

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет гірничо-металургійний
Кафедра металургії матеріалознавства та організації виробництва

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП

Володимир ПАШИНСЬКИЙ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Інноваційна діяльність в матеріалознавстві»
за спеціальністю 132 Матеріалознавство

на тему «Розробка заходів по підвищенню ресурсу наплавлених колісних пар шляхом вдосконалення процесу наплавки»

Керівник роботи

Бойко Ігор
Олександрович

Консультант від
бази практики

Зоря Сергій Григорович

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач

Кашуба Юлія Андріївна

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Віктор КОЛЕСНИК

Кам'янське 2024

	ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет	Гірничо-металургійний
Кафедра	Металургії, матеріалознавства та організації виробництва
Ступінь вищої освіти	магістр
Спеціальність	132 Матеріалознавство
ОПП	Інноваційна діяльність у матеріалознавстві

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП



Володимир

ПАШИНСЬКИЙ

«05» грудня 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Кашуби Юлії Андріївни
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Розробка заходів по підвищенню ресурсу наплавлених колісних пар шляхом вдосконалення процесу наплавки
керівник роботи Бойко Ігор Олександрович, доцент, канд. техн. наук,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом Університету від 29.08. 2023 р. №137.1/29.08.2023
2. Термін подання роботи 08.01.2024 р.
3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти з автоматизації, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики кваліфікаційної роботи, літературні джерела, технологічні інструкції, дані ТОВ «Метінвест-Промсервіс», м. Кривий Ріг, результати власних експериментів та досліджень тощо
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз питання та постановка задачі дослідження (літературний огляд, недоліки існуючих процесів та матеріалів, сучасні тенденції). 2. Матеріал та методика досліджень (марки та характеристики матеріалів, характеристика відібраних зразків, режими їх обробки (при наявності), методики визначення характеристик матеріалів та обробки даних). 3. Отримані результати та їх аналіз 4. Практичні рекомендації із застосування отриманих результатів. Економічне оцінка запропонованих рішень, Заходи з промислової безпеки та захисту навколишнього середовища (при потребі). Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.
5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Презентація з вказанням результатів аналізу питання, задач дослідження, матеріалів та методики дослідження, опису отриманих результатів, економічна оцінка, промислова безпека та захист середовища, висновок

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
1	Бойко Ігор Олександрович, доцент
2	Бойко Ігор Олександрович, доцент
3	Бойко Ігор Олександрович, доцент
4	Бойко Ігор Олександрович, доцент
5	Бойко Ігор Олександрович, доцент

7. Дата видачі завдання 05.12.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Аналіз питання та постановка задачі дослідження	25.12.2023 – 28.12.2023
2	Розділ 2. Матеріал та методика досліджень	25.12.2023 – 28.12.2023
3	Розділ 3. Отримані результати та їх аналіз	28.12.2023 – 02.01.2024
4	Розділ 4. Практичні рекомендації із застосування отриманих результатів. Економічне оцінка запропонованих рішень, Заходи з промислової безпеки та захисту навколишнього середовища	03. 01.2024 – 07.01.2024
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	07.01.2024 – 08.01.2024
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	08.01.204 – 10.01.2024
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	10.01.2024 – 16.01.2024
8	Рецензування завершеної роботи. Захист	16.01.2024 – 24.01.2024

Здобувач



(Кашуба Юлія Андріївна)

Керівник
роботи



(Бойко Ігор Олександрович)

РЕФЕРАТ

Тема роботи: «Розробка заходів по підвищенню ресурсу наплавлених колісних пар шляхом вдосконалення процесу наплавки».

Робота містить 179 стор., 59 рис., 8 табл., 12 слайдів.

Викладення змісту роботи: Наведена у магістерській дисертації робота направлена на підвищення ресурсу наплавлених колісних пар та збільшення періоду між наплавленням гребнів та зменшення дефектів наплавлення.

Об'єкт і предмет дослідження: Об'єктом дослідження є лінія автоматичного дугового безвискатного наплавлення під шаром флюсу, предметом дослідження - колісна пара, яку наплавляли декілька разів, з тріснувшим бандажем.

Мета і завдання роботи: Вдосконалення технології процесу безвискатного наплавлення колісних пар локомотивів методом автоматичного дугового наплавлення під флюсом, підвищення їх зносостійкості та зменшення часу знаходження локомотивів у ремонті.

Методи дослідження: У роботі використовувалися наступні методи: оптико-емісійний спектральний аналіз для визначення хімічного складу основного металу колісної пари та напавленого шару; металографічний та фрактографічний аналіз з метою дослідження мікроструктури зразка та виявлення причин виникнення дефектів при напавленні (холодні тріщини).

Результати дослідження: Вдосконалений процес безвкатного наплавлення гребнів колісної пари локомотиву методом автоматичного дугового наплавлення під шаром флюсу, підібрані оптимальні температури процесу та матеріал.

Область застосування: ремонт локомотивів в локомотивному депо цеху Північний ТОВ «Метінвест-Промсервіс»

Стислі висновки: В ході виконання роботи був розглянутий технологічний процес наплавлення бандажованих колісних пар локомотивів, а також використовувані матеріали – флюс, порошковий дріт.

При отриманні результатів хімічного складу основного металу та наплавленого шару, було виявлено обезвуглецювання, що призводить до втрати міцності металу.

Для підвищення вмісту вуглецю в наплавленому шарі гребня колісної пари запропоновано використання більш вуглецевмісного порошкового дроту Hardsteel 330, що збільшить зносостійкість гребня колісної пари та зменшить вірогідність утворення закалочних структур та холодних тріщин. Також вдосконалено технологічний процес наплавлення (попередній підігрів, підготовка матеріалів).

Дотримуючись рекомендованого технологічного процесу та використання дроту Hardsteel 330 дозволить збільшити міжремонтний інтервал гребеня колісної пари у 1,5 рази, що скоротить витрати на ремонт рухомого складу 614,5 тисяч грн на рік.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: колісна пара, гребінь, наплавлення, мікроструктура, спектральний аналіз

ABSTRACT

Theme of the work: " Developing measures to increase the service life of resurfaced wheelsets by improving the surfacing process".

The work contains 179 pages, 59 figures, 8 tables, 12 slides.

Summary of the work: The work presented in the master's thesis is aimed at increasing the service life of surfaced wheelsets and increasing the period between surfacing of the ridges and reducing surfacing defects.

Object and subject of research: The object of the study is an automatic submerged arc surfacing line under a flux layer, and the subject of the study is a wheelset that has been surfaced several times with a cracked band.

Purpose and objectives: To improve the technology of the process of rolling-free surfacing of locomotive wheelsets by automatic submerged arc surfacing, to increase their wear resistance and reduce the time spent in repair.

Research methods: The following methods were used in the study: optical emission spectral analysis to determine the chemical composition of the base metal of the wheelset and the deposited layer; metallographic and fractographic analysis to study the microstructure of the sample and identify the causes of defects during surfacing (cold cracks).

Research results: The process of rolling-free surfacing of locomotive wheelset ridges by automatic submerged arc surfacing was improved, and the optimum process temperatures and material were selected.

Application: repair of locomotives in the locomotive depot of the Severny Shop of Metinvest-Promservice LLC.

Brief conclusions: In the course of the work, the technological process of surfacing locomotive wheelsets with bandages, as well as the materials used - flux and flux-cored wire - were considered.

The results of the chemical composition of the base metal and the deposited layer revealed decarburisation, which leads to a loss of metal strength.

To increase the carbon content in the welded layer of the wheel set ridge, it is proposed to use a more carbon-containing flux-cored wire Hardsteel 330, which will increase the wear resistance of the wheel set ridge and reduce the likelihood of formation of hardening structures and cold cracks. The surfacing process (preheating and material preparation) was also improved.

Adherence to the recommended technological process and the use of Hardsteel 330 wire will increase the overhaul interval of the wheel set ridge by 1.5 times, which will reduce the cost of rolling stock repair by UAH 614.5 thousand per year.

KEYWORDS: wheel set, ridge, surfacing, microstructure, spectral analysis

ЗМІСТ

Завдання на випускню магістерську роботу.....	2
РЕФЕРАТ.....	4
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ВІДНОВЛЕННЯ КОЛІСНИХ ПАР РУХОМОГО СКЛАДУ	
1.1. Огляд конструкції та умов експлуатації колісних пар.....	12
1.2. Причини зношення колісних пар.....	19
1.3. Методи поверхневого зміцнення.....	27
1.4. Наплавочні матеріали та стандарти.....	46
1.5. Постановка задачі дослідження.....	65
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	
2.1. Методика визначення хімічного складу металу.....	67
2.2. Методика проведення металографічних досліджень.....	101
2.3. Методика визначення зносостійкості.....	108
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ БЕЗВИКАТНОГО НАПЛАВЛЕННЯ ТА ЇЇ СУЧАСНА РЕАЛІЗАЦІЯ	
3.1. Аналіз технології, її переваги та недоліки.....	117
3.2. Дефекти наплавлених деталей та методи їх усунення.....	128

3.3. Обладнання для реалізації процесу безвкатного наплавлення.....	133
3.4. Термічний цикл при багат шаровому наплавленні та його вплив на властивості наплавленого металу.....	140
РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА	
4.1. Металографічний аналіз зони термічного впливу.....	143
4.2. Металографічний аналіз наплавленого металу в робочій частині.....	146
4.3. Аналіз причин обезвуглецьовування робочих частин колісних пар при багатократному відновленні.....	148
4.4. Обґрунтування застосування порошкового дроту марки Hardsteel 330.....	155
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІКА.....	159
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	162
ВИСНОВКИ.....	173
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	174
ДОДАТОК А Хімічний склад сталі.....	179

ВСТУП

Залізничний транспорт та сфера, що пов'язана з ним є стратегічною галуззю економіки України. Особливо під час війни, залізничний транспорт займає перше місце в логістиці та є дуже перенавантаженим.

Нажаль, в умовах підвищеної експлуатації та обмеженості ресурсу для повноцінного ремонту локомотивів відстежується значне погіршення стану локомотивного парку, зокрема колісних пар. Наразі зношення колісних пар через умови експлуатації та стану тракціонних шляхів – одна із головних проблем ремонту рухомого складу. Тому гостро стоїть питання по підвищенню ресурсу колісних пар залізничного рухомого складу [1].

Проблемі зносу колісних пар присвячено досить багато робіт. Даною темою займалося багато вчених. На основі спостережень та експериментів робилися висновки про вплив різних чинників на інтенсивність зносу. На основі теоретичних досліджень будувалися моделі явищ зносу. Для розробки заходів з підвищення ресурсу колісних пар необхідно розглянути фактори, що впливають на зношування колісної пари локомотива, види та причини пошкодження, а також провести аналіз існуючих заходів підвищенню їч ресурсу.

Локомотивний парк УЗТ ПРАТ «ПівнГЗК» - найбільший у місті Кривий Ріг та складається з локомотивів серії ТЕ10М – 48 одиниць, ТЕ116 – 8 одиниць, ЧМЕ-3 – 9 одиниць, ТЕМ-2 – 14 одиниць та тягових агрегатів серії ОПЕ1АМ, НП1 – 31 одиниця. Кількість колісних пар тепловозів складає 6 штук, а електровозів (тягових агрегатів) – 12 штук. Загальна кількість колісних пар локомотивного парку складає 474 штук тепловозних та 372 штуки електровозних.

З метою підвищення зносостійкості колісних пар локомотивів пропонується вдосконалити процес наплавлення шляхом підбору

матеріалу з більш підходящими фізичними властивостями, режимів температур нагрівання та охолодження колеса, щоб уникнути руйнування бандажів, підготовки та контролю якості матеріалу, який використовується при наплавленні та інше.

Частота наплавлення тепловозних колісних пар один раз на півтори року, а електровозних – один раз на півроку. В середньому за рік наплавляють колісні пари 52 тепловозам (312 кп) та 62 електровозам (744 кп).

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ВІДНОВЛЕННЯ КОЛІСНИХ ПАР РУХОМОГО СКЛАДУ

1.1. Огляд конструкції та умов експлуатації колісних пар

Колісні пари локомотивів відіграють важливу роль у забезпеченні безперервної та ефективної роботи залізничного транспорту.

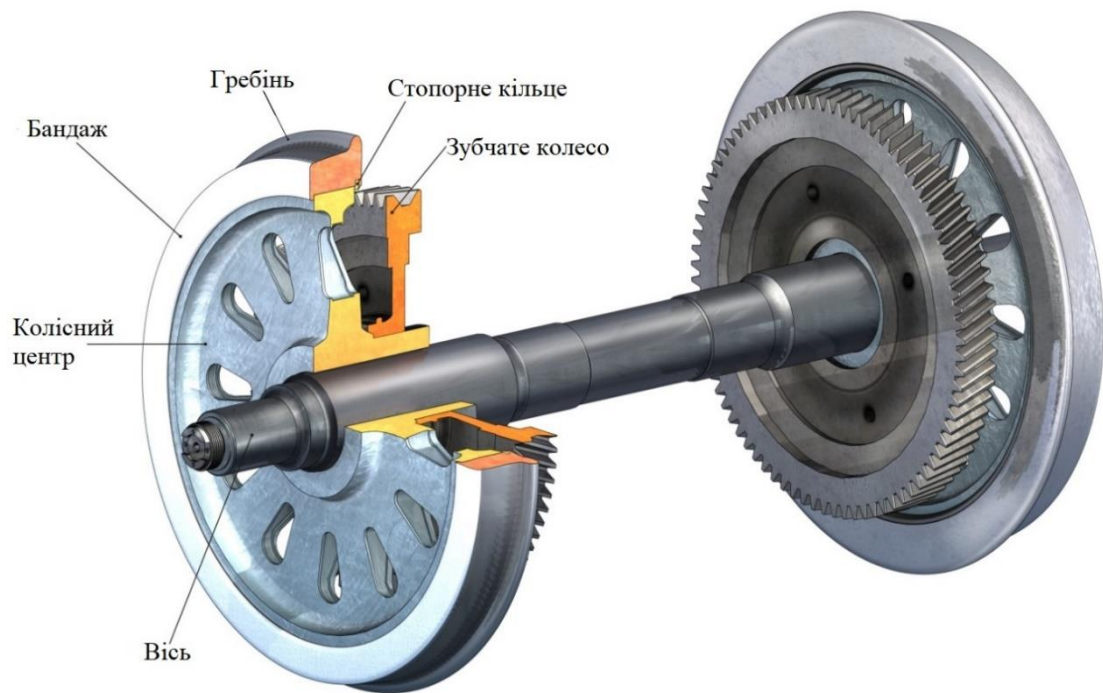


Рисунок 1 - Колісна пара локомотива

Колісні пари складаються з двох коліс, які монтується на віссі. Кожне колесо має свою форму та профіль, розроблені для оптимального контакту з рейкою та підтримки великого навантаження. Вони виготовлені з високоміцних сталей або сплавів, що дозволяє їм витримувати великі навантаження та забезпечувати стійкість під час руху.

Колісні пари кріпляться до рами локомотива за допомогою підшипників та балансувальних систем. Це допомагає забезпечити стабільність руху та зниження вібрацій під час експлуатації.

Колісні пари піддаються впливу різних умов експлуатації: від погодних умов до різниці температур та типу рейкової колії. Такі умови можуть призвести до зносу, корозії та пошкоджень, що вимагає відповідного утримання та обслуговування.

В локомотивному парку ПрАТ «ПівнГЗК» знаходяться тепловози серії ТЕ10М, ТЕ116, ТЕМ-2, ЧМЕ-3 та тягові агрегати ОПЕ-1АМ, НП-1. Всі ці типи локомотивів мають приводні колісні пари, які відрізняються наявністю одного чи двох зубчатих коліс та зовнішнім діаметром.

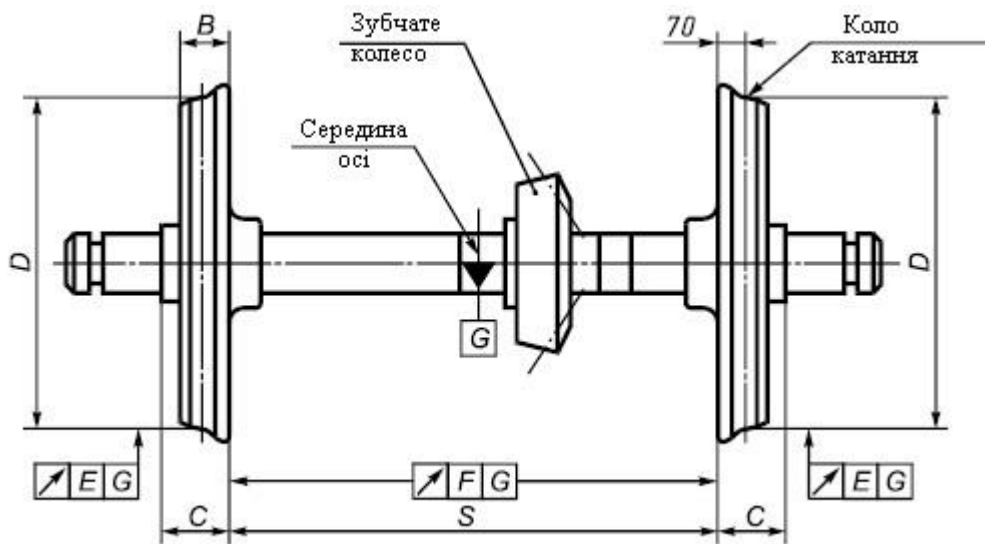


Рисунок 2 - Колісна пара із зубчастим колесом осьового редуктора (привідна)

S - відстань між внутрішніми торцями (гранями) ободів коліс;

B - ширина обода колеса;

C - відстань між упорним торцем передпідступичної частини осі та внутрішнім торцем обода колеса;

D - діаметр коліс по колу кочення;

E - допуск радіального биття кола кочення колеса;

F - допуск торцевого биття внутрішнього торця обода колеса;

G - вісь центрів [5]

Призначенням колісної пари локомотива, як і іншої рухомої залізничної одиниці, є передача ваги рами, кузова, візків, обладнання, а також вагу деталей, розташованих безпосередньо на колісній парі (букси, шестерня, ресорне підвішування). Також колісна пара забезпечує взаємодію з рейками колії. До цього відноситься передача гальмівних зусиль, спрямування рухомого складу по колії. А у випадку з тяговою одиницею (тепловоз, електровоз, моторний думпкар, моторний вагон та інше) колісна пара виконує функцію передачі тягового зусилля шляхом передачі обертального моменту від двигуна до колісної пари через зубчате колесо. Слід зазначити, що колісна пара, окрім вище перерахованого, сприймає нерівності профілю колії з наступною передачею статичних і динамічних зусиль на раму візка через ресорне підвішування і далі на раму локомотива. Отже з цього можемо зробити висновок, що колісна пара є одним з найважливіших вузлів екіпажної частини рухомої одиниці.

Розглянемо більш детально конструкцію колісної пари локомотива ЧМЕ-3 (рисунок 3), яка є аналогічною до інших тепловозів ПрАТ «ПівнГЗК». Відмінністю є різні діаметри, конструктивні особливості букс, приводних зубчатих коліс, а для тягових агрегатів наявність двох приводних зубчатих коліс (рисунок 1). При цьому профіль катання бандажу є однаковим для всіх типів локомотивів, оскільки чітко регламентований в інструкції з формування, ремонту та утримання колісних пар тягового рухомого складу залізниці України колії 1520 мм.

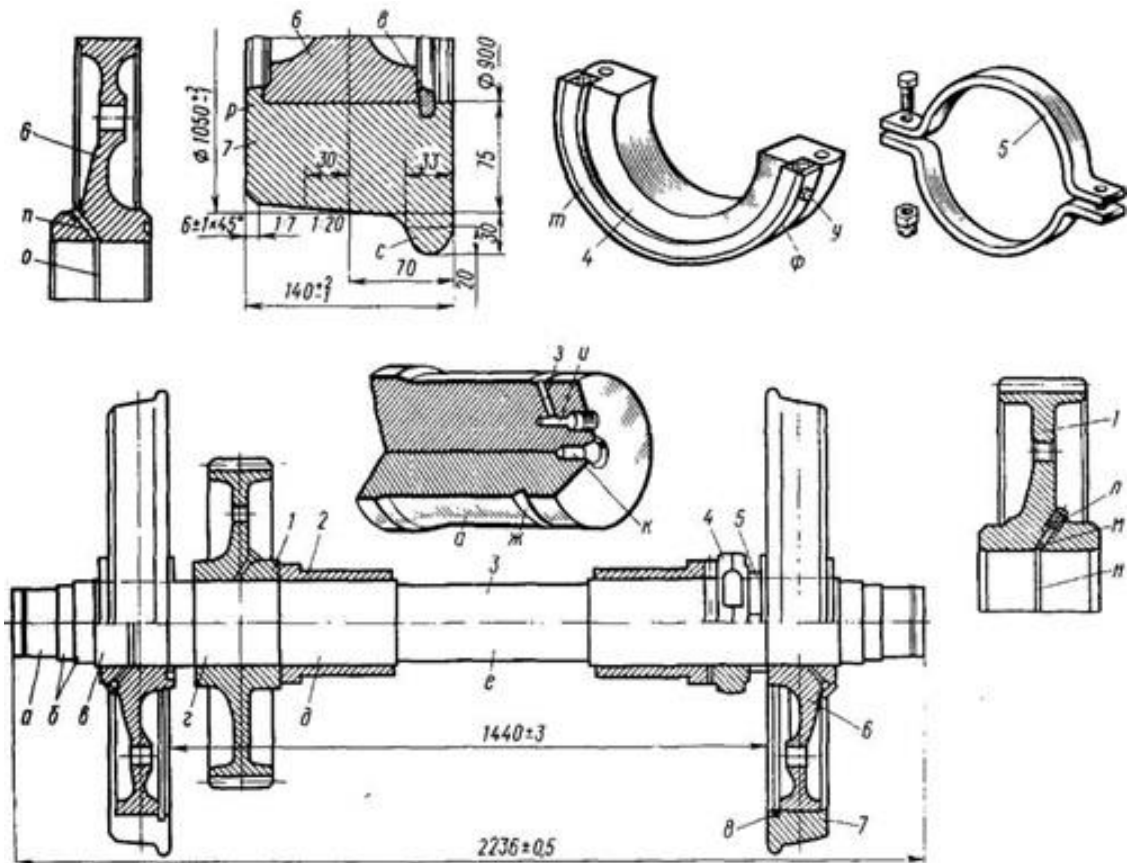


Рисунок 3 – Колісна пара локомотива ЧМЕ-3

- 1 – велике зубчате колесо;
- 2 – вкладиші моторно-осьових підшипників;
- 3 – вісь;
- 4 – пильник;
- 5 – хомут;
- 6 – колісний центр;
- 7 – бандаж;
- 8 – стопорне кільце;
- а, д – шейки осі;
- б – передпідступична частина осі;
- в,г – підступінчата частина осі;
- е – середня частина осі;
- ж, н, о – кільцеві канавки;
- з – радіальний отвір;
- и – вісьове свердлення;

к – центрове свердлення;
л – пробка;
м, п – нахилені отвори;
р – борт бандажу;
с – гребінь бандажу;
т – войлочне кільце;
у – болт;
ф – сталева стрічка.

Вісь 3, викувана з осьової сталі, нормалізована та механічно оброблена, має циліндричну форму з різними діаметрами по довжині залежно від призначення її частин. Кінцеві деталі а діаметром 170 мм - це шийки під роликові буксові підшипники. Підступінчасті деталі діаметром 205 мм призначені для запресовування колісних центрів. Ступінчастий перехід від шийок а до протекторних частин здійснюється за допомогою попередніх протекторних частин в діаметром 174 і 188 мм.

Протекторна частина d діаметром 210 мм використовується для запресовування великого зубчастого колеса. Дві шийки е для підшипників моторної осі мають однаковий діаметр. Між шийками е знаходиться середня частина осі e діаметром 196 мм. Всі переходи від одного діаметра до іншого (фланці) плавні з радіусом заокруглення не менше 20 мм, що дозволяє уникнути концентрації напружень і втомних тріщин. Циліндричні поверхні осі (крім середньої частини) обкатані роликами і відшліфовані.

Конструкція осей передбачає можливість демонтажу роликів підшипників при повній ревізії буксових вузлів. Для цього на кінцях осі виконані осьові отвори и діаметром 5 мм, з'єднані радіальними отворами з діаметром 3 мм з кільцевими канавками ж шириною 4 мм, виточеними на зовнішній поверхні шийок осі а. В

кінці осьового отвору и виконано розточування і нарізана різьба M16X1,5 під штуцер гідравлічного преса, який нагнітає масло в канавку ж. Під тиском 300 МПа (3000 кгс/см²) масло пружно деформує шийку осі і внутрішнє кільце роликового буксового підшипника, просочується між сполученими поверхнями, що дозволяє легко витягти підшипник. На кінцях осі в процесі механічної обробки свердлять центрові отвори діаметром 12 мм і глибиною 32,5 мм з подальшим зенкуванням.

Велике зубчасте колесо 1 виготовляється з легованої сталі і напресовується на вісь в холодному стані із зусиллям 600... 800 кН (60...80 тс). Для полегшення процесу запресовування отвір діаметром 210 мм у маточині шестерні розточується під конус 1:20 з обох боків на глибину 10 мм. Зубчасте колесо має 76 прямих зубів, зовнішня поверхня яких загартована струмами високої частоти на глибину 2...5 мм з подальшим низьким відпуском (нагріванням до температури 170...180 ° С і охолодженням на повітрі).

Для зняття зубчастого колеса за допомогою гідравлічного преса в його маточині виконано косий отвір м діаметром 5 мм і кільцеву канавку н шириною 3 мм. В процесі експлуатації отвір м закривається пробкою л з різьбою M16x1,5.

Центри коліс 6 дискового типу відливаються з вуглецевої сталі і напресовуються на вісь в холодному стані із зусиллям до 1500 кН (150 тс) з натягом 0,3...0,4 мм. Центри коліс повинні знаходитися на однаковій відстані від центру осі. Отвір у маточині колісного центру діаметром 205 мм з обох боків розточується під конус 1:10, що запобігає задирам поверхонь, які сполучаються. З цією ж метою внутрішню поверхню маточини і зовнішню поверхню осі перед запресовуванням змащують маслом. Для запресовування маточини колеса з осі маточина також має похилий отвір н і кільцеву канавку о.

Зовнішня частина колісного центру (обід) діаметром 900 мм з'єднана з маточиною диском, в якому є два отвори діаметром 45 мм, що використовуються для транспортування колісної пари і фіксації її під час обточування на токарному верстаті.

Бандажі 7 виготовляються з розкисленої мартенівської сталі з достатньою твердістю і в'язкістю одночасно. Перед механічною обробкою вони піддаються загартуванню з подальшим відпуском. Бандаж являє собою змінне кільце. На зовнішній поверхні бандажа, обробленій за спеціальним профілем, є гребінь с, який спрямовує рух колеса по рейці. Гребінь плавно переходить в поверхню кочення, що складається з двох конічних ділянок з нахилом 1:20 і 1:7 і торцевої фаски шириною 6 мм, виконаної під кутом 45°. Ділянка поверхні кочення з ухилом 1:20 забезпечує стійке положення колісної пари на рейках. Конічна ділянка з ухилом 1:7 дозволяє колісній парі вписуватися в криві. Під час руху в кривій колісна пара притискається до зовнішньої рейки відцентровою силою, тобто зовнішнє колесо котиться по рейці, поверхня якої має більший діаметр, ніж внутрішнє колесо. Таким чином, зовнішнє колесо проходить більшу відстань за один оберт колісної пари, що дозволяє уникнути прослизання зовнішнього колеса по рейці.

Торцева фаска під кутом 45° передбачена для того, щоб метал, що видавлюється з поверхні кочення, заповнював її, не викликаючи розширення бандажа. Ширина бандажа становить 140 мм. Посередині нього є коло прокатки - умовне коло для контролю стану бандажа (вимірювання прокатки, товщини і діаметра бандажа). Товщина нового бандажа становить 75 мм, а його діаметр - 1050 мм. На внутрішній циліндричній поверхні бандажа з одного боку виконана кромка р, а з іншого паз для стопорного кільця 8.

Перед надяганням бандажа на обід колісного центру його нагрівають до температури 250...320 °С, щоб забезпечити натяг

1,0...1,5 мм. Встановлений на вісь колісний центр опускається в горизонтально розташований бандаж до упору в бічну частину бандажа. У канавку при температурі бандажа не менше 200°C заводять стопорне кільце с і на вальцювальному верстаті розкочують з боку тиску канавку разом з кільцем.

При складанні на бандаж и центр колеса наносять контрольні мітки. На бандажі відбивають керном 4...5 точок глибиною 1,0...1,5 мм на довжині 25 мм і не ближче 10 мм до краю упорної кромки. На ободі центру колеса затупленим зубилом роблять риски глибиною до 1 мм. Для контролю рисок в процесі експлуатації на зовнішній край бандажа, пофарбований побілкою, наносять червону смугу шириною 25 мм, а на центр колеса як її продовження - білу смугу.

На вісь зібраної колісної пари надягають хомут 5 і пилезахисну шайбу 4. Обидві деталі є знімними і при складанні кріпляться двома болтами. Пильовик і хомут закривають вільну частину осі і обмежують вибіг тягового електродвигуна (0,4...5,0 мм). Крім того, пильовик захищає підшипник моторно-осьовий від забруднення, для чого на циліндричний виступ пильовика надівається змінне фетрове кільце т. Кільце фіксується сталевую стрічкою ф, що складається з двох частин, кожна з яких закріплена трьома болтами у.

Протекторні частини осі виконані подовженими, що дозволяє збирати колісну пару як для колії шириною 1520 мм (в цьому випадку відстань між внутрішніми гранями бандажів становить 1440+3 мм), так і для колії шириною 1435 мм.

1.2. Причини зношення колісних пар

Існують наступні несправності колісних пар:

- на осі колісної пари;
- на ободі колісної пари;
- маточина колісної пари;

- на гребені колісної пари.

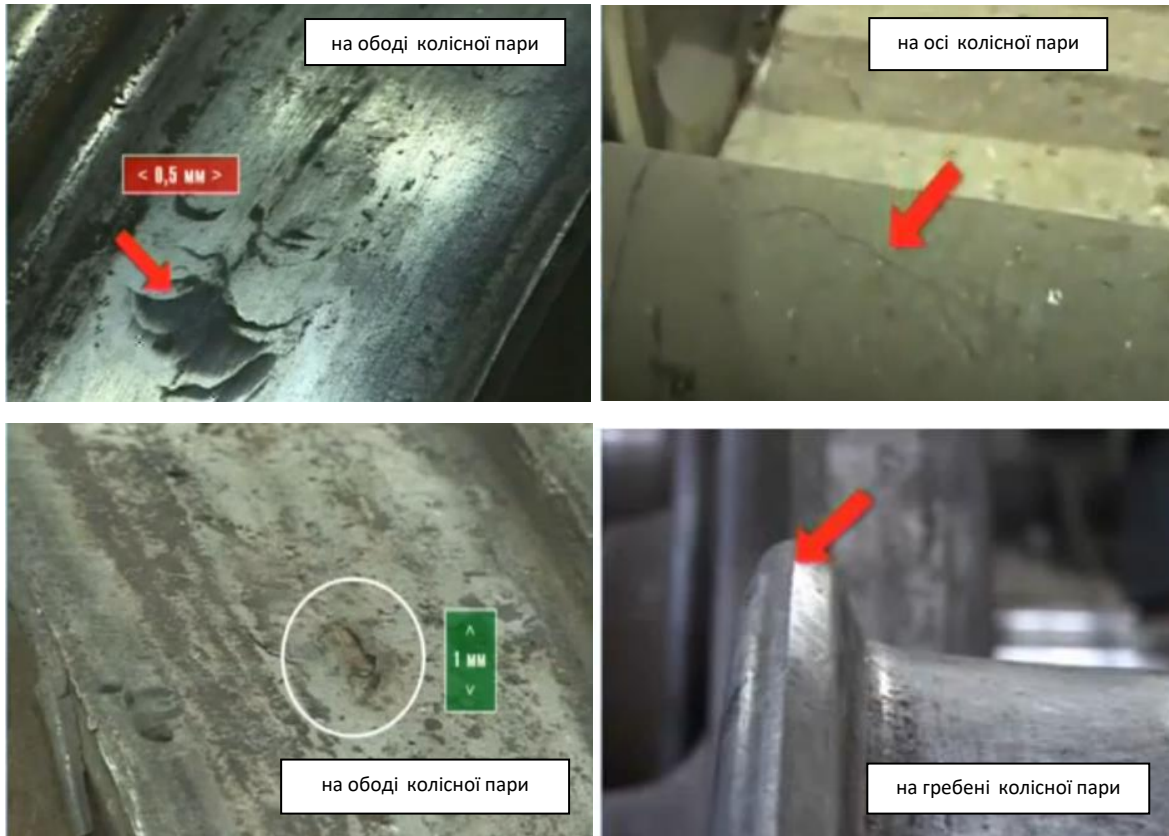


Рисунок 4 – Несправності колісної пари

Забороняється вводити в експлуатацію та допускати локомотиви до руху за наявності таких зносів і пошкоджень колісних пар, що порушують нормальну взаємодію колії та коліс рухомого складу

- тріщини в будь-якій частині осі колісної пари або тріщини в ободі, диску;

- протертості середньої частини осі глибиною понад 2,5 мм (5 мм в діаметрі)

- розмір прокату, товщина гребенів, ободів, відстань між внутрішніми поверхнями ободів.

Тріщини в будь-якій частині осі, обода, диска або маточини є найбільш небезпечними для руху і підлягають негайній заміні.

Волога і масло є ознаками тріщин. Не допускається наявність потертостей в середині осі глибиною більше 4 мм.

Тріщини, що утворюються в елементах колісних пар в умовах експлуатації, викликані явищами втоми в металі, який тривалий час піддається дії змінних навантажень. Втомні тріщини є результатом порушення цілісності елемента, що може призвести до його руйнування, і тому становлять особливу небезпеку для нормальної експлуатації колісних пар і рухомого складу в цілому. Тріщини в осях утворюються в основному на поверхнях тертя, галтелях і поверхнях деталей, що сполучаються. На поверхнях тертя буксових підшипників тріщини здебільшого виникають через несвоєчасне змащування або використання забрудненого мастила. Це неминуче призводить до нагрівання шийок підшипників. Тріщини також можуть з'явитися, коли підшипник неякісно виготовлений або відремонтований, або коли він вставлений в буксу з перекосом. Нещільне прилягання до шийки також призводить до нагрівання підшипника та шийки. Охолодження нагрітих деталей завжди повинно бути природним. Штучне прискорене охолодження (за допомогою води або снігу) неминуче призведе до появи гартівних тріщин на поверхні нагрітої цапфи.

