіцієнт шорсткості поверхні:

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{\text{Ш}_{\text{ср}}} = \frac{1}{11,29} = 0,08; \quad (3.4)$$

де $\text{Ш}_{\text{ср}}$ – середня шорсткість поверхні, мкм;

$$\text{Ш}_{\text{ср}} = \frac{\sum \text{ш}_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{305}{27} = 11,29; \quad (3.5)$$

де Ш_i – шорсткість оброблюваних поверхонь даної деталі, мкм;

n_i – кількість поверхонь, що мають шорсткість, яка відповідає числовому значенню параметра R_a , мкм.

Таблиця 3.5 – Коефіцієнт шорсткості поверхні

Шорсткість (розміри)	Кількість поверхонь	Розрахунок
Ra 1.25 ($\varnothing 190(+0,23)$, $\varnothing 340(+0,285)$)	8	$1.25 \cdot 8 = 10$
Ra 12.5 ($\varnothing 210(+0,23)$, $\varnothing 410(+0,315)$, $\varnothing 600(+0,1)$)	19	$12,5 \cdot 19 = 237,5$
Сума	27	247,5

$K_y = 0,75 < 0,9$; $K_r = 0,89 < 0,9$; $K_{ш} = 0,08 < 0,32$. Отже, деталь за кількісними показниками не є технологічною. [6,8].

3.5 Побудова ремонтного креслення та його аналіз

На валках шляхом візуального огляду визначають наявність видимих дефектів: викришування, тріщини, вм'ятин, сітки розпалу.

При наявності тріщини на шийці валка, подальша експлуатація цього валка не допускається.

Допустима глибина проточування дефектів – не більше 15% від діаметра валка.

Поверхня валків перед наплавленням повинна бути чиста: без слідів іржі, окалини, мастил та інших забруднень та механічно оброблені без слідів зношування.

До наплавлення допускають зношені валки, які мають припуск під наплавлення після видалення механічним способом наклепу або зношеного шару. Нові валки допускаються до наплавлення з припуском під наплавлення 1-2мм на сторону і тоді наплавлення є зміцнювальною обробкою.

Дефекти, що розглядаємо і вказані на ремонтному кресленні (рис. 3.4), відносяться до першої групи пошкоджень – механічний знос (знос металевих пар, абразивний знос) і є поправними. Дефект (1) виникає внаслідок тертя металу об метал, в містах спряження. Дефект (2) виникає наслідок тертя у втулках ковзання. Дефект (3), виникає внаслідок роботи підшипників кочення. Їх можливо і доцільно ремонтувати [14, 17].

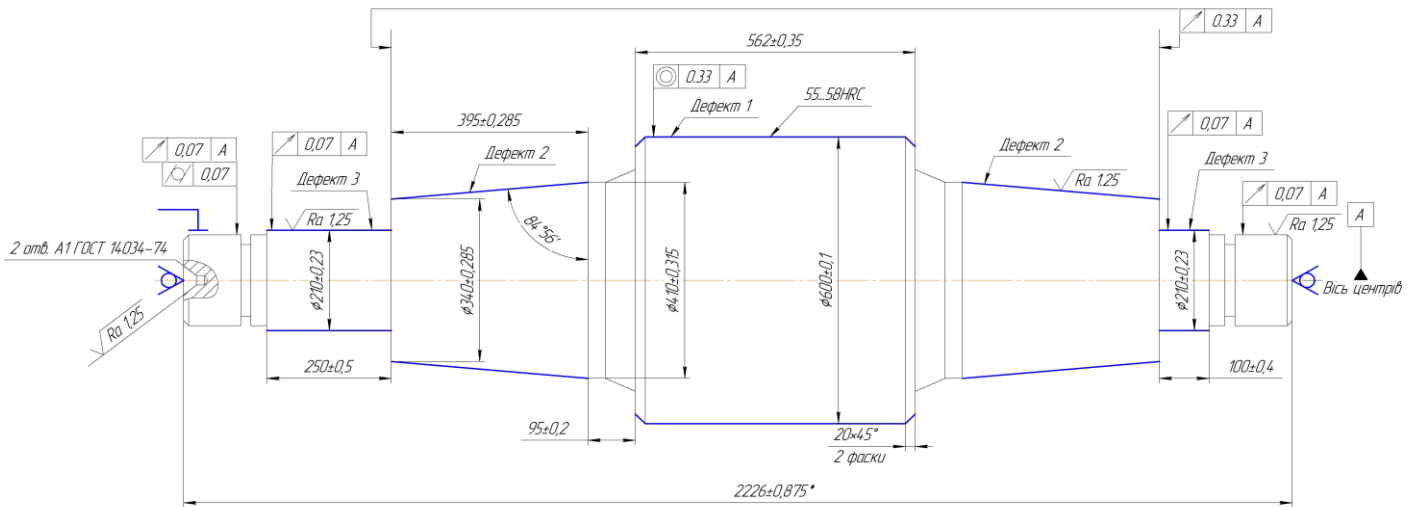


Рисунок 3.4 – Ремонтне креслення прокатного валка

Допустима похибка співвісності поверхні $\varnothing 600\text{мм}$. відносно осі А не повинна перевищувати $0,33 \text{ мм}$, це необхідно для забезпечення точності форми деталей, що прокатуються.

Допустиме радіальне биття поверхні $\varnothing 210\text{мм}$ відносно осі А не повинно перевищувати $0,07\text{мм}$.

Допустиме торцеве биття конічних поверхонь $\varnothing 340$ не більше ніж $0,33\text{мм}$ відносно осі А. Це забезпечує правильність установки і роботи цапф у втулках тертя.

Для зручності вимоги і методи їх виконання зведені в таблицю 3.7.

Таблиця 3.7 – Технологічні вимоги та методи їх перевірки

Зміст технологічних вимог	Коли і якими методами можна виконувати ці вимоги	Як і якими засобами можна перевірити виконання технологічних вимог
1	2	3
1. Похибка співвісн. поверхні $\varnothing 600$ відносно осі А не більше 0,33мм.	Чорнове, чистове точіння.	В центрах за допомогою магнітного стояка і індикатора часового типу, розтискної оправки цангового типу.
2. Радіальне биття поверхні $\varnothing 210$ мм. Відносно осі А не більше 0,07мм	Чорнове, чистове точіння з наступною обробкою на круглошліфувальному верстаті.	В центрах за допомогою магнітного стояка і індикатора часового типу, розтискної оправки цангового типу.
3. Торцеве биття конічних поверхонь $\varnothing 340$ відносно осі А не більше 0,33мм.	Чорнове, чистове точіння.	В центрах за допомогою магнітного стояка і індикатора часового типу, розтискної оправки цангового типу.

3.6 Вибір та обґрунтування способу відновлення валка

Технологічність валка дозволяє використовувати наплавлення бочки валка як електродугові методи так і існуючі прогресивні методи [11,]. Завдяки високій трудомісткості, надійності та добрій якості автоматичного наплавлення під флюсом широко використовується при виготовленні і ремонті відповідальних великогабаритних і середніх за величиною деталей таких, як прокатний валок прокатного стану [11–14].

Враховуючі тенденції промисловості до економічності та здешевлення при задовільній якості та зносостійкості наплавленого шару,

зношених валків використовуємо наплавочний дріт Нп-30ХГСА ГОСТ 10543-82, який рекомендується для наплавлення сталей валків гарячої прокатки. Хімічний склад наплавочного дроту зазначений у таблиці 3.8, склад наплавленого металу цим дротом у таблиці 3.9. Флюс для механічного наплавлення виробів широкої номенклатури – АН 348 ГОСТ 9087-69. Хімічний склад зазначений у таблиці 3.10. Флюс має склоподібну будову зерна, розмір зерна від 0.5 до 2.5мм.

Таблиця 3.8 – Хімічний склад наплавочного дроту ГОСТ 10543-82

Марка проволоки	Хімічний склад					Рекомендований флюс	Твердість після наплавлення HRC
	C	Mn	Si	Cr	Ni		
Нп-30 ХГСА	0,3	0,8	0,92	0,81	0,4	АН-348	30...34

Таблиця 3.9 – Хімічний склад наплавленого металу

C, не більше	Si	Mg	Cr	P	S
				не більше	
0,55	2,6 – 3,2	1,5 – 2,3	4,3– 4,9	0,030	0.030

Таблиця 3.10 – Хімічний склад флюсу АН 348 ГОСТ 9087-69

SiO ₂	MnO	MgO	CaF ₂	S	Fe	P	Al ₂ O ₃	CaO
							не більше	
41,0-4,0	34,0-8,0	5.0-7.5	4.0-5.5	0.19	2.0	0.12	4,5	6,5

Згідно результатів дефектування і технології відновлення дефектів складаємо план операцій відновлення валка:

005 – Мийна: Відмити та очистити деталь від мастил, іржі та бруду. Для цієї операції використовуємо мийну машину М-1110;

010 – Відпуск: Нагріти деталь до температури 500°C із витримкою 2 години, та повільно охолодити.

- 015 – Токарна: 1) точити поверхню (1) в розмір $\varnothing 598^{+0,25}_{-0,25}$ мм;
 2) точити поверхні (2 та 3) в розмір $\varnothing 338^{+0,25}_{-0,25}$ мм;
 3) точити поверхні (4 та 5) в розмір $\varnothing 208^{+0,25}_{-0,25}$ мм;

- 020 – Наплавочна: 1) наплавити поверхню (1) в розмір $\varnothing 603$ мм;
 2) наплавити поверхні (2 та 3) в розмір $\varnothing 342$ мм;
 3) наплавити поверхні (4 та 5) в розмір $\varnothing 212$ мм;

Нагріта деталь до температури $\sim 500^{\circ}\text{C}$ в процесі наплавлення повільно охолоджується у тарі з піском із витримкою 12 – 20 годин, для запобігання холодних тріщин та стабілізації структури перед механічною обробкою.

- 025 – Токарна: 1) Точіння чорнове поверхні (1) до розміру $\varnothing 600,534$ мм.
 2) Точіння чистове поверхні (1) до розміру $\varnothing 600^{+0,1}_{-0,1}$ мм.
 3) Точити фаски $20^{\circ} \times 45^{\circ}$;
 4) Точіння чорнове поверхонь (2) до розміру $\varnothing 340,35$ мм.
 5) Точіння чистове поверхонь (3) до розміру $\varnothing 340^{+0,3}_{-0,3}$ мм.
 6) Точіння чорнове поверхонь (4) до розміру $\varnothing 210,7$ мм.
 7) Точіння чистове поверхонь (5) до розміру $\varnothing 210,3$ мм.

- 030 – Термообробка: 1) Гартування поверхні 1,2,3,4,5 СВЧ до температури 830°C .

2) Охолодження на повітрі.

- 045 – Шліфувальна: 1) Шліфувати поверхні 4 та 5 до розміру $\varnothing 210^{+0,05}_{-0,05}$ мм.

- 050 – Контрольна: 1) Перевірити діаметральні розміри
 2) Перевірити допуски форми деталі
 3) Перевірити шорсткість поверхонь.

В таблиці 3.10 показано технологічний процес відновлення прокатного валка.

Таблиця 3.10 – Технологічний процес відновлення валка

№	Назва операції та зміст переходу	Ескіз обробки та схема установки	Обладнання
005	Миття Мити валок в розчині МС-6		Високонапірна установка М-1112
010	Відпуск Нагріти деталь до температури 500° із витримкою 2 години, та повільно охолодити разом із піччю		Відпускна піч СКЗ-08.30.01/7
015	Токарна 1. Встановити деталь. 2. Точити поверхню 1 до розмірів за ескізом. 3. Точити поверхні 2 та 3, до розмірів за ескізом. 4. Точити поверхні 4 та 5 до розмірів за ескізом. 5. Зняти деталь.		1. Токарний верстат моделі 16К-40П.
020	Наплавлювальна 1. Встановити деталь. 2. Наплавити поверхню 1. 3. Наплавити поверхні 2 та 3. 4. Наплавити поверхні 4 та 5. 5. Зняти деталь.		1. Установка для наплавлення РМ-10. 2. Наплавлювальна головка А-1406.

Продовження таблиці 3.10 – Технологічний процес відновлення валка

№	Назва операції та зміст переходу	Ескіз обробки та схема установки	Обладнання
030	Токарна 1. Встановити деталь. 2.Точити поверхню 1 (до розмірів за ескізом). 3.Точити поверхні 2 та 3 (до розмірів за ескізом). 4.Точити поверхні 4 та 5 (до розмірів за ескізом). 5.Зняти деталь.		1. Токарний верстат моделі 16К-40П.
035	Термообробка Нагріти поверхні 1, 2, 3, 4 та 5 за допомогою індуктора до температури 830°C та занурити в масло.		ТВЧ індуктор марки ВЧ-160АВ
040	Низькотемпературний відпуск Нагріти деталь до температури 150-200°C із витримкою 2 години. Та охудити на повітрі.		Відпускна піч СКЗ-08.30.01/7
045	Шліфувальна 1. Встановити деталь. 2.Шліфувати поверхню 4, до розмірів за ескізом. 3.Шліфувати поверхню 5, до розмірів за ескізом. 4.Зняти деталь.		
050	Контрольна 1. Встановити деталь. 2. Перевірити допуски форми деталі шорсткості та розміри. 3. Зняти деталь.		1. Контрольний стіл з центрами. 2. Магнітний стяг з індикатором. 3. Штангенциркуль. 4. Мікрометр. 5. Зразки шорсткості поверхні ГОСТ-2789-73.

3.7 Розрахунок припусків на механічну обробку

Розрахунок припусків [6, 8] на механічну обробку для поверхні $\varnothing 600H14(\pm 0,1)$.

На прокатному валку (сталь 40Х) наплавляємо зношені поверхні – наплавлення під шаром флюсу, плавким електродом. Маса заготовки 2300 кг. Відповідно заданим умовам установлюємо маршрут обробки поверхні.

Уся зазначена обробка виконується з установкою заготовки в центрах.

Розрахунок припусків проводимо за методикою розрахунку мінімальних та максимальних припусків на механічну обробку [8]

Таблиця 3.11 – Припуски та граничні розміри. Розрахунковий мінімальний припуск на обробку:

Маршрут обробки поверхні діаметром $\varnothing 600H14(\pm 0,1)$	Елементи припуску, мкм				Розрахункові величини		Допуск на виконувані розміри, мкм	Прийняті (округлені) розміри заготовки по переходах, мм		Граничний припуск, мкм	
	R_z	h	Δ_Σ	ε	припуску $2Z_i$, мкм	мінімального діаметра, мм		найбільші	найменші	$2Z_{max}$	$2Z_{min}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Наплавлення під шаром флюсу	600		1113	0	-	603,96	1500	605,46	603,96	-	-
Точіння:											
чорнове	150	100	66,8	0	3426	600,534	300	600,834	600,534	4,626	3,426
чистове	30	40	26,7	0	634	599,9	200	600,1	599,9	0,734	0,634

3.8 Розрахунок режимів механічної обробки до нанесення покриття

Операція 015 – для поверхонь $\varnothing 598^{+0,25}$ мм; $\varnothing 338^{+0,25}$ мм; та $\varnothing 208^{+0,25}$ мм;

Розрахунок проводиться за методикою описаною у джерелі [6,8]:

Таблиця 3.12 – Режими різання

Глибина різання	1,5мм
Швидкість різання	81м/хв
Частота обертання шпинделя	43об/хв
Фактична швдкість різання	75.2м/хв

3.9 Розрахунок режимів наплавлення

Основні параметри автоматичного наплавлення під флюсом чинять істотний вплив на розміри і форму швів, глибину проплавлення, якість наплавленого металу. Такими параметрами є:

- 1) Залежність величини струму I (А) від діаметра деталі D (мм).
- 2) Крок наплавлення S (мм/оборот).
- 3) Товщину покриття h (мм).
- 4) Швидкість наплавлення (V_H , м/год).
- 5) Частоту обертання деталі (n об/хв).
- 6) Виліт електроду H (мм).
- 7) Зсув електроду a (мм).
- 8) Швидкість подачі дроту $V_{np.}$ (м/ч).

Розрахунок режимів наплавлення проводимо за методикою вказаною в джерелі [14, 17]:

Таблиця 3.13 – Режими наплавлення для поверхні (1)

Параметри	I_n , А	U_d , В	V_n , м/год	$V_{пр}$, м/год	n , об/хв
Значення	337	28,7	8,95	52	8,9

Таблиця 3.14 – Режими наплавлення для поверхонь (4 та 5)

Параметри	I_n , А	U_d , В	V_n , м/год	$V_{пр}$, м/год	n , об/хв
Значення	240	26,8	16,56	18,7	14,6

3.10 Експертне визначення режимів наплавлення

Для визначення режимів наплавлення використовується експертна програма «Наплавка», яка запропонована експертами інституту електрозварювання ім. Ю.Є. Патона.

Для реалізації цієї програми на першому етапі задаємось формою наплавляємої поверхні деталі на рис. 3.5 показано скрін програми з групою деталей, що наплавляються.

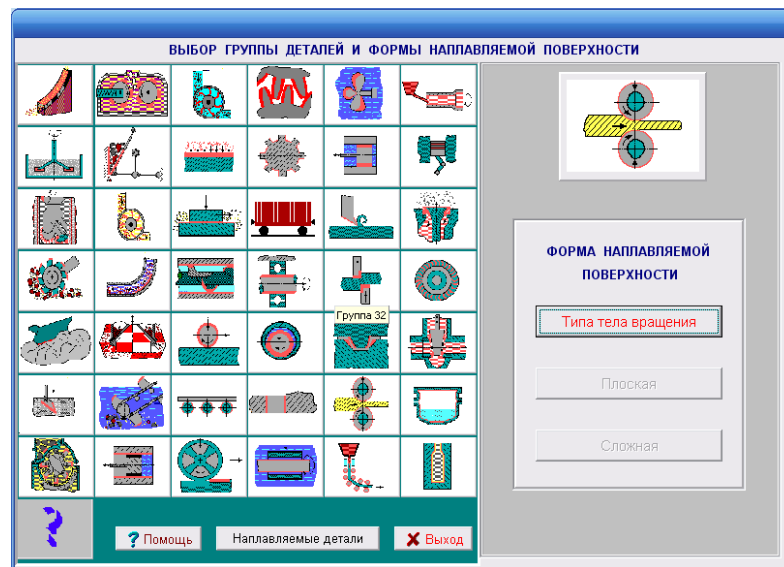


Рисунок 3.5 – Вибір групи деталей і форми наплавляємої поверхні

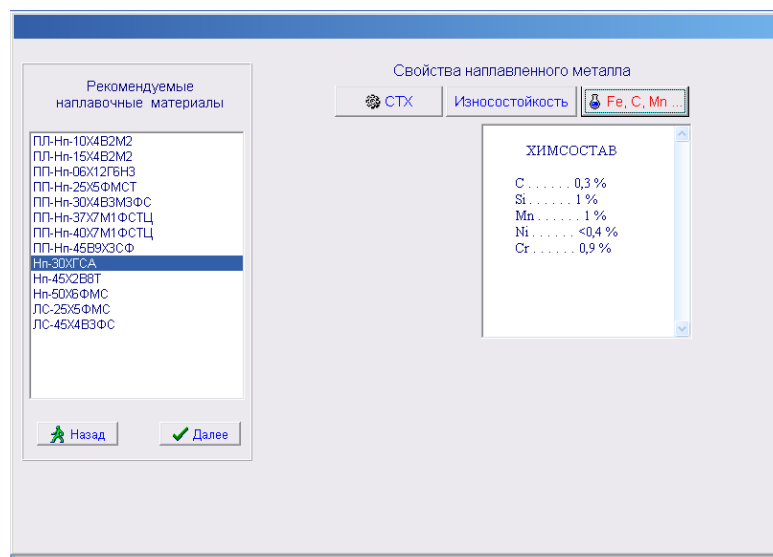


Рисунок 3.6 – Рекомендований матеріал програмою «Наплавка»

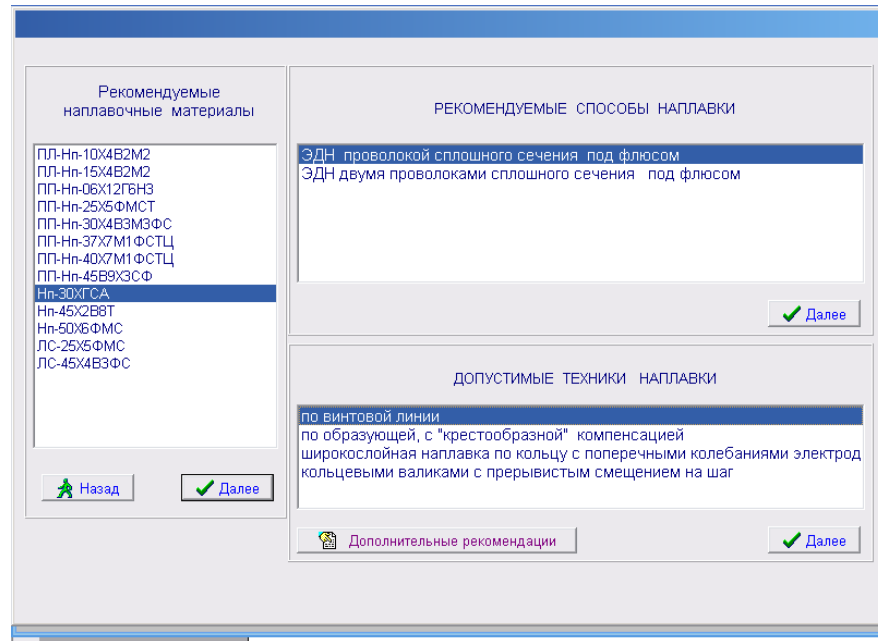


Рисунок 3.7 – Рекомендовані способи наплавлення

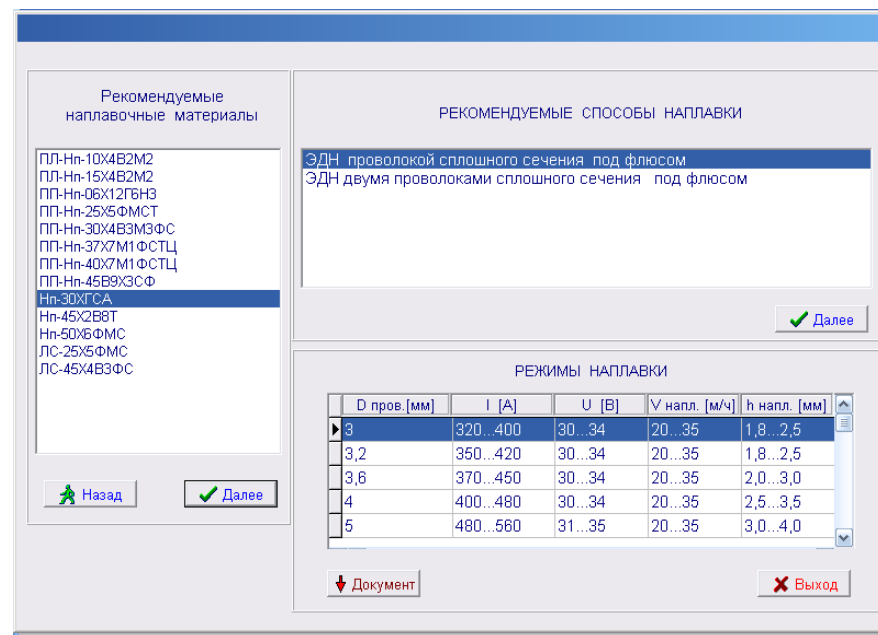


Рисунок 3.8 – Рекомендовані режими наплавлення програмою

Проведені розрахунки за допомогою експертної програми «Наплавка» підтвердили вибір дроту для наплавлення та розрахунки режимів наплавлення, які забезпечують високу продуктивність відновлення і зменшать трудомісткість та витрати часу на відновлення прокатного валка стану [17].