На галтелях при переході від більшого діаметра осі до меншого утворюються тріщини через недотримання встановлених креслярських розмірів при механічній обробці осі, а також при наявності поверхневих підрізів і недотриманні класу шорсткості радіусної поверхні. На поверхні наближеної частини центру колеса утворюються тріщини переважно на відстані 30-40 мм від початку перехідної галтелі, основною причиною яких є недотримання класу шорсткості при механічній обробці. Поздовжні тріщини в середній частині осі з'являються через наявність в металі плівок, які

утворюються внаслідок порушення технології при виготовленні заготовки [6].

У всіх буксових вузлах тріщини з'являються в процесі експлуатації колісних пар в результаті динамічних ударів в стиках рейок при значних навантаженнях від ваги локомотива, при вписуванні в криві, особливо з малим радіусом. Найбільш поширеним пошкодженням зубчастих коліс локомотивних колісних пар є втомні поверхневі тріщини, які поширюються з порожнини між зубами, найчастіше починаючи з торців цієї порожнини і рідше з торця зуба. Поверхневі тріщини виникають під час шліфування зубів. Їх подальший розвиток призводить до фарбування поверхонь зубів. Тріщини також можуть виникати при неправильному проведенні процесу поверхневого загартовування зубів. Найбільш небезпечними є так звані радіальні тріщини, які утворюються в западинах між зубами і поширюються на торцеву поверхню шестерні. Якщо вчасно не виявити ці тріщини, вони можуть розвиватися далі і призвести до зламу зуба або поломки зубчастого вінця. Злам зуба в процесі експлуатації може призвести до заклинювання колісної пари з утворенням повзунів (вибоїн) на поверхні колеса.

Прокат по кругу катання:

Прокат колеса - це знос поверхні кочення внаслідок тертя об рейки в процесі кочення;

Якщо в колісних парах виявлено нерівномірне кочення більше 2 мм, такі колісні пари повинні бути викочені для обточування та повного огляду.

Якщо рухомий склад великий, гребінь колеса низький і може торкатися рейкових скріплень та зрізати болти, що загрожує безпеці руху. Рухомий склад з окружністю кочення більше 7 мм вимірюється абсолютною колією. Вертикальна поверхня калібру щільно

притискається до внутрішньої поверхні бандажа, а опорний виступ щільно притискається до верхньої частини гребеня. Визначається візуально з подальшим вимірюванням абсолютним шаблоном (рисунок 5)

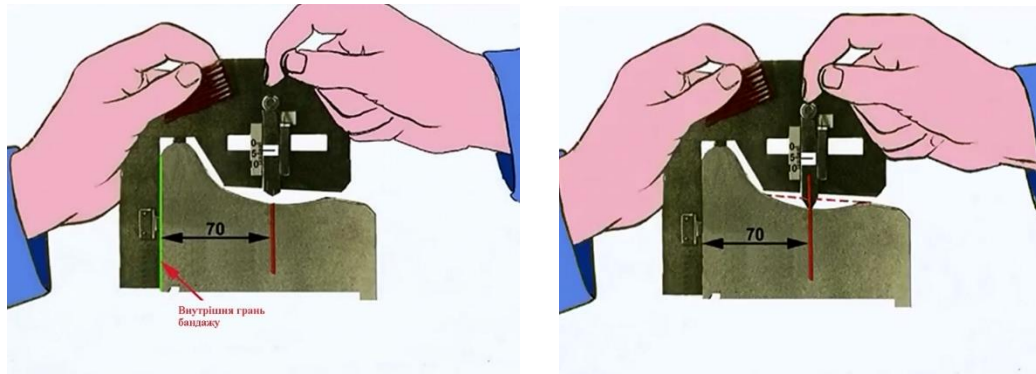


Рисунок 5 – Вимірювання прокату абсолютним шаблоном

У практиці експлуатації локомотивних колісних пар трапляються випадки, коли відбувається локальне збільшення ширини поверхні кочення. В результаті змінання поверхні по колу кочення через знижену твердість металу утворюються місцеві відкладення з виходом на зовнішню поверхню, що є наслідком незадовільної термічної обробки при виготовленні заготовки на заводі. В процесі експлуатації допускається залишати місцеві відкладення металу на колісних парах без виправлення, якщо вони не перевищують 5 мм над зовнішньою поверхнею колеса.

У колісних парах трапляються випадки ослаблення напесованих на вісь шестерень. Це пошкодження можна виявити за відривом фарби на торцевій поверхні по всьому периметру з'єднання, а також за виступами мастила або іржі з поверхонь, що сполучаються. Іноді, при значному ослабленні пресових з'єднань, колесо може зміщуватися вздовж осі. Такі пошкодження виникають в основному при недотриманні класу шорсткості при механічній обробці поверхонь, що з'єднуються, не дотриманні необхідного натягу посадочних поверхонь перед запресовуванням, а також при недотриманні технології запресовування.

Задирки на поверхнях тертя цапф у вигляді різких поперечних ліній виникають переважно у підшипниках ковзання через відсутність або використання забрудненого мастила (переважно піску) і у всіх випадках супроводжуються нагріванням до температури понад 100°C. Якщо локомотив пошкоджений таким чином, його виводять з експлуатації для усунення задирів або заміни пошкодженої колісної пари. Якщо задирки невеликі і можуть бути видалені з поверхні тертя, поверхню шийок обточують на верстатах відповідно до Правил ремонту.

Повзуни (вибоїни, рисунок 6) на поверхні кочення коліс утворюються, коли колісна пара під час руху локомотива заклинюється і припиняє обертатися. Такий рух викликає інтенсивне стирання поверхні контакту коліс і рейок. Кожне ковзання, що утворюється на поверхні кочення коліс колісної пари, має параболічну форму з плоскою основою. Такі пошкодження зазвичай спричинені виходом з ладу підшипників букс, потраплянням вільного зуба в зачеплення, а також екстремим гальмуванням. Якщо на проміжних станціях виявлено колісні пари з вибоїнами на поверхні кочення колеса глибиною 1 мм, але не більше 2 мм і довжиною більше 25 мм, але не більше 40 мм, то вони допускаються до експлуатації. Виїмка вимірюється абсолютним калібром або товщиноміром, а довжина - лінійкою або метром. Колісні пари не допускаються до експлуатації, якщо вищирбина має глибину більше 10 мм і довжину більше 50 мм. Вищирбина на поверхні кочення глибиною більше 3 мм і довжиною 10 мм.

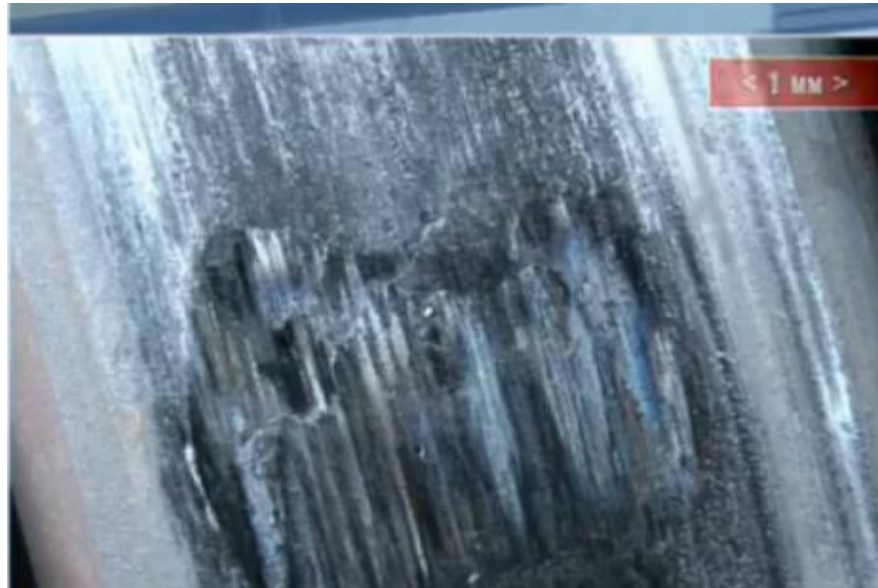


Рисунок 6 – Експлуатаційний дефект колісної пари повзун

Товщина гребня при експлуатації локомотива не повинна бути більше 33мм і менше 25 мм.

Вертикальний підріз гребеня - вертикальний знос гребеня, вимірюється за допомогою спеціальних шаблонів. Не допускається підріз гребеня висотою більше 18 мм; вимірюється за допомогою абсолютного шаблону (рисунок 7).

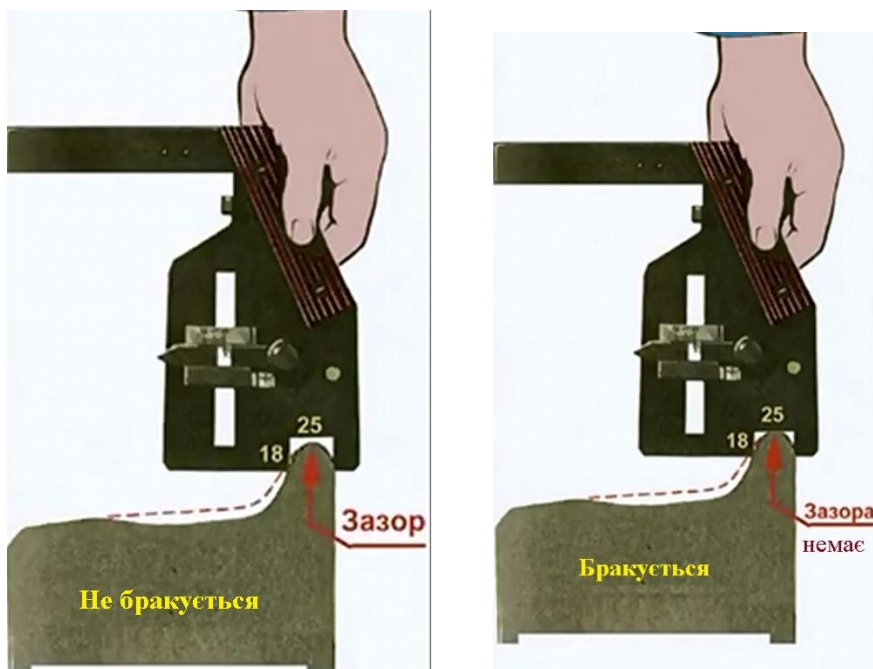


Рисунок 7 – Вимірювання підрізу гребеня спеціальним шаблоном

Гострокінцевий накат гребеня колісної пари - виявляється візуально, вимірюється абсолютним шаблоном (рисунок 8)

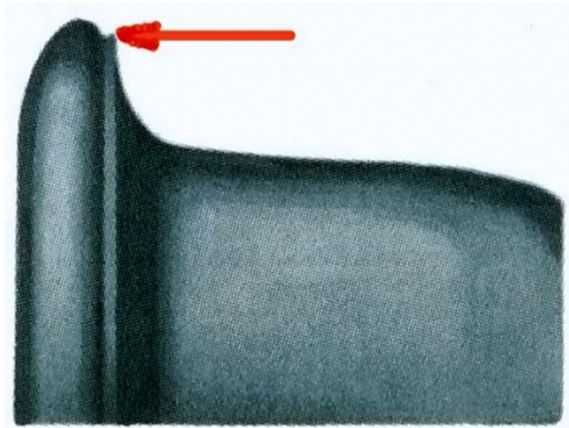


Рисунок 8 - Гострокінцевий накат гребня колісної пари

Якщо гребінь колеса зношений, це може призвести до сходження локомотива з рейок. Знос гребеня спричинений контактом з рейкою в результаті скручування колісної пари під час руху рухомого складу на кривих.

Підрізи гребеня, повзуни та задири є наслідком нерівномірного зносу металу елементів колісної пари. Підрізи гребеня проявляються у вигляді одностороннього вертикального або похилого підрізу гребеня з різким напливом металу. Для забезпечення безпечного проходження локомотива розміри нерівномірного зносу гребеня перевіряють за допомогою спеціального шаблону. У всіх випадках, коли вертикальний підріз гребеня досягає висоти більше 18 мм, такий локомотив не може забезпечити безпечний проїзд стрілочних переводів. При наявності похилого підрізу гребеня з різким накатом (напливом) металу на гребені локомотив також виводиться з експлуатації для виправлення дефекту колісної пари. Основною причиною підрізу гребенів є незадовільна якість складальних робіт при обкатці колісних пар, що виражається в односторонньому зміщенні колісної пари в рамі по осі вправо або вліво від її нормального положення або її перекосі в рамі. Залежно від

величини зміщення колісної пари в вирізах рами, а також порушення розважування по бортах локомотива відбувається нерівномірний, односторонній підріз гребеня до максимальних бракувальних розмірів.

Отже, для забезпечення безпеки руху та стабільних якостей ходової частини локомотива граничний знос поверхні кочення не повинен перевищувати 7 мм, знос гребеня - 8 мм (товщина 25 мм), а мінімальна товщина бандажів колісних пар по колу кочення - 36 мм. Інтенсивність утворення кочення характеризується зносом (в міліметрах) на 104 км пробігу тепловоза і залежить від ступеня використання потужності, профілю колії, навантаження колісних пар на рейки та інших факторів.

Досвід експлуатації показав, що інтенсивність зносу кочення коліс тепловозів для середніх умов мережі становить 0,38 мм на 104 км пробігу. Інтенсивність гребеневого зносу при довжині кривих на експлуатаційній ділянці близько 50 % становить 0,8 мм на 104 км пробігу. Це викликає необхідність передчасного обточування коліс для відновлення профілю бандажів відповідно до зносу гребенів. Товщина шару металу, що знімається, яка визначається зносом гребенів, значно більша, ніж та, що необхідна для відновлення профілю поверхні кочення.

1.3. Методи поверхневого зміцнення

Деталі, що піддаються максимальним поверхневим напруженням (вигин, контактні напруження), для збільшення опору втомі піддаються поверхневому зміцненню.

Всі відомі методи зміцнення діляться на 6 основних класів:

1. Зміцнення зі створенням плівки на поверхні:

а) осадження за допомогою хімічної реакції (окислення, сульфування,

фосфатування, нанесення зміцнюючого мастила, осадження з газової фази);

б) осадження з пари (термічне випаровування тугоплавких сполук, катодно-іонне бомбардування, пряме електронно-променеве випаровування,

реактивне електронно-променеве випаровування, електронно-хімічне

випаровування, електронно-хімічне випаровування);

в) електролітичне осадження (хромування, нікелювання, електрофорез,

нікелювання, фосфатування, борування, хромування);

г) напилення зносостійких сполук (плазмове напилення порошкових

матеріалів, детонаційне напилення, електродугове напилення, лазерне напилення, вихрове напилення); d) напилення зносостійких сполук (плазмове

напилення, вихрове напилення, індукційне затвердіння порошкових матеріалів).

2. Зміцнення зі зміною хімічного складу поверхневого шару металу:

а) дифузійне насичення (борування, ціанування, азотування та нітроцементация тощо).

б) хімічні та фізико-хімічні впливи (хімічна обробка, іонна імплантация,

електроіскрова обробка тощо)

3. Зміцнення зі зміною структури поверхневого шару:

а) фізико-термічна обробка (лазерне зміцнення, плазмове зміцнення);

б) електрофізична обробка (електроконтактна, електроерозійна, магнітна

обробка (електроконтактна, електроерозійна, магнітна);

в) механічна обробка (віброзміцнення, зміцнення тертям, дробеструменеве зміцнення, вибухове зміцнення, термомеханічна, електромеханічна);

г) наплавлення легуючим елементом (газове полум'я, електрична дуга, плазма, лазерний промінь, іонний промінь тощо).

4. Зміцнення зі зміною запасу енергії поверхневого шару:

а) обробка в магнітному полі (термомагнітна обробка, імпульсне магнітне поле);

б) обробка в електричному полі.

5. Зміцнення зі зміною мікрогеометрії поверхні та зміцнення:

а) різання (точіння, шліфування, надшвидкісне різання);

б) пластична деформація (прокатка, вальцювання, обкочування, вигладжування, віброобкатка, вібровигладжування, калібрування, відцентрово-ударне зміцнення, віброударне зміцнення тощо)

в) комбіновані методи (анодно-механічний, поверхнєве легування з вигладжуванням, різання під дією ультразвукових коливань, магнітно-абразивна обробка тощо).

б. Зміцнення зі зміною структури всього об'єму металу:

а) термічна обробка при позитивних температурах (загартування, відпуск,

поліпшення, мікрохвильове загартування, нормалізація, термомагнітна обробка);

б) криогенна обробка (загартування холодною обробкою) [7].

Методи поверхневого зміцнення можна розділити на такі види: пластичне деформування (наклепування) робочих поверхонь; хіміко-термічна обробка; поверхневе зміцнення; наплавлення металів; напилення металів; гальванічні покриття, лакофарбові покриття; полімерні покриття; дифузійна металізація; електроіскрове, електродугове та лазерне зміцнення [8].

Пластична деформація. Ця технологія спрямована на формування пластично-деформованого шару (наклепу) в поверхневих шарах деталей. Одночасно з наклепом в поверхневих шарах деталей виникають залишкові стискаючі напруження. Ці напруження викликані тим, що поверхневі наклепані шари металу мають тенденцію займати більший об'єм за рахунок збільшення питомого об'єму металу. Однак, не склесні шари чинять опір цьому процесу, в результаті чого в поверхневих шарах виникають залишкові стискаючі напруження.

Для пластичної деформації поверхневого шару деталей застосовують такі методи: дробеструменева обробка - здійснюється струменем сталевого або чавунного дробу; обкатка роликками або кулями (обробка шляхом вдавнення ролика або кулі в оброблювану поверхню і його перекочування); обкатка спеціальними бойками, які завдають багаторазові удари; ротаційні гартувальні машини, які завдають численні удари впорядковано розміщеними по периферії

оберткових дисків кульками або роликками; гідроабразивна обробка, яка здійснюється струменем рідини, що містить абразивні матеріали з різною зернистістю; алмазне вигладжування. [8].

Хіміко-термічна обробка. Хіміко-термічна (термодифузійна) обробка поверхонь деталей базується на властивості поверхневого шару змінювати свої властивості при насиченні вуглецем, азотом, хромом та іншими елементами (цементация, азотування, сульфідкування, ціанування) [8].

Окрім поверхневого зміцнення, цілями хіміко-термічної обробки можуть бути підвищення витривалості, корозійної стійкості, жароміцності та інших властивостей. Особливістю хіміко-термічної обробки є те, що вона передбачає не тільки фазові перетворення, пов'язані з нагріванням і охолодженням, а й хімічні реакції, які змінюють склад поверхневого шару виробів. Процес хіміко-термічної обробки включає 3 стадії:

1) дисоціація, при якій елемент, що дифундує, виділяється в зовнішнє середовище в атомарному стані;

2) адсорбція, яка відбувається на межі розділу між зовнішнім середовищем і металом (поглинання атомів дифундуючого елемента поверхневим шаром металу);

3) дифузія атомів насичуючого елемента в метал.

Обов'язковою умовою процесу дифузії є висока температура нагріву і час витримки при цій температурі. Температура нагріву, час витримки і вміст дифундуючого елемента в зовнішньому середовищі визначають його концентрацію на поверхні і глибину проникнення в виріб (товщину дифузійного шару). Застосовуються такі основні види хіміко-термічної обробки сталі:

1) цементация - насичення поверхні сталі вуглецем;

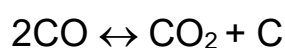
2) азотування - насичення поверхні сталі азотом;

3) ціанування - насичення поверхні сталі вуглецем та азотом;

4) дифузійна металізація - насичення поверхні сталі металами (Cr, Al, Si, Mo та інші) [9].

Конструкційні вуглецеві та легovanі сталі з низьким вмістом вуглецю (0,1...0,3%) піддаються цементації, яка необхідна для отримання міцної серцевини у виробі. Під час цементації вміст вуглецю в поверхневому шарі збільшується і може досягати максимальної розчинності C в Fe_γ при відповідній температурі цементації. Це підвищує твердість і зносостійкість поверхневого шару сталі. Існує 2 основних типи цементації: тверда цементація і газова цементація.

Як твердий карбюризатор використовують деревне вугілля, змішане в певній пропорції з речовинами, що активують процес дисоціації (BaCO₃, Na₂CO₃), якого зазвичай міститься 20...25%. Деталі, що цементуються, поміщають в металеві ящики по черзі з карбюризатором, закривають кришкою, а проміжки заповнюють вогнетривкою глиною для запобігання виходу газів, що утворюються при нагріванні. Цементацію проводять при температурі на 30...50°C вище точки Ас₃, при якій аустеніт (A) є стабільним і розчиняє вуглець (C) у великих кількостях. Зазвичай вона дорівнює 925...950°C. При цій температурі відбувається дисоціація CO і вивільнення атомарного C.



Коли сталь цементується, атоми вуглецю дифундують в кристалічну решітку γ - заліза. Час витримки вибирається залежно від глибини цементованого шару і концентрації вуглецю (8...10 годин). Товщина шару цементу зазвичай становить 0,5...2,0 мм, а концентрація вуглецю - 0,9...1,1%, оскільки більший вміст вуглецю

викликає підвищену крихкість. Після цементації у виробі з маловуглецевої сталі виділяють 4 структурні зони:

1) поверхневий заевтектоїд зі структурою перліт (P) + вторинний цементит (CII);

2) евтектоїдна зона зі структурою перліту (P);

3) перехідна дотектоїдна, зі структурою перліт (P) + ферит (F), але з підвищеним вмістом вуглецю;

4) вихідна структура дотектоїдної сталі - перліт (П) + ферит (Ф) [9].

Структура поверхневого шару після цементації - пластинчастий перліт (П), оточений дрібною сіткою цементиту (Ц). Цементация в твердому карбюризаторі не вимагає спеціального обладнання, її можна проводити в звичайних печах, які можуть нагріватися до 925...950°C, але цей процес є трудомістким і неекономічним.

Тривалість газової цементації скорочується більш ніж в 2 рази в порівнянні з цементацією в твердому карбюраторі. Газофазна цементация була вперше застосована для цементації рідкої сталі А.П. Аносовим. В якості карбюризаторів використовують як природні гази (метан, СО, бутан), так і штучні гази, отримані з рідких нафтопродуктів. Вироби завантажують у спеціальну камеру печі, через яку з певною швидкістю пропускають цементуючий газ. При нагріванні до $T=900...930^{\circ}\text{C}$ (іноді $T=1050...1100^{\circ}\text{C}$ для прискорення процесу) метан і СО дисоціюють, видаляючи атомарний С.



Атомарний вуглець адсорбується поверхнею виробу, розчиняється в залізі і переміщується всередину виробу шляхом дифузії. Глибина цементованого шару зазвичай становить 1...2 мм, а концентрація вуглецю на поверхні сталі - 0,9...1,2%. Газова цементация широко застосовується в масовому виробництві завдяки

простоті регулювання глибини цементованого шару і концентрації вуглецю в ньому, відсутності витрат на цементацийні ящики, їх нагрівання і транспортування, а також можливості автоматизації і механізації процесу.

Поверхневий шар після цементації не забезпечує необхідної твердості та зносостійкості. Тому вироби піддають термічній обробці - загартуванню і низькому відпуску. Мікроструктура поверхневого шару після відпуску для вуглецевої сталі - загартований мартенсит (М) + залишковий аустеніт (А) + цементит (Ц); легована сталь загартований мартенсит (М) + залишковий аустеніт (А) + карбіди. Твердість поверхневого шару вуглецевої сталі після цементації та термообробки становить не менше ніж NRC 56, а легованої сталі - NRC 58-62 [9].

Якщо концентрація вуглецю (С) різко змінюється в поперечному перерізі, цементований шар може відшаровуватися або тріскатися. Газова цементація є найсучаснішим методом цементування, оскільки дозволяє точно контролювати і автоматизувати процес.

Азотування. Насичення поверхневого шару азотом використовується для насичення вуглецевих і легованих сталей із середнім вмістом вуглецю (С) і чавунів. Азотування підвищує твердість, зносостійкість і міцність поверхневого шару, а також корозійну стійкість виробу. Зміни властивостей зумовлені утворенням хімічних сполук N з Al, Cr, Mo, V, W, карбонітридів і твердих розчинів домішок. Найбільш поширеними матеріалами для азотування є леговані A1(Ю) сталі 35ХМЮА і дешевша 38ХВФЮА, які після азотування мають твердість від 960 до 1150HV. Чавуни, що містять A1 і Cr, мають твердість після азотування від 700 до 1000 HV, тоді як вуглецеві сталі і сірі чавуни мають твердість після азотування 550...700HV. Перед азотуванням сталі та чавуни

піддають загартуванню та високому відпуску. Температура відпуску приймається рівною температурі азотування.

Азотування здійснюється в спеціальних печах під струмом аміаку. Аміак надходить у піч і дисоціює в ній за рівнянням $2\text{NH}_3 \rightleftharpoons 2\text{N} + 6\text{H}$. Атомарний азот, що утворюється, розчиняється в Fe_α , а потім дифундує у виріб, утворюючи різні азотисті фази. Тривалість азотування при $T=500\text{...}520^\circ\text{C}$ (одностадійне азотування) велика і становить 25...60 годин, залежно від необхідної глибини азотованого шару (δ досягає 0,5 мм при концентрації N 3...4%). Для прискорення процесу застосовують двоступеневе азотування: спочатку процес проводять при $500\text{...}520^\circ\text{C}$, а потім при $600\text{...}620^\circ\text{C}$, що дозволяє скоротити час азотування в 1,5...2 рази (HV дещо зменшується). Антикорозійне азотування сталі проводять при $T=600\text{--}700^\circ\text{C}$ протягом 0,25...6 годин. Суцільний шар високоазотистої фази Fe_3N товщиною до 0,1 мм, що утворюється на поверхні деталі, захищає виріб від корозії в різних середовищах (атмосфера, пара, H_2O тощо). Твердість азотованого шару вища, ніж у цементованої сталі, і зберігається при нагріванні до високих температур ($500\text{...}600^\circ\text{C}$), тоді як цементований шар, що має мартенситну структуру, зберігається до $200\text{...}225^\circ\text{C}$. Найважливішим дефектом азотування є підвищена крихкість азотованого шару. Азотування може викликати деформацію виробів, а в деяких випадках і викривлення [9].

Ціануванню піддають вуглецеві та леговані сталі.

Мета ціанування - підвищити твердість і зносостійкість поверхневого шару виробів, а також їх довговічність і корозійну стійкість, шляхом насичення поверхні як вуглецем, так і азотом. Залежно від складу зовнішнього середовища розрізняють 3 види ціанування: у твердих, рідких і газових середовищах. Найбільш поширеним є ціанування в рідкому і газовому середовищах. Глибина

насичення поверхневого шару вуглецем (C) і азотом (N) визначається температурою (T) і часом витримки (τ). Залежно від температури нагріву розрізняють високотемпературне і низькотемпературне ціанування.

Рідинне ціанування здійснюється в розплавленій суміші ціаністих солей (NaCN, KCN, Ca(CN)₂) і нейтральних солей (BaC₁₂, NaCl та ін.). При нагріванні і розплавленні ціаністі солі дисоціюють, вивільняючи C і N в атомарному стані. Висока температура і час витримки забезпечують дифузію атомарних C і N в поверхневий шар продукту.

Високотемпературне рідинне ціанування проводять при 900-950°C, коли вміст вуглецю (C) в поверхневому шарі збільшується в більшій мірі, ніж вміст азоту (N). Глибина шару ціаніду становить 0,2...0,3 мм. Після ціанування виріб піддають загартуванню при T=780...860°C і низькому відпуску (150...170°C). Мікроструктура після гартування: азотований мартенсит на поверхні, мартенсит + троостит у перехідній зоні та троостит у в'язкій серцевині. Поверхневий шар має твердість 63...65 одиниць.

При низькотемпературному рідинному ціануванні сталь нагрівається до 500...600°C і вміст азоту в поверхневому шарі перевищує вміст вуглецю. Застосовується для легованих інструментальних сталей. Рідинне ціанування - продуктивний процес, але вимагає використання токсичних солей. Тому перевага надається нітроцементациї, або ціануванню в газовому середовищі (CH₄+NH₃).

Високотемпературна нітроцементация застосовується для виробів з низьколегованих і конструкційних вуглецевих сталей. Вироби нагрівають до 830...850°C (іноді до 930...950°C) протягом 4...10 годин. Зі збільшенням температури і часу витримки збільшується глибина ціанідного шару і зменшується його

насиченість. Після нагрівання проводять загартування. Твердість ціанованого шару загартованої сталі становить HRC 56. Для видалення залишкового аустеніту (А) в загартованій сталі проводять холодну обробку, в результаті чого поверхневий шар має твердість HRC 64. Ріжучі інструменти зі швидкоріжучої сталі піддаються низькотемпературній нітроцементациї. Вироби попередньо загартовують і відпускають, а потім витримують 1,5...3 години в суміші аміаку і цементуючого газу при $T=550...570^{\circ}\text{C}$. В результаті утворюється поверхневий шар глибиною 0,02...0,04 мм, з твердістю 900...1200 HV і підвищеною красно-стійкістю (до 650°C), що збільшує стійкість інструменту в 1,5...2 рази. Після низькотемпературної нітроцементациї гартування не проводиться. Нітроцементация проводиться в муфельних або без муфельних установках, в які подається цементуюче середовище з аміаком від газогенераторів. Основними перевагами нітроцементациї порівняно з рідинною цементациєю є: безпечність роботи та можливість регулювання глибини шару ціаніду.

Для підвищення зносостійкості деталей при терті, їх стійкості до задирів і зносостійкості застосовують сульфидування, тобто насичення поверхні сталі S, N, C на глибину 0,2...0,3 мм. Для підвищення твердості, стійкості до стирання та корозійної стійкості використовують бор [9].

Поверхнєве загартування. Методи поверхневого загартування засновані на здатності матеріалів змінювати властивості поверхневого шару при нагріванні. Всі методи поверхневого загартування можна розділити на дві групи: методи, засновані на використанні зовнішніх джерел тепла (наприклад, поверхнєве зміцнення газополуменевим нагріванням і в електричних печах), і методи, засновані на використанні внутрішніх джерел тепла (наприклад, зміцнення нагріванням струмом високої частоти,

контактне зміцнення). Поверхнєве загартування застосовується для отримання твердого, зносостійкого шару деталей з середньо- і високовуглецевих сталей, а також перлітних, ковких, сірих і високоміцних чавунів з вмістом вуглецю не менше 0,4%.

Поверхнєве загартування здійснюється шляхом нагрівання поверхневого шару деталей і швидкого охолодження його до кімнатної температури, використовуючи такі методи: одночасне, послідовне і безперервно-послідовне загартування. При першому способі одночасно загартовується вся поверхня однієї або декількох деталей (гвинти, свердла, шестерні, колінчасті вали). При послідовному загартуванні окремі деталі нагріваються і загартовуються по черзі (шестерні великого модуля, зубчасті колеса). При безперервно-послідовному методі індуктор або деталь, що гартується, рухається зі швидкістю 2...6 мм/с (осі, гільзи циліндрів двигунів, станини верстатів) [8].

Поверхнєве загартування газополуменевим нагріванням застосовують для деталей із середньовуглецевих і високовуглецевих сталей і чавунів (сірих, модифікованих, легованих, ковких із вмістом вуглецю 0,4...0,85%). Нагрівання здійснюється полум'ям, що складається з суміші газів і кисню, іноді використовується гасо-кисневе полум'я. Для швидкого охолодження використовують воду кімнатної температури, підігріту емульсію і стиснене повітря. При загартуванні нагріваються лише окремі ділянки деталі, що загартовується (зуби шестерень, доріжки коліс кранів, шийки валів). Такий вид загартування збільшує термін служби зубчастих коліс в 3,5...5 разів. Глибина загартованого шару зазвичай становить 2-4 мм. Структура: мартенсит в поверхневому шарі, мартенсит + троостит в перехідній зоні, перліт + ферит в серцевині деталі. Твердість загартованого поверхневого шару сталі становить 50...56 HRC.

Перевагою є відсутність видалення вуглецю і окислення поверхні, простота пристрою і низька вартість установки. До недоліків можна віднести складність контролю температури нагріву і глибини загартованого шару.

Для газополуменевого загартування використовують спеціальні установки: напівавтоматичні та автоматичні машини. [9].

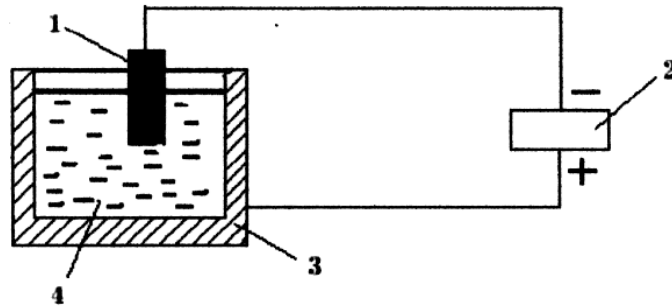


Рисунок 9 – Схема установки газополуменевого загартування

- 1 – катод
- 2 – джерело струму
- 3 – ванна
- 4 – електроліт

Для поверхневого загартування електроконтактним нагріванням використовується змінний струм промислової частоти. При цьому методі струм від однофазного понижувального трансформатора подається на оброблювану поверхню за допомогою роликового електрода. Ролик може вільно переміщатися по поверхні. Під час протікання струму в місці контакту виділяється тепло. Після гартування тонкі деталі охолоджують за допомогою емульсії або води, нагрітої до 25...60°C; великі деталі не потребують штучного охолодження. Цей метод загартування залишає незагартованим поверхневий шар металу товщиною 0,05...0,2 мм, який знімається шліфуванням.

Високочастотне загартування - це процес поверхневого зміцнення, при якому метал нагрівається змінним струмом високої частоти, що індукується в ньому. Цей метод забезпечує високу твердість і нову структуру в поверхневому шарі, в той час як серцевина зберігає свою початкову твердість і структуру. Для високочастотного загартування використовують машинні та лампові генератори [8].

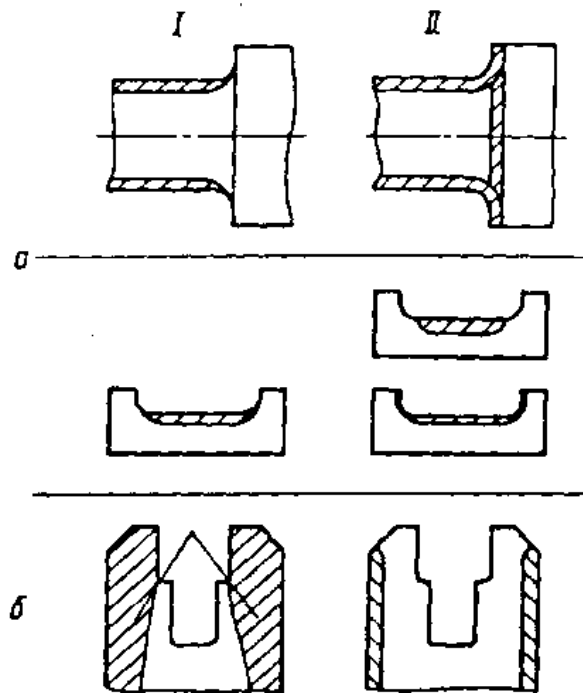


Рисунок 10 – Раціональний вибір поверхневого загартування:
I – нераціональний варіант; II – раціональний варіант

Високочастотне загартування застосовується у всіх галузях машинобудування. В результаті зміцнення нагріванням струмами високої частоти втомна міцність сталей підвищується на 40-100%, а зносостійкість деталей після обробки струмами високої частоти значно вища, ніж при нагріванні в печі. Нагрівання струмами високої частоти показало, що в умовах окислювального зношування з низькою швидкістю ковзання високочастотне загартування підвищує зносостійкість майже вдвічі. Цей вид зміцнення найчастіше

використовується при обробці зубчастих коліс та для зміцнення внутрішніх поверхонь глибоких отворів.