3.11 Вибір та обґрунтування обладнання і джерел живлення

Для відновлення обрано установку РМ-10. Для технологічного устаткування типу РМ-10 найбільш доцільно застосовувати зварювальний автомат типу А 1406.

Автомат А 1406 – підвісний самохідний призначений для однодугового зварювання й наплавлення суцільним дротом під шаром флюсу та є можливість наплавляти у середовищі захисних газів на постійному струмі з незалежними від параметрів дуги швидкостями зварювання й подачі електродного дроту. Автомат А-1400 (Рис.3.9) складається з наступних вузлів: механізму підйому поз.4, що здійснює підйом й опускання самого автомата, супорта поз.6, рукояткою якого виконується зсув подаючого й правильно-притискного механізмів із zenіту вперед та назад, механізму подачі поз.7, правильно-притискний механізм поз.8, мундштук поз.9, флюсоапарату поз.2, що здійснює завдяки ежекції, створюємої стисненим повітрям, відсос флюсу зі стаціонарного флюсобункера у флюсобункер автомата. Із флюсобункера автомата флюс по шлангу подається в зону горіння дуги та касети для дроту, де в місці кріплення до автомата розташований гальмівний пристрій поз. 3 для гальмування дроту. []

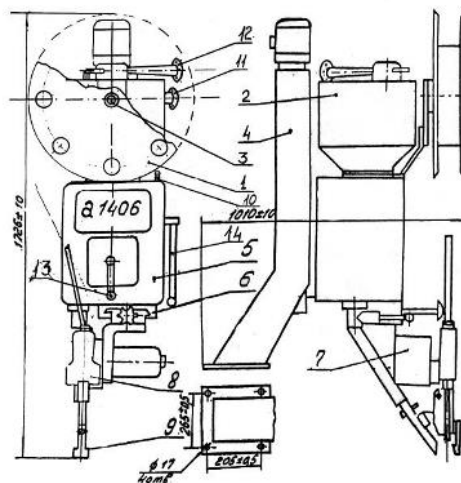


Рисунок 3.9 Зварювальний автомат А-1406

Для процесу наплавлення зношених прокатних валків до автомату

А 1406 рекомендовано випрямляч типу КИУ 1201. Технічна характеристика джерела живлення наведена в таблиці 3.15.

Таблиця 3.15 Характеристика наплавлюваного устаткування

№ п/п	Параметри	А 1406
1	Номинальна напруга в мережі, В	380
2	Частота току в мережі, Гц	50
3	Номинальний зварювальний струм, А	при ПВ=100% 1000
4	Діапазон регулювання зварювального струму, А	250 ч 1250
5	Кількість електродів, шт	1
6	Діаметр електродного дроту, мм:	
	суцільний	1,2 ч 2,0 2,0 ч 5,0
	порошковий	2,0 ч 3,0
7	Межі плавного регулювання подачі електродного дроту, м/год	17 ч 553
8	Вертикальне переміщення зварювальної головки:	
	хід, мм	500
	швидкість, м/год	29,4
9	Поперечний перетин зварювальної головки:	
	хід, мм	±70
	швидкість, м/год	від руки
10	Регулювання кута нахилу електроду (мундштука), град	±30 ручне
11	Амплітуда коливання дуги при наплавленні порошковим дротом до 3мм., мм	10 ч 70
12	Флюсоапаратура:	
	об'єм, дм 3	40
	витрати повітря, м 3/ч	20
	висота всмоктування флюсу, м	2
13	Маса, кг:	
	зварювальної головки	185
	джерела живлення	550

Таблиця 3.16 Технічна характеристика КИУ 1201

Параметри	КИУ 1201
Номинальна напруга живильної мережі при частоті 50 Гц, В	380
Номинальний зварювальний струм, А	1250
при ПВ 100%	-
при ПВ 60%	-
при ПВ 20 в 5 минутном цикле	
Межі регулювання зварювального струму, А	200-1250
Межі регулювання зварювальної напруги, В	20-56
Потужність, кВт	84
Напруга холостого ходу, В	85
Діаметр електродів, мм	4...10
Вага, кг	550
Габаритні, мм:	960x 680x 890

Установка РМ-10 (Рис.3.10) змонтована на двох основних вузлах, закріплених фундаментними болтами. На корпусі (поз.11) установлені:

обертач (поз. 10), з механізмом нахилу на необхідний при наплавленні кут й обертання зі швидкістю наплавлення; задня бабка (поз.1), для закріплення в центрах деталі, що наплавляється.

Індуктор промислової частоти на візку (поз.7), встановлено на напрямні маніпулятора, після встановлення деталі, що відновлюється, в горизонтальне положення, вручну висувається на деталь для її підігріву перед і після наплавлення.

На колоні (поз.4) встановлені й закріплені:

- на її консолі зварювальний автомат типу А-1406 (поз.8);
- на її нерухомій тумбі зварювальний випрямляч КИУ-1201.

Окремо на ділянці деталі, що наплавляється, встановлені пристрій для збору й просіву відпрацьованого флюсу, що складається з ковшового елеватора (поз. 3), накопичувача відпрацьованого флюсу (поз. 15), вібросита (поз. 13) та бункера-накопичувача для флюсу (поз. 14); електроустаткування – у вигляді шафи керування (поз. 3); два повітрявтяжні пристрої (поз. 6), змонтованих на колоні(поз. 12).

Корпус (11) призначений для встановлення обертача (10), задньої бабки (1) та індуктора на візку. Корпус – листова зварена металоконструкція з

напрямними для задньої бабки й візка індуктора, а також двома рейками, у зачеплення з якими входять стопор стійки, та шестерня приводу переміщення задньої бабки.

Маніпулятор складається із серійного зварювального обертача М-11070А (10), задньої бабки (1) і корпусу установки (11) з напрямними для переміщення задньої бабки й індуктора.

Обертач (10) призначений для обертання деталей і має пази для закріплення технологічного оснащення й центру для установки деталі в оснащенні (4) при наплавленні в центрах.

Обертання планшайби здійснюється від електродвигуна змінного струму через черв'ячно-циліндричний редуктор. Збоку на станині змонтований привід нахилу стола. Планшайба має Т-подібні пази, у яких кріпляться оснащення та центра. Керування кнопкове із загального пульта установки. []

Задня бабка (1), служить другою опорою при наплавленні у центрах.

Задня бабка складається з пінолі (7), корпусу задньої бабки (5), повзунів (6) для переміщення задньої бабки до напрямного корпусу установки (11), електромеханічного приводу, стопора (2), розташованого на повзунах (6) для фіксації задньої бабки в заданому положенні.

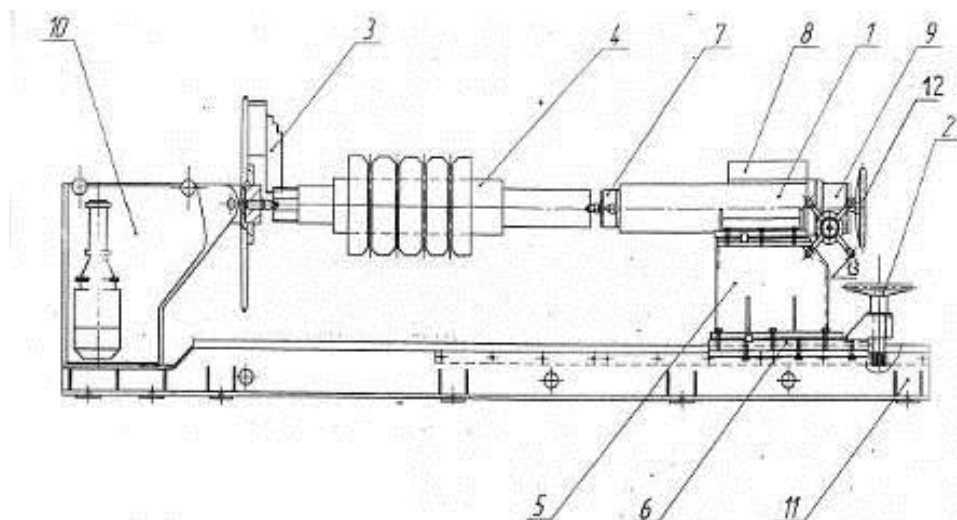


Рисунок 3.10 Схема технологічного устаткування РМ 10

Для обмеження ходу задньої бабки встановлені концеві датчики.

Щоб закріпити деталь у центрах обертача та задній бабці, необхідно підвести центр задньої бабки до деталі. Для цього необхідно ручкою (поз. 13) розстопорити важіль корпусу поворотної пінолі, повернути його на 90° проти годинникової стрілки, вивівши із зачеплення черв'як і зафіксувати в цьому положенні.

3.12 Нормування операцій технологічного процесу

Нормування операцій технологічного процесу відновлення виконуємо згідно [18] . Результати заносимо до таблиці 3.17.

Таблиця 3.17 – Нормування часу на здійснення операцій

№	Назва операції	t_o	$t_{\text{дод}}$	$t_{\text{оп}}$	$t_{\text{п-з}}$	$t_{\text{обсл}}$	$t_{\text{ш-к}}$
05	Миття	15	1.2	16.2	15	0.32	16.48
010	Відпуск	19.6	7.2	26.8	15	1.7	28.53
015	Токарна	67.6	15	82.6	20	4.3	86.94
020	Наплавлювальна	55.78	7.2	62.98	15	1.67	79.1
030	Токарна	76.6	15	92.6	20	4.3	96.94
035	Термообробка	19.6	7.2	26.8	15	1.7	28.53
040	Низькотемп. відпуск	19.6	7.2	26.8	15	1.7	28.53
045	Шліфувальна	25.5	3	28.5	10	0.97	38.9
050	Контрольна	8	2	10	5	0.52	18.53

3.13 Висновки до третього розділу

- розроблено технологічний процес відновлення прокатного валка електродуговим наплавленням з використанням проволоки Нп-30ХГСА;
- оптимізована термічна обробка, яка виключає довготривалий нагрів прокатного валка в печі та супутній нагрів деталі в процесі наплавлення з повільним остиганням після наплавлення у піску, що відповідає операції відпалу після наплавлення;
- обґрунтовано обладнання для реалізації технологічного процесу;

- проведені розрахунки режимів наплавлення аналітичним методом, які відповідають рекомендаціям експертної програми «Наплавка» і підтвердили вибір дроту для наплавлення. Розрахунки режимів наплавлення забезпечують високу продуктивність відновлення і зменшують трудомісткість та витрати часу.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки

Основною метою проведення комерційного та технологічного аудиту є підвищення якості відновлення робочих поверхонь прокатних валків за рахунок автоматизації робочого процесу, використання новітніх розробок відновлювального обладнання, вибір та обґрунтування раціональних параметрів і режимів технологічного процесу

Для проведення технологічного аудиту було залучено 3-х незалежних експертів Вінницького національного технічного університету кафедри галузевого машинобудування: доцента Бакалець Дмитра Віталійовича, доцента Шиліну Олену Павлівну, доцента Шенфельда Валерія Йосиповича.