Перевага високочастотного загартування полягає в тому, що за допомогою цього процесу можна загартовувати шари товщиною від сотих часток міліметра до десяти міліметрів. Цей метод є найбільш продуктивним порівняно з іншими методами загартування і може бути автоматизований та інтегрований в існуючу автоматизовану лінію. Крім того, цей метод дозволяє замінити леговані сталі на вуглецеві, що значно знижує собівартість деталей, а також не утворює окалини на поверхнях деталей, що дозволяє виключити з технологічного процесу дробоструминної обробки.

При плазмовому наплавленні заготовка нагрівається до тих пір, поки поверхневий шар не буде розплавлений плазмою. Охолодження досягається за рахунок теплопередачі вглиб заготовки. Під час охолодження на поверхні деталі утворюється шар дрібнозернистої структури. Метод використовується для зміцнення деталей двигунів.

Магнітне загартування найбільш ефективно для ріжучого інструменту. Дослідження показують, що після такої обробки свердла діаметром 6...23 мм мають на 60...148% довший термін служби.

Наплавлення матеріалу. Наплавлення здійснюється шляхом розплавлення основного металу і нанесення на його поверхню іншого металу (робочого шару). Мінімальна товщина шару, що наплавляється - 0,25 мм, максимальна товщина технологічно не обмежена. Наплавлення застосовують для підвищення стійкості поверхонь та інструментів до різних видів зносу, для отримання сплаву з різними властивостями на поверхні, а також для заміни високолегованої сталі на звичайну вуглецеву або низьколеговану.

Газове наплавлення застосовують для зміцнення деталей автомобілів, тракторів та інших машин.

Електрошлакове наплавлення засноване на виділенні тепла в розплавленому флюсі під дією електричного струму. Процес наплавлення зазвичай виконується одночасно з формуванням поверхні, що дозволяє зменшити припуск на механічну обробку. Електрошлакове наплавлення доцільно застосовувати, коли необхідно нанести великий шар металу для великих партій деталей. Недоліком цього методу є значне зміцнення структури наплавленого металу. Перевагою електрошлакового наплавлення є повільне охолодження, що запобігає утворенню гарячих тріщин [8].

Вібродугове наплавлення використовується для нанесення тонких шарів металу (0,3...1,5 мм) для відновлення зношених зовнішніх поверхонь циліндричних деталей (поверхні валів, піввісей, посадочні поверхні під підшипники). У цьому методі наплавлення металу відбувається в струмені рідини і полягає в періодичному приварюванні дрібних частинок електродного дроту до поверхонь. Матеріал наноситься шляхом перенесення з вібруючого електрода на заготовку невеликими порціями в результаті частих збурень дугового розряду в момент розмикання електричного кола.

Напилення матеріалів. Процес напилення металу (металізація) полягає в нанесенні металевого покриття на поверхню деталі будь-якої форми шляхом розпилення рідкого металу струменем стисненого повітря. Зчеплення частинок напилюваного матеріалу з поверхнею заготовки відбувається за рахунок адгезії. Металізовані покриття завжди мають пористу структуру.

Залежно від джерела тепла розрізняють такі види металізації: газову (газове полум'я), електричну (електрична дуга) і плазмову (за рахунок високої температури плазми).

Метод металізації простий у використанні і не вимагає великих витрат. Недоліками цього методу є крихкість нанесеного шару, не завжди достатня міцність зчеплення, знижена втомна довговічність деталей і механічна міцність напилених зразків металу порівняно з отриманими литтям.

Гальванічні покриття. Ці покриття поділяються на такі види: захисні покриття (цинкові, кадмієві, свинцеві, олов'яні, нікелеві; сплави: кадмієво-цинкові, олов'яно-цинкові, мідно-цинкові, свинцево-олов'яні, цинково-нікелеві; захисні плівки, отримані фосфатуванням і окисненням); декоративно-захисні покриття (нікелеві, хромові, кобальтові, срібні, золоті; сплави: мідно-олов'яні, олов'яно-нікелеві, золотомідні); покриття, що підвищують зносостійкість та поверхневу твердість (хромові, залізні, нікелеві); покриття, які дозволяють відновлювати розміри виробів (хромисті, залізні, мідні).

Технологічний процес нанесення покриттів складається з наступних операцій: підготовка поверхні до нанесення покриття, нанесення покриття, обробка поверхні після нанесення покриття [8].

Лакофарбові покриття. Ці покриття використовуються для захисту металів від корозії та деревини від гниття.

Дифузійна металізація. Це процес насичення поверхневого шару сталі алюмінієм, хромом, бором, цинком і кремнієм. Цей тип покриття використовується для надання сталевим деталям жароміцних, антикорозійних властивостей і підвищення зносостійкості [8]. Метали утворюють із залізом тверді розчини заміщення, тому їх дифузія набагато менша, ніж у вуглецю або азоту. Тому процеси дифузійної металізації проводять при більш високих температурах (1000...1200 °C) і протягом більш тривалого часу [9].

Алітування (насичення поверхні Al) підвищує жаростійкість і корозійну стійкість вуглецевих і легованих сталей, оскільки в процесі

нагрівання на поверхні виробів утворюється щільна плівка Al_2O_3 , яка захищає метал від окислення. Структура алюмінізованого шару являє собою твердий розчин Al в α -залізі. Концентрація Al в поверхневій частині шару становить приблизно 30%, а товщина шару - 0,2...1 мм. Алітовані вироби можуть працювати без помітного окислення при $T=900^\circ C$. Дифузійне хромування підвищує стійкість сталевих виробів до корозії та окислення. Вироби з хромованої сталі жароміцні до $T=800...850^\circ C$. Твердість шару, отриманого при хромуванні заліза, становить $HV=250...300$, а при хромуванні сталі – 1200...1300 HV.

Силіціювання (насичення Si) використовується для підвищення зносостійкості, жароміцності (до $700...750^\circ C$) і корозійної стійкості. Силіційований шар - це твердий розчин Si в α -залізі. Насичення поверхні сталевого виробу двома або більше компонентами (Cr і C, Cr і Al, Al і Si) дозволяє змінювати властивості поверхневих шарів [9].

Пластмасові покриття. Використовуються для захисту поверхонь деталей від впливу агресивних середовищ (наприклад, концентрованих кислот і окислювачів). Для нанесення пластмас використовують вихрове напилення і газополуменеве напилення. Процес нанесення полімерних покриттів схожий на процес металізації напиленням. Напилення пластмас можна виконувати тільки на відкритих поверхнях без гострих кутів, країв і раковин.

Електроіскрове, електродугове та лазерне зміцнення. Електроіскрове зміцнення - це одночасна дія ерозійних, термічних, термохімічних процесів і контактного перенесення матеріалу. Частинки матеріалу відриваються від поверхні заготовки (катода) при проходженні іскри, і в той же час відбувається інтенсивне перенесення матеріалу від анода (електрода) до катода. Коли іскра перестрибує через невеликі ділянки поверхні заготовки,

відбувається високотемпературний нагрів і швидке охолодження. Охолодження відбувається зі швидкістю 10 000...100 000°C/с, а іскроутворення триває від 1/100 до 1/100 000 секунди. Електроди виготовляються з твердих сплавів, що містять карбіди титану і вольфраму, ферохром, хромомарганець, чистий алюміній, білий чавун і вуглецевий графіт. Електроіскрове зміцнення застосовується для деталей машин, що працюють в абразивному середовищі (дорожні, будівельні та землерийні машини).

Лазерне поверхнєве зміцнення. Цей вид зміцнення являє собою процес імпульсного лазерного легування з використанням спеціальних паст, що містять дрібнодисперсні порошки бору і твердих сплавів, змішані в гліцерині з фтористими активаторами. Лазерне випромінювання фокусується спеціальною лінзою, яка створює світлову пляму у формі еліпса з осями 7...15 мм і 2...5 мм. Лазерне зміцнення дозволяє обробляти важкодоступні поверхні і виконувати локальне зміцнення окремих ділянок деталей. Лазерне зміцнення підвищує зносостійкість в два і більше разів [8].

Поверхнєве зміцнення колісних пар локомотивів є важливим етапом обслуговування для підвищення їхньої тривалості служби і забезпечення безпеки руху. Існує кілька методів поверхневого зміцнення, які використовуються в залізничному транспорті:

Термічне зміцнення:

Отжиг: Колесні пари нагріваються до високої температури, а потім швидко охолоджуються. Цей процес допомагає підвищити міцність металу і покращити його властивості.

Індукційне закалювання: Також використовують високу температуру для підвищення міцності, але в цьому випадку температура створюється за допомогою індукційного обігріву.

Хімічне зміцнення:

Азотування: Процес, при якому азот введений в поверхневий шар металу, збільшує його твердість.

Карбування: Збагачення поверхневого шару вуглецем для поліпшення його міцності.

Магнітно-абразивне оброблення:

Використовує магнітні поля для руху абразивних частинок, які обробляють поверхню металу. Цей метод дозволяє поліпшити якість поверхні та зменшити ступінь втомлення матеріалу.

Лазерне зміцнення:

Використовується лазер для обробки поверхні, що дозволяє зміцнювати метал шляхом локалізованого підігріву і охолодження.

Плазмове напилення:

Застосовується напилення плазмою для нанесення спеціальних покриттів на поверхню, забезпечуючи зносостійкість і захист від корозії.

Вибір конкретного методу поверхневого зміцнення залежить від матеріалу колісної пари, вимог до міцності та інших факторів. Комбінація різних методів також може застосовуватися для досягнення оптимальних результатів.

1.4. Наплавочні матеріали та стандарти

Наплавочні матеріали використовуються для відновлення або покращення властивостей металевих поверхонь шляхом нанесення нового шару матеріалу. Це дозволяє відновити або покращити зношені, пошкоджені або знецінені деталі, зберігаючи їхню міцність та функціональність.

Деякі з популярних наплавочних матеріалів:

Зварні дроти і покриття включають сталеві або спеціальні дроти, які наплавлюють на металеву поверхню для відновлення або зміцнення. Покриття може бути виконане з вуглецевої сталі,

нержавіючої сталі, або сплавів на основі нікелю, кобальту, алюмінію тощо.

Порошки для наплавлення – це порошкові матеріали, які можна наносити на поверхню за допомогою різноманітних технологій, таких як наплавлення за допомогою плазми, газового напилення або лазерного наплавлення. Ці порошки можуть бути металевими або керамічними і мають великий діапазон застосувань.

Стандарти для наплавочних матеріалів встановлюють якість, хімічний склад, міцність та інші властивості, які повинні відповідати вимогам конкретних застосувань. Наприклад, AWS (American Welding Society) встановлює стандарти для зварювання та наплавлення, а ASTM International визначає стандарти для матеріалів, включаючи наплавочні матеріали, зокрема їхні властивості, методи тестування та хімічний склад. European Welding Association (EWA) та інші подібні організації також розробляють власні стандарти для цих матеріалів.

Дотримання цих стандартів допомагає забезпечити безпеку, надійність і ефективність використання наплавочних матеріалів у різних галузях, включаючи авіацію, автомобільну промисловість, суднобудування, нафтогазову галузь та багато інших.

Вибір матеріалу для зварювання або наплавлення залежить насамперед від властивостей металу, що зварюється, які визначають його технологічну зварюваність. Технологічна зварюваність - це комплексна характеристика металу, яка відображає його реакцію на процес зварювання і визначає його відносну придатність для отримання зварних з'єднань із заданими характеристиками. Поняття технологічної зварюваності визначено в ДСТУ 3761.3-98.

Основним фактором, що визначає зварюваність сталі, є її хімічний склад. Крім того, значний вплив мають вміст шкідливих

домішок (сірки, фосфору), газонасиченість і забрудненість неметалевими включеннями, схильність до росту зерна при перегріванні, чутливість до концентраторів напружень, термічне старіння, гаряче і холодне тріщиноутворення, перехідна температура крихкості та інші металургійні і технологічні фактори [10].

Залежно від якісної оцінки зварюваності всі марки сталей, що застосовуються в промисловості, поділяють на наступні групи

- хороша зварюваність (коли забезпечуються необхідні експлуатаційні властивості зварних з'єднань при заданих технологічних і конструктивних умовах);

- задовільна зварюваність (коли експлуатаційні властивості з'єднань забезпечуються певним вибором раціонального режиму зварювання та його дотриманням в процесі виготовлення виробу);
- обмежена зварюваність (коли необхідно застосовувати спеціальні технологічні заходи або змінювати спосіб зварювання);

- незадовільна зварюваність (коли необхідні експлуатаційні властивості зварних з'єднань не досягаються при всіх вжитих спеціальних технологічних заходах).

Найпоширеніші марки сталей залежно від їхнього структурного стану поділяються на такі основні класи

- перлітні (вуглецеві та низьколеговані)

- феритні, мартенситно-феритні та мартенситні (з високим вмістом хрому)

- аустенітні та ферито-аустенітні (хромонікелеві).

Кожен клас, в свою чергу, поділяється на групи, які об'єднують сталі з відносно схожими властивостями, експлуатаційними характеристиками і зварюваністю.

Розглянемо докладніше різні види дроту, що застосовуються для наплавлення.

Зварювальний сталевий дріт.

Зварювальний сталевий дріт використовується для виготовлення покритих електродів, механізованого та автоматизованого зварювання в захисних газах і під шаром флюсу, електрошлакового зварювання, а також як присадний метал для газового зварювання і зварювання неплавким електродом.

Катанка виплавляється в кисневих конвертерах, мартенівських або електродугових печах і розливається в злитки на машинах безперервного лиття заготовок. Останній спосіб є переважним. У деяких випадках сталь піддають додатковій спеціальній обробці для зменшення вмісту шкідливих домішок і неметалевих включень, а також для дегазації металу. Виливки прокочуються в дріт діаметром 7...10 мм. Після прокатки дріт обробляється в розчинах кислот і лугів для видалення з його поверхні окалини. Потім дріт піддають холодному волочінню на багатоступеневих волочильних станах. Якщо на дроті утворюється велика окалина, яка перешкоджає подальшій обробці до необхідного діаметру, його відправляють на проміжну термічну обробку для видалення окалини. Нагрівання здійснюється в інертній захисній атмосфері, яка запобігає утворенню окалини.

Останніми роками сталевий дріт для зварювання виробляють переважно на автоматизованому обладнанні, що дозволяє волочити високоякісний дріт зі швидкістю до 30 м/с [10]. Технологічний процес складається з двох стадій: першого та другого волочіння. Перше волочіння є найважливішою операцією в технологічному процесі виготовлення суцільного дроту. Суворе дотримання технології дозволяє виготовляти дріт малого діаметру без попередньої термічної обробки. Друге волочіння зазвичай поєднується з процесом дифузійного міднення.

Дріт виготовляється з низьковуглецевих, легованих і високолегованих сталей. Дріт поставляється холоднотягнутим діаметром 0,3, 0,5, 0,8, 1,0, 1,2, 1,4, 1,6, 2,0, 2,5, 3,0, 4,0, 5,0, 6,0 і 8,0 мм. Маркування дроту - це марка сплаву, з якого він виготовлений. Воно складається з індексу Св (зварювальний) і наступних цифр і букв. Цифри вказують на середній вміст вуглецю в дроті в сотих частках відсотка, а букви - на назви легуючих елементів і їх середній відсотковий вміст.

Маркування зварювального дроту відображає тільки хімічний склад сталі, з якої виготовлений дріт, але а кож необхідно знати інформацію про механічні властивості зварюваного металу і технологічні характеристики дроту. У зв'язку з цим ТОВ "Кродес" та Інститутом електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України розроблені та введені в дію технічні умови на зварювальний дріт (ТУ У 05416923.028-97 та ТУ У 05416923.029-97), які визначають металургійні, механічні та технологічні характеристики дроту, необхідні споживачеві: якість формування шва, забрудненість металу шлаковими включеннями, межа плинності, тимчасовий опір, ударна в'язкість наплавленого металу тощо [10]. Марочний асортимент більшості зварювальних дротів, що випускаються за новими технічними умовами, відповідає типовим закордонним аналогам. Процедура оцінки механічних властивостей металу шва або наплавленого металу передбачає зварювання спеціальних випробувальних зразків в регламентованих умовах і визначення категорій міцності та ударної в'язкості. Запропонована класифікація зварювальних дротів проста у використанні та відповідає європейським і міжнародним вимогам, але для її впровадження в Україні потрібен час.

Зварювальний сталевий дріт

Суцільний сталевий дріт спеціально розроблений для різних методів наплавлення. Дріт поставляється діаметром, мм: 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0, 6,5 і 8,0. Залежно від складу дроти поділяються на три групи: вуглецеві (9 марок), леговані (11 марок) і високолеговані (10 марок). Дріт для наплавлення має більший вміст вуглецю в порівнянні з дротом загального призначення, що визначає твердість наплавленого металу.

Для наплавлення шарів високотвердих сталей також можуть використовуватися спеціалізовані пружинні дроти. Це дріт зі сталей марок 65ГА, 68ГА, 68А, а також зі сталей марок 60Х2А, 65Х2ВА, 70Х3А, 60Х2НФА, 50ХФА.

Дріт для зварювання алюмінію та його сплавів

Зварювальний дріт суцільного перерізу призначений для зварювання алюмінію та його сплавів [10]. Дріт виготовляється з алюмінію та його сплавів. Алюміній легується марганцем, магнієм, кремнієм, міддю, а також модифікуючими елементами: залізом, титаном, берилієм, цирконієм, ванадієм, які сприяють поліпшенню структури металу шва, що підвищує його міцність і стійкість до розтріскування. Виробляється методом волочіння або пресування до діаметру 0,8-12 мм.

Дріт для зварювання міді та її сплавів

Дріт і прутки призначені для зварювання і наплавлення міді та її сплавів. Як припої використовують багато марок дротів і прутків [4]. Зварювальні прутки виготовляються наступних марок: М1р; М3р; Бр.ОФ6,5-0,15; Бр.ОЦ4-3; Бр.АМц9-2; Л060-1; ЛК62-0,5; Л63; ЛМц58-2; ЛЖМц59-1-1; ЛОК59-1-0,3 і ЛКБО-62-0,2-0,04-0,5. Прутки поставляються діаметром 6 і 8 мм. [10]

Багато дротів виготовляються з міді та її сплавів методом пресування. Циліндричну виливок нагрівають до температури

700...1000 °C і подають в циліндр преса, з якого вона видавлюється поршнем через отвір циліндра у вигляді прутка, який потім піддається холодному волочінню. Мідь, однофазні латуні та бронзи легко піддаються волочінню. Багатофазні сплави - ні. У холодному стані вони сильно наклепуються, що ускладнює волочіння. При наклепуванні дрід проходить проміжний легкий відпал, а потім подальше волочіння. Легкий відпал передбачає нагрівання металу в атмосфері інертних захисних газів, що запобігає утворенню оксидів на його поверхні.

Дрід для зварювання титану та його сплавів

Дрід для зварювання титану випускається діаметром 1...7 мм. Дрід поставляється з чистою металевою поверхнею після травлення і дегазації (вміст водню не більше 0,003 % за масою). Дрід ВТ1-00 використовується для зварювання технічного титану, а також низьколегованих і псевдолегованих сплавів разом з дротом ВТ2св; дрід СПТ-2 - для високоміцних сплавів [10]. Якість зварних з'єднань титанових сплавів значною мірою визначається технологією підготовки поверхні деталей і дроту до зварювання. Перед зварюванням кромки деталей і дроту обробляють і знежирюють спиртом-ректифікатом або ацетоном. Якщо деталі і дрід піддавалися гарячій механічній або термічній обробці без захисної атмосфери, необхідно застосувати дробеструйну або гідропіскоструминну обробку поверхні з подальшим хімічним стоншенням оксидно-нітридної плівки, травленням, освітленням і промиванням

Чавунні прутки для зварювання та наплавлення

Чавунний присадний дрід для газового зварювання і наплавлення сірого чавуну, для виготовлення покритих електродів для дугового зварювання і наплавлення.

Залежно від застосування чавунні прутки поділяються на наступні марки:

А - для зварювання в середовищі захисних газів;

Б - для газового зварювання з місцевим підігрівом і для виготовлення покритих електродів:

НЧ-1 - для низькотемпературного газового зварювання тонкостінних виливків;

НЧ-2 - для низькотемпературного газового зварювання товстостінних виливків;

БЧ і ХЧ - для зносостійкого наплавлення.

Порошковий дріт.

Основними перевагами порошкових дротів у порівнянні з іншими зварювальними матеріалами є те, що необхідні механічні властивості зварного з'єднання, характеристики міцності та пластичності зварних швів гарантуються без додаткової термічної обробки завдяки оптимальному підбору наповнювача, виходячи з конкретного технічного завдання.

Крім того, використання порошкових дротів дає наступні переваги [10].

Збільшення продуктивності зварювання в 1,5...2,0 рази в порівнянні з механізованим зварюванням суцільними дротами;

можливість зварювання без газу і флюсу (самозахисні порошкові дроти)

оптимальна форма швів;

простота у використанні та хороші експлуатаційні властивості;

кращі санітарно-гігієнічні характеристики;

можливість використання в польових умовах.

Області застосування порошкових дротів:

відповідальні металоконструкції з важкими режимами експлуатації;

мостові конструкції

резервуари і технологічні ємності на нафтохімічних об'єктах
ребра жорсткості корпусів суден, барж, платформ, балок
шляхопроводів

будівельні конструкції висотних будівель і промислових
об'єктів;

технологічні та магістральні трубопроводи.

Порошковий дріт - це суцільний електрод трубчастої або іншої
більш складної конструкції (рисунок 11) [10] з порошковим
наповнювачем - електродним осердям. Наповнювач електрода
складається з суміші мінералів, руд, феросплавів, металевих
порошків, хімічних речовин та інших матеріалів. Призначення різних
компонентів наповнювача аналогічне призначенню електродних
покриттів: захист розплавленого металу від шкідливого впливу
повітря, розкислення, легування металу, зв'язування азоту в стійкі
нітриди, стабілізація дугового розряду тощо. Присадні компоненти
також повинні відповідати загальноприйнятим вимогам до всіх
зварювальних матеріалів: гарне формування шва, легке відділення
шлакової кірки, проплавлення основного металу, відсутність пор,
тріщин, шлакових включень та інших дефектів, а також певні
механічні властивості зварних швів і зварних з'єднань.

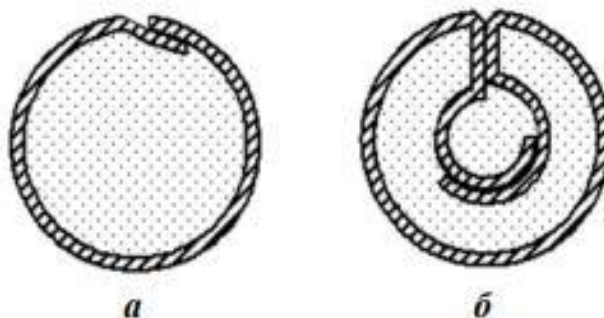


Рисунок 11- Загальний вигляд перерізу порошкових
зварювальних дротів: а – трубчастий з напуском; б – двошаровий

Виробництво порошкового дроту - досить складний і відповідальний процес. Він включає такі основні операції:

вхідний контроль шихтових матеріалів і обмотувальної стрічки;

сушіння (за необхідності), подрібнення і просіювання шихтових матеріалів з контролем їх гранулометричного складу;

підготовка шихти (змішування);

підготовка обмотувальної стрічки;

виготовлення партії порошкового дроту для підбору коефіцієнта наповнення;

контроль хімічного складу і твердості наплавленого металу; коригування складу шихти (за необхідності);

виготовлення партії порошкового дроту;

пакування дроту, що гарантує тривалий термін зберігання.

Європейські та міжнародні класифікації поділяють порошкові дроти на три типи за складом наповнювача: рутилові (R - повільнотверднучий шлак, P - швидкотверднучий шлак), основні (B) та металонаповнені (M) [10]. Крім того, порошкові дроти класифікують за механічними властивостями і хімічним складом наплавленого металу, просторовим положенням під час зварювання, складом захисного середовища, вмістом дифузного водню в наплавленому металі.

Рутилові порошкові дроти, як правило, характеризуються високими технологічними властивостями і широким діапазоном зварювальних параметрів. Рутиловий присадний флюс традиційно забезпечує високу стабільність горіння дуги, дрібнокрапельне і струминне перенесення присадного металу, гарне формування шва. Рутиловий дріт використовується для зварювання сталей з межею міцності не більше 650 МПа і гарантованим рівнем ударної в'язкості до -50 °С.

Порошкові дроти з основним осердям застосовуються переважно для зварювання сталей з високими вимогами до ударної в'язкості при низьких температурах, як після зварювання, так і після термообробки. Недоліками цих порошкових дротів є дещо нижчі технологічні властивості через великий краплинний перенос металу, а також певний ризик утворення шлакових включень і недостатнє проплавлення основного металу.

Порошкові дроти з металевим сердечником містять мало або зовсім не містять шлакоутворюючих компонентів у наповнювачі, а також невелику кількість стабілізаторів дуги. Як і при зварюванні суцільним дротом, на поверхні шва утворюється лише невелика кількість шлаку, що дозволяє виконувати багат шарове зварювання без проміжного видалення шлаку. Необхідний рівень ударної в'язкості металу шва гарантується до температури $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Порошкові дроти з металевим порошком також забезпечують вищу продуктивність і якість зварювання, ніж суцільні дроти.

Склад наповнювача порошкового дроту, як зазначалося вище, залежить від способу захисту зварювання. Наповнювач порошкового дроту для зварювання під флюсом містить переважно легуючі компоненти у вигляді феросплавів, чистих металів, лігатур, карбідів, боридів тощо. Щоб запобігти появі пор в наплавленому металі, до наповнювача порошкових дротів, навіть призначених для наплавлення під флюсом, необхідно додавати активні речовини, здатні зв'язувати водень з утворенням HF і азот з утворенням міцних нітридів.

Важливою характеристикою порошкових дротів, яка визначає можливий ступінь легування наплавленого металу, є коефіцієнт заповнення - відношення маси присадної шихти до маси дроту. Максимальний коефіцієнт заповнення (КЗ) порошкових дротів не перевищує 45%. Він може бути досягнутий тільки при використанні в

шихті порошкового дроту чистих металів або феросплавів, що містять карбіди високої щільності. Мінеральні компоненти з відносно низькою щільністю не дозволяють отримати високі значення коефіцієнта заповнення. Більшість порошкових дротів, що випускаються сьогодні, мають коефіцієнт заповнення 25...35%. Якщо умови легування вимагають високого коефіцієнта наповнення, для виготовлення порошкового дроту використовують більш тонку стрічку і збільшують діаметр дроту.

Технологічні особливості зварювання порошковим дротом пов'язані з його структурою, яка впливає на характер перенесення електродного металу (рисунок 12).

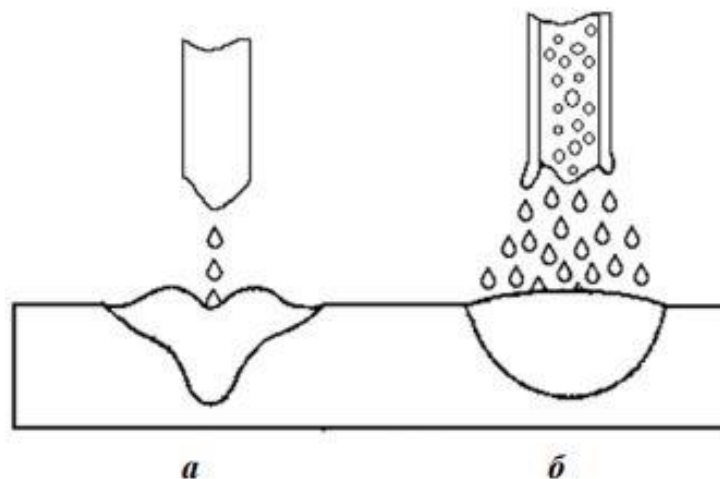


Рисунок 12 – Зона проплавлення при зварюванні суцільним дротом (а) та порошковим (б)

Конструкція порошкових дротів поєднує в собі найкращі характеристики ручного дугового зварювання покритими електродами та механізованого зварювання суцільним дротом. Зварювальна дуга порошкового дроту ширша в поперечному перерізі, ніж у суцільного дроту. Краплі розплавленого металу переносяться через дуговий проміжок менш концентровано, а їхня енергія розподіляється більш рівномірно. Це дає можливість

зварювати на високих питомих густинах струму, що стабілізує процес горіння дуги і забезпечує стабільне, рівномірне перенесення розплавленого металу через дуговий проміжок. Тепло дуги поширюється на велику поверхню. Це забезпечує сприятливу округлу форму зони проплавлення в поперечному перерізі шва. Поверхня шва формується без турбулентності, характерної для зварювання суцільним дротом. Практично відсутній ризик руйнування кореня шва при зварюванні кутових і таврових з'єднань. Гарантована пластичність і ударна в'язкість зварного з'єднання забезпечується завдяки хорошему розкисненню металу шва. Підвищується продуктивність зварювання.

Основним недоліком порошкових дротів великого діаметру (2,0...3,0 мм) є необхідність використання більш високих зварювальних струмів для стабільного горіння дуги, що робить їх придатними тільки для зварювання в нижньому положенні і іноді у вертикальному положенні. Це пов'язано з тим, що сформована зварювальна ванна збільшеного об'єму, яка покрита рідким шлаком, не утримується у вертикальному і стельовому положеннях силою його поверхневого натягу і тиском дугових газів [10].

Продуктивність зварювального процесу порошкового дроту значно вища, ніж у суцільного, завдяки вищій питомій швидкості плавлення. Однак підвищена продуктивність зварювання - не головна причина використання порошкового дроту. Дуже важливо, щоб якість зварювання була кращою. Покращуються умови формування зварного шва, знижується ризик появи тріщин в конструкціях, які тривалий час працюють під динамічним навантаженням, особливо при низьких температурах. Це досягається завдяки тому, що порошковий зварювальний дріт забезпечує досить низький рівень водню в наплавленому металі. Забезпечення вмісту водню не більше $5 \text{ см}^3 / 100 \text{ г}$ не є проблемою

для більшості металонаповнених і основних порошкових дротів у всьому діапазоні умов зварювання [10].

Найбільший вміст водню мають рутилові порошкові дроти, виготовлені методом волочіння. Для цих дротів необхідно ретельно дотримуватися рекомендованих умов зберігання і режимів зварювання. В іншому випадку неможливо досягти вмісту водню менше $5 \text{ см}^3 / 100 \text{ г}$ у наплавленому металі. З цієї причини в останні роки перевага віддається дроту, виробленому комбінованим процесом прокатки і волочіння. На поверхні такого дроту залишається дуже тонкий шар волочильного мастила, що забезпечує досить низький вміст водню в наплавленому металі і хороші умови для подачі дроту в зону зварювання через гнучкі шланги [10].

Флюс для зварювання та наплавлення.

"Зварювальний флюс - матеріал, що використовується під час зварювання для хімічного очищення поверхонь, що з'єднуються, захисту розплавленого металу від впливу навколишнього середовища і підвищення якості зварного шва" (ДСТУ 3761.3-98). Крім виконання своїх основних функцій, флюс під час зварювання сприяє стабільному горінню дуги та покращує формування шва [10].

Серед різних існуючих способів механізованого зварювання із застосуванням флюсу найбільш поширеним є зварювання під флюсом. Схема цього процесу показана на рисунку 13.

Зварювальна дуга 2 горить між заготовкою 1 і кінцем зварювального дроту 3. У міру розплавлення дроту останній автоматично подається в зону зварювання. Дуга покривається шаром флюсу 4. Зварювальний дріт переміщується в напрямку зварювання спеціальним механізмом (автоматичне зварювання) або зварювальником (механізоване зварювання). Основний метал і флюс розплавляються під дією тепла дуги. Рідкий шлак утворює

еластичну плівку 5 навколо зони зварювання, яка ізолює цю зону від повітря. Краплі розплавленого металу зі зварювального дроту проходять через дуговий проміжок у зварювальну ванну 6, де змішуються з розплавленим основним металом. У міру просування дуги вперед метал зварювальної ванни охолоджується і кристалізується, утворюючи зварний шов 8. Шлак деякий час залишається рідким, захищаючи метал. Потім шлак твердне, утворюючи шлакову кірку 7 на поверхні шва.

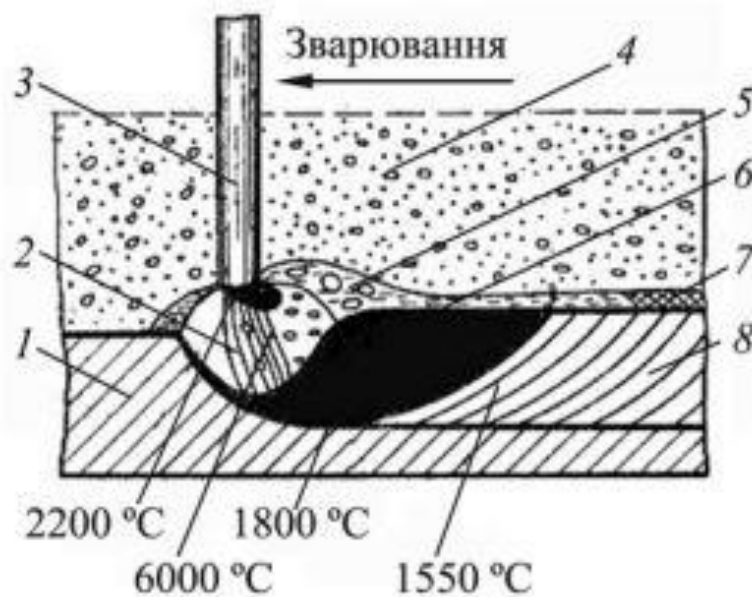


Рисунок 13 – Схема процесу електродугового зварювання під шаром флюсу

Роль флюсового шлаку при зварюванні та наплавленні дуже важлива. Його склад визначає атмосферу дуги, що впливає на стабільність її горіння, стійкість зварних швів до утворення пор, об'єм і співвідношення шкідливих газів. Від шлаку також залежить стабільність електрошлакового процесу. Взаємодія розплавленого шлаку з металом зварювальної ванни суттєво впливає на хімічний склад металу шва, його структуру, стійкість до утворення кристалізаційних (гарячих) тріщин та інших дефектів [10].