Для проведення технологічного аудиту було використано таблицю 4.1 [21] в якій за п'ятибальною шкалою використовуючи 12 критеріїв здійснено оцінку комерційного потенціалу.

Таблиця 4.1 – Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-терій	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції:					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки):					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів

5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витрачати значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Таблиця 4.2 – Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів СБ, розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0-10	Низький
11-20	Нижче середнього
21-30	Середній
31-40	Вище середнього
41-48	Високий

В таблиці 4.3 наведено результати оцінювання експертами комерційного потенціалу розробки.

Таблиця 4.4 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Прізвище, ініціали, посада експерта		
	Бакалець Дмитро Віталійович	Шиліна Олена Павлівна	Шенфельд Валерій Йосипович
	Бали, виставлені експертами:		
1	4	4	5
2	2	3	3
3	4	4	3
4	3	3	4
5	2	2	3
6	3	3	3
7	3	3	3
8	5	5	5
9	2	3	2
10	4	5	5
11	3	4	5
12	4	5	4
Сума балів	СБ ₁ =39	СБ ₂ =44	СБ ₃ =45
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_1^3 СБ_i}{3} = \frac{39 + 44 + 45}{3} = 43$		

Середньоарифметична оцінка, отримана на основі експертних висновків, становить 43 бали, і згідно з таблицею 4.3, це вказує на високий рівень комерційного потенціалу результатів проведених досліджень.

Результатом магістерської роботи є підвищення якості відновлення робочих поверхонь прокатних валків та отримання економічного ефекту.

Результати досліджень магістерської роботи можуть бути реалізовані на підприємствах та установах, які займаються ремонтом та відновленням зношених деталей машин, мережа продажу запчастин.

Проведемо оцінку якості і конкурентоспроможності нової розробки порівняно з аналогом.

В якості аналога для розробки було обрано базовий технологічний процес відновлення деталі методом наплавлення під шаром флюсу. Основними недоліками аналога є те що при застосуванні для відновлення валків прокатного стану наплавлення під шаром флюсу деталей внаслідок нагрівання буде мати значну деформацію. Це буде вимагати збільшення товщини покриття для компенсації спотворення форми деталі, перевитрати наплавного дроту, енергії, інструментів на обробці та витрат робочого часу.

У розробці дана проблема вирішується шляхом використання холодного газодинамічного напилення для відновлення зношених поверхонь.

Використання для відновлення даної деталі наплавлення значно збільшує припуски на обробки оскільки виникають значні деформації деталі. Приймаємо для відновлення валка метод електродугового наплавлення з використанням проволоки Нп-30ХГСА, що дає змогу наносити більш якісний та менший шар покриття без жолоблення деталі, що дозволить зменшити кількість проходів механічної обробки, та прискорити обробку виробу.

Також система випереджає аналог за такими параметрами як відсутність жолоблення яка відповідає потребам наплавляти та обробляти не зношені поверхні.

В таблиці 4.5 наведені основні техніко-економічні показники аналога і нової розробки.

Проведемо оцінку якості продукції, яка є найефективнішим засобом забезпечення вимог споживачів та порівняємо її з аналогом.

Таблиця 4.5 – Основні параметри нової розробки та товару-конкурента

Показник	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий (товар-конкурент)	Новий (інноваційне рішення)		
1	2	3	4	5
Метод нанесення покриття	Наплавлення під шаром флюсу	Електродугове наплавлення	-	-
Температура процесу	1450 ⁰ С	1200 ⁰ С	1,2	0,15
Температура деталі	950 ⁰ С	450 ⁰ С	2,1	0,2
Продуктивність кг/год	7	2,5-4,5	1,6	0,3
Деформація деталі	2-3мм/100мм	0,5-1,5мм/100мм	2	0,35

Визначимо відносні одиничні показники якості по кожному параметру за формулами (4.1) та (4.2) і занесемо їх у відповідну колонку табл. 4.6.

$$q_i = \frac{P_{Hi}}{P_{Bi}} \quad (4.1)$$

або

$$q_i = \frac{P_{Bi}}{P_{Hi}} \quad (4.2)$$

де P_{Hi} , P_{Bi} – числові значення i -го параметру відповідно нового і базового виробів.

$$q_1 = \frac{1400}{1200} = 1,2;$$

$$q_2 = \frac{950}{450} = 2,1;$$

$$q_3 = \frac{7}{4,5} = 1,6;$$

$$q_4 = \frac{3}{1,5} = 2.$$

Відносний рівень якості нової розробки визначаємо за формулою:

$$K_{\text{я.в.}} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \alpha_i, \quad (4.3)$$

$$K_{\text{я.в.}} = 1,2 \cdot 0,15 + 2,1 \cdot 0,2 + 1,6 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,35 = 1,78$$

Відносний коефіцієнт показника якості нової розробки більший одиниці, отже нова розробка якісніший базового товару-конкурента.

Наступним кроком є визначення конкурентоспроможності товару. Конкурентоспроможність товару є головною умовою конкурентоспроможності підприємства на ринку і важливою основою прибутковості його діяльності.

Однією із умов вибору товару споживачем є збіг основних ринкових характеристик виробу з умовними характеристиками конкретної потреби покупця. Такими характеристиками найчастіше вважають нормативні та технічні параметри, а також ціну придбання та вартість споживання товару.

В табл. 4.6 наведено технічні та економічні показники для розрахунку конкурентоспроможності нової розробки відносно товару-аналога, технічні дані взяті з попередніх розрахунків.

Таблиця 4.6 – Нормативні, технічні та економічні параметри нової розробки і товару-виробника

Показники	Варіанти	
	Базовий (товар-конкурент)	Новий (інноваційне рішення)
1	2	3
1. Нормативно-технічні показники		
Температура процесу	1450 ⁰ C	1200 ⁰ C
Температура деталі	950 ⁰ C	450 ⁰ C
Продуктивність кг/год	7	2,5-4,5
Деформація деталі	2-3мм/100мм	0,5-1,5мм/100мм
2. Економічні показники		
Ціна придбання, грн.	45000	40000

Загальний показник конкурентоспроможності інноваційного рішення (К) з урахуванням вищезазначених груп показників можна визначити за формулою:

$$K = \frac{I_{m.n.}}{I_{e.n.}}, \quad (4.4)$$

де $I_{m.n.}$ – індекс технічних параметрів; $I_{e.n.}$ – індекс економічних параметрів.

Індекс технічних параметрів є відносним рівнем якості інноваційного рішення. Індекс економічних параметрів визначається за формулою (4.5)

$$I_{e.n.} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Hei}}{\sum_{i=1}^n P_{Bei}}, \quad (4.5)$$

де P_{Hei} , P_{Bei} – економічні параметри (ціна придбання та споживання товару) відповідно нового та базового товарів.

$$I_{e.n.} = \frac{40000}{45000} = 0,88;$$

$$K = \frac{1,78}{0,88} = 2,02.$$

Зважаючи на розрахунки, можна зробити висновок, що нова розробка буде конкурентоспроможніше, ніж конкурентний товар.

4.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи групуються за такими статтями: витрати на оплату праці, витрати на соціальні заходи, матеріали, паливо та енергія для науково-виробничих цілей, витрати на службові відрядження, програмне забезпечення для наукових робіт, інші витрати, накладні витрати.

1. Основна заробітна плата кожного із дослідників $З_0$, якщо вони працюють в наукових установах бюджетної сфери визначається за формулою:

$$З_0 = \frac{М}{T_p} * t \text{ (грн)} \quad (4.6)$$

де $М$ – місячний посадовий оклад конкретного розробника (інженера, дослідника, науковця тощо), грн.;

T_p – число робочих днів в місяці; приблизно $T_p \approx 21...23$ дні;

t – число робочих днів роботи дослідника.

Зведемо сумарні розрахунки до таблиця 4.7.

Таблиця 4.7 – Заробітна плата дослідника в науковій установі бюджетної сфери

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату грн.
Керівник	18000	857,1	5	4286
Інженер	15000	714,3	20	14286
Технік	12000	571,4	20	11429
Всього				30000

2. Витрати на основну заробітну плату робітників ($З_p$) за відповідними найменуваннями робіт розраховують за формулою:

$$З_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (4.7)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

t_i – час роботи робітника на виконання певної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (4.8)$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи або мінімальної місячної заробітної плати (залежно від діючого законодавства), грн;

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду;

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

T_p – середня кількість робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 21 \dots 23$ дні;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

Таблиця 4.8 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника, грн
1. Мийна. Мийна машина М1112	0,28	1	47,6	13,3
2. Дефектувальна. Дефектоскоп УД-12	0,2	4	71,4	14,3
3. Термічна установка ВЧ-150АВ	0,48	4	71,4	34,3
4. Токарна. Токарний верстат 16К-40П	1,52	4	71,4	108,6
5. Наплавлювальна. Наплавлювальна установка РМ-10	1,62	5	81,0	131,1
6. Токарна. Токарний верстат 16К-40П	0,62	5	81,0	50,2
7. Термічна. установка ВЧ-150АВ	0,48	4	71,4	34,3
8. Шліфувальна. Круглошліфувальний універсальний верстат	0,65	5	81,0	52,6
9. Контрольна. Дефектоскоп УД-12	0,2	4	71,4	14,3
Всього				453,0

3. Розрахунок додаткової заробітної плати робітників

Додаткова заробітна плата $З_d$ всіх розробників та робітників, які приймали участь в розробці нового технічного рішення розраховується як 10 - 12 % від основної заробітної плати робітників.

На даному підприємстві додаткова заробітна плата начисляється в розмірі 11% від основної заробітної плати.

$$З_d = (З_o + З_p) * \frac{Н_{дод}}{100\%} \quad (4.9)$$

$$З_d = 0,11 * (30000 + 453,0) = 3349,83 \text{ (грн)}$$

4. Нарахування на заробітну плату $Н_{зп}$ дослідників та робітників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи, розраховуються за формулою (4.10):

$$Н_{зп} = (З_o + З_p + З_d) * \frac{\beta}{100} \text{ (грн)} \quad (4.10)$$

де $З_o$ – основна заробітна плата розробників, грн.;

$З_d$ – додаткова заробітна плата всіх розробників та робітників, грн.;

$З_p$ – основну заробітну плату робітників, грн.;

β – ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування, % .