До найбільш важливих функцій шлаку, які мають значення для всіх видів зварювання плавленням, відносяться наступні [10]:

- забезпечення стабільності процесу зварювання
- якісне формування шва
- захист зони зварювання від впливу навколишнього повітря
- запобігання виникненню дефектів у зварних швах;
- забезпечення необхідного хімічного складу, механічних властивостей металу шва і зварного з'єднання в цілому.

Склад флюсу повинен забезпечувати легке відділення шлакової кірки від поверхні металу і санітарно-гігієнічні умови зварювання. Виділення шкідливих речовин при зварюванні повинно бути мінімальним. Крім цих загальних функцій, існують також специфічні функції для кожного виду зварювання.

Залежно від способу виготовлення флюси поділяються на плавлені, керамічні та плавлено-керамічні.

"Керамічний зварювальний флюс - флюс, виготовлений шляхом змішування порошкоподібних матеріалів зі зв'язуючою речовиною, грануляції та подальшої термічної обробки" (ДСТУ 3761.3-98). Деякі марки керамічних флюсів виготовляються без сполучного (рідкого скла) шляхом спікання шихти.

Такі флюси в основному використовуються при наплавленні, оскільки дозволяють легувати метал, що наплавляється, в широкому діапазоні концентрацій. Для цього до флюсів додають металеві порошки та феросплави.

"Плавлений зварювальний флюс - флюс, отриманий сплавленням його компонентів і подальшим гранулюванням після кристалізації або безпосередньо з розплаву" (ДСТУ 3761.3-98). Компоненти флюсової шихти плавлять в електричних або полум'яних печах з подальшою мокрою грануляцією розплаву у воді,

сухим подрібненням застиглого шлаку або розпиленням струменя рідкого розплаву повітряним потоком.

Плавлені керамічні флюси містять плавлені флюси як основу порошкової шихти. Флюси виготовляються за тією ж технологією, що і керамічні флюси. Комбіноване використання обох методів дозволяє поліпшити зварювально-технологічні властивості флюсу [10].

За призначенням розрізняють флюси загального та спеціального призначення. Флюси загального призначення застосовуються для механізованого дугового зварювання і наплавлення вуглецевих і низьколегованих сталей дротом аналогічного хімічного складу; спеціальні флюси - для певних видів зварювання (наплавлення), наприклад, електрошлакового зварювання або зварювання високолегованих сталей.

За зовнішніми характеристиками зерен плавлені флюси поділяються на кристалічні, склоподібні та пемзоподібні. Склоподібний флюс - це суміш прозорих зерен різних відтінків кольору (коричневого, зеленого, синього, чорного і білого). Пемзовий флюс має зерна, схожі на пінистий матеріал, а кристалічний флюс характеризується кристалічною структурою зерен. Колір цих флюсів також може сильно відрізнятися.

Наразі не існує класифікації флюсів за технологічними властивостями, але до найважливіших технологічних властивостей зварювальних флюсів відносяться наступні [10]

стійкість до утворення пор, гарячих і холодних тріщин у зварному шві

якість формування валика шва

вплив на глибину проплавлення;

можливість зварювання горизонтальних швів на похилих і вертикальних поверхнях

відділення шлакової кірки;

механічна стійкість зерен при транспортуванні флюсу;
санітарно-гігієнічні характеристики.

Флюси поділяються на дві групи за типом зварювального струму, що використовується: DC категорії (постійний струм) і AC категорії (змінний і постійний струм).

Процес виробництва плавких флюсів являє собою складний комплекс технологічних операцій, які виконуються в такій послідовності [10]:

- вхідний контроль якості сировини;
- підготовка сировини (сушка, подрібнення)
- завантаження шихти в піч і виплавка флюсу;
- вивантаження флюсу з печі та його грануляція; сушіння флюсу;
- просіювання флюсу за фракціями, контроль якості;
- пакування, маркування, зберігання та відвантаження флюсу споживачеві.

Сировиною для зварювальних флюсів служать різні руди і продукти їх збагачення.

Вибір флюсу для зварювання конкретного виробу є відповідальним завданням, яке ускладнюється тим, що, крім правильного вибору зварювально-технологічних властивостей флюсу, необхідно визначити оптимальний металургійний варіант зварювання, включаючи поєднання дроту і флюсу [10].

Отже, можна зробити висновок, що зварні та наплавочні матеріали стали важливою складовою виробництва та ремонту різних промислових конструкцій і машин.

На даний час в локомотивному депо для процесу наплавлення гребнів колісних пар локомотивів використовують порошковий дріт ПП-Нп-ПСТП ТУ У 28.7-30268695-006-2004 діаметром 2,2...2,4 мм під шаром флюсу АН-348.



Рисунок 14 - Бірка флюсу АН-348А

Флюс зварювальний АН-348 А призначений для механізованого (автоматичного і напівавтоматичного) зварювання і наплавлення конструкцій з вуглецевих нелегованих і низьколегованих сталей зварювальним дротом марок СВ-08, СВ-08А, СВ-08ХМ та інших [51].

Флюс АН-348А має колір від жовтого до коричневого всіх відтінків.

Зварювально-технологічні властивості.

Стабільність дуги добра, довжина обриву дуги до 13 мм, формування шва цілком задовільне, схильність до утворення пор і тріщин низька, модифікація флюсу АН-348 вимагає більш ретельного сушіння, відокремлюваність шлакової кірки цілком задовільна, утруднене зварювання корінних роликів.

Структура зерен склоподібна, насипна щільність 1,3...1,8 кг/дм³.

Металургійні властивості [51].

Висококремнієвий високомарганцевий оксидний флюс з хімічною активністю $A_f = 0,7...0,75$. Під час зварювання під флюсом інтенсивно протікають процеси відновлення кремнію і марганцю.

Вміст кисню в металі шва у вигляді дрібних оксидних включень становить 0,06% (для однопрохідних швів) і до 0,1% (для багатопрохідних швів).

Взаємодія флюсу з металом особливо інтенсивно відбувається при зварюванні швів малих діаметрів (до 3 мм). Концентрація сірки і фосфору в металі шва в середньому становить 0,04% кожного. Не рекомендується для зварювання конструкцій при температурі нижче -30°C [4].

Хімічний склад (масова частка), %.

Si(IV) оксид	Mn(II) оксид	Ca оксид, не більше	Mg оксид, не більше	Al оксид, не більше	Ca фтористий	Fe(III) оксид	S	P
40-44	31-38	12,0	7,0	6,0	3,0-6,0	0,5-2,0	0,12	0,12

Дріт ПП-Нп-ПСТП: після відводу 400÷440 НВ 2,0÷4,0, самозахисний, в атмосфері CO₂ і під флюсом ФС-7 для зварювання комбінованих з'єднань перлітних сталей типу 30Г з аустенітними сталями типу 110Г13Л, а також для електродугового наплавлення деталей з низько- і високовуглецевих сталей (типу 65Г) і високомарганцевих сталей (типу 110Г13Л).

1.5. Постановка задачі дослідження

Як видно з вище написаного, для відновлення деталей та вузлів різних машин використовуються різноманітні матеріали та методи. У ремонті рухомого складу виникає необхідність відновлення колісних пар, які зношуються під час експлуатації, а саме геометрію гребня, що дуже важливо для безпеки руху локомотивів та вагонів. Самий простий та економний спосіб для промислового рухомого складу в умовах деповського ремонту – це наплавлення гребня зварювальним або порошковим дротом під флюсом.

Метою даної роботи є вивчення структури наплавленого металу, хімічного складу основного і наплавленого шару металу та підбір більш раціонального електродного металу за умов балансу стійкості, вартості відновлення та мінімального рівня утворення дефектів. Окрім того планується надати технологічні рекомендації для поліпшення технології автоматичного безвкатного наплавлення колісних пар локомотивів та вагонів.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Методика визначення хімічного складу металу

Хімічний аналіз металів і сплавів проводиться з метою визначення кількісного вмісту елементів для визначення марки досліджуваного зразка. Саме хімічний аналіз металу дозволяє визначити кількісний склад, наявність домішок і їх концентрацію в зразку. Цей метод випробувань актуальний, коли необхідно ідентифікувати сплав або сталь і підтвердити її маркування.

Визначення хімічного складу металу є ключовим для розуміння його властивостей та потенційних застосувань. Існує кілька методів для визначення хімічного складу металів, кожен з них має свої особливості, принципи та області застосування:

1. Спектральний аналіз:

Атомна емісійна спектроскопія (AES): Основана на вимірюванні світла, яке виділяється атомами при їх розпаді. Кожен хімічний елемент має свій характерний спектральний слід.

Індуктивно зв'язана плазма (ICP): Використовується для визначення слідових та висококонцентрованих елементів шляхом іонізації зразка у плазмі й подальшого аналізу спектрів.

Оптична емісійна спектроскопія (OES): Вимірює світло, яке випромінюється в результаті електричного збудження атомів в зразку.

Рентгенівська флуоресцентна спектроскопія (XRF): Базується на вимірюванні рентгенівського випромінювання, що виникає при взаємодії рентгенівського променя з зразком.

Атомно-абсорбційна спектроскопія (AAS) - це метод аналізу, який використовується для визначення концентрацій окремих хімічних елементів в зразках. Основними компонентами атомно-абсорбційної спектроскопії є спектральна лампа для атомізації та

іонізації аналізованих елементів, монохроматор для розділення світла різних довжин хвиль та детектор для вимірювання інтенсивності поглинаного світла.

2. Мас-спектрометрія: Метод аналізує масу та заряд елементів або сполук у зразку, використовуючи іонізацію та розділення мас.

3. Хроматографічні методи:

Газова хроматографія (GC): Використовується для розділення та аналізу летючих компонентів металів чи їх сполук.

Рідинна хроматографія (HPLC): Використовує рідинний рух речовини для розділення та аналізу.

Хроматографія на іонообмінних смолах: Використовується для розділення іонів різних металів за їхньою афінитетною властивістю до іонообмінних смол.

4. Хімічний аналіз методом титрування: Базується на взаємодії розчинів хімічних реагентів з речовинами у зразку для визначення їхньої концентрації.

5. Електронна мікроскопія з енергодисперсійною рентгенівською спектроскопією (EDS або EDX): Метод, що використовується для отримання зображення структури матеріалу та одночасної аналізу хімічного складу в мікрорівнях.

6. Гравіметричний аналіз: Визначення концентрації елементів шляхом вимірювання маси невеликих зразків металу після проведення хімічних реакцій.

7. Термічний аналіз:

Термогравіметрія (TG): Вимірює вагу зразка при зміні температури, дозволяючи визначити вміст вологи, вуглецю, оксидів та інших компонентів.

Диференційна скануюча калориметрія (DSC): Визначає теплові ефекти, пов'язані з фазовими переходами та хімічними реакціями в металах.

Неферментативний аналіз:

Інфрачервона спектроскопія (IR): Використовується для ідентифікації функціональних груп та сполук у металах.

Кожен з цих методів має свої переваги та обмеження, і їхній вибір залежить від типу зразка, потрібної точності, обсягу аналізу та доступності обладнання та технічних знань. Здебільшого, для повністю достовірного визначення складу металу використовується комбінація кількох методів для підтвердження отриманих результатів.

Розглянемо детальніше методи спектрального аналізу та мас-спектрометрії.

Спектральний аналіз металів - ця методика дозволяє максимально точно і швидко визначити хімічний склад металевого виробу або його сплаву, а також порошоків, не руйнуючи досліджуваний зразок. Вуглецевий аналіз - допомагає ідентифікувати марку досліджуваного зразка.

Метод атомно-емісійного спектрального аналізу дозволяє визначити хімічний склад речовини за спектрами випромінювання. Досліджуваний матеріал розсіюється джерелом збудження (електрична дуга або іскра, полум'я, плазма). За короткий (близько 10⁻⁷ с) проміжок часу електрони атомів або іонів речовини, що випаровується, переходять на більш високі енергетичні рівні і повертаються в стабільний незбуджений стан. При цьому енергія виділяється у вигляді випромінювання з певною довжиною хвилі, характерною для даного енергетичного переходу [11].

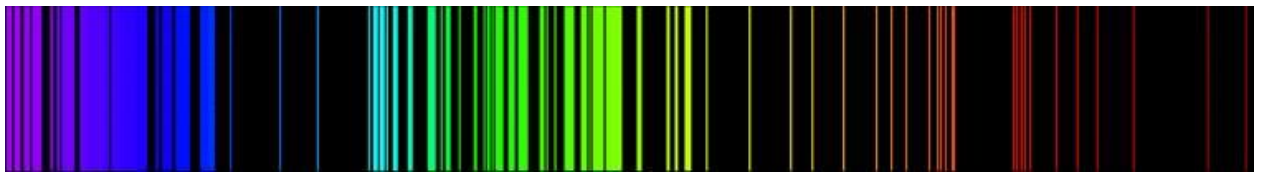
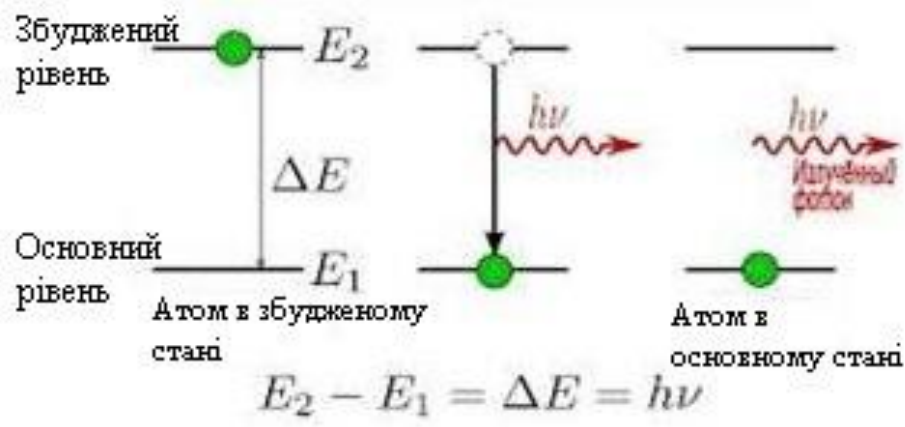


Рисунок 15 – Механізм випромінювання атомів

Результатом є серія спектральних ліній, характерних для певного хімічного елемента, які можна зареєструвати за допомогою оптичних приладів. Довжина хвилі випромінювання, що реєструється в атомному аналізі, становить від 150 до 800 нм [11].

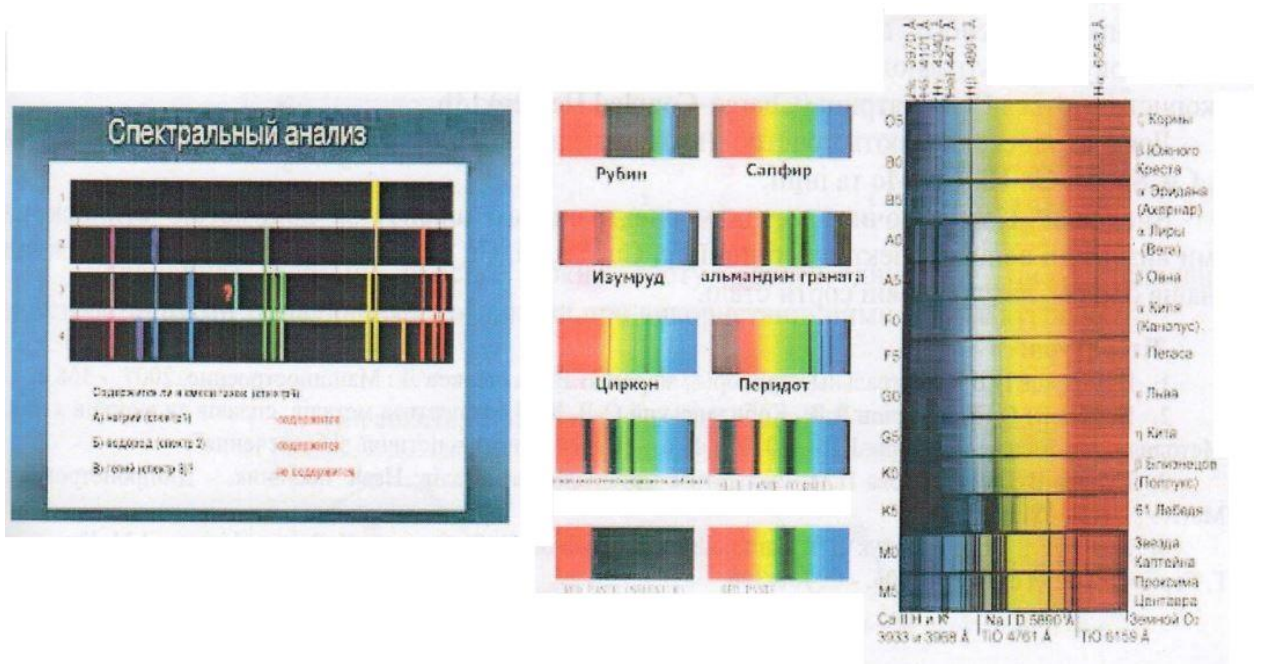


Рисунок 16 – Спектральна класифікація

За методом реєстрації розрізняють

- візуальний спектральний аналіз (стилоскопія, видима область спектра 400...760 нм);
- спектрографічний метод (запис атомних спектрів на фотопластинку);
- спектрометричний метод (прилади з фотоелектричним записом спектра).

Інтенсивність спектральної лінії пропорційна кількості випромінюючих атомів. Формула залежності інтенсивності спектральної лінії від концентрації елемента в зразку була встановлена емпірично в 1930 році Б.В. Ломакіним [11]:

$$I = a \cdot C^b \text{ (формула Ломакіна-Шайбе)} \quad (2.1)$$

Тут I - інтенсивність спектральної лінії,

C - концентрація елемента в пробі.

Параметри варіації a і b будуть різними для різних умов спектрального збудження, умов розпилення і концентрацій елементів. У вузькому діапазоні вимірюваних концентрацій можна вважати їх постійними, і тоді залежність $\lg I - \lg C$ буде лінійною. На практиці для визначення концентрацій використовують аналітичну пару ліній: поряд з лінією елемента вибирають лінію порівняння (зазвичай це базова лінія з потенціалом збудження, близьким або рівним потенціалу аналітичної лінії) і будують графік в координатах: логарифм відносної інтенсивності - логарифм концентрації $\lg(I_{an}/I_{cp}) - \lg C$.

Використовуючи відому залежність на основі трьох або більше стандартів, визначають концентрацію невідомого елемента.

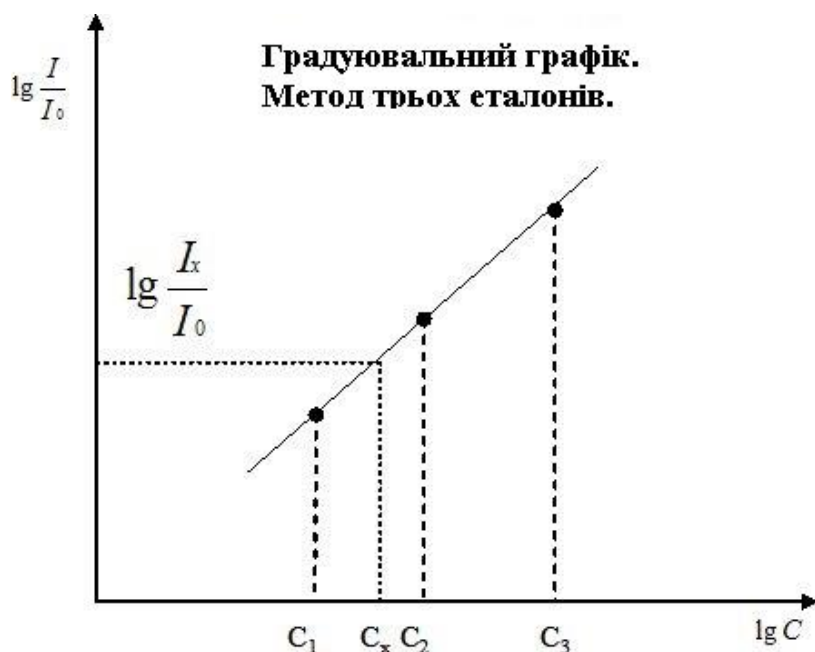


Рисунок 17 – Концентрація невідомого елемента

Для експрес-аналізу використовують один стандарт або стандартний зразок з відомими концентраціями для корекції дрейфу графіка (метод референтного стандарту).

Оптичні схеми обладнання для атомно-емісійного аналізу дуже різноманітні. Принципова схема спектрометра з фотоелектронним помножувачем демонструє загальні принципи генерації і реєстрації атомних спектрів:



Рисунок 18 – Схема пристрою спектрометра з фотопомножувачем

Техніка сучасного атомно-спектрального аналізу сталей і сплавів найчастіше використовує ультрафіолетову частину спектра. В якості реєструючих пристроїв використовуються CCD матриці (Charge-Coupled Device) [11].

Атомно-емісійний спектрометр - це високочутливий прилад, призначений для експрес-визначення елементного складу речовини, який реєструє спектри випромінювання в діапазоні 200-1000 нм.

Розглянемо для прикладу наступний атомно-емісійний спектрометр



Рисунок 19 – Атомно-емісійний спектрометр AA-7000

AA-7000 - це двопроменевий атомно-абсорбційний спектрофотометр, що поєднує в собі дві системи атомізації: стандартну полум'яну і високочутливу електротермічну атомізацію. Він дозволяє проводити високочутливі аналізи і характеризується компактністю, гнучкою конфігурацією, повною безпекою в роботі і зручним управлінням [44].

Тривимірний двопробовий оптичний спектрометр AA з використанням цифрових оптичних елементів, що зменшують втрати випромінювання, максимізує ефективність визначення елементів як у полум'ї, так і в печі. Прилад має автоматичну револьверну головку на 6 ламп з порожнистим катодом, вирівнювання ламп не потрібне. Функція автоматичної оптимізації умов для визначення будь-якого елемента в полум'ї і специфічних для печі матрицях забезпечує відмінну чутливість і надійні результати в діапазоні наднизьких концентрацій. Автоматична зміна і регулювання положення розпилювача забезпечує ефективний високопродуктивний аналіз великої кількості елементів.

Можливість використання двох типів полум'я: стандартного C₂H₂ - повітря і високотемпературного C₂H₂ - N₂O дозволяє аналізувати практично всі елементи, для яких застосовується атомно-абсорбційний метод. Полум'яний атомізатор Shimadzu складається з титанового пальника (різних типів, в залежності від необхідного типу полум'я), розпилювальної камери з термостійкого і ударостійкого пластику, платиново-іридієвого розпилювача і керамічного імпактора. Завдяки своїй унікальній конструкції та матеріалам, він практично не піддається корозії. Оптимальна висота пальника встановлюється автоматично (якщо встановлений блок автоматичного вирівнювання розпилювача) або вручну. Високочутлива графітова піч використовується для визначення слідів елементів. Вона ефективна для аналізу тугоплавких елементів (наприклад, Cr, V, Ba і т.д.) і елементів, аналітичні лінії яких розташовані в ультрафіолетовій частині спектра (наприклад, гідридоутворюючі As, Se, Sb). Конструкція печі, прецизійний контроль температури, комп'ютерне управління газовими потоками забезпечують підвищений ресурс графітової кювети - більше 2000 циклів атомізації хрому в кислих розчинах (0,1% HNO₃) при 2800 °C.

Повністю автоматизовані вимірювання без участі оператора можливі завдяки автоматичному блоку введення зразків ASC/ASK-7000. ASC/ASK-7000 з автосамплером дозволяє проводити автоматичне калібрування, повторне калібрування, серійні розведення зразків відповідно до діапазону калібрування і введення суспензій. Додаткова функція автоматичного полум'яного мікродозування дозволяє аналізувати зразки малого об'єму (від 50 мкл) і автоматично розводити зразки для полум'яного аналізу. ASC/ASK-7000 використовується для автоматичного введення зразків в режимах полум'яного і електротермічного атомізатора, а також з насадкою гідриду ртуті.

Програмне забезпечення WizAArd 5 дозволяє проводити автоматичні аналізи за заданим графіком, що повністю виключає можливі помилки оператора. WizAArd 5 забезпечує дотримання протоколів контролю якості та валідації відповідно до GLP/GMP [44].

ICPE (атомно-емісійна спектрометрія) - це комбінація різних аналітичних методів. Вільні атоми (іони) в газовій фазі випромінюють власний унікальний спектр емісії, який можна зареєструвати і вивчити для визначення складу і чистоти зразка. Для отримання газової (плазмової) фази зразка використовується метод індуктивно зв'язаної плазми (ICP), і цей метод повністю позначається як ICPE.

ICPE має можливість швидко визначати кількість елементів з достатньою точністю, використовуючи мінімальну масу зразка.

Для отримання індуктивно зв'язаної плазми зразка створюється іонізований розряд в середовищі аргону, який потім підтримується в плазмовому стані за допомогою височастотного електромагнітного поля. У середині плазми температура досягає значень до 10 000 градусів Кельвіна.

У цьому стані досліджувані речовини зразка розкладаються на атоми, кожен з яких, з власною частотою випромінювання, з'явиться

в загальному спектрі і буде зареєстрований атомно-емісійним спектрометром.

Оптико-емісійна спектроскопія з індуктивно зв'язаною плазмою (ICP-OES) - це добре відомий аналітичний метод, який використовується для виявлення присутності металів і мікроелементів в аналізованій речовині. Аналізований матеріал подається в ICP у вигляді аерозолю, що подається в плазмовий центр (іонізований газ аргон). Перегрітий газ аргон пробуджує іони і атоми в зразку, які випромінюють видиму кількість світла з певною довжиною хвилі.

Інтенсивність випромінювання пропорційна концентрації досліджуваного елемента.

Переваги методу ICP-OES

Раніше для виявлення мікродомішок металів використовували атомно-абсорбційні спектрометри (AAS) і атомно-абсорбційні спектрометри з графітовою піччю (GFAAS). Перевагою оптичної спектрометрії з індуктивно зв'язаною плазмою (ICP) є можливість виявлення декількох елементів за одне вимірювання, а також великий лінійний діапазон порівняно з AAS і GFAAS. Лінійність ICP варіюється від 4 до 6 порядків, тоді як AAS і GFAAS - від 2 до 3 порядків.

Метод ICP менш чутливий до хімічних перешкод, ніж AAS або GFAAS, оскільки горіння відбувається при дуже високих температурах. Крім того, ICP має менший матричний ефект (вплив складу) завдяки використуваній техніці доставки зразка.

Крім того, ICP забезпечує більший набір ліній випромінювання для зразка, що використовується для зменшення перешкод від інших елементів, а також для підвищення чутливості.

Системи Avio 550 і 560 Max - це компактні, повністю синхронні оптико-емісійні спектрометри з індуктивно-зв'язаною плазмою (ICP-

OES), які ідеально підходять для лабораторій з великим потоком зразків і високими вимогами до пропускну здатності. Прилади використовують вертикально орієнтовану плазму [45].

Прилади використовують вертикально орієнтовану плазму. Системи Avio 550/560 Max дозволяють аналізувати складні матричні зразки, навіть без розведення, забезпечуючи високу пропускну здатність і швидке повернення інвестицій.

Крім того, програмне забезпечення Syngistix™ надає інтуїтивно зрозумілий інтерфейс з інтелектуальними функціями, включаючи: моніторинг приладу в режимі реального часу, перегляд результатів для відстеження аналізу зразка, контроль якості і відповідність внутрішнім стандартам для забезпечення точності зразка.

Основними особливостями оптико-емісійних спектрометрів з індуктивно-зв'язаною плазмою Avio 550/560 Max є

швидкий і зручний багатоелементний аналіз в широкому діапазоні концентрацій

висока точність ($RSD \leq 0,1\%$)

висока продуктивність при мінімально можливій вартості аналізу

найнижче споживання аргону серед ICP-OES спектрометрів (в 2 рази менше, ніж у аналогічних систем);

PlasmaShear™ - інноваційна технологія видалення хвоста холодної плазми без використання витратних матеріалів;

автоматичне усунення завад завдяки технології багатокомпонентного згладжування спектра (MSF);

спеціальна версія програмного забезпечення Syngistix Enhanced Security™ для фармацевтичних компаній, що забезпечує відповідність вимогам до цілісності та надійності даних FDA 21 CFR Part 11;

спеціалізовані рішення "під ключ" - версія системи Avio 550 Max Oils для аналізу мастильних матеріалів.

Переваги спектрометра

У спектрометрах Avio 550/560 Max ICP-OES використовується запатентоване покриття на всіх оптичних компонентах для збільшення світлопропускання у всьому УФ-діапазоні, що забезпечує виняткові межі виявлення для всіх типів матриць.

У спектрометрах Avio 550/560 Max використовується яскравий (f/6.7) поліхроматор з решіткою Ешелле з двома SCD детекторами, які одночасно покривають спектральний діапазон 163-782 нм. Роздільна здатність становить 0,006 нм при довжині хвилі 200 нм. Решітка Ешелле розміром 80 x 160 мм має 79 штрихів/мм і кут блиску 63,4 градуси. Ультрафіолетовий крос-диспергатор - це решітка вільної форми з 374 штрихами/мм. У видимому діапазоні використовується 60-градусна призма з плавленого кварцу як крос-дисперсійний розсіювач.

УФ-диспергатор в спектрометрах Avio 550/560 Max використовує корекцію Шмідта для усунення аберацій, забезпечуючи чудову роздільну здатність по всьому спектру.

Оптична система встановлена в продувній і термостабілізованій оптичній камері. Оптична камера встановлена на тому ж оптичному столику, що і система введення зразка. Оптичний столик демпфірується, щоб звичайна вібрація підлоги не впливала на роботу приладу.

У спектрометрах Avio 550/560 Max FTIR-OES використовується вертикально орієнтована плазма з запатентованою системою подвійного огляду, керована комп'ютером і спеціальним програмним забезпеченням. Система дозволяє використовувати радіальний, аксіальний або змішаний режими перегляду, забезпечуючи максимальну гнучкість для аналізу

найскладніших зразків. Огляд плазми здійснюється за допомогою дзеркала, розташованого на оптичному шляху, яке можна регулювати як у вертикальній, так і в горизонтальній площинах з комп'ютерним управлінням.

Керований комп'ютером оптичний затвор автоматично відкривається і закривається для кожного зразка, захищаючи дзеркальну систему від тривалого впливу інтенсивного ультрафіолетового випромінювання плазми, тим самим продовжуючи термін служби дзеркал. Ртутна лампа вбудована в механізм затвора, і прилад автоматично використовує лінію випромінювання ртуті 253 нм через обрані користувачем інтервали для оновлення калібрування довжини хвилі.

Спектрометри Avio 550/560 Max оснащені запатентованими детекторами SCD (Segmented Charge Coupled Device), які складаються з 235 адресних підмасивів на кремнієвій підкладці 13 x 19 мм, що охоплюють приблизно 6000 довжин хвиль. Типовий шум зчитування становить близько 13 електронів, темновий струм - менше 100 електронів/піксель/секунду, а швидкість зчитування - 50 мкс/піксель. Автоматична обробка даних ще більше зменшує електронний шум.

Переваги системи ДБЖ

Спектрометри Avio 550/560 Max оснащені твердотільним високочастотним генератором четвертого покоління, що працює в режимі вільної генерації на частоті 40 МГц. Енергоефективність становить понад 79% зі стабільністю не менше 0,1%. Контроль активної потужності підтримує потужність плазми на заданому рівні незалежно від змін в матриці зразка. Компактний ВЧ-генератор відповідає всім вимогам FCC Part 18, а також вимогам ЄС і класу А. Унікальна запатентована технологія FlatPlate™ створює і підтримує

стабільну, толерантну до матриці плазму зі споживанням аргону приблизно вдвічі меншим, ніж в інших системах.



Рисунок 20 – синхронний оптико-емісійний спектрометр з індуктивно-зв'язаною плазмою Avio 220 Max

Avio 220 Max — це компактний гібридний синхронний оптико-емісійний спектрометр з індуктивно-зв'язаною плазмою ІЗП-ОЕС, що працює за принципом «увімкни та працюй».

У приладі використовується вертикальна плазма, і він дозволяє аналізувати складні зразки з низькою та високою концентрацією елементів одночасно, забезпечуючи високу точність і максимальну продуктивність [45].

Оптична емісійна спектроскопія або OES -аналіз - це швидкий метод визначення елементного складу різних металів і сплавів.

OES -аналіз використовує іскровий процес, який полягає в подачі електричного заряду на зразок і випаровуванні невеликої кількості матеріалу. Коли виникає ця іскра, створюється інша плазма розряду з хімічним знаком, яка дозволяє визначити спонтанне руйнування зразка.

Оптична емісійна спектроскопія є ідеальним вибором для застосувань, що вимагають повного, кількісного розпаду твердого матеріалу. Найкращими матеріалами для OES -аналізу є метали, які є достатньо м'якими, щоб реагувати на процес іскроутворення. Тверді метали, стійкі до іскри, більше підходять для інших методів хімічного аналізу. Притаманна йому точність і швидка доставка роблять OES -аналіз ідеальним вибором для контрольних випробувань партій різноманітних сплавів.

Принцип OES

Атоми кожного хімічного елемента мають певні резонансні частоти, тому вони випромінюють або поглинають світло на цих частотах. Це призводить до того, що в спектроскопі в певних місцях спектрів видно лінії (темні або світлі), які характерні для кожної речовини. Інтенсивність ліній залежить від кількості речовини та її стану. У кількісному спектральному аналізі вміст досліджуваної речовини визначають за відносною або абсолютною інтенсивністю ліній або смуг у спектрах.

Якщо вузький пучок білого світла спрямувати на бічну грань трикутної призми, то промені, які складають біле світло, будуть по-різному заломлюватися в склі і утворювати на екрані райдужну смугу, яка називається спектром. У спектрі всі кольори завжди розташовані в певному порядку. Світло поширюється у вигляді електромагнітних хвиль.

Кожному кольору відповідає певна довжина електромагнітної хвилі. Довжина хвилі світла зменшується від червоних променів до

фіолетових приблизно від 0,7 до 0,4 мікрона. За фіолетовими променями в спектрі знаходяться ультрафіолетові промені, які невидимі для ока, але діють на фотопластинку. Рентгенівські промені мають ще меншу довжину хвилі. За червоними променями знаходиться область інфрачервоних променів. Вони невидимі, але сприймаються інфрачервоними приймачами, такими як спеціальні фотопластинки.

Оптичний спектральний аналіз характеризується відносною простотою виконання, відсутністю складної пробопідготовки зразка для аналізу і невеликою кількістю речовини (10...30 мг), необхідної для аналізу на велику кількість елементів. Атомні спектри (поглинання або випромінювання) отримують шляхом переведення речовини в пароподібний стан при нагріванні зразка до 1000...10 000 °С. В емісійному аналізі провідних матеріалів як джерело атомного збудження використовують іскру або дугу змінного струму; зразок поміщають в кратер одного з вугільних електродів. Для аналізу розчинів широко використовують полум'я або плазму різних газів.