Дана діяльність відноситься до бюджетної сфери, тому ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування буде складати 22%, тоді:

$$Н_{зп} = (30000 + 453,0 + 3349,83) * \frac{22}{100} = 7436,62 \text{ (грн)}$$

5. Сировина та матеріали.

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби й предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за прямим призначенням згідно з нормами їх витрачання, а також витрачені придбані напівфабрикати, що підлягають монтажу або виготовленню й додатковій обробці в цій організації, чи дослідні зразки, що виготовляються виробниками за документацією наукової організації.

Витрати на матеріали (М) у вартісному вираженні розраховуються окремо для кожного виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{i=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{i=1}^n B_j \cdot C_{vj}, \quad (4.11)$$

де H_j – норма витрат матеріалу j -го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

C_j – вартість матеріалу j -го найменування, грн/кг;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$);

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

C_{vj} – вартість відходів j -го найменування, грн/кг.

Проведені розрахунки зведені в таблицю 4.9.

Таблиця 4.9 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Електродний дріт 30ХГСА	195	150	29250
Флюс	50	155	7750
Лобомід	32,88	12,2	401,136
Ганчір'я	7	0,5	3,5
Всього			37404
З врахуванням коефіцієнта транспортування			41145

6. Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт не передбачено.

Балансову вартість спецустаткування розраховують за формулою:

$$B_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.і}} \cdot K_i , \quad (4.12)$$

де C_i – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;

$C_{\text{пр.і}}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ($K_i = 1,10 \dots 1,12$);

k – кількість найменувань устаткування.

Отримані результати необхідно звести до таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Установка для наплавлювання	1	22000	22000
Компресор	1	12000	12000
Всього			37400

7. Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт .

Балансову вартість програмного забезпечення розраховують за формулою:

$$B_{\text{прог}} = \sum_{i=1}^k C_{\text{прог}} \cdot C_{\text{прог.і}} \cdot K_i , \quad (4.13)$$

де $C_{\text{прог}}$ – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

$C_{прг.i}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань програмних засобів.

Отримані результати необхідно звести до таблиці 4.11.

Таблиця 4.11 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Windows	1	800	800
Solid Works	1	4000	4000
Всього			5280

8. Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, можуть бути розраховані з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{обл} = \frac{Ц_{б}}{T_{с}} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (4.14)$$

де $Ц_{б}$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_{с}$ – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

Проведені розрахунки необхідно звести до таблиці 4.12.

Таблиця 4.12 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Персональний комп'ютер	25000	2	1	1041,67
Оптичний мікроскоп	23000	4	0,3	143,75
Компресор	12000	4	0,3	75,00
Установка для наплавлення	22000	4	0,25	114,58
Всього				1375,00

9. До статті «Паливо та енергія для науково-виробничих цілей» відносяться витрати на всі види палива й енергії, що безпосередньо використовуються з технологічною метою на проведення досліджень.

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yt} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{впi}}{\eta_i} \quad (4.15)$$

де W_{yt} – встановлена потужність обладнання на певному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн;

$K_{впi}$ – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{впi} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

Для написання магістерської роботи використовується персональний комп'ютер для якого розрахуємо витрати на електроенергію.

$$B_e = \frac{0,5 \cdot 225 \cdot 10,5 \cdot 0,5}{0,8} = 738,28$$

10. Службові відрядження.

Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуються як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$V_{\text{CB}} = (Z_o + Z_p) * \frac{H_{\text{CB}}}{100\%}, \quad (4.16)$$

де H_{CB} – норма нарахування за статтею «Службові відрядження».

$$V_{\text{CB}} = 0,2 * (30000 + 453,0) = 6090,6$$

11. Накладні (загальновиробничі) витрати $V_{\text{НЗВ}}$ охоплюють: витрати на управління організацією, оплата службових відряджень, витрати на утримання, ремонт та експлуатацію основних засобів, витрати на опалення, освітлення, водопостачання, охорону праці тощо. Накладні (загальновиробничі) витрати $V_{\text{НЗВ}}$ можна прийняти як (100...150)% від суми основної заробітної плати розробників та робітників, які виконували дану МКНР, тобто:

$$V_{\text{НЗВ}} = (Z_o + Z_p) * \frac{H_{\text{НЗВ}}}{100\%}, \quad (4.17)$$

де $H_{\text{НЗВ}}$ – норма нарахування за статтею «Інші витрати».

$$V_{\text{НЗВ}} = (30000 + 453,0) * \frac{100}{100\%} = 30453 \text{ грн}$$

Сума всіх попередніх статей витрат дає витрати, які безпосередньо стосуються даного розділу МКНР

$$B = 30000 + 453 + 3349,83 + 7436,62 + 41145 + 37400 + 5280 + 1375,00 + 738,28 + 6090,6 + 30453 = 163721,43$$

Прогнозування загальних втрат $ЗВ$ на виконання та впровадження результатів виконаної МКНР здійснюється за формулою:

$$ЗВ = \frac{B}{\eta}, \quad (4.18)$$

де η – коефіцієнт, який характеризує стадію виконання даної НДР.

Оскільки, робота знаходиться на стадії науково-дослідних робіт, то коефіцієнт $\beta = 0,5$.

Звідси:

$$ЗВ = \frac{163721,43}{0,5} = 327442,87 \text{ грн.}$$

4.3 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки

У даному підрозділі кількісно спрогнозуємо, яку вигоду, зиск можна отримати у майбутньому від впровадження результатів виконаної наукової роботи. Розрахуємо збільшення чистого прибутку підприємства $\Delta\Pi_i$, для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки, за формулою

$$\Delta\Pi_i = \sum_1^n (\Delta\Pi_o \cdot N + \Pi_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\nu}{100}\right) \quad (4.19)$$

де $\Delta\Pi_o$ – покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році.

N – основний кількісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році до впровадження результатів наукової розробки;

ΔN – покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки:

Π_o – основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки;

n – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки:

λ – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. Ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$.

p – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. $p = 0,25$;

x – ставка податку на прибуток. У 2024 році – 18%.

Припустимо, що при впровадженні результатів наукової розробки підвищиться якість відновлення робочих поверхонь прокатних валків та отримання економічного ефекту. Припустимо, що ціна зросте на 2000 грн. Кількість одиниць реалізованої продукції також збільшиться: протягом першого року на 90 шт., протягом другого року – на 80 шт., протягом третього року на 70 шт. Реалізація продукції до впровадження розробки складала 1 шт., а її ціна до 40000 грн. Розрахуємо прибуток, яке отримає підприємство протягом трьох років.

$$\begin{aligned}\Delta\P_1 &= [2000 \cdot 1 + (40000 + 2000) \cdot 90] \cdot 0,833 \cdot 0,25 \cdot \left(1 + \frac{18}{100}\right) \\ &= 646065,82 \text{ грн.}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta\P_2 &= [2000 \cdot 1 + (40000 + 2000) \cdot (90 + 80)] \cdot 0,833 \cdot 0,25 \cdot \left(1 + \frac{18}{100}\right) \\ &= 1221701,2 \text{ грн.}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta\P_3 &= [2000 \cdot 1 + (40000 + 2000) \cdot (90 + 80 + 70)] \cdot 0,833 \cdot 0,25 \cdot \left(1 + \frac{18}{100}\right) \\ &= 1723931,1 \text{ грн.}\end{aligned}$$

4.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності

Розрахуємо основні показники, які визначають доцільність фінансування наукової розробки певним інвестором, є абсолютна і відносна ефективність вкладених інвестицій та термін їх окупності.

Розрахуємо величину початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки.

$$PV = k_{\text{інв}} \cdot 3B, \quad (4.20)$$

$k_{\text{інв}}$ – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію. Це можуть бути витрати на підготовку приміщень, розробку технологій, навчання персоналу, маркетингові заходи тощо ($k_{\text{інв}} = 2 \dots 5$).

$$PV = 2 \cdot 327442,87 = 654885,73$$

Розрахуємо абсолютну ефективність вкладених інвестицій $E_{\text{абс}}$ згідно наступної формули:

$$E_{\text{абс}} = (ПП - PV) \quad (4.21)$$

де ПП – приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство від реалізації результатів наукової розробки, грн.;

$$ПП = \sum_1^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (4.22)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої НДЦКР, грн.;

T – період часу, протягом якою виявляються результати впровадженої НДЦКР, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,2;
 t – період часу (в роках).

$$ПП = \frac{646065,82}{(1 + 0,2)^1} + \frac{1221701,2}{(1 + 0,2)^2} + \frac{1723931,1}{(1 + 0,2)^3} = 2389077,34 \text{ грн.}$$

$$E_{\text{абс}} = (2389077,34 - 654885,73) = 1734191,61 \text{ грн.}$$

Оскільки $E_{abc} > 0$ то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів НДДКР може бути доцільним.

Розрахуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій E_g . Для цього користуються формулою:

$$E_g = T_{жс} \sqrt[3]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1, \quad (4.23)$$

$T_{жс}$ – життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_g = \sqrt[3]{1 + \frac{1734191,61}{654885,73}} - 1 = 0,85 = 85\%$$

Визначимо мінімальну ставку дисконтування, яка у загальному вигляді визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \quad (4.24)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2024 році в Україні $d = (0,14 \dots 0,2)$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина $f = (0,05 \dots 0,1)$.

$$\tau_{\min} = 0,18 + 0,05 = 0,23.$$

Так як $E_g > \tau_{\min}$ то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки.

Розрахуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_g} \quad (4.25)$$

$$T_{ок} = \frac{1}{0,85} = 1,2 \text{ роки}$$

Так як $T_{ок} \leq 3...5$ -ти років, то фінансування даної наукової розробки в принципі є доцільним.

4.5 Висновки до економічного розділу

Результати здійсненого технологічного аудиту вказують на високий рівень комерційного потенціалу. У порівнянні з аналогічним виробом виявлено, що нова розробка вищої якості і більш конкурентоспроможна, як з технічних, так і економічних позначень.

Вкладені інвестиції в структуроутворення поверхневих шарів прокатних валків стану 600 під час відновлення окупляться через 1,2 роки.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі наведені наступні основні результати виконаних теоретичних і експериментальних досліджень:

- вперше досліджено на натуральних зразках та імітаційній моделі вплив параметрів тепловкладень на формування полів температур та напружень;
- розподіл температурних полів має неоднорідний характер, що спричинено різною інтенсивністю відходу тепла із зони нанесення покриття у різних напрямках;
- досліджено, що кількість наплавлених валиків впливає на функціональне покриття та здатні створювати поверхневий шар необхідних функціональних властивостей;
- доведено, що твердість деталі зменшується в прямому порядку від місця початку наплавлення, до місця закінчення наплавлення, а вирівнювання твердості потребує додаткового нагріву;
- при дослідженні дефектів були виявлені наступні залежності: чим більша сила струму тим дефектів менше, при високій силі струму та великій площі поверхні, що наплавляється, виділення тепла дуже високе – з'являються пропали при великій зоні термічного впливу, а також структурні перетворення, які суттєво змінюють властивості наплавленого шару;
- розроблено технологічний процес відновлення прокатного валка електродуговим дуговим наплавленням з використанням проволоки Нп-30ХГСА;
- оптимізована термічна обробка, яка виключає довготривалий нагрів прокатного валка в печі на супутній нагрів деталі в процесі наплавлення з повільним остиганням після наплавлення у піску, що відповідає операції відпалу після наплавлення;
- проведені розрахунки САПР за допомогою експертної програми «Наплавка», яка підтвердила вибір наплавлювального дроту та розрахунки

режимів наплавки, що забезпечують високу продуктивність відновлення і зменшують трудомісткість та витрати часу.

- Результати здійсненого технологічного аудиту вказують на високий рівень комерційного потенціалу. У порівнянні з аналогічним виробом виявлено, що нова розробка вищої якості і більш конкурентоспроможна, як з технічних, так і економічних позначень.

Вкладені інвестиції в структуроутворення поверхневих шарів прокатних валків стану 600 під час відновлення окупляться через 1,2 роки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Большаков В. І. Прикладне матеріалознавство: Підручник для студентів вищих технічних навчальних закладів. 2-е вид., доповнено і перероблено/ Большаков В. І., Береза О. Ю., Харченко В. І. Під ред. доктора технічних наук, проф. В. І. Большакова. – РВА «Дніпро-VAL»: 2000. – 290 с.
2. Василик А.В. Теплові розрахунки при зварюванні / А.В. Василик, Я.А. Дрогомирецький, Я.А. Криль. – Івано-Франківськ: Факел, 2004. – 209с.
3. Відновлення та підвищення зносостійкості і терміну експлуатації деталей машин / Под ред. д.т.н., проф. В.С. Попова. – Мотор Січ, 2004. – 394 с.
4. Гасило Ю.А. «Напруження та деформації при зварюванні» – Конспект лекцій для студентів денної форми навчання з напрямку 7.050504 - Технологія та устаткування зварювання.// Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2015р., 48стор.
5. В.В. Нетребко. Напруження та деформації при зварюванні – Конспект лекцій для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізація «Технологія та устаткування зварювання», «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» всіх форм навчання. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 61с.
6. Іванов М. І., Технологічні основи сільськогосподарського машинобудування Частина 1 / Ж. П. Дусанюк., С. В. Дусанюк., О. М. Іванова., С. А. Шаргородський, -М.: Машиностроение, 2007 – 276с.
7. Іванов М. І., Технологічні основи сільськогосподарського машинобудування Частина 2/ Ж. П. Дусанюк., С. В. Дусанюк., О. М. Іванова, -Х.: Машиностроение 2009 – 203с.
8. Гругурко І.О. Технологія машинобудування (дипломне проектування. Навчальний посібник./І.О. Григурко, М.Ф. Брендуля, С.М. Доценко – 2007р. –768 с.

9. Козловський В. О. Інноваційний менеджмент. Практикум. / В. О. Козловський, О. Й. Лесько. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 166 с.
10. Лобанов Л.М. Залишкові напруження в зварних з'єднаннях високоміцних сталей / Л.М. Лобанов, Л.І. Міходуй, О.Л. Міходуй // Праці міжн. конф. "Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій". Т1, Випуск 2. -Львів.: Каменяр, 1999. – С.21–31.
11. Наплавлення: навч. посібник // Власов А.Ф., Кузнецов В.Д., Макаренко Н.О., Богуцький О.А. – Краматорськ, ДДМА, 2010. – 336с.
12. Шиліна О. П., Газотермічні методи напилювання покриття / О. П. Шиліна, А. Ю. Осадчук - М.: Машиностроение. 2005 – 134с.
13. Савуляк В.І. Відновлення деталей автомобілів. Навчальний посібник / В.І. Савуляк, В.Т. Івацько. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 104 с.
14. Савуляк В.І. Відновлення деталей автомобілів: Лабораторний практикум. / Савуляк В.І. , Івацько В.Т. – Вінниця : ВНТУ, 2004. – 96 с.
15. Савуляк В. І. Наплавлення високовуглецевих покриттів з використанням вуглецевих волокон / В. І. Савуляк, С.А. Заболотний, В. Й. Шенфельд // Проблеми трибології. – 2010. – №1. – С. 66 – 70.
16. Савуляк В. І. Магістерська кваліфікаційна робота з матеріалознавства. Загальні вимоги та рекомендації до її виконання : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс]. / В. І. Савуляк, О. П. Шиліна – Вінниця : ВНТУ, 2024. – 64 с.
17. Савуляк В.І. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Проектування технологічних процесів відновлення поверхонь» для студентів за напрямком 050504 – Зварювання, спеціальності 7.050504 – Технологія та устаткування відновлення та підвищення зносостійкості машин і конструкцій. / В.І. Савуляк, В.Й. Шенфельд. – Вінниця: ВНТУ [Електронний ресурс], 2009. – 186 с.

18. Савуляк В.І., Технічне нормування в ремонтному виробництві / В.І. Савуляк, С.П. Білошицький. – Вінниця: ВНТУ [Електронний ресурс], 2009. – 242 с.
19. Скібіцький О. М. Інноваційний та інвестиційний менеджмент: навч. посіб. [для студ. вищ. навч. закл.] / О. М. Скібіцький – К.: Центр учбової літератури, 2009. – 408 с.
20. Савуляк В.І. Матеріалознавство. Організація самостійної та практичної роботи : навчальний посібник / В. І. Савуляк, О. П. Шиліна, В. Й. Шенфельд. – Вінниця : ВНТУ, 2019. – 123 с.
21. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

Додаток А
(обов'язковий)

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ПРОКАТНИХ
ВАЛКІВ СТАНУ 600 ПІД ЧАС ВІДНОВЛЕННЯ

ПОГОДЖЕНО

Керівник або заступник

Назва підприємства або установи

Підпис

Ініціали та прізвище

2023 р.



ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ГМ,

д.т.н., проф.

Леонід ПОЛІЩУК

“ 17 ” вересня 2024 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ПРОКАТНИХ
ВАЛКІВ СТАНУ 600 ПІД ЧАС ВІДНОВЛЕННЯ

08 – 62.МКР.001.00.000 ТЗ

Керівник: к.т.н., доцент каф. ГМ

 Олена ШИЛІНА

Виконав: ст.гр. 13В-23м

 Владислав ГЛАДКИХ

Вінниця ВНТУ 2024

Розробка технічного завдання на магістерську кваліфікаційну роботу складається з основних етапів, які відповідають стандарту та ГОСТ 2.103-2013.

Підстава для розробки наказ ректора ВНТУ № 310 “17” вересня 2024 року.

1 Назва та об’єкт проектування

Назва: СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ПРОКАТНИХ
ВАЛКІВ СТАНУ 600 ПІД ЧАС ВІДНОВЛЕННЯ

Умовне позначення: 08-62.МКР.001.00.000 ТЗ.

«Прокатні валки» – робочий орган (інструмент) прокатного стану. Валками виконується основна операція прокатки – деформація (обтиснення) металу для надання йому необхідних розмірів і форми.

Поверхня бочки, має циліндричну форму та служить, як робоча поверхня, що прокатує вироби, до неї висуваються досить високі вимоги на точність і шорсткість. Поверхня має бути виконана за дванадцятим квалітетом точності з шорсткістю не більше як $R_a=12,5$ мкм., та мати допуск співвісності не більше ніж 0,33 мм.

Конічні поверхні – цапфи, є опорними поверхнями, що встановлюється у втулках ковзання до яких висуваються вимоги точності за дванадцятим квалітетом і шорсткістю $R_a = 1,25$ мкм. Відхилення від форми торців цих поверхонь, не повинна перевищувати 0,33мм

Поверхні – посадки під підшипники, повинні мати шорсткість $R_a = 1,25$ мкм. а відхилення від форми не повинно перевищувати 0,07 мм.

Основні розміри прокатного валка (діаметр і довжина бочки) залежать від сортаменту оброблюємої продукції, діаметр прокатного валка для гарячої прокатки становить від 250—300 мм (прокатка дроту) до 1000—1400 мм (прокатка блюмів і слябів). Для холодної прокатки застосовують валки діаметром від 5—600 мм.

На кресленні деталі немає специфічних вимог і тому немає необхідності змінювати вимоги.

Квалітети точності та шорсткість оброблюваних поверхонь можуть бути забезпечені при застосуванні відповідних методів обробки та кількості переходів. Відносно розташування поверхонь може бути забезпечене за рахунок застосування відповідних схем базування при механічній обробці та правильної організації змісту операцій .

2 Мета, завдання, призначення та джерела розробки

Розробка технологічного процесу проводиться на основі завдання на магістерську кваліфікаційну роботу згідно наказу ректора ВНТУ “17” вересня 2024 року № 310, складеного у відповідності до вимог навчального плану підготовки спеціалістів у ВНТУ і затвердженого кафедрою ГМ.

Призначенням даної магістерської кваліфікаційної роботи є виконання технологічних та конструкторських розробок для вдосконалення технологічного процесу аналога. Це можливо досягнути шляхом введення необхідних операцій для кращих експлуатаційних властивостей вал-шестерні, проведення необхідних розрахунків оптимальних режимів обробки та модернізації, або проектуванням нової конструкції окремого технологічного обладнання.

Мета і завдання роботи.

Метою роботи є підвищення якості відновлення робочих поверхонь прокатних валків за рахунок автоматизації робочого процесу, використання новітніх розробок відновлювального обладнання, вибір та обґрунтування раціональних параметрів і режимів технологічного процесу.

Для здійснення поставленої мети необхідно виконати наступні задачі:

1. На основі аналізу службового призначення вузла та деталі провести дефектацію прокатних валків з метою виявлення поверхонь з недостатньою зносостійкістю.

2. Дослідити вплив температурних полів, які виникають в процесі відновлення на структуру та експлуатаційні якості наплавленого шару;
3. Вибрати та обґрунтувати раціональний спосіб відновлення та зміцнення зношених поверхонь і на основі цього розробити маршрут технологічного процесу відновлення прокатного валка.

Джерелами розробки є:

- методика проектування технологічного процесу відновлення деталей типу вал;
- методика модернізації та проектування конструкції технологічного обладнання;
- вимоги до комплексу документів “Єдина система конструкторської та технічної документації”;
- загальні правила класифікації, розробки технологічних процесів і вибір засобів технологічного оснащення та процесів Р 50-54-93-88;
- ДЕСТ 14.305-93 – Правила вибору технологічної оснастки;
- технічна література, довідникові видання.

1. Савуляк В. І. Магістерська кваліфікаційна робота з матеріалознавства. Загальні вимоги та рекомендації до її виконання : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс]. / В. І. Савуляк, О. П. Шиліна – Вінниця : ВНТУ, 2024. – 64 с.

2. Шиліна О.П. Газотермічні методи напилювання покриттів. Навчальний посібник./ О.П. Шиліна, А.Ю. Осадчук/ ВНТУ, 2006. – 103 с

3. Гругурко І.О. Технологія машинобудування (дипломне проектування. Навчальний посібник./І.О. Григурко, М.Ф. Брендюля, С.М. Доценко – 2007р. –768 с.

4. Відновлення та підвищення зносостійкості і терміну експлуатації деталей машин/Под ред. д.т.н., проф. В.С. Попова. – Мотор Січ, 2004. – 394с.

5. Нанесення покриття : [навчальний посібник] / [В. М. Корж,

В. Д. Кузнецов, Ю. С. Борисов, К. А. Ющенко] ; за редакцією академіка НАН України К. А. Ющенка – К. : Аристей, 2005. – 204 с.