Оптичний емісійний спектрометр, також відомий як іскровий емісійний спектрометр, - це прилад емісійної спектроскопії, який використовує метод фотоелектричного перетворення для одночасного аналізу декількох елементів. Завдяки широкому використанню високочастотних плазмових джерел світла з індуктивним зв'язком, ОЕС-спектрометр займає основне місце в спектрометрії. Він широко використовується для аналізу матеріалів у багатьох галузях промисловості, таких як металургія, кольорова металургія, машинобудування, хімічне обладнання та система контролю якості, а також для попереднього аналізу печей і заводського ідентифікаційного аналізу в металургійній промисловості.

Характерна довжина хвилі кожного елемента випромінюється шляхом прямого випаровування кожного елемента в зразку з твердого стану за допомогою високотемпературної електричної дуги (або іскри) і збудження. Після решітчастої спектроскопії спектр впорядковується за довжиною хвилі. Характерні спектральні лінії цих елементів проходять через вихідну щілину і вводяться у фотоелектронний помножувач (ФЕП) або ПЗЗ-датчик зображення, де оптичний сигнал перетворюється на електричний. Електричний сигнал приймається і перетворюється в модуль системою управління і вимірювання приладу, а потім обробляється комп'ютером і роздруковується у вигляді відсоткового вмісту кожного елемента.

Оптичний емісійний спектрометр складається з частини джерела світла, частини збору світла, частини розподілу світла і частини вимірювання світла. Частина джерела світла призначена для того, щоб змусити зразок випромінювати світло; частина збору світла збирає випромінюване світло в спектральну частину; спектральна частина розсіює світло на спектральні лінії кожного елемента; фотометрична частина вимірює інтенсивність спектральних ліній кожного елемента фотоелектричним методом, відображає і записує її або перетворює фотометричні показання в масову частку елемента для її вираження [46].

Генератор джерела світла

Генератори джерел світла, що використовуються для оптичної спектроскопії, - це іскрові генератори, дугові генератори, низьковольтні генератори ємнісних розрядів тощо.

Частина тримача джерела світла

Тримач електродів джерела світла використовується для завантаження блок-зразків, стрижневих зразків і контр-електродів. Тримач електродів, як правило, можна використовувати для

завантаження плоских зразків діаметром 20 мм або більше, а деякі з них можна використовувати для завантаження зразків стрижнів, малих зразків і зразків тонких пластин з різними затискачами для зразків. У вакуумному фотоелектричному спектрометрі тримач електродів джерела світла сконструйований з використанням атмосфери аргону, а потік аргону можна регулювати і контролювати за допомогою витратоміра і автоматичного клапана.

Світловий пристрій

Пристрій збору світла складається з системи концентруючих дзеркал, роль яких полягає в тому, щоб збирати світло від джерела світла і направляти його в спектроскопічну систему. Ця система, як правило, необхідна для повного використання світлового випромінювання від джерела світла для отримання високої інтенсивності світла. У той же час, вона повинна повністю використовувати функції приладу для досягнення належної роздільної здатності. Зазвичай використовуються метод зображення з однією лінзою, метод проміжного зображення з трьома лінзами і метод зображення з круговими циліндричними лінзами для перетворення світла, випромінюваного джерелом світла, в зображення в коліматорі.

Спектрометр

Роздільник променя складається з вхідної щілини, елемента розщеплення променя і системи вихідних щілин. Світло, що потрапляє в падаючу систему, розділяється елементом розщеплення пучка, і спектральні лінії кожного елемента вибираються системою вихідних щілин. Оскільки спектральних ліній заліза багато, краще використовувати спектроскопічний елемент з великою дисперсією. Спектрометр можна розділити на дві категорії: вакуумний і невакуумний залежно від того, чи використовується він у вакуумі або без вакууму всередині.

Фотометричний пристрій

Фотометричний пристрій складається з фотоелектронного помножувача, інтегруючого блоку, реєстратора або індикатора тощо. Фотоелектронний помножувач внутрішньої еталонної лінії та лінії аналізу перетворює світло, отримане від вихідної щілини, в струм, а потім відповідно заряджає інтегруючий конденсатор.

Вакуумна система вакуумного оптичного емісійного спектрометра

Оскільки чутливі лінії таких елементів, як сірка, фосфор, вуглець і азот, розташовані в діапазоні довжин хвиль нижче 200 нм, а випромінювання цих довжин хвиль поглинається повітрям, для аналізу цих елементів оптична система фотоелектричного спектрометра повинна бути поміщена у вакуум. З цієї причини для визначення таких елементів, як сірка, фосфор і вуглець, необхідно використовувати вакуумний оптико-емісійний спектрометр. На додаток до загального пристрою фотоелектричного спектрометра, до вакуумного фотоелектричного спектрометра додається вакуумна система і контрольована атмосфера.



Рисунок 21 – Оптико-емісійний спектрометр

Переваги оптико-емісійного спектрометра [46]

а. Діапазон довжин хвиль спектральних ліній, які можна використовувати для аналізу за допомогою фотоелектронного спектрометра з прямим зчитуванням, широкий. Цей діапазон визначається характеристиками фотоелектронного помножувача. Наприклад, з апертурою кварцового вікна ФЕУ в поєднанні з оптичною системою спектрометра, розміщеного у вакуумі, доступна довжина хвилі може становити всього 150 нм. Це дає можливість використовувати для аналізу спектральні лінії, розташовані в цій смузі.

б. Широкий діапазон калібрувальних кривих. Оскільки PES має високу потужність посилення сигналу, для спектральних ліній з різною силою і слабкістю доступні різні коефіцієнти посилення PES. Різниця може досягати 10000 разів. Таким чином, фотоелектричний метод можна використовувати для аналізу багатьох елементів у зразку за однакових аналітичних умов. Хоча діапазон вмісту сильно варіюється, багато елементів від високого до низького вмісту можна аналізувати одночасно.

в. Фотопластинка і фотометричний аспект методу спектроскопії вносять сумарну похибку понад 1%. Фотометрична похибка оптико-емісійного спектрометра може бути зменшена до менш ніж 0,2%. Він має високий ступінь точності. Сприятливий для аналізу високого вмісту елементів у зразку і точний.

д. Швидкість аналізу оптичного спектрометра прямого зчитування швидка, як правило, протягом 2...3 хвилин після отримання зразка можна одночасно виміряти більше 20 елементів сплаву в сталі. Він може контролювати процес виплавки і прискорювати процес виробництва сталі, що є ефективним засобом економії енергії та скорочення викидів.

Недоліки оптичного емісійного спектрометра

а. Оскільки він використовує вихідну щілину, спектральні лінії з однаковими довжинами хвиль не можуть бути використані.

б. Через використання вихідної щілини ОЕС отримує спектральні лінії з одночасним отриманням фону (з фоновим каналом ВКГ 175,7 нм можна розрахувати ефект фону).

в. Положення вихідної щілини фіксоване, кількість елементів, що аналізуються, обмежена, а зміни в завданні аналізу вимагають зміни каналу і вибору іншої вихідної щілини.

г. Наявність фону дещо ускладнює аналіз мікроелементів.

д. Цей метод не є самостійним і вимагає хімічного аналізу. Хімічний аналіз необхідний для забезпечення точного вмісту еталонного матеріалу спектра і калібрування аналітичних результатів спектра [46].

Рентгенофлуоресцентний аналіз є різновидом рентгенівської спектроскопії і базується на принципах, спільних для всіх видів спектроскопії. У РФА первинне рентгенівське випромінювання спрямовується на зразок. В результаті частина рентгенівських променів розсіюється зразком (комptonівське і томпсонівське розсіювання), частина проходить крізь нього, а частина поглинається зразком і призводить до генерації вторинного рентгенівського випромінювання - рентгенівської флуоресценції. Вторинне рентгенівське випромінювання містить в своєму спектрі компоненти, характерні для хімічних елементів, що входять до складу зразка. Положення та інтенсивність аналітичних ліній (якісний і кількісний аналіз) реєструються за допомогою спектрометричної частини рентгенофлуоресцентних приладів.

Сучасне рентгенофлуоресцентне аналітичне обладнання дозволяє визначати всі елементи періодичної системи, починаючи з Вуглецю. Типові межі виявлення для більшості елементів становлять 10^{-4} ... 10^{-2} мас. %, а максимальна визначувана

концентрація може становити 100%. РФА характеризується високою відтворюваністю аналітичних сигналів і швидкістю визначення. Зразки можуть бути твердими, рідкими або порошкоподібними матеріалами.

Рентгенофлуоресцентна спектроскопія (X-ray fluorescence spectroscopy, XRF) - це метод спектрального аналізу спектрів флуоресценції елементів, що випромінюються при адсорбції високоенергетичного випромінювання.

Принцип методу полягає в тому, що атоми досліджуваного об'єкта збуджуються рентгенівським, гамма- або іонізуючим випромінюванням (на відміну від методів WDS або EDX, де збудження здійснюється електронним пучком). Коли атоми речовини взаємодіють з високоенергетичним випромінюванням, електрони, близькі до ядра атома, вибиваються зі своїх орбіт. Водночас електрони з більш високоенергетичних орбіталей займають їхні місця, випромінюючи фотони - характерне флуоресцентне випромінювання. Іншими словами, випромінювання випускається з меншою енергією, ніж поглинута енергія. Спектр флуоресценції реєструється за допомогою різних детекторів (PIN diode, Si(Li), Ge(Li), Silicon Drift Detector SDD). На основі положення максимумів в спектрі випромінювання можна виконати якісний елементний аналіз такого спектра флуоресценції, а їх величина може бути використана для проведення кількісного аналізу з використанням референтних зразків.

Грамотне та ефективне використання рентгенофлуоресцентного аналізу вимагає розуміння законів взаємодії рентгенівського випромінювання з речовинами, умов збудження та реєстрації рентгенівської флуоресценції, знання методів побудови концентраційних залежностей, особливостей пробопідготовки зразків до аналізу.

Основними перевагами методу є:

- Метод є неруйнівним, кожен зразок можна аналізувати практично необмежену кількість разів

- Оскільки не потрібно генерувати електричну дугу або плазму, можна аналізувати непровідні матеріали і не потрібно диспергувати зразок.

- Метод нечутливий до стану зразка і може використовуватися для аналізу твердих, порошкоподібних і рідких зразків. Стан поверхні мало впливає на результат вимірювання

- Теоретична основа методу дозволяє обробляти дані без попереднього визначення типу матеріалу. Так званий "метод фундаментальних параметрів" дозволяє автоматично калібрувати прилад за "внутрішнім стандартом" - параметрами отриманого сигналу - і аналізувати матеріал без попереднього калібрування приладу. Таким чином, прилад можна використовувати для аналізу матеріалів, склад яких невідомий. Похибка вимірювання вища, ніж після калібрування, але фактична точність дозволяє, наприклад, не тільки розрізняти різні метали, а й розрізняти марки сплавів на основі одного і того ж металу.

Але метод має суттєве обмеження. Теоретично РФА може виявляти хімічні елементи від бору до урану, але вимірювання концентрації легких елементів з атомним номером нижче 22, таких як титан, ускладнене через його слабку флуоресценцію.

Визначення цих елементів, особливо в концентраціях нижче 1%, можливе лише за допомогою стаціонарних рентгенівських спектрометрів з високою потужністю рентгенівського випромінювання. Через це фізичне обмеження неможливо виміряти концентрацію таких важливих елементів, як вуглець (C), фосфор (P), сірка (S), кремній (Si), алюміній (Al), магній (Mg), натрій (Na), літій (Li), берилій (Be), бор (B) і азот (N) за допомогою портативних

рентгенофлуоресцентних спектрометрів ("пістолетів") при низьких концентраціях. Мова може йти лише про якісне ("є - немає") визначення елементів

Основними компонентами обладнання для рентгенофлуоресцентного аналізу є система збудження рентгенівського випромінювання, спектрометрична частина для реєстрації випромінювання зразка, а також електронні компоненти для обробки сигналів детектора і управління роботою обладнання в цілому. Сучасні рентгенофлуоресцентні спектрометри можна розділити на дві групи, які відрізняються насамперед способом отримання і реєстрації аналітичного сигналу. До першої групи належать хвильові дисперсійні спектрометри. У цих спектрометрах флуоресцентне випромінювання зразка, відібране під певним кутом, спрямовується на кристалічний аналізатор, де, відповідно до умов Бреґгівської дифракції, випромінювання із заданою довжиною хвилі відбирається і спрямовується на систему детектування. До другої групи належать спектрометри з енергетичною дисперсією випромінювання зразка (енергодисперсійні спектрометри). Такі спектрометри мають напівпровідникові детектори, здатні розрізняти енергії рентгенівських квантів, що надходять безпосередньо від зразка. В обох типах спектрометрів при реєстрації випромінювання легких елементів необхідно вакуумувати (або продувати гелієм) вимірювальну камеру, оскільки м'яке рентгенівське випромінювання сильно розсіюється повітрям.

Стаціонарні РФА-аналізатори з високою потужністю рентгенівського випромінювання широко використовуються для аналізу шлакових сумішей і нерудної сировини, промислових рідин і пилових проб, порошкоподібних та інших зразків різного походження, в тому числі тонкоплівкових і лакофарбових покриттів.

Але основне застосування цей метод аналізу знаходить в портативних аналізаторах складу. З огляду на низьку чутливість РФА-аналізаторів до наявності повітря в зоні аналізу, ці прилади добре зарекомендували себе при аналізі металевих відходів (стружки, брухту тощо). При цьому невеликі габарити, мобільність, можливість аналізу зварних швів, брухту і шлаку, збереження товарного вигляду зразка в точці аналізу і можливість роботи без попереднього калібрування (за методом фундаментальних параметрів) є безсумнівними перевагами даного типу приладів.

Оптимальною сферою застосування портативних рентгенофлуоресцентних спектрометрів є сортування металобрухту на пунктах прийому металобрухту, з урахуванням обмежень на перелік вимірюваних елементів. Прилад також дуже добре підходить для підтвердження марки матеріалу (з урахуванням тих же обмежень) при операційному і, особливо, приймальному контролі, оскільки абсолютно не пошкоджує готову продукцію. Через низьку чутливість до легких хімічних елементів не рекомендується використовувати ці прилади для аналізу чорних металів у виробничому процесі.

Приклад рентгенофлуоресцентного спектрометра

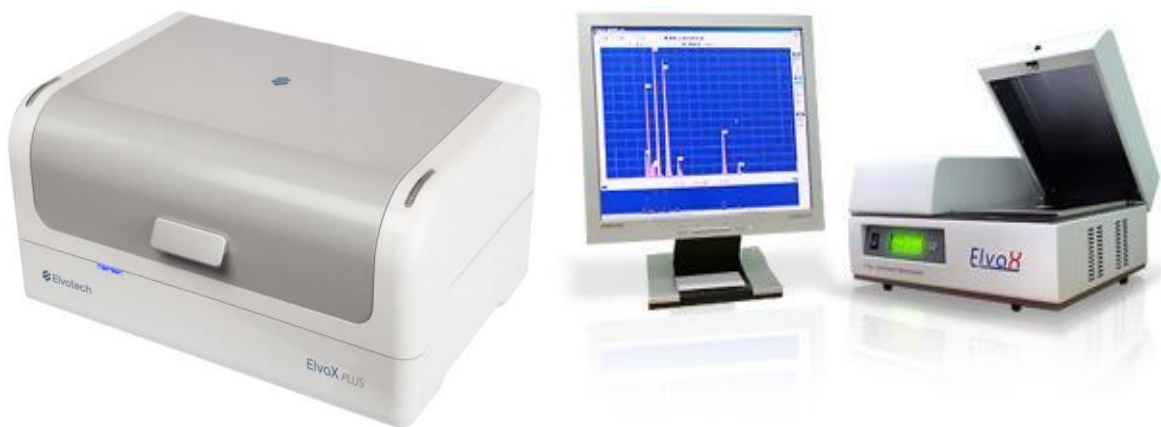


Рисунок 22 – Рентгенофлуоресцентний спектрометр ElvaX Plus

ElvaX Plus - це модифікація спектрометра з підвищеною чутливістю до визначення легких елементів. Відрізняється від базової моделі наявністю автоматичної заміни первинного рентгенівського фільтра і системи продувки зони аналізу газом гелієм. Використання SDD детектора великої площі значно скорочує час аналізу і підвищує чутливість до легких елементів.

Технічні характеристики

Час проведення аналізу - 5-100с

Живлення 90-240 В, 50/60 Гц

Споживана потужність 40 Вт

Габарити - 430 мм x 340 мм x 200 мм

Рентгенівська трубка

Rh анод

150 мкм берилієве вікно

повітряне охолодження

Детектор

напівпровідниковий кремнієвий дрейфовий (CDD) з термоелектричним охолодженням

140 еВ при 5,9 кеВ (лінія Mn Ka)

Атомно-абсорбційний аналіз - метод аналізу, заснований на вибіркового поглинанні світла атомами речовини, переведеними в атомарно-газоподібний стан. Випромінювання джерела світла, що проходить через пари речовини на частотах, які збігаються з частотою переходу електрона з основного рівня на найближчий до нього, поглинається (резонансна лінія), і за ступенем ослаблення інтенсивності спектральних ліній досліджуваного елемента визначають його концентрацію в зразку. Інтенсивність поглинання світла атомно-абсорбційним методом визначається за законом Бугера-Ламберта-Бера:

$$D = \lg(I_0/I) = kIC, \quad (2.2)$$

де D — оптична густина (поглинання);

I_0 — початкова інтенсивність збуджуючого світла;

I — інтенсивність світла, що пройшло через зразок;

k — коефіцієнт поглинання;

l — товщина поглинаючого шару;

C — концентрація визначуваного елемента.

Коефіцієнт поглинання k , пропорційний ймовірності резонансного переходу, не залежить від температури. Для розпилення зразка необхідна температура $\sim 2000-3000$ °С. У цьому діапазоні температур використовують полум'яні, електротермічні, а також ВЧ і НВЧ розрядні атомізатори, але найчастіше - полум'яні, що працюють на суміші ацетилену з закисом азоту. У цьому діапазоні температур понад 90% атомів не перебувають у збудженому стані, тому інші атоми і молекули не можуть впливати на коефіцієнт поглинання. Цей факт, разом з невеликою кількістю ліній поглинання, призводить до високої селективності цього методу. Джерело світла випромінює спектр ліній, що містить необхідну лінію елемента, який потрібно виявити. Як джерела випромінювання використовують лампи з порожнистим катодом, безелектродні газорозрядні лампи та перестроювані лазери. Суттєвим недоліком атомно-абсорбційного методу, порівняно з атомно-емісійним спектральним аналізом, є неможливість одночасного виявлення декількох елементів у зразку і необхідність їх послідовного визначення. Метод атомно-абсорбційного аналізу, порівняно з іншими методами атомно-спектрального аналізу, значно простіший і дозволяє визначати до 70 елементів з чутливістю $\sim 10^{-4}-10^{-9}\%$ від маси не тільки низьких, але і високих концентрацій у зразках.

Атомно-абсорбційний спектрометр (ААС) - це прилад, який використовується для кількісного аналізу елементного складу за атомно-абсорбційними спектрами. В основному використовується

для визначення вмісту металу в його розчині. Це прецизійні прилади з високим рівнем автоматизації. Існує багато типів аналізаторів, які відрізняються за такими основними характеристиками:

Спосіб випаровування аналізованої речовини. Випаровування може відбуватися в полум'ї або шляхом нагрівання у високотемпературній печі (електротермічний). Оскільки для аналізу потрібні окремі нейтральні атоми, температура нагріву повинна бути такою, щоб не тільки випаровувалася речовина, а й розклалися сполуки (карбіди, нітриди). Тому перевагою електротермічного випаровування є більш висока температура.

Для генерування поглиненого випромінювання можна використовувати різні типи ламп. Спектр елементів, які можна аналізувати, залежить від характеристик лампи. Прості пристрої мають 1 лампу, в той час як складні пристрої можуть мати до 8 ламп, що розширює діапазон і чутливість аналізу



Рисунок 23 – Загальний вигляд атомно-абсорбційного спектрофотометру AA-1800C

Атомно-абсорбційний спектрофотометр АА-1800С використовує новітні міжнародні технології, а відомі університети спільно завершують дослідження і розробки, застосовуючи багаторічний досвід роботи зі спектральними приладами. Різні моделі спектрофотометрів містять полум'яну піч, графітову піч і систему генерації гідридів, можуть бути оснащені різними аксесуарами, гнучка програма конфігурації може задовольнити різні потреби клієнтів. Атомно-абсорбційний спектрометр АА-1800 можна використовувати для аналізу складних зразків, повністю автоматичний багатофункціональний, різні методи аналізу можуть автоматично перемикатися, безпілотний автоматичний аналіз.

Атомно-абсорбційний спектрофотометр АА-1800 в даний час широко використовується в наукових дослідженнях, контролі якості, боротьбі з хворобами, охороні навколишнього середовища, металургії, сільському господарстві, хімічній промисловості. Інноваційне обладнання та програмне забезпечення гарантують точність, безпеку і простоту використання під час аналізу зразків, обслуговування обладнання просте і зручне.

Основні особливості АА-1800С:

Високоточна автоматична оптична система

Сітка 1800/мм (швидкість розсіювання), монохроматор великої площі, новий тип самоколімації, всі лінзи з кварцовим покриттям, широкий діапазон виявлення і оптична стабільність для забезпечення точності аналізу. Автоматична конфігурація 6 розеток 6 незалежних джерел живлення ламп, може бути відповідно до попереднього нагрівання.

Камера для розпилення полімерних матеріалів, стійких до корозії, кислот і лугів, включаючи плавикову кислоту, органічні або неорганічні розчини, може бути найвищою чутливістю і стабільністю.

Титановий пальник, 50 мм і 100 мм на вибір, з повітряним охолодженням, попередньо змішаного типу, стійкий до корозії, з високою солестійкістю, значно підвищує ефективність аналізу і точність полум'я.

Він може автоматично виконувати безпечне запалювання, гасіння і перемикання, міцна конструкція, низький рівень відмов, забезпечуючи чутливість і відтворюваність полум'яного методу.

Автоматичне перетворення шестилампової системи джерел світла, може безпосередньо використовувати високоефективну лампу з порожнистим катодом, покращити аналіз чутливості полум'я, автоматичне регулювання параметрів живлення і положення променя, автоматичне сканування довжини хвилі і виявлення піків.

Інтелектуальне програмне забезпечення, потужна функція, зручний інтерфейс англійською мовою. Автоматичні інструменти і додаткове управління, полум'я, режим роботи графітової печі можна перемикати автоматично, автоматична оптимізація, автоматичне розведення; робота з мишею, дані меню автоматичного налаштування і метод корекції.

Таблиця 2.1 Технічні характеристики спектрофотометр АА-1800С:

Модель	: АА-1800С
Джерело світла	: ≤6 лампи автоматична турель, автоматичне вирівнювання
Живлення	: 110/220В (+5% ~ -10%), 60/50Гц; 5000ВА
Струм лампи	: імпульсне джерело живлення
Оптична система	: велика решітка 1800 мкм, повністю закрита оптична система
	190- 900 нм
Діапазон довжин хвиль	: Автоматичний пошук піку, ключова функція оптичної оптимізації
Точність довжини хвилі	: ≤0.15нм

Повторюваність довжини хвилі	:	$\pm 0.1 \text{ нм}$
Спектральна пропускання	смуга	: 0.1 нм, 0.2 нм, 0.4 нм, 1.0 нм, 2.0 нм (5 кроків з автоматичним перемиканням)
Базова стабільність	:	$\leq \pm 0.002 A / 30 \text{ хв}$ (статична) $\leq \pm 0.005 A / 30 \text{ хв}$ (динамічна)
Діапазон поглинання	:	0-4A
Полум'яна аналітична система		
Детектор	:	НАМАМАТСУ
Головка пальника	:	повністю титанова головка згоряння, загальна головка згоряння 50 мм або 100 мм
Камера розпилення	:	полімерна вибухозахищена розпилювальна камера
Розпилювач	:	розпилювач ефективний, скляний, можна настроїти
Тип запалювання	:	мікрокомп'ютерне керування, автоматичне запалювання
Газ-контроль	:	автоматична система контролю газу
Грани виявлення (Cu)	:	0.002 мкг/мл
Точність	:	$RSD \leq 0.5\%$

Атомно-абсорбційний спектрофотометр з електротермічної атомізацією SEO-SPECTR S600



Рисунок 24 - Атомно-абсорбційний спектрофотометр з електротермічної атомізацією SEO-SPECTR S600

Спектрофотометр призначений для кількісного визначення елементів в рідких зразках різного походження і складу на рівні нг/л (ppt).

Області застосування електротермічного атомно-абсорбційного спектрофотометра SEO-SPECTR S600:

Екологія (вода, повітря, ґрунт)

Санітарно-гігієнічні дослідження

Харчова промисловість

Біотехнологія

Медицина

Геологія

Нафтохімія

Металургія

Наукові дослідження

Таблиця 2.2. Технічні характеристики:

Спектрометр	
Корекція спектральних перешкод	на основі зворотного ефекту
Спектральний діапазон вимірювань, нм	190 ... 800
Діапазон вимірювання абсорбції	0 ... Б
Живлення спектральних ламп	імпульсне синхронізоване з харчуванням графітової печі
Продуктивність	один вимір за 20 сек
Габаритні розміри, мм, не більше	1100 × 450 × 460
Маса, кг, не більше	100
Атомізатор	

Пічь	графітова
Швидкість нагріву печі	10000°C/сек
Захисний газ	аргон
Витрата аргону	не більше 0,5 л/хв
Витрата охолоджувальної води	1,5 ÷ 2 л/хв
Дозований обсяг	5 — 25 мкл
Система управління	
Цифрова від персонального комп'ютера	
Програмне забезпечення	у середовищі Windows
Управління	Від ПК усіма системами та приставками
Веде запис обліку та всіх результатів вимірювання	

Мас-спектрометрія - це метод дослідження та ідентифікації речовини для визначення її ізотопного, елементного або хімічного складу. Метод мас-спектрометрії полягає в іонізації зразка і вимірюванні інтенсивності іонного струму для визначення відношення маси до заряду і розрахунку частки його компонентів. Результатом є мас-спектр речовини.

Зазвичай мас-спектрометри використовують для ідентифікації невідомих сполук шляхом визначення їхньої молекулярної маси, для кількісного визначення відомих сполук, а також для визначення структури і хімічних властивостей молекул.

Основний принцип мас-спектрометрії (МС) полягає в генеруванні іонів з неорганічних або органічних сполук будь-яким

доступним методом, розділенні цих іонів за масою і зарядом і визначенні їх якісних і кількісних характеристик.

Аналізований матеріал може бути іонізований термічно, електричним полем, зіткненням електронів, іонів або фотонів. У той час як кулонівська сила діє на іони в електричних полях, сила Лоренца діє на іони, які рухаються з компонентою, ортогональною до магнітного поля. Іони можуть бути окремими іонізованими атомами, кластерами, молекулами, їх фрагментами або асоціатами. Іони розділяються статичними, динамічними електричними або магнітними полями. Цей процес також може здійснюватися без поля, за умови, що іони мають чітко визначену кінетичну енергію.

Мас-спектрометр - це важливий аналітичний інструмент, за допомогою якого дослідники можуть визначати кількість і тип різних хімічних речовин у речовині. Зразок проходить чотири стадії - іонізація, прискорення, відхилення і детектування - які здійснюються за допомогою трьох основних компонентів мас-спектрометра

- джерело іонізації
- мас-аналізатор;
- система детектування іонів.

Джерело іонізації перетворює молекули зразка в іони газової фази, які можна переміщати і контролювати за допомогою зовнішніх електричних і магнітних полів. Іонізатор з'єднує кінець хроматографічної колонки безпосередньо з входом мас-спектрометра. Потік з колонки пропускається через голку діаметром 10...15 мкм.

Після іонізації іони сортуються і розділяються відповідно до їх відношення маси до заряду за допомогою мас-аналізатора. Мас-аналізатори, доступні на ринку, відрізняються за швидкістю, роздільною здатністю та іншими параметрами. Мас-аналізатор часто

працює в поєднанні з системою виявлення іонів. На наступному етапі розділені іони вимірюються системою детектування іонів.

Мас-спектрометрія широко використовується в різних галузях, включаючи судову токсикологію, метаболоміку і протеоміку, а також у фармацевтиці, біофармацевтиці та клінічних дослідженнях. Роль мас-спектрометрії в медицині неможливо переоцінити. Вона використовує мас-спектрометри, ціна яких може значно перевищувати вартість приладів, що застосовуються в наукових дослідженнях.

Отже, при виборі методу визначення хімічного складу важливо враховувати особливості конкретного металу, його фізичні та хімічні властивості, а також цілі дослідження. Комбінація різних методів часто дає більш повну і достовірну інформацію.

2.2. Методика проведення металографічних досліджень

Металографічні випробування проводяться для дослідження структури металу шва зварних з'єднань. Досліджуючи структуру металу зварних з'єднань, можна встановити правильність вибору параметрів режиму зварювання, якість зварювальних матеріалів та інших факторів, що визначають якість металу шва, а також виявити дефекти зварного шва і визначити причини їх виникнення. Тому основним завданням металографічного аналізу є вивчення структури і дефектів металу шва зварних з'єднань. Металографічні дослідження складаються з макроструктурних і мікроструктурних досліджень.

Макроструктурний аналіз

Макроскопічна структура - це будова або структурні особливості будови металів і сплавів, які можна спостерігати неозброєним оком або через лупу при малих збільшеннях (до 30

разів), що дозволяє вивчати великі поверхні заготовок (виробів), а також робити висновки про якість металу і умови попередньої обробки. На основі даних макроаналізу можна виділити ті ділянки металу або зварного з'єднання, які необхідно піддати подальшому більш детальному мікроскопічному або іншому дослідженню.

Макроаналіз, на відміну від мікроскопічного, не дозволяє визначити всі особливості структури металу і тому часто є не остаточним, а лише попереднім видом дослідження.

Об'єктами макроскопічного аналізу є

- поверхня неушкодженого виробу
- злами;
- макрошліфи.

Поверхня непошкодженого виробу - це зовнішній вигляд металу або зварного з'єднання. За зовнішнім виглядом можна оцінити спосіб отримання зразка металу: чи це відливка, чи прокат. За зовнішнім виглядом зварного з'єднання можна оцінити спосіб зварювання (ручне дугове, напівавтоматичне в середовищі вуглекислого газу, автоматичне під флюсом тощо). В останні роки в окремий метод контролю якості зварних з'єднань виділяють огляд поверхні незруйнованого зварного з'єднання, який отримав назву "візуальний контроль" і дозволяє визначити розміри зварного шва, якість формування поверхні шва, наявність поверхневих дефектів (напливів, подрізів, поверхневих тріщин і т.д.).

Тріщини можуть бути різної форми і виду та змінюватися в залежності від складу металу, його структури, окремих дефектів, умов обробки та умов, за яких стався злам. Метод полягає в дослідженні поверхонь, утворених при руйнуванні металевих зразків. Злами можуть бути природними, коли руйнується конструкція або виріб, і штучними (коли вирізається зразок металу або зварного з'єднання, в ньому робиться надріз і розламується на спеціальній

машині (механічному випробувачі), що дозволяє визначити роботу зламу і оцінити механічні властивості металу (ударну в'язкість).

Цей метод використовується для визначення:

- форму і розмір зерна
- вид зламу;
- характер руйнування.

Вивчення зламу дозволяє оцінити якість металу, а розділ матеріалознавства, який цим займається, називається фрактографія. Дрібнозернистий злам свідчить про більш високі механічні властивості, ніж грубозернистий злам. Злам можна використовувати для визначення типу руйнування: в'язкий, крихкий або спричинений втомою металу [12].

Макрошліф - це зразок зі шліфованою і, при необхідності, протравленою поверхнею (25% розчин азотної кислоти), вирізаний з досліджуваного виробу або зварного з'єднання. Вибір зразків для виготовлення шліфів визначається типом об'єкта дослідження (злиток, поковка, вилівок, зварне з'єднання тощо) і розмірами об'єкта дослідження. Шліф слід готувати таким чином, щоб він найбільш чітко виявляв неоднорідність або структурні особливості будови. Наприклад, для дослідження злитка необхідний поздовжній розріз і кілька поперечних перерізів, а для зварних з'єднань зазвичай вирізають зразок, що включає зварний шов і біляшовну зону (ЗТВ). Зразок, підготовлений для випробувань, розрізають механічними методами. При термічному різанні необхідно залишати значний допуск на механічну обробку шліфа. Невеликі вироби розрізають в потрібному для дослідження напрямку і в такому вигляді відправляють на подальшу обробку. З великих виробів вирізають спеціальні зразки (шаблони) товщиною не менше 15...25 мм. Одну з плоских поверхонь шліфують вручну або на шліфувальному верстаті. При переході на більш тонкий абразив напрямок

шліфування змінюють на 90° і продовжують шліфування до тих пір, поки не зникнуть сліди від попереднього абразиву. Потім зразок промивають водою і висушують. Для виявлення дефектів знежирений шліф протравлюють. Реагент активно впливає на ділянки з дефектами і неметалевими включеннями, тобто на більш розгалужену і активну поверхню. Розрізняють глибоке і поверхневе травлення. Реактиви для глибокого травлення використовуються в основному для макроаналізу злитків і прокату (поковок), а також для виявлення пор, раковин і лікваций. Поверхневе травлення виконується менш агресивними реагентами і дозволяє виявляти відносно велику пористість, ліквациї та інші дефекти, що виходять на поверхню шліфа.

Макродослідження зварних з'єднань дозволяють дослідити форму шва, глибину проплавлення, форму пор, тріщини та їх розташування, визначити кількість проходів при багатопрохідному зварюванні, дендритну структуру металу шва, розмір кристалів та напрямок росту. Металографічне дослідження зварних швів, як на зразках, зварених в ідентичних умовах, так і шляхом свердління і подальшого травлення необхідних ділянок для визначення якості зварного шва і відсутності внутрішніх дефектів. Свердління виконується свердлом діаметром на 3 мм більше ширини шва, щоб просвердлити основний метал і зону термічного впливу (ЗТВ).

Макроструктуру зварних з'єднань досліджують неозброєним оком при 30-кратному збільшенні поверхні макрошліфів, вирізаних з цих зварних з'єднань. Зразки для шліфів вирізають на відстані 20-30 мм від початку або кінця зварного шва [12].

Мікроструктурний аналіз

Мікроструктурний метод дослідження обов'язково використовує мікроскопи для визначення структури і дефектів металу. Залежно від збільшення, необхідного для чіткого

спостереження всіх фаз, їх кількості, форми і розподілу, в мікроскопах використовують

- біле світло і звичайні оптичні системи, що складаються з комбінації скляних лінз і призм (оптична мікроскопія);

- електронний промінь, тобто потік електронів, який формується за допомогою електромагнітних та електростатичних лінз (електронна мікроскопія).

За допомогою мікроаналізу можна визначити якість металу, що зварюється, виявити його мікроструктуру, наявність оксидів на межах зерен, забрудненість металу різними включеннями (оксидами, сульфідами та іншими домішками), визначити розмір зерна, а також зміни в структурі металу в результаті зварювання: мікротріщини, пори та інші дефекти в структурі металу шва і навколошовної зони (зони термічного впливу).

За мікроструктурою зварних з'єднань можна визначити

- 1) структуру металу шва і структуру в зоні термічного впливу;

- 2) приблизний вміст вуглецю в основному і наплавленому металі та в різних зонах шва

- 3) орієнтовні параметри режиму зварювання та швидкості охолодження металу шва і зони термічного впливу

- 4) кількість шарів зварного шва, дефекти зварювання та структура шва.

За допомогою оптичних мікроскопів досліджують спеціально підготовлені зразки - мікрошліфи. Мікрошліф готується в такій послідовності:

- 1) вирізання зразка;

- 2) вирівнювання поверхні зрізу грубим шліфуванням;

- 3) тонке шліфування;

- 4) полірування.

Зразок вирізається з тієї частини виробу або заготовки, яка представляє найбільший інтерес для даного дослідження. Зразки вирізають за допомогою фрези, різця, алмазного круга або електроіскрового методу. Під час процесу різання не допускається значне нагрівання, оскільки це може спричинити структурні зміни в металі. Якщо вироби невеликі (тонкий лист, дріт тощо), їх затискають у спеціальних затискачах або заправляють в оправки з легкоплавкими матеріалами (деревний сплав, сірка, пластмаса, епоксидна смола тощо), щоб зробити шліфування. Грубе шліфування виконується за допомогою спеціальних абразивних кругів або наждачного паперу. Не допускається нагрівання зразка. Після грубого шліфування зразок промивають водою і переходять до тонкого шліфування, змінюючи напрямок на 90° і використовуючи наждачний папір із зернистістю від 125 до 20 мкм до повного видалення слідів від попередньої операції. Крім наждачного паперу, для шліфування використовують спеціальні пасти (алмазну, ГОІ тощо). Після шліфування зразок промивають і полірують за допомогою полірувальних емульсій, нанесених на тканину. Матеріали для полірування можуть включати оксиди алюмінію, хрому та заліза. Процес полірування триває 5...10 хвилин, поки зразок не набуде дзеркальної поверхні. Готовий зразок промивають, сушать і розглядають під мікроскопом при 100...150-кратному збільшенні, щоб оцінити якість поверхні. Якщо на поверхні зразка є якісь відмітини, його повертають на полірування або тонке шліфування. Після того, як якісна поверхня підготовлена, шліф піддають травленню. Травлення здійснюється шляхом занурення полірованої поверхні зразка у ванну з реактивом або протиранням поверхні ватою, змоченою в реактиві. Оскільки поверхня мікрошліфу неоднорідна, її різні компоненти мають різні електронні потенціали і при взаємодії з реагентом поверхня являє собою комплекс

мікрогальванічних елементів. Ділянки поверхні з нижчим потенціалом діють як аноди і розчиняються. Інтенсивно витравлюються межі зерен, які більш збагачені різними домішками, ніж саме зерно, що сприяє утворенню мікрогальванічних елементів. В результаті травлення на поверхні шліфа утворюється мікрорельєф. Більш глибоко протравлені ділянки дають більше розсіяних променів і виглядають темнішими при розгляді під мікроскопом.

При виконанні мікрошліфування необхідно дотримуватися наступних вимог:

1) не робити різкого переходу від грубого до тонкого шліфування, а поступово зменшувати зернистість шліфувального паперу;

2) під час полірування не притискати зразки до полірувального круга;

3) перед травленням протріть поверхню зразка ватою, змоченою в спирті;

4) після травлення протерти поверхню шліфа спиртом і висушити фільтрувальним папером.

Готову мікрошліф зберігають в ексікаторі - скляній посудині з притертою кришкою, в яку засипають висушений силікагель. Це забезпечує суху атмосферу в ексікаторі, що позитивно впливає на час зберігання мікрошліфу.

Для електронної мікроскопії використовують тонкі металеві фольги та щітки. Технологія підготовки фольги полягає в механічному вирізанні тонкої металевої пластини, яка потім піддається електрохімічному травленню до появи в ній отвору. Товщина пластини біля отвору в кілька разів перевищує розмір кристалічної решітки і дозволяє електронам проходити крізь неї, формуючи певне зображення на екрані. Його виготовляють у

спеціальних установках шляхом розпилення вуглецю, кремнію або інших речовин на поверхню мікроканавки у вакуумі. Потім на напилений шар наносять желатин, який міцно прилипає до напиленого шару і разом з ним видаляється з поверхні мікрошліфу. Напилений шар з желатином поміщається в розчинник, желатин розчиняється, а тонка напилена плівка виловлюється з розчинника за допомогою металевої сітки і на сітці транспортується в електронний мікроскоп [12].

2.3. Методика визначення зносостійкості

Зносостійкість - опір матеріалів деталей машин та інших частин, що труться, зносу.

Визначення зносостійкості — це процес оцінки стійкості матеріалу або конструкції до зносу або витрати матеріалу під час взаємодії з іншими матеріалами, тертям, абразивними частинками, тиском і т. д. Цей процес важливий для визначення тривалості служби та ефективності матеріалів у різних умовах експлуатації.

Деякі основні методики визначення зносостійкості:

Випробування на тертя: Вимірювання зносостійкості шляхом створення тертя між двома матеріалами під контрольованим тиском, швидкістю тертя та часом для визначення зносу.

Випробування на абразивну стійкість: Визначення стійкості матеріалу до абразивних дій (наприклад, під впливом піску, шліфованого матеріалу), що може спричинити знос поверхні.

Методи математичного моделювання: Використання комп'ютерних програм для створення моделей зношування, які дозволяють передбачити ступінь зносу матеріалу в різних умовах.

Методи випробувань на втому: Дослідження стійкості матеріалу до поступового погіршення під впливом циклічних навантажень, що можуть спричинити зношування.

Іспити реальних умов експлуатації: Оцінка зносостійкості матеріалу шляхом встановлення його в реальні умови експлуатації та визначення терміну до виникнення зносу.

Ці методики, окрім прямого визначення зносостійкості, також дозволяють встановити фактори, які впливають на зносостійкість матеріалів, і враховувати їх при проектуванні та виборі матеріалів для конкретних застосувань.

Зношування можна розглядати як механічний процес, ускладнений фізико-хімічними факторами, що викликають зниження міцності мікрооб'ємів поверхневого шару. За умовами зовнішнього впливу на поверхневий шар розрізняють декілька видів зношування:

Суть абразивного зношування полягає в руйнуванні металу твердими абразивними зернами під час пластичної деформації та мікрорізання поверхонь, що труться. Абразивний знос є основною причиною пошкодження машин і обладнання в гірничодобувній, будівельній, дорожній і ґрунтообробній техніці, а також інструментів, що використовуються для виробництва цегли, бетону та інших будівельних матеріалів. Абразивом може бути одна з поверхонь, або абразив може потрапляти в зону контакту деталей ззовні.

Кавітаційне зношування - це руйнування металевої поверхні під впливом бульбашок газу, що утворюються у високошвидкісному потоці рідини навколо виробу під дією перепадів тиску. Кавітаційному зношуванню піддаються гребні гвинти, лопатки і камери проточної частини гідротурбін, робочі колеса і камери різних гідромашин. Присутність агресивних середовищ і абразивних частинок прискорює процес кавітаційного зношування.

Адгезійне зношування виникає при терті двох металевих поверхонь під навантаженням в умовах пластичної деформації металу в місцях контакту. Розвиток деформації супроводжується зближенням поверхонь до активації сил зчеплення між атомами

контактуючих металів і появи адгезії на обмежених ділянках. Багаторазове повторення адгезійних зв'язків з подальшим їх руйнуванням і відділенням частинок металу є суттю адгезійного зношування. Цей вид зносу виникає в підшипниках ковзання (колінчастих валах, осях, пальцях ковшових ланцюгів, ходових частинах різних машин).

Теплове зношування - це процес руйнування поверхонь деталей машин в результаті нагрівання зони тертя до температури розм'якшення металу. Руйнування при цьому виді зносу відбувається в результаті утворення металевих зв'язків: між взаємодіючими поверхнями, налипання і розплавлення металу. Цей тип зносу характерний для деталей високонавантажених високошвидкісних машин, гарячекатаних валків, ножів для гарячого різання, штампів для гарячого штампування, ливарних форм і прошивних інструментів для гарячої прокатки труб.

Окислювальний (корозійний) знос відбувається, коли поверхні контактують в агресивному середовищі. При ковзанні плівки продукти реакції, що утворюються на поверхні, руйнуються, і корозійний ефект поширюється вглиб матеріалу. Якщо корозійним середовищем є газова атмосфера, цей тип зносу називається окислювальним.

Втомне зношування при поверхневій втомі відбувається в результаті періодичної дії напружень зсуву в контактуючих об'ємах металу. При тривалих циклічних напруженнях в поверхневому шарі металу утворюються втомні тріщини. Близько розташовані тріщини зливаються, що призводить до відділення тонких металевих пластівців. Зношування характерне для пар тертя кочення і ковзання (залізничні колії, кранові шляхи підйомних механізмів, деталі та вузли гірничо-шахтного обладнання). Якщо причиною періодичних

напружень є зміна температури, явище зношування називається термічною втомою ("фретингом").

Фретинг - це механічне зношування тіл, що контактують в умовах малих коливальних переміщень. Достатніми є відносні переміщення поверхонь з амплітудою 0,025 мкм або менше. Мікропереміщення поверхонь, що сполучаються, виникають в результаті деформацій деталей під навантаженням і вібрацій, які супроводжують роботу машин і устаткування. Фретинг виникає, наприклад, в заклепкових, різьбових, шліцьових, шпонкових і штифтових з'єднаннях [13].

Існують різні методи вимірювання зносу, від найпростіших, коли розміри зношених деталей вимірюються звичайними засобами, до методів, що використовуються в ядерно-фізичних процесах.

Сфера застосування тих чи інших методів вимірювання зносу визначається: метою дослідження, необхідною точністю вимірювання, можливістю вимірювати малий знос, часом, необхідним для вимірювання зносу, можливістю вимірювати знос в процесі експлуатації без розбирання і, в деяких випадках, без зупинки машини, часом і коштами, необхідними для всього циклу підготовки.

Для вимірювання зносу можуть використовуватися як інтегральні, так і диференціальні методи оцінки. У деяких випадках методи оцінки зносу також використовуються для оцінки зносу на основі вихідних параметрів виробу або сполучення.

У свою чергу, інтегральні методи вимірювання зносу поділяються на: А - методи вимірювання, засновані на оцінці загального зносу; і Б - методи вимірювання, засновані на аналізі продуктів зносу в мастильному середовищі.

Різновидами методу А - вимірювання, заснованого на оцінці сумарного зносу, є

- за зміною маси зразка;
- за зміною об'єму зразка;
- за заміром зазору в спряженні.

Різновиди методів вимірювання, заснованих на аналізі продуктів зносу в мастильному середовищі, включають спектральний аналіз і дослідження з використанням радіоактивних ізотопів.

Диференціальні методи дозволяють визначити розподіл зносу по всій поверхні тертя і оцінити вплив нерівномірності зносу на вихідні параметри виробу.

Диференціальні методи поділяються на методи вимірювання на основі мікрометрії, штучних баз і методи активації поверхні.

Метод вимірювання на основі мікрометрії включає в себе

- вимірювання розмірів;
- профілографування.

Різновидами методу штучних баз є наступні:

- метод відбитка;
- метод лунок;
- метод зліпка.

До різновидів методу поверхневої активації відносять:

- метод активації частини ділянки;
- застосування вставок.

Методи вимірювання вихідних параметрів спряження поділяють за вимірюванням:

- коефіцієнта тертя;
- витрати мастила;
- температури.

Вимірювання величини зношування за зменшенням ваги чи об'єму деталі застосовують, як правило, при дослідженні зразків. Цей метод малоприматний для більшості деталей машин [13].

Мікрометричний метод вимірювання заснований на вимірюванні деталі до і після зносу за допомогою мікрометра, індикатора або інших приладів, точність яких знаходиться в межах 1-10 мкм.

У більшості випадків для вимірювання зносу можуть бути використані ті ж універсальні і спеціальні інструменти, які застосовуються для контролю точності даної поверхні при її виготовленні.

Недоліком цього методу є неможливість вимірювання зносу під час роботи машини.

Метод штучних баз заснований на тому, що на зношувану поверхню наносяться поглиблення тільки певної форми у вигляді конуса, піраміди тощо. Зменшення розміру заглиблення (відбитка) використовується для визначення величини зносу. Застосовуються різні варіанти цього методу.

Метод відбитка (рисунок 25). Для формування ямки використовується алмазна чотиригранна піраміда з квадратною основою і кутом 136° при вершині між протилежними гранями. Така піраміда використовується в мікротвердомірах (ПМТ-3 і Віккерса). Піраміду вдавлюють у поверхню під навантаженням і вимірюють діагональ відбитка. Після зношування розмір відбитка зменшується (d_1) і різниця ($d_0 - d_1$) використовується для визначення величини зносу $U = h_0 - h_1$. Діагоналі вимірюються за допомогою оптичного вимірювального приладу через мікроскоп.

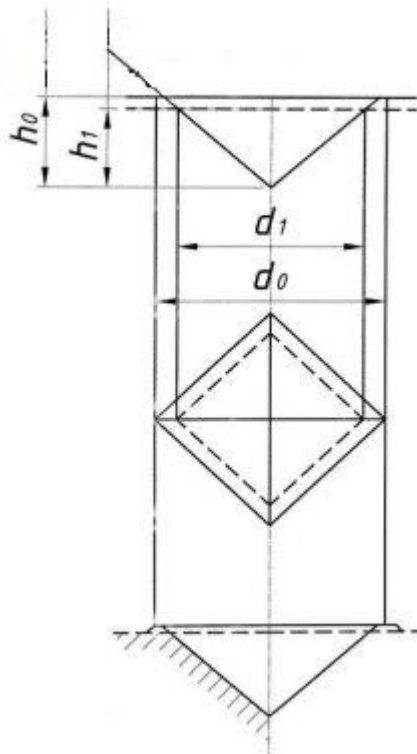


Рисунок 25 – Метод відбитків

Цей метод має низку недоліків. По-перше, коли пірамідка вдавлюється навколо відбитка, матеріал розбухає, що спотворює форму відбитка. По-друге, після зняття навантаження вдавнення певною мірою відновлюється. Набряк знімається поліруванням. Пружного відновлення відбитка не уникнути.

Широко використовується метод, запропонований професорами М.М. Хрущовим і Є.С. Берковичем, який називається методом вирізаного отвору. Цей метод полягає в тому, що на досліджуваній поверхні за допомогою фрези, що обертається, робиться отвір (рисунок 26). Зменшення розміру отвору в процесі зношування використовується для визначення величини локального зносу. Метод пітингу має ряд переваг перед методом відбитків. Цей метод замінює вдавнення різанням, що зводить до мінімуму вплив набрякання металу і еластичного відновлення.

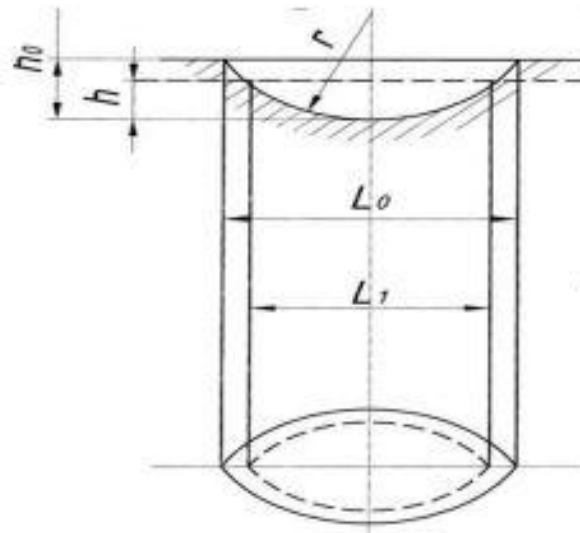


Рисунок 26 – Метод лунок

Якщо виміряти знос безпосередньо на деталі складно, використовують метод негативних відбитків (рисунок 27). На поверхні робиться поглиблення (відбиток або спеціальна мітка). Потім з нього знімається відбиток за допомогою самотвердіючої маси або пластмаси. Висоту відбитка вимірюють за допомогою звичайних методів і порівнюють з розмірами, отриманими після зносу.

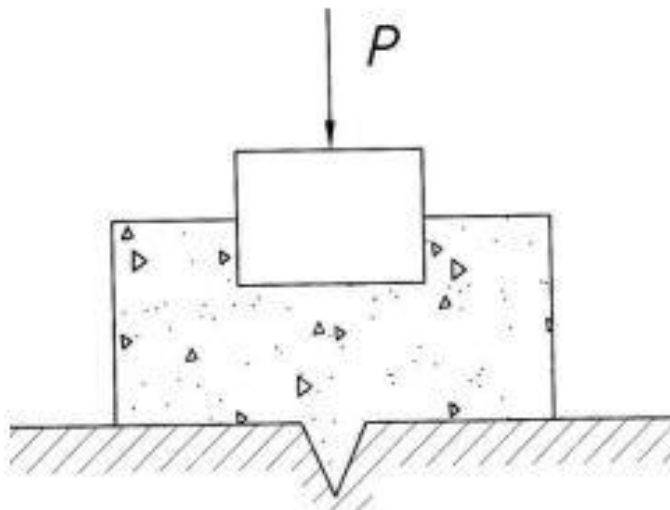


Рисунок 27 - Метод негативного відбитка

Метод поверхневої активації заснований на вимірюванні зменшення радіоактивності під час носіння. На деталі в заданій області створюється радіоактивний об'єм глибиною 0,05-0,4 мм шляхом опромінення її зарядженими частинками (дейтронами, протонами, частинками).

Величина зносу визначається за допомогою калібрувального графіка шляхом порівняння зниження радіоактивності деталі зі зниженням радіоактивності зразка.

Метод активації поверхні призначений для моніторингу зносу деталі при стендових і експлуатаційних випробуваннях без розбирання і зупинки машини [13].

Комплексне використання цих методів дозволяє отримувати повнішу картину щодо зносостійкості матеріалів і конструкцій, що є важливим для вибору оптимальних матеріалів у різних областях, від промисловості до транспорту.

Зносостійкість є ключовим фактором при виборі матеріалів та конструкцій для різних промислових та транспортних застосувань.

РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ БЕЗВИКАТНОГО НАПЛАВЛЕННЯ ТА ЇЇ СУЧАСНА РЕАЛІЗАЦІЯ

3.1. Аналіз технології, її переваги та недоліки

Відновлення і наплавлення деталей, а також повторне використання різних матеріалів пов'язані з певними матеріальними і трудовими витратами, тому перед початком цих робіт необхідно оцінити, чи є технічна і економічна можливість їх проведення.

Технічна можливість відновлення враховує

- 1) унікальність деталі, що підлягає відновленню;
- 2) серійність відновлюваних робіт для рядових деталей
- 3) ступінь зношеності;
- 4) наявність умов для збирання, підготовки та реставрації деталей
- 5) наявність матеріалів;
- 6) термін служби відновленої деталі.

Наплавлення - це нанесення на поверхню деталей різними методами шару необхідної товщини і хімічного складу, який має заданий комплекс властивостей (підвищену міцність, зносостійкість, корозійну стійкість і т.д.), а також відновлення зношеної поверхні [14].

Наплавлення є одним з основних процесів відновлення деталей, що дозволяє економити природні та енергетичні ресурси і значно покращує стан навколишнього середовища.

Чорна металургія є найбільш оновлюваною галуззю, як з точки зору фактичного обсягу відновлених деталей, так і перспектив його розширення.

Наплавлення дозволяє збільшити термін служби деталей в 2-3 рази.

Переваги та недоліки технології відновлення і зміцнення деталей.

Переваги:

- мобільність;
- виконання в будь-якому просторовому положенні;
- можливі всі види зварних з'єднань
- менші вимоги до підготовки крайок;
- додаткове видалення дефектного шару потоком рідкого металу.

Недоліки

- менша продуктивність;
- потрібні спеціальні заходи для утримання рідкого металу;
- нерівномірний нагрів по товщині металу і, можливо, великий об'єм рідкого металу, що викликає напруження і деформації;
- розвиток дифузійних процесів і не завжди бажаних хімічних реакцій [14].

Основними завданнями зварювання та наплавлення є досягнення технологічної та експлуатаційної міцності виробів відповідно до вимог виробництва та нормативних документів.

Метою технологічних процесів і систем, що застосовуються для наплавлення, відновлення і зміцнення деталей, є отримання виробів з необхідними властивостями при найвищих техніко-економічних показниках, без втручання людини.

Соціальний аспект технологічних процесів і комплексів полягає в тому, що людина звільняється від безпосереднього управління процесами зварювання і наплавлення і ці функції передаються автоматичним пристроям, що набуває все більшого значення в останні роки.

Розглянемо докладніше метод наплавлення, який використовується в локомотивному депо для відновлення ободів колісних пар.

Наплавлення під флюсом - наплавлення деталей діаметром понад 50 мм з підвищеними вимогами до якості напавленого металу і товщиною шару напавленого металу понад 1 мм.

Дугове наплавлення порошковим дротом - наплавлення зносостійких шарів на деталі, що працюють в умовах інтенсивного зносу, ударних навантажень, вузлів тертя.



Рисунок 28 – Процес наплавлення колісної пари

Вплив зварювання і наплавлення на міцність і довговічність деталей.

Механічні властивості металу в зоні термічного впливу визначаються його хімічним складом і структурними перетвореннями в цій зоні. У свою чергу, структурні перетворення і глибина зони термічного впливу залежать від теплового режиму зварювання і наплавлення.

Розрахункова швидкість охолодження металу повинна відповідати його критичній швидкості. Якщо ці швидкості не збігаються, фактичну швидкість охолодження металу змінюють регулюванням енергії дуги або відповідним підігрівом виробу.

Енергія дуги регулюється шляхом зміни сили струму або швидкості переміщення дуги. При автоматичному зварюванні та наплавленні це можна робити в дуже широкому діапазоні, тоді як при ручному зварюванні та наплавленні ця можливість обмежена. Тому ручне зварювання і наплавлення вимагає більшого використання додаткового нагріву виробу зовнішнім джерелом тепла. Іноді для поліпшення структури і механічних властивостей металу в зоні термічного впливу застосовують багат шарове зварювання і наплавлення.

Попередній нагрів виробу дуже важливий. Попередній підігрів може запобігти утворенню небажаних структур перетворення в основному і наплавленому металах і значно знизити залишкові напруження під час зварювання і наплавлення. Необхідність і ступінь підігріву визначають, виходячи з хімічного складу металу, розмірів і форми виробу, а також місця відновлення, режиму і способу зварювання і наплавлення [14].

Теорія теплових процесів зварювання та наплавлення дає можливість за відомим хімічним складом металу і заданою конфігурацією виробу, шляхом експериментального визначення енергії попереднього підігріву і режиму зварювання та наплавлення, розрахувати енергію попереднього підігріву і режим зварювання та наплавлення. Однак ці розрахунки складні і трудомісткі, і тому їх доцільно використовувати при проектуванні технологічних процесів для використання або ремонту серійних виробів. У ремонтному бізнесі часто доводиться мати справу з окремими деталями або невеликими партіями деталей. Тому режим нагріву для вуглецевих

сталей вибирають в основному в залежності від кількості вуглецю, що міститься в металі деталі, яка ремонтується, і з використанням наступних даних:

Зміст вуглецю, %: 0,20...0,30 0,30...0,45 0,45...0,80

Температура підігріву, °C: 100...150 150...250 250...400

Теоретично температура нагріву визначається за методом Д. Сеферіана, згідно з європейським стандартом EN 1011-2:2001 та документом "Рекомендації зі зварювання металевих матеріалів. Дугове зварювання феритних (вуглецевих і низьколегованих) сталей" тощо. Температура попереднього підігріву задається в залежності від форми і розмірів виробу, різкості переходів елементів конструкції і ряду інших обставин. Більш висока температура нагріву розширює зону термічного впливу і ускладнює процес зварювання і наплавлення. Погіршується утворення напливів і стабільність горіння дуги. Погіршується захист розплавленого металу від кисню та азоту повітря. Зниження температури нагріву не забезпечує нормальних структурних перетворень в основному і наплавленому металах. Неправильно підібраний режим нагріву для виробів складної форми може викликати високі місцеві термічні напруження, неприпустимі викривлення і тріщини.

Вимоги до вибору матеріалів для зварювання та наплавлення

Залежно від обраного способу наплавлення підбирають матеріали для досягнення необхідних властивостей наплавленого шару. Слід враховувати, що наплавлений метал завжди відрізняється за своїми властивостями і хімічним складом від присадного металу, оскільки багато методів наплавлення передбачають плавлення, взаємодію зі шлаком, захисною атмосферою і основним металом. Тому в більшості випадків неможливо і небажано підібрати присадний матеріал з хімічним складом, який відповідає бажаному складу наплавленого шару. Для

вибору матеріалів для наплавлення рекомендується користуватися відповідною довідковою літературою. Властивості матеріалів, рекомендованих для зварювання конструкцій, наплавлення деталей, деталей машин і механізмів, наведені в додатках. Зварювальні матеріали, що застосовуються для зварювання металоконструкцій і наплавлення деталей, повинні забезпечувати механічні властивості металу шва і зварного з'єднання (межа міцності, межа текучості, відносне подовження, кут вигину, ударна в'язкість) не нижче нижньої межі зазначених властивостей основного металу конструкції. Зварювальні матеріали для механізованого і ручного дугового зварювання вибирають залежно від механічних властивостей і хімічного складу металу, що зварюється, способу зварювання, а також призначення машини і її конструктивних особливостей [14].

Автоматичне наплавлення під флюсом.

Перевагами автоматичного наплавлення під флюсом є:

безперервність процесу, яка досягається завдяки використанню електродного дроту або стрічки у вигляді великих бухт;

підведення струму до електрода на мінімальній відстані від дуги, що дозволяє використовувати великі струми без перегріву електродів;

висока продуктивність цього процесу.

З усіх автоматичних і механізованих способів наплавлення найбільш поширеним є наплавлення під флюсом. Схема цього способу наведена на рисунку 29. При використанні пемзоподібних флюсів, які мають меншу насипну щільність, рухливість дуги збільшується. Утворюються широкі шви з невеликою опуклістю. Такі флюси застосовують, коли є ризик утворення підрізів. Через знижені захисні властивості вимоги до вологості вищі. Більш крупнозернистий флюс дає пемзоподібний шов. Застосовується при

високій потужності дуги. Автоматичне наплавлення розплавленим і агломерованим (керамічним) флюсом забезпечує найвищу якість шва.

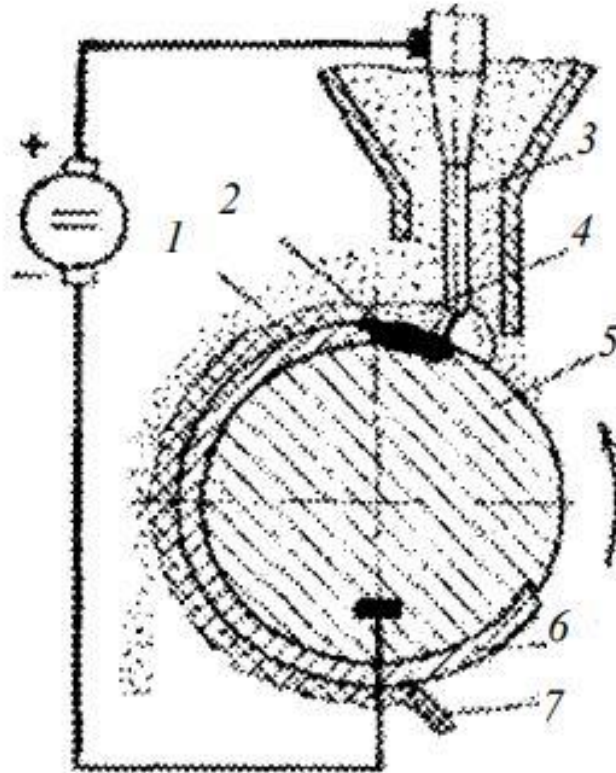


Рисунок 29 – Схема наплавлення

- 1 — флюс;
- 2 — рідкий метал;
- 3 — електрод;
- 4 — струмопідвід;
- 5 — газований міхур;
- 6 — валик;
- 7 — шлакова корка

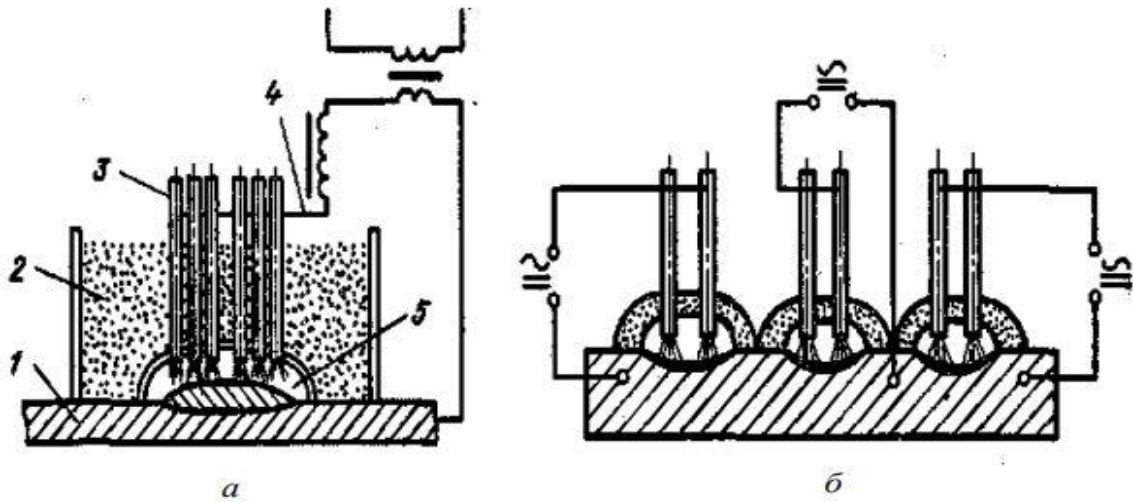


Рисунок 30 – Схема багатоелектродного під флюсом (а) і багатодугового наплавлення (б)

- 1 — основний метал;
- 2 — флюс;
- 3 — дроти

Діапазон режимів наплавлення, при яких склад наплавленого металу відхиляється в межах $\pm 10\%$ від номінального, показаний на рисунку 31.

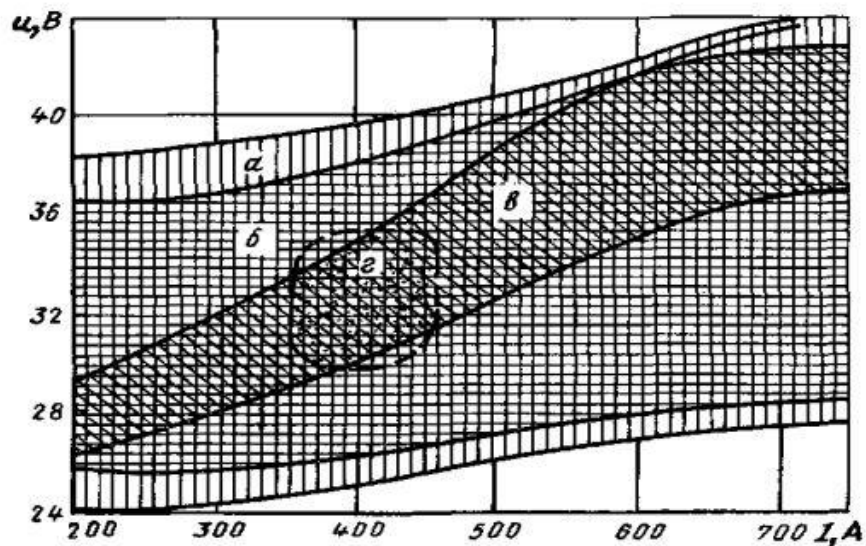


Рисунок 31 – Режими наплавлення легованим присадним матеріалом (а), порошковим дротом (б), під легованим флюсом (в), по шару легуючих суміші (г)

Особливістю технологічного процесу відновлення колісних пар при поточному ремонті тягового рухомого складу є доцільність проведення операції відновлення без викочування колісних пар з-під рухомого складу. Застосування цієї прогресивної технології виключає необхідність виконання трудомістких допоміжних робіт, таких як відключення тягового двигуна, підйом кузова, викочування візків, розбирання буксових вузлів, викочування і демонтаж колісно-моторного блоку, транспортування колісних пар до обробного верстата, що дає значний економічний ефект.

Установка для наплавлення гребенів коліс, без викатки колісних пар з-під локомотива, представлена на рисунку 32 [51]..

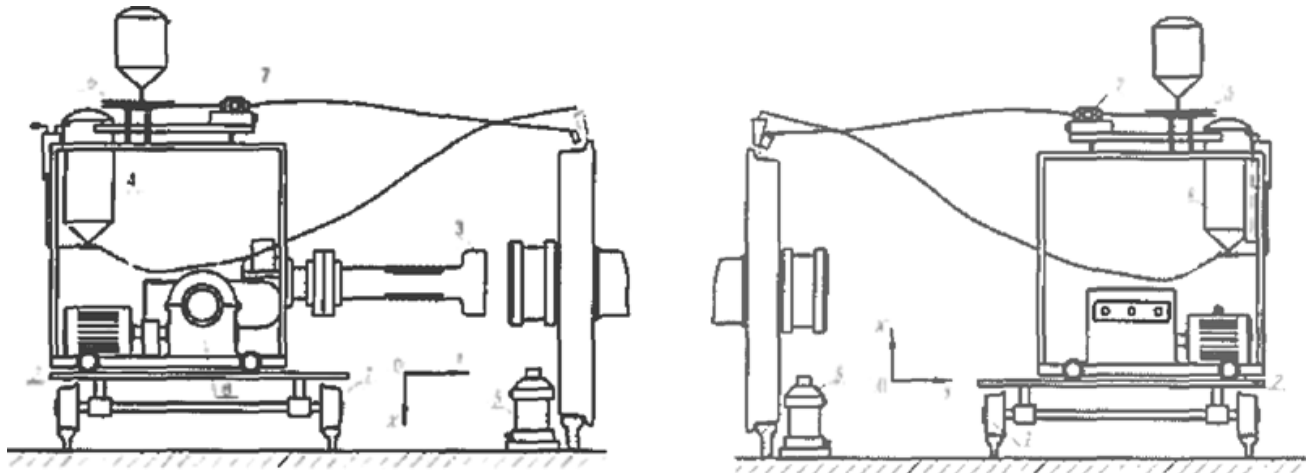


Рисунок 32 - Установка для наплавлення гребенів колісних пар без викатки

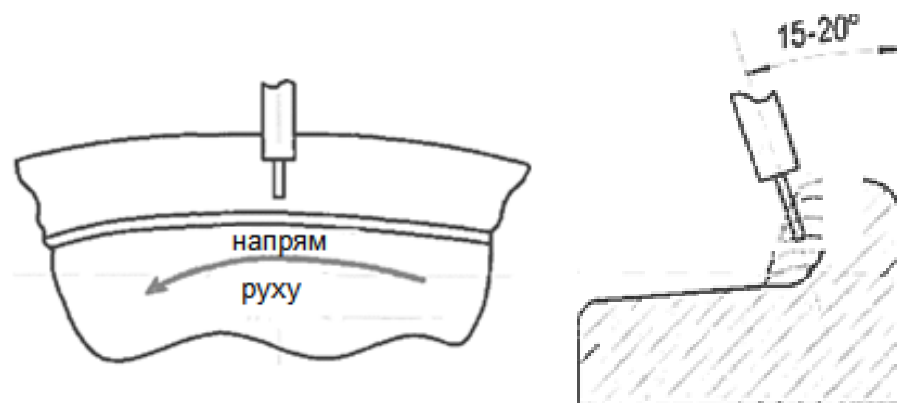


Рисунок 33 - Схема розташування пальника і накладення шарів

Температура деталей перед наплавленням і приміщень, у яких проводять відповідальні наплавочні роботи, має бути не нижче +5°C. При цьому не повинно бути протягів, різких температурних перепадів і потрапляння вологи на місце зварювання.