6. Наплавлення: навч. посібник // Власов А.Ф., Кузнецов В.Д., Макаренко Н.О., Богуцький О.А. – Краматорськ, ДДМА, 2010. – 336с.

7. Козловський, В. О. Основи підприємництва : навчальний посібник. Видання 3-ге, переробл. та доповн. / В. О. Козловський. Вінниця: 2023. 132с.

8. Оснач О. Ф. Промисловий маркетинг: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / О. Ф. Оснач, В. П. Пилипчук, Л. П. Коваленко – К.: Центр учбової літератури, 2009. – 364 с.

9. Савуляк В.І. Відновлення деталей автомобілів. Навчальний посібник / В.І. Савуляк, В.Т. Івацько. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 104 с.

10. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

3 Технічні вимоги та економічні показники

3.1 Вимоги до загальної структури і послідовності проектування

Зміст розділів магістерської кваліфікаційної роботи та строки їх виконання визначаються завданням на магістерську кваліфікаційну роботу та положенням кафедри за модульно-рейтинговою оцінкою рівня та термінів виконання роботи.

Стадії розробки та етапи робіт встановлені за ГОСТ 2.103-2013.

Поетапні строки, що вказуються в ТЗ, є орієнтовними. Основними строками виконання робіт вважають строки, які встановлені в плані дослідно-конструкторських робіт.

Зміст стадій проектування та строки їх виконання визначаються завданням на магістерську кваліфікаційну роботу.

3.2 Вихідні дані для технологічного проектування

Приймаємо наступні вихідні дані для технологічного проектування:

- річний обсяг ремонту прокатних валків 500 шт,
- знос поверхонь, що відновлюються менше 0,5 мм, від робочого креслення.

3.3 Вимоги до рівня уніфікації та стандартизації

З метою підвищення надійності, ремонтпридатності та економічності експлуатації технологічного обладнання, що розробляється, слід максимально застосувати стандартні вироби.

Рівень стандартизації та уніфікації конструкції повинен складати не менше 80%.

4 Стадії та етапи розробки

Проектування технологічного процесу повинно проводитись з використанням варіантного пошуку раціонального рішення, включати такі основні етапи:

- розробка основної проектної задачі;
- технологічне проектування технологічного процесу;
- розробка обладнання та пристосування для технологічного процесу;
- економічна ефективність розробок.

5 Порядок контролю та приймання

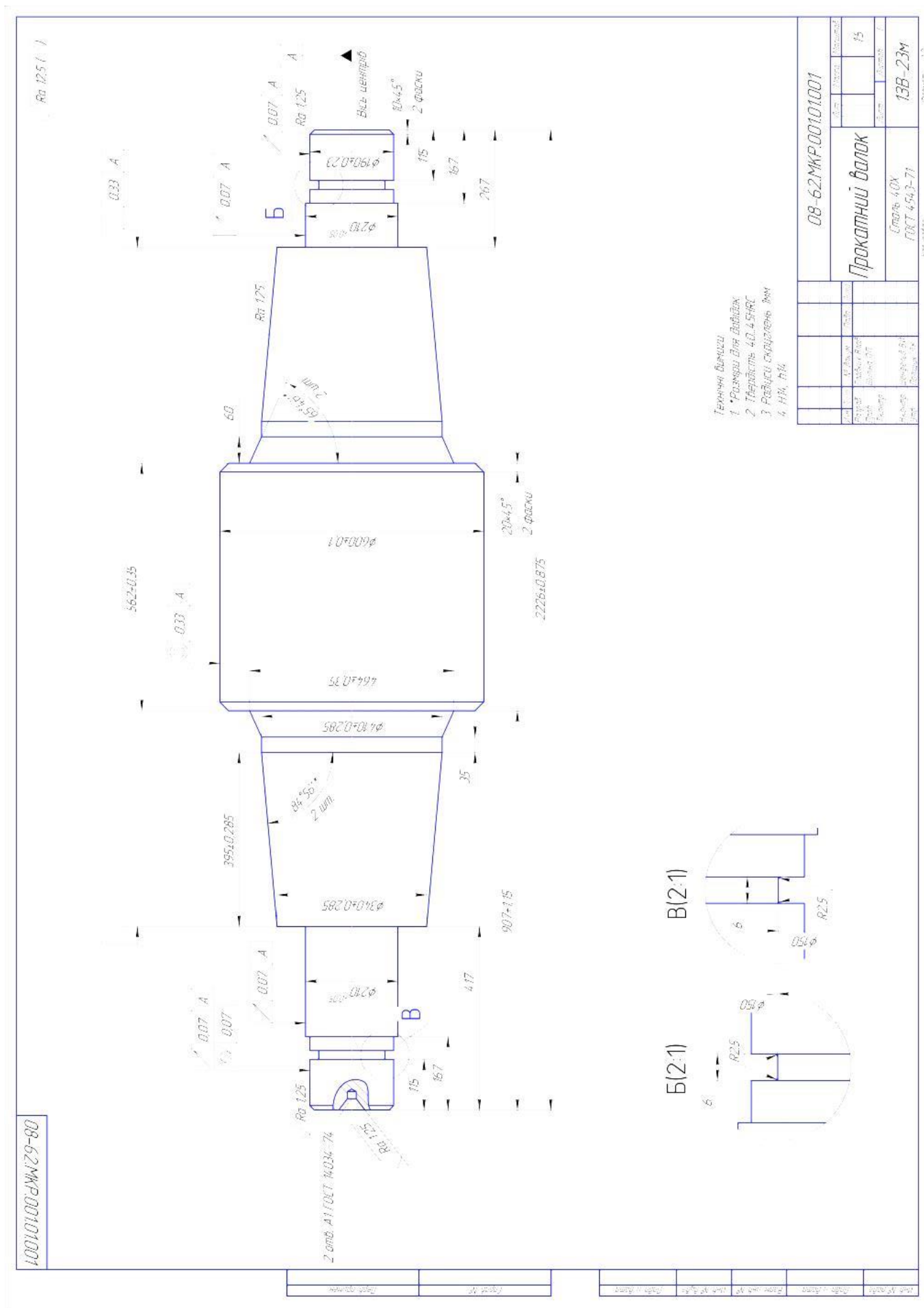
Контроль та приймання розробок виконується у відповідності до „Положення про дипломне проектування” на кафедрі ГМ.

Технічне завдання оформлюється у відповідності з загальними вимогами до текстових конструкторських документів по ГОСТ 2.705-2013, на листах формату А4 по ГОСТ 9327-90.

Додаток В
(обов'язковий)

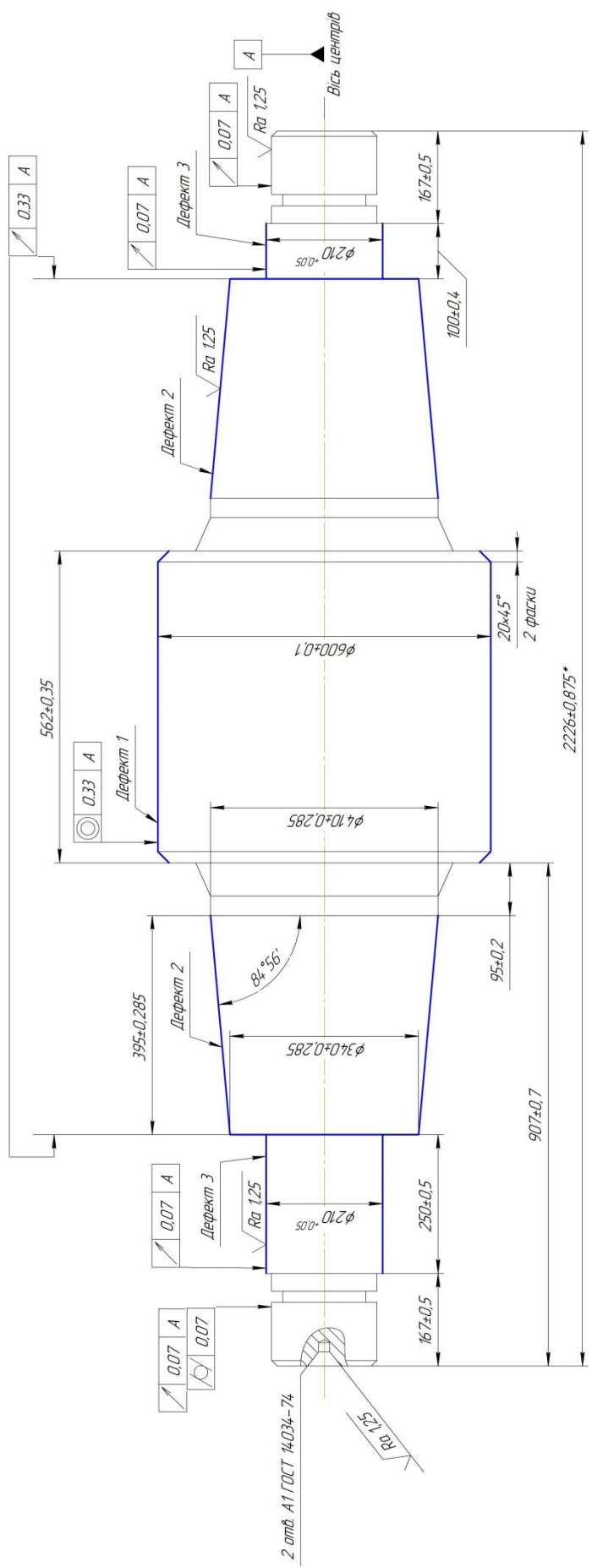
ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

**СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ПРОКАТНИХ
ВАЛКІВ СТАНУ 600 ПІД ЧАС ВІДНОВЛЕННЯ**



08-62.МКР.00101001Р

Ra 12.5



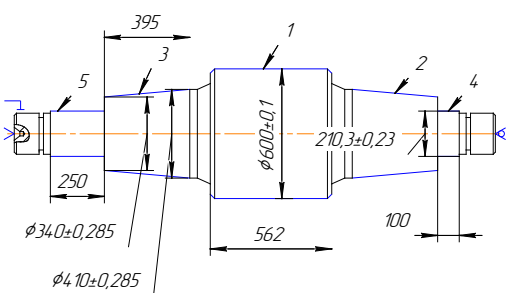
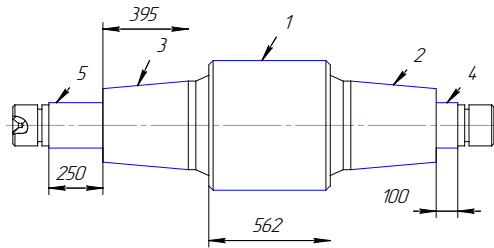
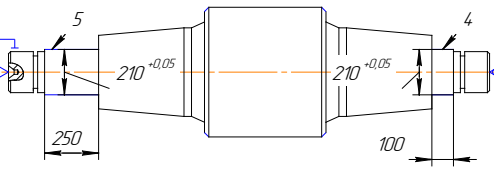
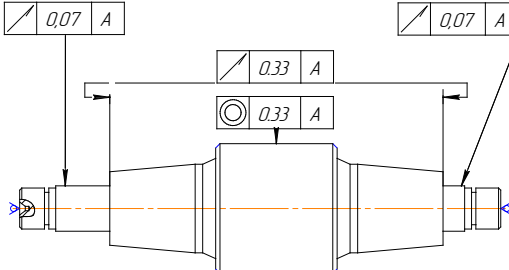
- Технічні вимоги:
- 1. *Розміри для довідок
 - 2. Твердість 55-58HRC
 - 3. Не вказані радіуси скруглень 1мм
 - 4. H14, h14

№ дефекту	Вид дефекту	Керівник	Основний спосіб усунення дефекту	Допустимий спосіб усунення дефекту
1	Знос робочої поверхні прокатного валка до розміру $\phi 595.5$	0,7	Автоматичне напівлення під шаром флюсу	Автоматичне напівлення в середовищі захисних газів
2	Знос опорних поверхонь прокатного валка	0,4	Автоматичне напівлення під шаром флюсу	Автоматичне напівлення в середовищі захисних газів
3	Знос поверхонь під підшипники до розміру $\phi 209$	0,4	Автоматичне напівлення під шаром флюсу	Автоматичне напівлення в середовищі захисних газів

Прокатний валок не приймається на відновлення при наявності сколів та тріщин.

08-62.МКР.00101001Р		Лист	Маса	Наклад
Прокатний валок (ремонтне креслення)		Лист	15	1
Сталь 40Х ГОСТ 4543-71		Лист	13В-23М	
Начальник	Пров.	Начальник	Пров.	Начальник
Инж. № подл.	Инж. № вкл.	Инж. № подл.	Инж. № вкл.	Инж. № подл.
Взам. инв. №	Взам. инв. №	Взам. инв. №	Взам. инв. №	Взам. инв. №
Дата	Дата	Дата	Дата	Дата
Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата

08-62.МКР.01.000 ТП

№	Назва операції та зміст переходу	Ескіз обробки та схема установки	Обладнання
030	Токарна 1. Встановити деталь. 2.Точити поверхню 1, (до розмірів за ескізом). 3.Точити поверхні 2 та 3, (до розмірів за ескізом). 4.Точити поверхні 4 та 5 (до розмірів за ескізом). 5.Зняти деталь.		1. Токарний верстат моделі 16К-40П. 2. Різці із твердосплавними пластинами ВК8КС.
035	Термообробка Нагріти поверхні 1, 2, 3, 4 та 5 за допомогою індуктора до температури 830°C		ТВЧ індуктор марки ВЧ-160АВ
040	Шліфувальна 1. Встановити деталь. 2.Шліфувати поверхню 4, до розмірів за ескізом. 3.Шліфувати поверхню 5, до розмірів за ескізом. 4.Зняти деталь.		
045	Контрольна 1. Встановити деталь. 2. Перевірити допуски форми деталі шорсткість та розміри. 3. Зняти деталь.		1. Контрольний стіл з центрами. 2. Магнітний стояк з індикатором. 3. Штангенциркуль. 4. Мікрометр. 5. Зразки шорсткості поверхні ГОСТ-2789-73.

Перш. примірник

Стор. №

Лист №

Взам. шиф. №

Лист №

Лист №

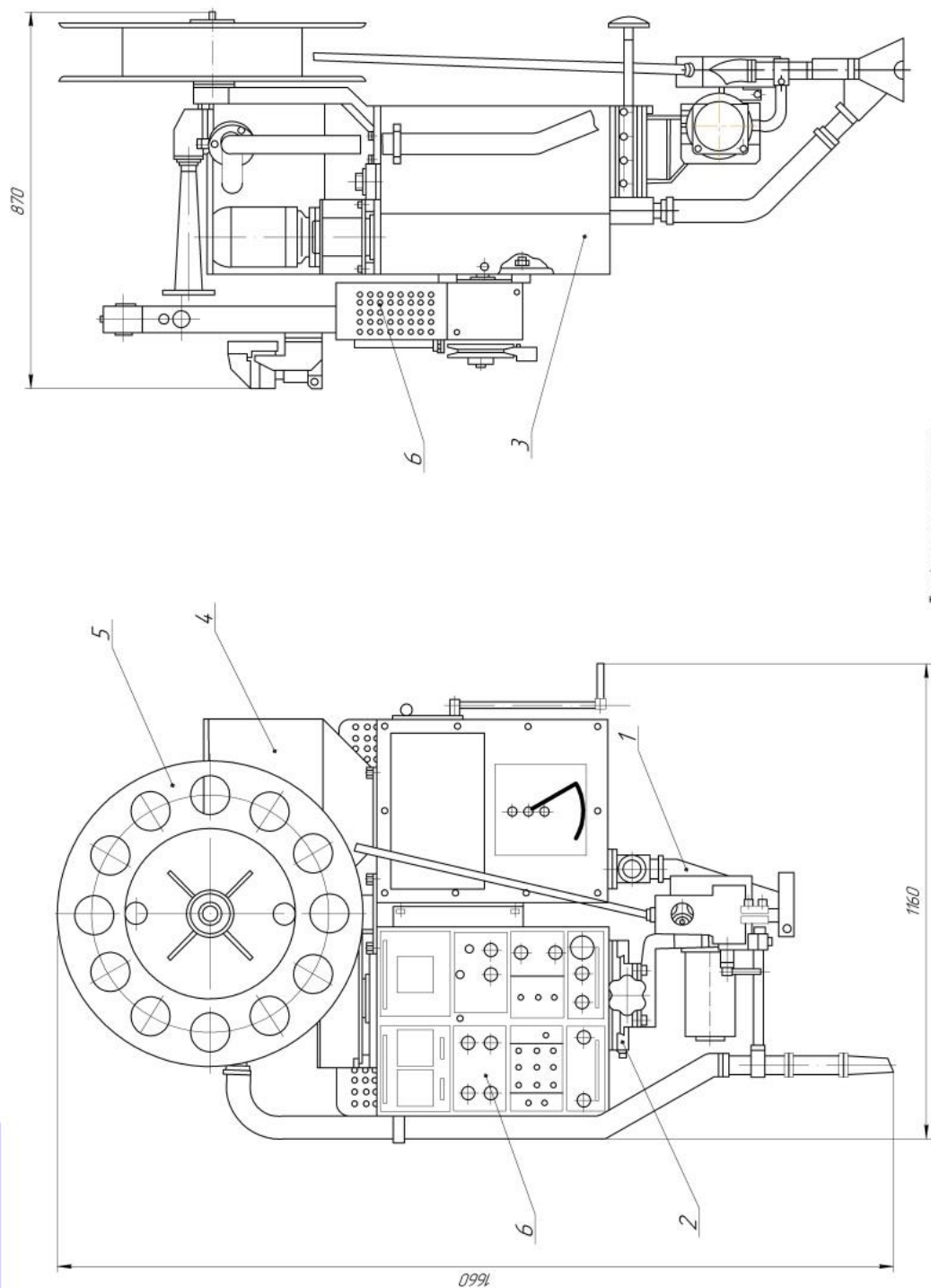
Лист №

08-62.МКР.01.000 ТП

Лист	Маса	Масштаб
11		
Лист	Листов	1
13В-23М		
Формат	A2	

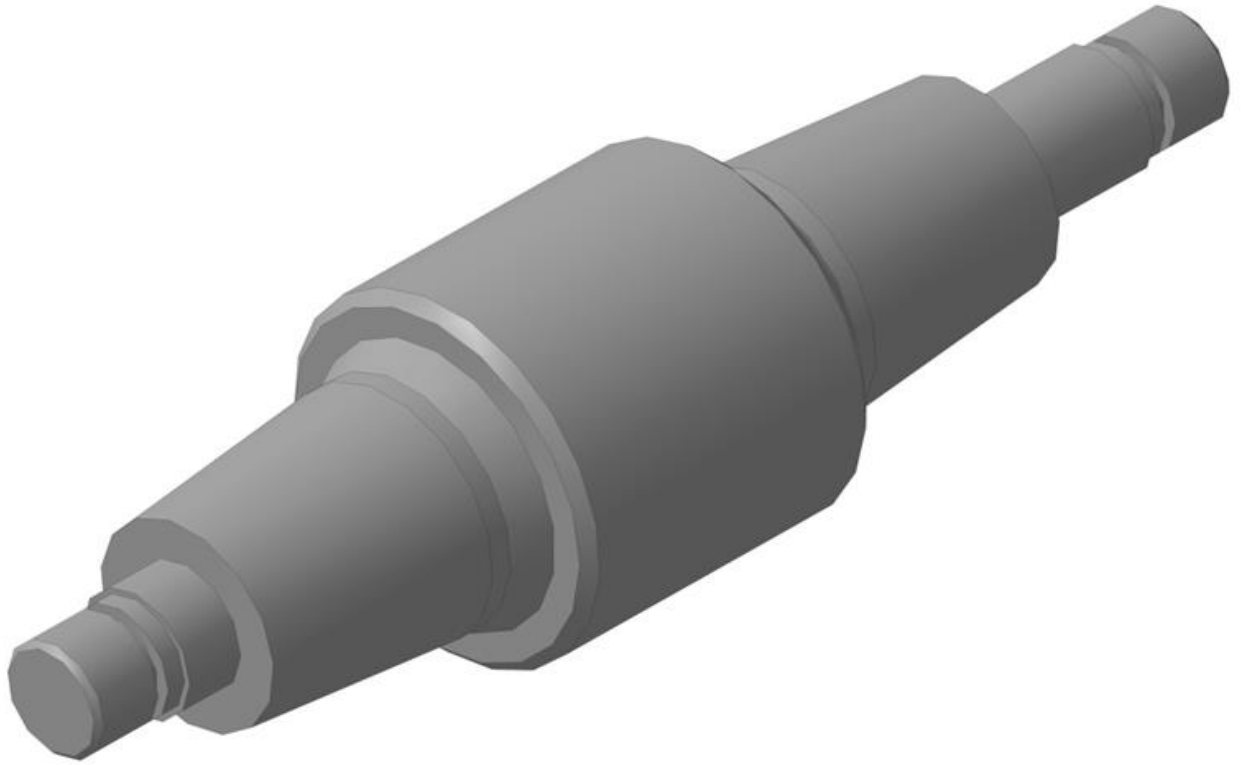
Копіював

Формат

08-62 МКР.001.000.003 СК[illegible]

Номинальний зваривальний струм, А	1000
Швидкість подачі проволочки, м/год	53-532
Діаметр проволочки, мм	2,0-5,0
Напруга мережі, В	380
Швидкість зварювання, м/год	16-120

[illegible]



[illegible]

Додаток Г
(обов'язковий)

СПЕЦІФІКАЦІЯ

**СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ПРОКАТНИХ
ВАЛКІВ СТАНУ 600 ПІД ЧАС ВІДНОВЛЕННЯ**

[illegible]

Додаток Д
(обов'язковий)

**ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ
ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ
СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ПРОКАТНИХ
ВАЛКІВ СТАНУ 600 ПІД ЧАС ВІДНОВЛЕННЯ**

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Структурування поверхневих шарів прокатних валків стану 600 під час відновлення»

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ Кафедра «Галузевого машинобудування», ФМТ.
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Turnitin

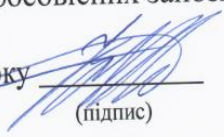
Оригінальність 82% Схожість 18%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

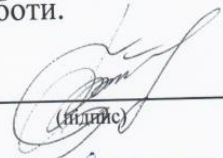
✓ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.

3. Виявлені у роботі запозичення с недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку  Шенфельд В. Й.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Turnitin щодо роботи.

Автор роботи  Гладких В. О.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи  Шиліна О. П.
(підпис) (прізвище, ініціали)