У разі, якщо в приміщенні немає можливості дотримуватися позитивного температурного режиму, допускається застосування локальних джерел тепла, що забезпечують рівномірне прогрівання колеса, що наплавляється, або бандажа, з урахуванням дотримання правил охорони праці та пожежної безпеки.

Наплавлення зношеної ділянки гребеня і переходу поверхні кочення в поверхню гребеня проводити самозахисним порошковим дротом ПП-Нп-ПСТП ТУ У 28.7-30268695-006-2004 діаметром 2,2...2,4 мм під шаром флюсу АН-348, виготовленим за ДСТУ EN ISO 14174-S.

Порошковий дріт ПП-Нп-ПСТП має ефект самозміцнення поверхні в процесі експлуатації (наклепом поверхні).

Дріт ПП-Нп-ПСТП перед наплавленням має бути очищеним від бруду та іржі, прожарено при температурі 250...300 °С, час витримки 1,5...2,0 години. Флюс АН-348 перед наплавленням має бути прожарений за температури 250...300 °С, час витримки 1,5-2,0 години.

Режими наплавлення наведені в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Режими наплавлення колісних пар порошковим та суцільним дротом

Дріт	Діаметр дроту, мм	Ізв, А	Уд, В	V _{пп} , м/г	/В, мм
ПП-Нп-ПСТП	2,2	240...260	34-36	170...180	30
ПП-Нп-ПСТП	2,4	260...280	36-38	170...180	30
Св-08А	2	200...240	32-34	100...120	30

Кількість проходів обирається з розрахунку вироблення товщини гребеня. Рекомендована кількість проходів представлена в таблиці 3.2

Таблиця 3.2 - Рекомендована кількість проходів.

Товщина гребня, мм	20-22	23-24	25-26	27
Кількість проходів, шт.	11-12	9	В	7

Під час наплавлення після першого повного обороту колісної пари зварювальна голівка піднімається вгору на 2-4 мм, подається в бік гребеня на 1,5-3,0 мм (залежно від типу зварювальної голівки та діаметра зварювального дроту, що застосовується). Без перерви процесу горіння дуги триває наплавлення другого та останнього валиків.

Якщо здійснюється наплавлення відразу двох коліс, то спочатку дуга запалюється на одному колесі, а через 1/4...1/2 обороту колісної пари на другому колесі. Під час наплавлення припуск на обробку наплавленого металу має становити не більше 2 мм.

У процесі наплавлення зварювальник повинен стежити за формуванням наплавленого металу, з метою дотримання технологічного процесу, а також своєчасного усунення можливих порушень технології наплавлення, таких як

- зміщення наплавлюваного валика в бік поверхні катання;
- утворення на поверхні наплавлюваного валика дефектів (підрізи, пори, напливи);
- зміни параметрів режиму наплавлення, що призводять до зміни геометрії наплавленого валика.

У разі обриву дуги, повторне її збудження проводять після повного обороту колеса за 70-100 мм перед місцем обриву, щоб

переварити кратер. Наплавлення другого колеса (при наплавленні одночасно двох коліс) триває безперервно. Якщо під час наплавлення під флюсом шлакова кірка не відстає самостійно, проводять її видалення за допомогою спеціального зубила легким стуканням. Шлакова кірка збивається зі шва тільки після її затвердіння і охолодження до темного кольору [3].

Обробка колісних пар без викочування значно скорочує час простою рухомого складу та витрати на оплату праці.

3.2. Дефекти наплавлених деталей та методи їх усунення

Збільшення вмісту вуглецю і ступеня легування сталі підвищує її схильність до загартовування, через що сталі дуже чутливі до термічного циклу зварювання, а зона навколо шва різко загартована і тому не пластична при всіх умовах зварювання, що забезпечує задовільне формування шва.

Зварюваність - це здатність металів утворювати з'єднання, що задовольняє вимогам конструкції та експлуатації виробу за встановленою технологією зварювання.

Іншими словами, зварюваність залежить, з одного боку, від матеріалу, технології зварювання (наплавлення) і конструкції з'єднання, а з іншого - від необхідних експлуатаційних властивостей зварної конструкції.

Для вуглецевих сталей ця характеристика в першу чергу пов'язана з вмістом вуглецю. Під хорошою зварюваністю середньовуглецевої сталі, яка призначена для виготовлення конструкцій, що працюють під статичними навантаженнями, розуміють здатність за звичайною технологією отримати зварне з'єднання з рівною міцністю з основним металом, без тріщин в металі шва і без зниження пластичності в зоні зварного шва. Метал

шва і зони зварювання повинен бути стійким до крихкості при робочій температурі конструкцій (деталей) і при наявності концентраторів напружень, обумовлених формою вузла.

Утворення мартенситу в зоні термічного впливу є основною причиною складності їх зварювання через схильність до утворення холодних тріщин. Холодні тріщини можуть виникати як відразу після зварювання, так і через деякий час. Іншим недоліком зварних з'єднань цих груп сталей є мартенситна структура зони термічного впливу, яка визначає підвищену крихкість цих ділянок, що може негативно впливати на експлуатацію конструкції, особливо при низьких температурах, динамічних навантаженнях тощо.

Для зменшення швидкості охолодження зони зварювання з метою отримання в ній структур, що мають певний запас пластичності, достатній для запобігання утворенню тріщин під впливом термодформаційного циклу, застосовують попередній підігрів зварюваного виробу.

При зварюванні цих сталей зварні з'єднання піддають термічній обробці, як правило, загартуванню 600...700°C. Загартування забезпечує перетворення нерівноважних структур в більш рівноважні (пластичні), знижує залишкові зварювальні напруги і повністю видаляє залишковий дифузійний водень зі зварного з'єднання. В результаті значно підвищується експлуатаційна придатність зварних з'єднань та їх надійність.

Критична швидкість охолодження середньовуглецевих легованих сталей при загартуванні значно нижча, ніж у низьковуглецевих, через помітне збільшення інтервалу низької стійкості аустеніту. Тому при їх охолодженні, навіть на повітрі, частина аустеніту може переохолодитися і зазнати перетворення нижче лінії Mn. В умовах нагрівання та охолодження зони термічного впливу під час зварювання навіть у найбільш перегрітих ділянках з

однорідним аустенітом при підвищеній швидкості охолодження може утворюватися мартенсит.

Щоб запобігти утворенню холодних тріщин при зварюванні середньовуглецевих сталей, особливо легованих, в першу чергу необхідно уповільнити швидкість охолодження зварного з'єднання і знизити рівень зварювальних напружень. Це можна зробити шляхом підігріву металу шва або збільшенням енергії зварювання на одиницю площі (збільшенням зварювального струму і зменшенням швидкості зварювання).

Зменшення швидкості охолодження зварного з'єднання назавжди запобігає перетворенню аустеніту в мартенсит. Але навіть якщо утворення мартенситу не запобігти, розпад аустеніту в мартенситній зоні переміщується до температур ближче до лінії M_n (подалі від M_k), що робить отриманий мартенсит менш напруженим і менш крихким.

Оскільки на утворення холодних тріщин впливає дифузно рухомий водень, під час зварювання (наплавлення) необхідно вживати заходів для їх запобігання, тобто не допускати потрапляння вологи або окалини в металеву зварювальну ванну. Для цього перед зварюванням (наплавленням) зварювальні матеріали необхідно ретельно просушити, а зварювані вироби очистити.

Умови зварювання середньовуглецевих і середньолегованих сталей залежать від багатьох факторів: складу сталі, жорсткості конструкції, що визначає рівень напружень у зварному з'єднанні, товщини (діаметра) зварюваного виробу, температури навколишнього середовища тощо. Тому точно визначити технологічні умови їх зварювання неможливо. Сталі цієї групи є одними з найскладніших для зварювання.

Дефекти, які утворюються при наплавленні гребнів колісних пар локомотивів – це холодні тріщини, нерівномірний шов, напливи.

Ці дефекти утворюються внаслідок неправильно підібраних параметрів наплавлення, недосконалості обладнання, а також недостатньої підготовки використовуваних матеріалів (флюсу та дроту). На якість матеріалу впливає також порушення вимог умов зберігання флюсів та зварювального дроту.

Погодні умови навколишнє середовище: цех не опалюється і всередині мінусова температура. При цьому мінімальна температура довкілля і деталей під наплавлення, регламентована ремонтно-технічною інструкцією та інструкцією на обладнання, має становити не нижче +5 градусів. Бажано починати наплавлення за температури +20...25 градусів. Для вирішення цього питання необхідно виконувати локальний попередній і супутній підігрів головки рейки і колеса з бандажем. А після наплавлення забезпечити уповільнене охолодження.

Для такого хімічного складу матеріалів необхідний попередній підігрів до 80...100С. Понад 150...200 С температуру підвищувати не можна, є можливість зміщення бандажа на колесі. Також коригування режиму наплавлення.

Під час наплавлення на струмах великої величини відбувається інтенсивне тепловкладення в тіло гребеня. Це призводить до структурних змін у металі, а саме: ріст зерна і подальше окрихчування металу. За різких перепадів температури утворюються розтягувальні напруження, які призводять до зародження тріщин і подальшого розриву.



Рисунок 34 - Приклад неякісного зварного шву



Рисунок 35 – Приклад задовільного зварного шву з явними мікротріщинами



Рисунок 36 – наскрізне розтріскування бандажу колісної пари

3.3. Обладнання для реалізації процесу безвкатного наплавлення

Автоматичним зварювальним або наплавочним обладнанням зазвичай називають обладнання для зварювання з механізованим збудженням і підтриманням дуги, механізованою подачею зварювальних матеріалів в зону плавлення і механізованим переміщенням дуги вздовж лінії зварного з'єднання або виробів, що підлягають наплавленню.

Розглянемо установку наплавлення колісних пар локомотивів локомотивного депо цеху Північний [51]



Рисунок 37 – Загальний вигляд наплавочної установки



Рисунок 38 - Пульт керування візком наплавної установки

Візок наплавного станка (загальний вигляд на малюнку 37) повинен рухатися паралельно колії вздовж локомотива, який знаходиться на ній. Це гарантує, що всі колісні пари локомотива будуть охоплені під час операцій наплавлення. Майже все обладнання розташоване на візку, за винятком зварювального перетворювача, який є стаціонарним. Таких візків два, по одному з кожного боку. Єдиною їх відмінністю є наявність приводного валу з мотор-редуктором для приводу колісної пари (карданного шарнірного з'єднання) на одному з візків (рисунок 39)



Рисунок 39 - Карданний вал приводу колісної пари

Цей механізм забезпечує обертальний рух колісної пари під час операцій наплавлення. Регулювання швидкості обертання відсутнє. Крім того, з огляду на термін служби близько 35 років, цей механізм має значний люфт, що іноді призводить до ривків у роботі. Як наслідок, якість зварного шва значно знижується. Привід з іншого боку був би зайвим, оскільки обидві машини працюють паралельно на одній колісній парі ліворуч і праворуч. Також, на верстаті розташований механізм протяжки проволоки (рисунок 40) і пульт керування ним (рисунок 41)

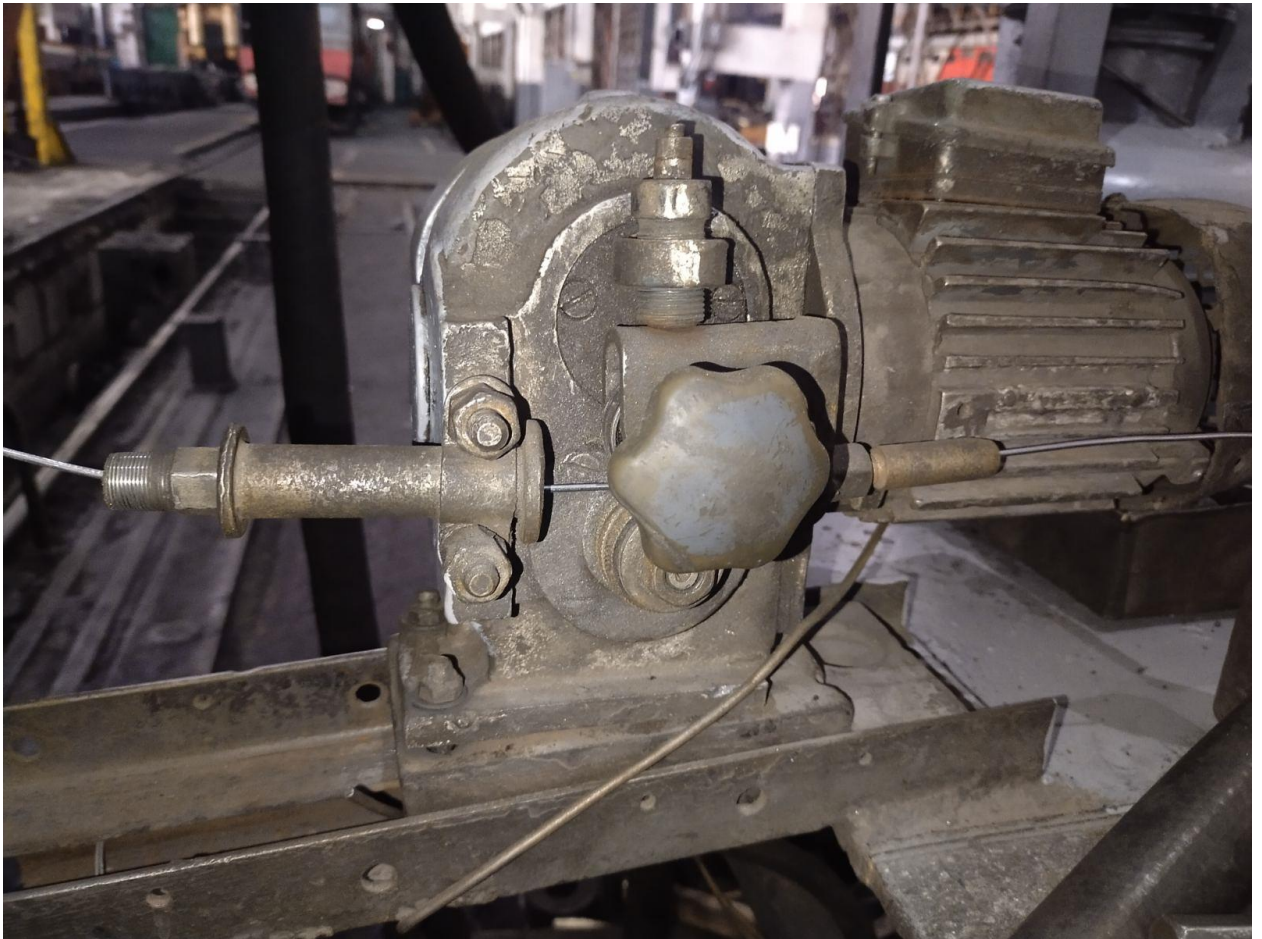


Рисунок 40 - Механізм подачі дроту

Призначення механізму протяжки - забезпечити безперервну подачу дроту до пальника з однаковою швидкістю. У локомотивному депо лінія наплавлення застаріла, тому можливість регулювання обмежена і складна. А її підбір займає багато часу. Швидкість регулюється підбором передаточних чисел редуктора. Ролики з насічками встановлюються відповідно до діаметру дроту, що протягується.



Рисунок 41 - Пульт керування механізмом протяжки.

Наступним вузлом є пальник, зображений на рисунку 42

Призначення пальника - подавати дріт і напругу на дріт безпосередньо в зварювальну ванну. Цей пристрій розташований на рамі візка локомотива безпосередньо над колісною парою. Завдання оператора - забезпечити кут нахилу дроту відносно гребеня 15...20 градусів. Оскільки наплавлення відбувається під шаром флюсу, а не в захисному газовому середовищі, подача газу не здійснюється. За подачу флюсу відповідає окрема установка. Флюс АН-348 зберігається в бункерах (рисунок 43) і подається безпосередньо в зону наплавлення для забезпечення захисного середовища.



Рисунок 42 – Пальник установки



Рисунок 43 – Бункеры флюсового аппарата

Живлення здійснюється від джерела постійного струму. Їх два, по одному на кожну машину (рисунок 44 і 45). Вони дозволяють здійснювати поступове безступінчасте регулювання параметрів напівнаплення. Вони є стаціонарними, як зазначалося вище, а подача напруги до мобільних верстатів здійснюється за допомогою кабельного підвісу.



Рисунок 44 - Загальний вигляд джерела живлення типу КІУ-1201



Рисунок 45 - Характеристики джерела живлення (вказані на бірці)

3.4. Термічний цикл при багат шаровому наплавленні та його вплив на властивості наплавленого металу

Термічний цикл у процесі багат шарового наплавлення — це послідовність нагрівання і охолодження, яка виникає при кожному нанесенні нового шару матеріалу на попередній. Цей цикл має величезний вплив на властивості наплавленого металу. Основні аспекти термічного циклу включають:

Нагрівання: Під час нагрівання матеріалу до температури розплавлення відбувається зміна його мікроструктури. Тепловий вплив може впливати на кристалічну ґратку та розподіл легуючих елементів. Під час цього етапу матеріал нагрівається до температури розплавлення. При цьому відбувається зміна структури матеріалу, розплавлення та плавлення наплавленого шару.

Подача матеріалу та формування шару: Коли матеріал нагрітий до необхідної температури, він наноситься на попередній шар, формуючи новий шар. Цей етап також може впливати на структуру шару та його властивості.

Охолодження: Після завершення нагрівання та нанесення шару настає етап охолодження, що може призвести до виникнення напруг у наплавленому шарі через термічні напруги. Швидке охолодження може також сприяти утворенню мікротріщин та нерівностей, а також має вплив на мікроструктуру шару та властивості, такі як твердість і стійкість до тріщин.

Цикли теплової обробки: У разі багат шарового наплавлення кожний новий шар проходить термічні цикли, відіграючи роль як теплової обробки для попередніх шарів.

Вплив цього циклу на властивості наплавленого металу включає такі аспекти:

Мікроструктура: Термічний цикл може впливати на розмір та форму зерен, мікроструктуру матеріалу, що може впливати на механічні властивості наплавленого шару.

Твердість: Інтенсивність та швидкість охолодження можуть впливати на твердість матеріалу, спричиняючи зміни в структурі.

Напруги та деформації: Різниця у температурі між нагріванням і охолодженням може створювати напруги та може викликати деформації в наплавленому шарі.

Цикли повторення: У багат шаровому наплавленні кожен новий шар проходить ці етапи, що може призводити до накладання термічних циклів один на одного. Це може впливати на загальну мікроструктуру, напруги та деформації у всьому наплавленому шарі.

Оптимізація термічного циклу є важливим аспектом в процесі багат шарового наплавлення для досягнення бажаних властивостей матеріалу та уникнення дефектів у наплавленому шарі.

Зона впливу тепла, яка піддається нагріванню та охолодженню під час процесу наплавлення. Розмір та форма зон впливу тепла можуть варіювати в залежності від параметрів наплавлення та швидкості охолодження, впливаючи на структуру та властивості наплавленого металу.

Під час термічного циклу можуть відбуватися фазові перетворення у металевій структурі, наприклад, зміна фаз внаслідок швидкого охолодження. Це може мати великий вплив на механічні властивості та мікроструктуру.

Різниця у температурі між нагріванням та охолодженням може призводити до виникнення внутрішніх напруг та деформацій у матеріалі. Це впливає на міцність, тріщиностійкість та стійкість наплавленого шару.

Важливо керувати термічними параметрами, такими як швидкість охолодження чи температура, для досягнення бажаних властивостей матеріалу.

Налаштування параметрів термічного циклу та їх контроль під час процесу наплавлення важливі для забезпечення стабільності та однорідності властивостей у всьому наплавленому шарі.

Ці аспекти визначають складність та точність процесу багат шарового наплавлення. Оптимізація термічного циклу є важливим етапом для отримання бажаних властивостей наплавленого металу.

РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

4.1. Металографічний аналіз зони термічного впливу

Металографічний аналіз зони термічного впливу (ЗТВ) є важливою частиною досліджень матеріалів, особливо в металургії та обробці металів. Цей аналіз дозволяє вивчати структурні зміни в матеріалі, які виникають в результаті термічного впливу, такого як нагрівання та охолодження.

Процес термічного впливу може відбуватися під час зварювання, нагріву для закалювання або термічної обробки матеріалів. Зона термічного впливу в околі зони зварювання або області підданої термічній обробці може зазнавати змін в структурі та властивостях.

Металографічний аналіз включає в себе підготовку проби (наприклад, шліфування та полірування), подальший дослід структури за допомогою мікроскопа та інших інструментів. Це дозволяє визначити мікроструктуру матеріалу, наявність фаз, розмір зерен та інші характеристики.

Дослідження зони термічного впливу важливо для забезпечення якості та надійності металевих конструкцій, особливо там, де важливі механічні властивості та стійкість до корозії.

В лабораторії ПАТ «Запоріжсталь» провели дослідження мікроструктури зразка колісної пари з багат шаровим наплавленням за допомогою мікроскопа Olympus GX51 (рисунок 46).

Інвертований мікроскоп GX51 має чудовий штатив, який забезпечує зображення з відмінною точністю і неймовірною роздільною здатністю при великих збільшеннях. Мікроскоп GX51 може бути дооснащений багатьма різними аксесуарами, такими як цифрові камери, блоки фільтрів тощо.

Таблиця 4.1. Технічні характеристики мікроскопу Olympus GX51 [50]

Револьверна головка	<p>Ручне керування. Шестипозиційний для об'єктивів світлого/темного поля/DIR, п'ятипозиційний для об'єктивів світлого/темного поля/DIR, центрований чотирипозиційний для об'єктивів світлого поля</p> <p>Моторизоване керування. Шестипозиційне для об'єктивів світлого/темного поля/DIR, п'ятипозиційне для об'єктивів світлого/темного поля/DIR</p>
Фокусування	<p>Ручний коаксіальний регулятор грубого і точного фокусування, хід 9 мм (2 мм над площиною об'єкта зйомки, 7 мм під площиною об'єкта зйомки).</p> <p>Хід на один оберт ручки точного налаштування: 0,1 мм</p>
Освітлення	100Вт галогенний (стандартна комплектація), 100Вт ртутний, 75Вт ксеноновий (опціонально)
Візуальна насадка	<p>Ширококутний бінокль U-VI30-2 Видиме поле зору F.N.22 Нахил тубуса - 30 Діапазон регулювання міжзіничної відстані - 50 - 76 мм</p> <p>Ширококутний тринокуляр U-TR30-2 Видиме поле зору F.N.22 Нахил тубуса - 30 Діапазон регулювання міжзіничної відстані - 50 - 76 мм</p> <p>Ширококутний ергономічний бінокль U-TVI-3 Видиме поле зору F.N.22 Нахил тубуса - 5 - 35 Діапазон регулювання міжзіничної відстані - 50 - 76 мм</p>
Предметний столик	Предметний столик із правостороннім керуванням (ход X/Y: 50/50 мм)
Об'єктиви	Універсальні, скориговані на нескінченність, 5x - 250x
Методи спостереження	Світле поле, темне поле, проста поляризація, ДІК
Оптична система	UIS2, Скоригована на нескінченність.
Габарити мікроскопа (ШхГхВ) мм	<p>280 x 711 x 425</p> <p>Вага - близько 28 кг (у комплектації для роботи за методами світлого/темного поля і ДІК з камерою DP20)</p>

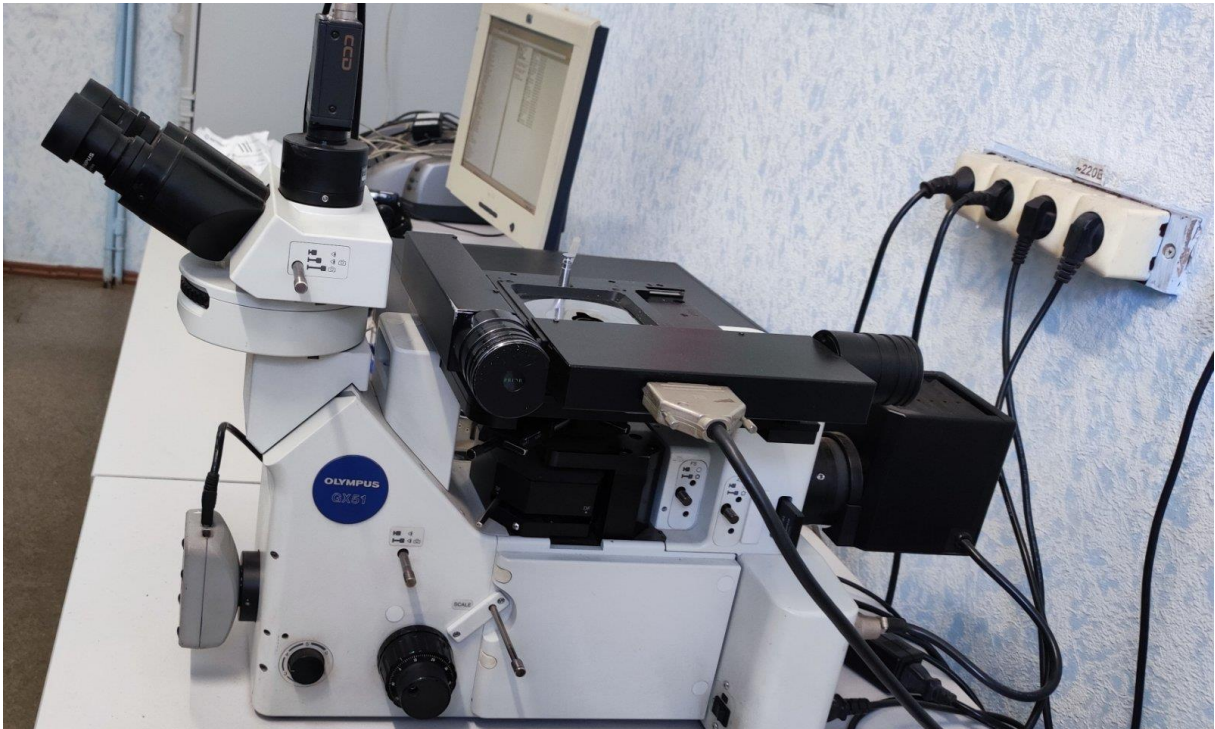


Рисунок 47– Мікроскоп Olympus GX51.

Мікроструктура основного металу складається з сорбіту і ділянок фериту у вигляді розірваної сітки (рисунок 48, 49).

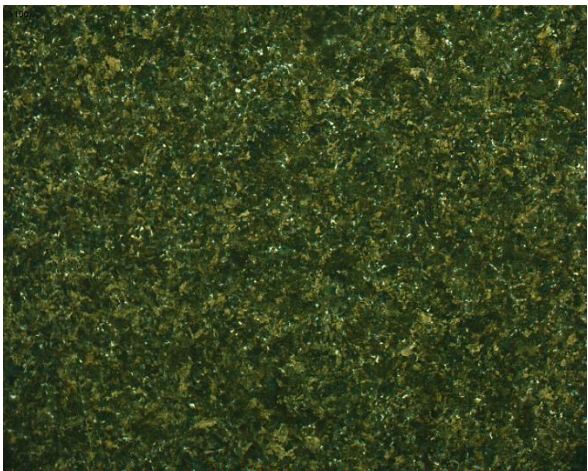


Рисунок 48

x100

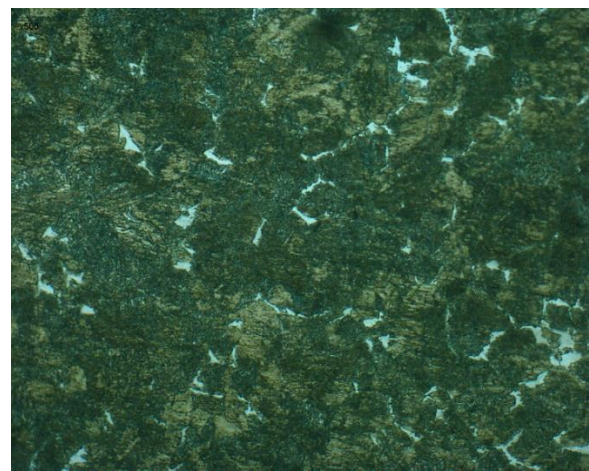


Рисунок 49

x500

Перехідна зона представлена на рисунках 50, 51

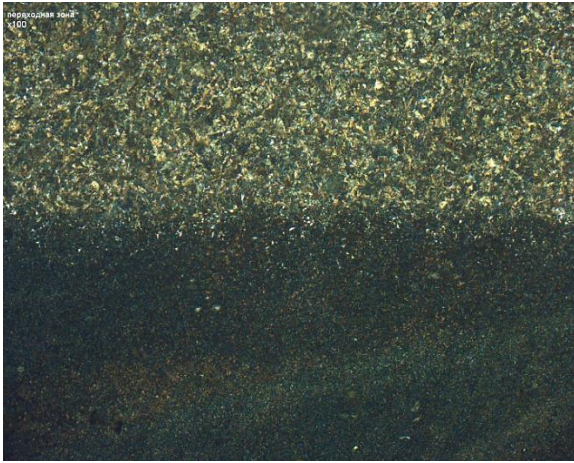


Рисунок 50

x100

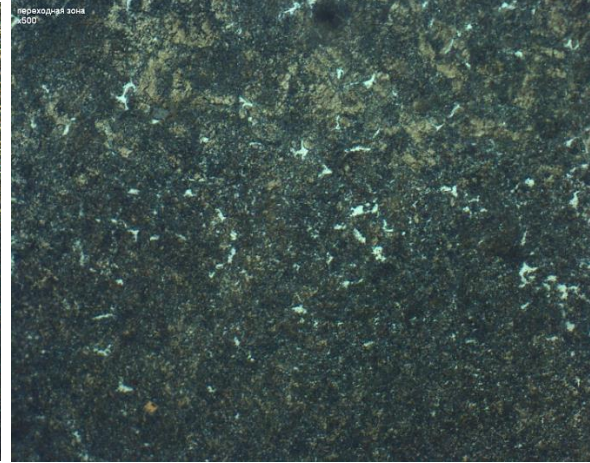


Рисунок 51

x500

4.2. Металографічний аналіз наплавленого металу в робочій частині

Металографічний аналіз наплавленого металу в робочій частині є важливим етапом при вивченні якості та властивостей наплавленого шару. Цей аналіз дозволяє досліджувати мікроструктуру та фізичні властивості матеріалу, який був наплавлений на основний виріб, а саме колісну пару. Ось деякі ключові аспекти металографічного аналізу наплавленого металу:

Зони термічного впливу (ЗТВ): Визначення зон термічного впливу у наплавленому шарі, оскільки температурні впливи можуть впливати на структуру матеріалу.

Мікроструктура наплавленого шару: Дослідження розміру та форми зерен, фазового складу і структури зерен у наплавленому металі.

Залишкові напруги: Оцінка можливих залишкових напруг у наплавленому шарі, оскільки це може впливати на його міцність та стійкість.

Області деформації: Виявлення областей деформації або змін у структурі, які можуть виникнути внаслідок наплавлення.

Виявлення дефектів: Аналіз можливих дефектів, таких як тріщини чи включення у наплавленому шарі.

Твердість та міцність: Вимірювання твердості та міцності наплавленого металу для оцінки його механічних властивостей.

Ці дослідження є важливими для забезпечення якості та визначення придатності наплавленого металу до конкретного застосування. Металографічний аналіз допомагає розуміти взаємодію між термічними та механічними впливами під час наплавлення та оптимізувати процеси для досягнення необхідних характеристик.

Дослідивши зразок наплавленого шару колісної пари, отримали, що наплавлений шар являє собою сорбіт і карбіди (рисунок 52, 53). Глибина наплавленого шару склала ~10 мм (рисунок 54)

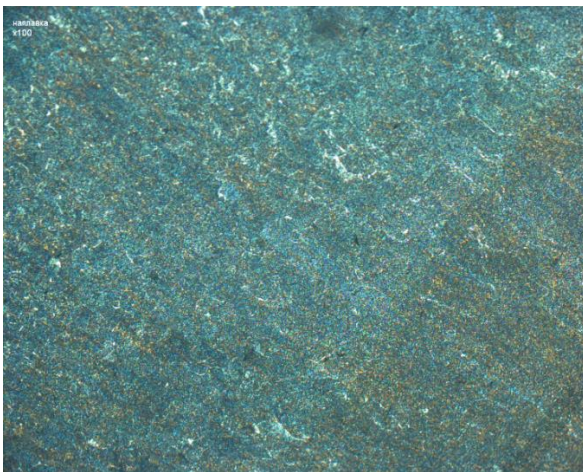


Рисунок 52

x100

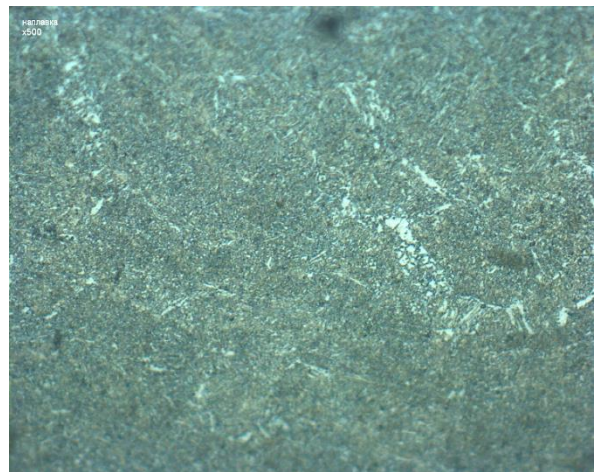


Рисунок 53

x500



Рисунок 54 – Глибина наплавленого шару

4.3. Аналіз причин обезвуглецювання робочих частин колісних пар при багатократному відновленні

Обезвуглецювання, тобто вигорання вуглецю з поверхні деталей, завжди відбувається, коли сталь окислюється. Зневуглецювання різко знижує міцність конструкційної сталі. Крім того, поверхнєве зневуглецювання може спричинити появу гартівних тріщин і викривлення.

В лабораторії ПАТ «Запоріжсталь» провели оптико-емісійний спектральний аналіз для визначення хімічного складу зразку колісної пари, яку наплавляли багато разів: основного металу та наплавленого шару.

Досліди проводились емісійний спектрометр SPECTROLAB M німецької фірми SPECTRO (рисунок 55) .

SPECTROLAB використовується в лабораторіях і виробничих цехах, які виробляють або споживають метали, сплави та металеві вироби. Вона бере на себе всю рутинну роботу з контролю технології виробництва і якості готової продукції на металургійних,

ливарних і машинобудівних підприємствах. Використовується в науково-дослідницькій діяльності.



Рисунок 55 – Оптико-емісійний спектрометр SPECTROLAB M та зразок колісної пари.

Спектрометр SPECTROLAB (спектральний діапазон 120 - 780 нм) може мати до 108 спектральних каналів з фотоелектронними помножувачами на один спектрометр і до 128 спектральних каналів на ПЗЗ-детекторах на одну програму спектрометра. Волоконна оптика використовується для прийому і передачі світлового випромінювання в діапазоні 200 - 780 нм, вона розширює можливості спектрометрів і забезпечує хорошу відтворюваність. В одному спектрометрі можна використовувати до трьох оптичних

систем. Кожна оптична система оптимізована для конкретних застосувань.

Було виконано локальний спектральний хімічний аналіз металу деталі в чотирьох різних точках за перетином "зуба". Результати представлені нижче в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Хімічний склад зразка в різних точках

Вміст хімічного елемента,% за масою	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
В точці №1	0,513	0,74	0,30	0,026	0,019	0,10	0,04	0,06
В точці №2	0,529	0,74	0,30	0,026	0,020	0,10	0,04	0,06
В точці №3	0,524	0,74	0,30	0,027	0,020	0,10	0,04	0,06
В точці №4	0,522	0,73	0,29	0,025	0,022	0,10	0,04	0,06
У сталі марки 50Г згідно з ДСТУ 7806:2015	0,48-0,56	0,70-1,00	0,17-0,37	не більше		не більше 0,30	не більше 0,30	не більше 0,30
				0,035	0,035			
В наплавці	0,172	0,87	1,03	0,022	0,021	1,50	0,05	0,04

Згідно результатів дослідження бачимо, що вміст вуглецю в наплавленому шарі значно менший, ніж в основному металі, що приводить до втрати міцності наплавленого шару та швидкому зношуванню гребня колісної пари.



Рисунок 56 – Зразок гребня колісної пари,
де 1 – наплавлений шар, 2 – основний метал

Додатково зразку колісної пари, яка тріснула, було виконано фрактографічний аналіз.

Фрактографічний аналіз — це метод вивчення і оцінки властивостей матеріалів на основі дослідження їхнього мікроструктурного аспекту, зокрема, на долю, розподіл і характер розривів та тріщин, які виникають при механічних впливах. Термін походить від слова "фрактурний" (що стосується розривів) і "графія" (зображення).

Основні аспекти фрактографічного аналізу включають в себе:

Фрактографічні зразки: Дослідження реальних зразків матеріалів після руйнування для визначення характеристик розривів і тріщин.

Мікроструктура матеріалів: Вивчення мікроструктури матеріалу для з'ясування, які особливості мікроструктури можуть призводити до конкретних типів розривів.

Типи розривів і тріщин: Класифікація та характеристика розривів, таких як переривчасті, волокнисті, конденсатні, аморфні тощо.

Механізми руйнування: Визначення того, які процеси і механізми призводять до руйнування матеріалу, такі як розтягнення, згин, зсув і т.д.

Оцінка міцності: Вивчення зв'язку між фрактографічними ознаками і механічними властивостями матеріалів.

Інструменти і методи: Використання різних інструментів і методів для аналізу фрактографічних зразків, таких як оптична мікроскопія, сканувальна електронна мікроскопія (SEM), трансмісійна електронна мікроскопія (TEM), рентгенівська дифракція тощо.

Фактори впливу: Визначення факторів, що впливають на руйнування матеріалу, таких як температура, вологість, швидкість навантаження та інші умови експлуатації.

Види тріщин: Розрізнення між різними видами тріщин, такими як утомленість, корозійні тріщини, тріщини внаслідок воздушного тиску тощо.

Дослідження дефектів: Вивчення дефектів, які можуть призводити до руйнування матеріалу, таких як включення, порожнечі, нерівності мікроструктури.

Застосування в промисловості: Використання фрактографічного аналізу для вдосконалення дизайну матеріалів, якості виробів, діагностики руйнувань та розробки нових матеріалів з покращеними властивостями.

Зв'язок із сценаріями навантаження: Розуміння того, як типи навантаження впливають на формування розривів та тріщин.

Фрактографічний аналіз є важливою складовою в області матеріалознавства та інженерії, оскільки він дозволяє розуміти механізми руйнування матеріалів і розробляти стратегії для покращення їхньої міцності та надійності.

Результати дослідження (рисунок 57):

На поверхні зламу деталі виділяються дві характерні зони: "притерта" зона розвитку втомної тріщини і зона "долому". Присутні сліди розвитку тріщин - т.зв. "лінії втоми", що також вказує на втомний характер руйнування. Осередок руйнування знаходиться на поверхні виступу (зуба). Зона "долому" займає близько 85% загальної площі зламу, що вказує на високі навантаження, які було докладено на деталь. Найімовірніше, руйнування сталося через розвиток втомної тріщини, що зародилася на поверхні деталі.

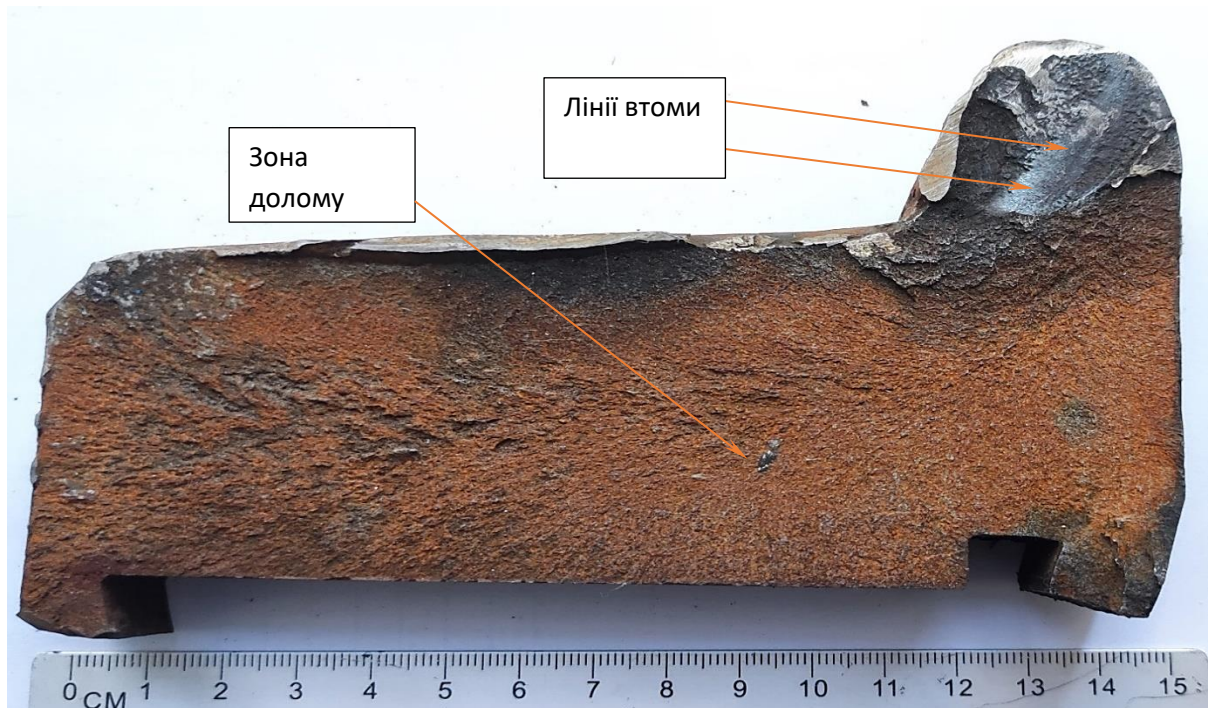


Рисунок 57 – Фрактографічний аналіз зразка

Багатократне відновлення деталей та інструменту дуговим наплавленням зазвичай характеризується поступовим зменшенням твердості зі збільшенням кількості ремонтів. Це пояснюється використанням електродних матеріалів, що забезпечують менший вуглецевий еквівалент для зменшення ризику виникнення холодних тріщин та забезпечення технологічності наплавленого шару. Легування наплавленого шару вуглецем відбувається в основному

через основний метал, що призводить до поступового обезвуглецювання ділянок, близьких до межі сплавлення.

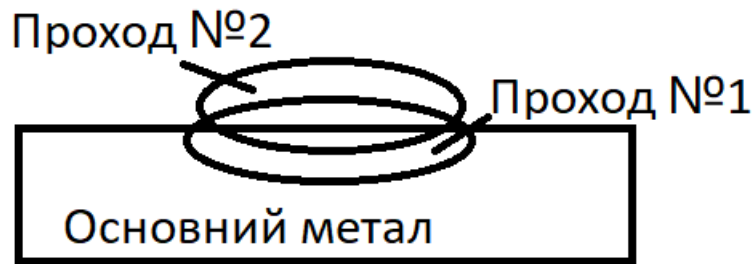


Рисунок 58 – Дольова участь основного та електродного металу в формуванні наплавленого шару

Концентрацію вуглецю в будь-якому шарі наплавлення визначають за формулою Хасуї та Морігаки [41]

$$C_w = C_f + \left(\frac{P}{100}\right)^n (C_p - C_f), \quad (4.1)$$

Яка заснована на правилах змішування

$$[\%R]_{ШВА} = [\%R]_{ОМ} \gamma + [\%R]_{Э} (1 - \gamma), \quad (4.2)$$

Оскільки формула не враховує взаємодії рідкого металу із газовою та шлаковою фазами, то можна ввести коефіцієнти переходу з основного та електродного металу. Таким чином формула (4.2) може прийняти наступний вигляд:

$$[R]_{ШВА} = [\%R]_{Э} \eta'' + \gamma^n \{ [\%R]_{О.М.} \eta' - [\%R]_{Э} \eta'' \}, \quad (4.3)$$

-де $[\%R]_{ШВА}$ – концентрація елемента в n-му шарі:

n – показник ступеня, що визначає кількість наплавлених шарів.

Таким чином, обезвуглецьовування буде проходити прямопропорційно числу наплавлень, поки рівень вуглецю в металі наплавлення не зменшиться до того рівня, який здатен забезпечити наплавочний дріт.

Критична кількість проходів до вичерпання основного металу як джерела вуглецю залежить від таких факторів, як:

1. Глибина проплавлення, яка задається щільністю струму.
2. Різниця між відновлюємими розмірами деталі та її первинними розмірами – стан зносу деталі.

В реальних умовах безвискатного наплавлення при роботі колісних пар в важких умовах така кількість не перевищує 3...4 разів відновлення (6...8 проходів).

4.4. Обґрунтування застосування порошкового дроту марки Hardsteel 330

Застосування електродного матеріалу з вищим вуглецевим еквівалентом можливе за наступних умов:

1) Попередній або супутній підігрів колісної пари згідно розрахунковим даним для матеріалу бандажу (Сталь 50Г) для зменшення вірогідності утворення закалочних структур.

2) Прожарювання флюсу та порошкового дроту при температурі 250...300⁰С для зменшення вмісту вологи в них, яка може суттєво підвищити вміст дифузійного водню в наплавленому металі і привести до виникнення холодних тріщин в наплавленому металі, що розповсюдяться і в основний метал.

3) Дотримка загальних вимог до робіт подібного роду (наплавлення відповідальних деталей), основними з яких є повне очищення місця наплавлення від іржі, бруду та інших неметалевих відкладень.

4) Підтримка існуючого обладнання в працездатному стані: своєчасна продувка стиснутим повітрям рукаву для подачі.

Опис та характеристики порошкового дроту марки Hardsteel 330 наведені у таблиці 4.3

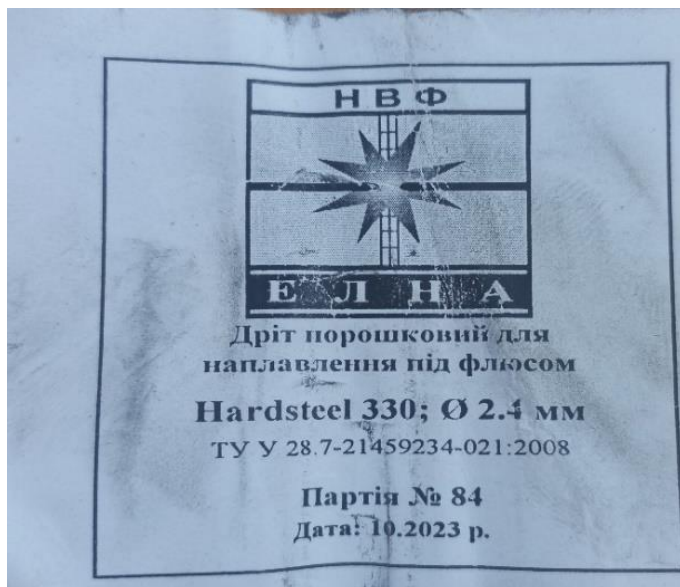


Рисунок 59 – Бірка порошкового дроту Hardsteel 330

Таблиця 4.3 Характеристики порошкового дроту марки Hardsteel 330 [51]



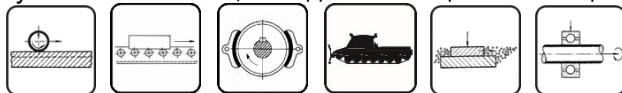
Hardsteel 330

ЗАГАЛЬНЕ ПРИЗНАЧЕННЯ

Дугове наплавлення під флюсом або в середовищі захисних газів зносостійкого шару на деталі, що працюють в умовах тертя металу об метал і абразивного зношування.

ЗАСТОСУВАННЯ

Наплавлення кранових коліс, роликів рольгангів, гальмівних шківів, ковзанок і натяжних коліс гусеничних машин, посадкових місць валів тощо.



ДІАМЕТР ДРОТУ І ЗАХИСНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

Спосіб наплавки	Діаметр, мм	Рекомендоване захисне середовище
Під флюсом	1,6-3,6	Флюс: АН-348А, АН-60
У середовищі газу	1,6-3,0	Газ: С1 (100%); М21 (82%Ar+18%CO ₂)
Інший спосіб наплавлення, інший діаметр, інше захисне середовище: звертайтеся до виробника.		

ХІМІЧНИЙ СКЛАД НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ, %

С	Mn	Si	Cr	V	Ti	S	P
0,14-0,24	1,2-2,0	0,2-1,0	1,2-2,0	≤0,2	≤0,2	≤0,04	≤0,06

ТВЕРДІСТЬ НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ

РЕЖИМИ НАПЛАВЛЕННЯ

Діаметр, мм	Струм, А		Напруга, В		Витрата газу, л/хв.		Швидкість наплавки, м/год	
	Ф	Г	Ф	Г	CO ₂	Ar+CO ₂	Ф	Г
1,6-1,8	160-240	140-280	27-29	22-28	6-12	5-10	10-15	10-15
2,0-2,2	180-260	150-320	28-30	23-30	7-14	6-12	12-18	12-18
2,4-2,6	200-320	180-350	29-31	24-32	8-16	7-14	15-20	15-20
2,8-3,0	260-350	200-380	30-32	25-34	9-18	8-16	18-23	18-23
3,2-3,4	300-400	–	30-32	–	–	–	20-25	–
3,6	340-450	–	31-33	–	–	–	23-30	–

Рекомендується для наплавлення в нижньому положенні на постійному струмі зворотної полярності: DC (+).

Режими вказані для дроту: Ф - під флюсом; Г - у середовищі газу.

СВАРОЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Схильність наплавленого металу до утворення тріщин	мала
Режими вказані для дроту: Ф - під флюсом; Г - у середовищі газу, кг	1,05-1,15

ВЛАСТИВОСТІ НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ

Зносостійкість - висока в рекомендованих умовах служби. Опір ударам - задовільний. Можлива обробка ріжучим інструментом.

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ

Наплавлення проводиться без попереднього підігріву деталей.

УМОВНЕ ПОЗНАЧЕННЯ ВІДПОВІДНО ДО ДСТУ EN 14700

EN 14700 T Fe1

ВИД ПОСТАВКИ

Діаметр	1,6-2,2 мм	1,6-3,6 мм	1,6-3,6 мм	2,4-3,6 мм
Упаковка	Коробка гофрокартонна	Коробка гофрокартонна	Бочка картонна	Бочка картонна
Вид поставки	Барабан каркасний В300	Моток	Моток	Моток
Вага	до 16 кг	25-30 кг	до 50 кг	до 200 кг

Інший вид поставки: звертайтеся до виробника.

Використання даної марки дроту (Hardsteel 330) при наплавленні на сталь 50Г проводиться з попереднім та супутнім підігрівом. Розрахунок цієї температури проводиться виходячи з вуглецевого еквіваленту, що розраховується за спрощеною формулою Сеферіана:

$$C_{\text{екв}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5} + \frac{V}{5} + \frac{Mo}{4} \quad (4.4)$$

Температура попереднього підігріву при цьому розраховується за формулою:

$$T_{\text{під}} = 350\sqrt{C_{\text{екв}} - 0,25} \quad (4.5)$$

Для сталі бандажу 50 Г

$$C_{\text{екв}} = 0,5 + \frac{1}{6} + \frac{0,37}{24} + \frac{0,3}{5} + \frac{0}{5} + \frac{0}{4} = 0,742 \%$$

$$T_{\text{під}} = 350\sqrt{0,742 - 0,25} = 245 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Раціонально призначити температуру підігріву 250 градусів Цельсія. Підігрів винонується газокисневим або газоповітряним пальником потужністю не менше 30 кВт. В якості горючого газу використовують пропан, в зимовий період МАФ-газ. При підігріві полум'я направляти на основне колесо, забороняється направляти його на бандаж через ризик зменшення натягу на колесі. Контроль температури рекомендується проводити ручним пірометром.

РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ

Вимоги до процесу зварювання металів регламентуються нормативно-правовим актом з охорони праці НПАОП 28.52-1.31-13 [21].

При виборі технології зварювального процесу перевагу слід надавати тому процесу, який забезпечить більшу безпеку праці. Необхідно використовувати ті види і марки зварювальних матеріалів (електроди, дріт, флюси, захисні гази тощо), які забезпечують мінімальне виділення шкідливих речовин у повітря в процесі зварювання. Не допускається застосування зварювальних матеріалів, які не пройшли гігієнічну оцінку в установленому порядку. При розробці зварювальних процесів необхідно передбачати максимально можливу механізацію і автоматизацію зварювального процесу і його окремих елементів.

Зварювальне обладнання, що використовується у зварювальних процесах, повинно відповідати загальним вимогам наступних нормативних документів: ДНАОП 0.00-1.21- 98 [43] та ДНАОП 0.00-1.32-01 [29].

Обов'язковим етапом проектування зварювальних процесів є розробка відповідних засобів і заходів колективного захисту від впливу шкідливих і небезпечних виробничих факторів, характерних для цього процесу.

Безпека праці при виконанні процесів дугового та електрошлакового зварювання повинна відповідати вимогам ДСТУ 2456-94 [22].

Зварювання під флюсом на стаціонарних установках повинно виконуватися з пристроєм для механізованої подачі флюсу в зварювальну ванну, флюсовідсмоктувальним пристроєм з бункером-накопичувачем і фільтром.

Під час зварювання під флюсом напівавтоматами та автоматами повинні застосовуватися пересувні або переносні флюсоприймачі. Ручне видалення флюсу допускається тільки в тих випадках, коли застосування флюсоприймачів неможливе. У системі збору і подачі флюсу повітря, що відводиться в приміщення або назовні, повинно бути очищене від пилу. Під час заливання флюсу в бункери необхідно вжити заходів для запобігання потраплянню пилу в робочу зону.

Для забезпечення безпечного пересування машини по рейці необхідно перевірити її надійність і правильність закріплення на виробі або стенді, а також надійність кріплення зворотних і бічних роликів візка. При видаленні шлаку працівник повинен бути забезпечений необхідними засобами індивідуального захисту відповідно до ДСТУ 7239:2011 [31].

Вимоги до виробничих приміщень

Відстань між обладнанням, від обладнання до стін і колон приміщення, інших конструкцій, ширина проходів і проїздів повинні відповідати чинним будівельним нормам і правилам технологічного проектування заготівельних цехів ДБН В.2.2-28:2010 [33].

Робочі місця для дугового зварювання повинні бути захищені стаціонарними або переносними світлонепроникними огорожами з негорючих матеріалів, висота яких повинна бути не менше 2,5 м і забезпечувати надійний захист. Ширина проходів по периметру робочого столу, стенду та виробу, що зварюється, повинна бути не менше 1 м.

Підлога у виробничих приміщеннях для дугового та електрошлакового зварювання повинна бути виконана з негорючих матеріалів з низькою теплопровідністю. Підлога повинна мати рівну неслизьку поверхню.

Виробничі приміщення повинні бути обладнані загальнообмінною припливно-витяжною вентиляцією відповідно до ДБН В.2.5-67:2013 [30].

Параметри мікроклімату виробничих приміщень повинні відповідати вимогам ДСН 3.3.6.042-99 [23]. Якщо інтенсивність теплового опромінення працівників перевищує значення цих норм, слід передбачити спеціальні засоби захисту: екранування джерел, повітряне душирування, засоби індивідуального захисту.

Рівні шуму, ультразвуку та інфразвуку повинні відповідати вимогам ДСН 3.3.6.037-99 [24], а рівні загальної та локальної вібрації - вимогам ДСН 3.3.6.037-99 [25].

Освітлення в цехах, дільницях і на робочих місцях, де виконується дугове та електрошлакове зварювання, повинно відповідати вимогам ДБН В.2.5-28-2006 [34].

Вимоги до організації робочих місць

Організація, улаштування та обладнання робочих місць для виконання зварювальних робіт повинні відповідати вимогам НПАОП 28.5-1.02-07 [32].

Робочі місця для зварювання можуть бути стаціонарними, нестаціонарними, постійними та непостійними (тимчасовими).

Стаціонарні робочі місця для тих, хто працює сидячи, повинні бути обладнані робочими стільцями з регульованими параметрами. Сидіння і спинка стільця повинні бути виготовлені з негорючих матеріалів, що легко чистяться, з низьким коефіцієнтом теплопровідності.

Постійні робочі місця, що живляться електричною енергією від багатопостових джерел, повинні бути обладнані щитками з сигнальною лампою, яка вказує зварнику на наявність або відсутність напруги у зварювальному ланцюзі.

При виконанні зварювальних робіт в одному приміщенні з іншими роботами повинні бути вжиті заходи, що виключають можливість впливу на працівників небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Робоче місце зварника повинно відповідати вимогам ДСТУ 2456-94 в частині розташування робочої поверхні, приладів управління і контролю [22].

Не допускається виконання зварювальних робіт без вжиття заходів, що виключають можливість виникнення пожежі як під час, так і після зварювання.

Вимоги до вентиляції

Згідно з ДСТУ 2456-94 [22] для дугового зварювання покритими електродами, автоматичного та напівавтоматичного зварювання в захисних газах плавким та неплавким електродом, порошковим дротом, зварювання під флюсом, а також для електрошлакових технологій слід застосовувати місцеву вентиляцію. У випадку лінії наплавлення в локомотивному депо може використовуватися загальнообмінна вентиляція. Вона також повинна використовуватися в поєднанні з місцевою вентиляцією, призначеною для видалення з виробничої зони шкідливих речовин, які не локалізуються місцевими витяжними пристроями.

Вимоги до використання засобів індивідуального захисту

Працівники, які виконують роботи з дугового та електрошлакового зварювання, повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту згідно з галузевими нормами залежно від характеру впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів та відповідних вимог ДСТУ 7239:2011 [37].

Виготовлення та використання засобів індивідуального захисту органів дихання слід здійснювати відповідно до вимог ДСТУ EN 133:2005 [38].

Під час виконання зварювання під флюсом, електрошлакового зварювання, а також під час огляду та очищення зварних швів слід носити спеціальні прозорі окуляри.

Для захисту рук слід використовувати рукавички відповідно до ДСТУ EN 420-2017 [39].

Для зниження ризику ураження електричним струмом працівники повинні бути забезпечені спеціальними килимками, а в умовах підвищеної небезпеки (замкнуті простори) - калошами, рукавичками типу Ен і Ев відповідно до нормативно-технічної документації.

Загальні вимоги електробезпеки

Основними причинами ураження персоналу електричним струмом є дотик: до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою в робочому режимі; до струмоведучих частин, що випадково опинилися під напругою; до неструмоведучих частин, що опинилися під напругою внаслідок пошкодження електричної ізоляції; до електричної дуги і крокової напруги.

Виробничі приміщення відносяться до особливо небезпечних з точки зору ураження електричним струмом. Експлуатація зовнішніх електроустановок прирівнюється до умов експлуатації в особливо небезпечних зонах. Електротехнічні вироби повинні відповідати вимогам ДНАОП 0.00-1.21-98 та ДНАОП 0.00-1.32-01 з точки зору безпеки.

Вимоги до експлуатації зварювального обладнання

Обладнання, що використовується для всіх основних видів дугового та електрошлакового зварювання, включаючи технологічне, механічне та допоміжне обладнання, повинно відповідати вимогам ДСТУ 2456-94 [22].

Підключення і вмикання мережі електроживлення обладнання для дугового та електрошлакового зварювання, контроль за його

справним станом, а також ремонт повинні виконуватися електротехнічним персоналом з групою допуску не нижче III.

Джерела живлення повинні підключатися до розподільних електричних мереж напругою не вище 600 В. Пряме живлення зварювальної дуги від силової, освітлювальної та контактної мереж не допускається. Пересувні джерела живлення під час їх переміщення повинні бути відключені від мережі.

Біля роз'ємів (затискачів) для підключення зварювальних джерел повинен бути напис "Мережа!". На корпусі джерела живлення на видному місці повинен бути напис "Не вмикати без заземлення!".

При дуговому зварюванні джерела живлення повинні бути з'єднані зі зварювальними апаратами кабелями.

Зварювальне обладнання повинно бути обладнане вольтметром або сигнальною лампою, що вказує на наявність або відсутність напруги у зварювальному ланцюзі. В установках для ручного і механізованого дугового зварювання вольтметр і сигнальна лампочка розташовуються на панелі живлення, а в установках для автоматичного дугового зварювання - на панелі керування.

Металеві частини всіх видів зварювального обладнання, які можуть опинитися під напругою під час роботи, повинні бути надійно заземлені. Кожна одиниця зварювального обладнання повинна мати окремий заземлювальний провід, приєднаний до магістралі заземлення. Корпуси апаратів контактної зварювання та шаф керування, ножні пускачі, вторинні обмотки трансформаторів повинні бути заземлені.

Вимоги до захисного заземлення на всіх видах зварювального обладнання та гранично допустимі рівні напруги дотику і струмів, які

можуть виникати на зварювальному обладнанні, повинні відповідати вимогам ПУЕ-2017 [35].

До виконання зварювальних робіт допускаються особи, які ознайомилися з технічною документацією та пройшли інструктаж з експлуатації обладнання та охорони праці.

Номінальна напруга холостого ходу джерел живлення дугового зварювання за різних умов зварювання відповідно до вимог Зміни № 1 [36] ДСТУ 2456-94 [22] не повинна перевищувати значень, наведених у таблиці 6.1.

Якщо напруга холостого ходу перевищує значення, що допускаються таблицею 6.1., зварювальне джерело живлення повинне бути обладнане пристроєм, що знижує напругу холостого ходу

Таблиця 6.1. Допустимі максимальні значення номінальної напруги холостого ходу джерел живлення змінного (~) і постійного (=) струму [36].

Робочі умови зварювання	Рід струму та номінальна напруга холостого ходу, В, не більше
Середовище з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом	(=) 113 середнє значення (~) 42 ефективне значення
Середовище без підвищеної небезпеки ураження електричним струмом	(=) 113 середнє значення (~) 80 ефективне значення
Зварювання з механічним переміщенням пальника, з підвищеним захистом зварника	(=) 141 середнє значення (~) 100 ефективне значення

Примітка 1. До середовища з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом відносяться - приміщення або робоче місце, де є обмеження свободи пересування зварника, внаслідок чого зварник змушений виконувати зварювальні роботи в незручному положенні (стоячи на колінах, сидячи, лежачи тощо) за наявності фізичного контакту з відкритими струмопровідними елементами; - приміщення або робоче місце, де є ймовірність неминучого виникнення небезпеки ураження електричним струмом.) за наявності фізичного контакту з відкритими струмопровідними елементами; - приміщення або робоче місце, яке повністю або частково обмежене відкритими струмопровідними елементами, з якими зварювальник має високу ймовірність неминучого або випадкового контакту; - сире, вологе або гаряче приміщення, де вологість або конденсат значно знижують опір шкіри тіла людини та ізоляційні властивості допоміжних засобів.

Примітка 2. Допустимі значення напруги холостого ходу не поширюються на напругу пристроїв запалювання дуги або стабілізації дуги, які можуть бути на них накладені.

Примітка 3. Підвищений захист зварника передбачає: - неприпустимість тримання пальника рукою; - автоматичне відключення напруги холостого ходу після припинення зварювання; - ступінь захисту від дотику до струмоведучих частин не нижче IP2X згідно з ГОСТ 14254-96 або установка повинна бути обладнана пристроєм, що знижує напругу холостого ходу.

Примітка 4. Для автоматичного зварювання під флюсом допустима номінальна напруга холостого ходу може бути збільшена до 120 В (=)

Зварювальне обладнання перед початком кожної зміни необхідно регулярно перевіряти на наявність короткого замикання,

оголених струмоведучих частин, справність ізоляції, проводів і кабелів живлення, цілісність проводів і справність блокувань.

Електробезпека зварювальних робіт

Електрообладнання, що використовується для зварювання, та його експлуатація повинні відповідати вимогам ДНАОП 0.00-1.32-01 [26] та ДНАОП 0.00-1.21-98 [27].

Корпус будь-якого електрозварювального апарата повинен бути заземлений. Захисне заземлення та занулення виконується відповідно до ПУЕ-2017 [35]. Забороняється послідовно підключати до заземлювального провідника кілька пристроїв.

Окремі елементи зварювального кола, а також відрізки зварювальних кабелів при нарощуванні довжини необхідно з'єднувати роз'ємними муфтами. Забороняється приєднувати зварювальний круг скрутками до оголеного кабелю. Кабелі живлення зварювального кола повинні бути ізольовані по всій довжині і захищені від механічних пошкоджень.

В якості зворотних проводів, що з'єднують зварювані вироби з джерелом зварювального струму, можуть служити гнучкі і металеві шини достатнього перерізу, зварювальні плити, а також конструкція, що зварюється. Використання металевих будівельних конструкцій, комунікацій і незварювального технологічного обладнання як зворотного провідника мережі заземлення забороняється. Окремі елементи, що використовуються як окремий провідник, повинні бути ретельно з'єднані між собою (зварюванням або затисканням струбцинами). Під час зварювання кругових швів допускається з'єднання зворотного провідника зі зварюваним виробом за допомогою контактного з'єднання. Затискач вторинної обмотки трансформатора, до якого приєднується зворотний провід, а також аналогічні затискачі у зварювальних випрямлячах і генераторах, в

яких обмотки збудження приєднані до розподільної мережі без розділового трансформатора, повинні бути заземлені.

Зварювальні установки повинні бути захищені запобіжниками або автоматичними вимикачами з боку живлення. Багатопостові зварювальні установки, крім захисту від мережі, повинні мати автоматичний вимикач у загальному проводі зварювального ланцюга і запобіжники на кожному проводі на зварювальному посту.

Не можна залишати на робочому місці електрозварювальний інструмент під напругою. Пересувні електрозварювальні установки повинні бути відключені від електромережі під час пересування.

Підключення і відключення електрозварювальних апаратів від електромережі, перемикання зварювального струму за допомогою рукояток, розташованих в середині апарата за дверцятами, що не мають замикаючого пристрою, а також контроль за справним станом апаратів під час роботи повинен здійснювати електротехнічний персонал.

Весь персонал, який обслуговує електрозварювальні установки, повинен періодично проходити інструктаж про небезпеку електричного струму та надання першої медичної допомоги.

Пожежна безпека

Згідно з НАПБ Б.03.002-2007 [40], приміщення, де виконуються зварювальні роботи, за вибухопожежною та пожежною небезпекою відносяться до категорії Д (негорючі речовини та матеріали в гарячому, розпеченому, розплавленому станах, обробка яких супроводжується виділенням променистого тепла, іскор та полум'я; горючі гази, рідини, тверді речовини, які спалюються або утилізуються як паливо).

Приміщення повинні бути обладнані засобами колективного та індивідуального захисту людей від пожежної небезпеки та

протидимного захисту. Тип електрообладнання в приміщеннях повинен відповідати класу пожежо- та вибухонебезпечної зони.

На ділянках виробничого приміщення, де застосовуються зварювальні роботи, передбачаємо встановлення пожежних щитів, укомплектованих вуглекислотними вогнегасниками, баграми, ломами, відрами, сокирами. Біля щитів передбачаємо наявність ящиків з піском, сухість якого регулярно перевіряється.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі був розглянутий технологічний процес наплавлення бандажованих колісних пар локомотивів, а також використовувані матеріали – флюс, порошковий дріт.

В роботі були проведені наступні дослідження: визначення хімічного складу зразка багаторазово наплавленого колеса (основного металу та наплавленого шару), металографічний та фрактографічний аналіз.

При отриманні результатів хімічного складу основного металу та наплавленого шару, було виявлено обезвуглецювання, що призводить до втрати міцності металу.

Для підвищення вмісту вуглецю в наплавленому шарі гребня колісної пари запропоновано використання більш вуглецевовмісного порошкового дроту Hardsteel 330. Його застосування збільшить зносостійкість гребня колісної пари та зменшить вірогідність утворення закалочних структур та холодних тріщин.

Також, для ефективного використання запропонованого порошкового дроту Hardsteel 330, вдосконалено технологічний процес наплавлення (попередній підігрів, підготовка матеріалів).

Дотримуючись запропонованих в магістерській роботі рекомендацій технологічного процесу та використання дроту Hardsteel 330 дозволить збільшити міжремонтний інтервал гребня колісної пари у 1,5 рази (в умовах ПрАТ «ПівнГЗК» з 6 місяців до 9), що скоротить витрати на ремонт рухомого складу 614,5 тисяч грн на рік.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. О.В. Лаврухін, Г.С. Бауліна, О.М. Костенніков, Г.Є. Богомазова Вантажні перевезення на залізничному транспорті: Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Ч. 1. –260 с.
2. ВНД 32.0.07.001-2001: Інструкція з формування, ремонту та утримання колісних пар тягового рухомого складу залізниці України колії 1520 мм: Київ, 2011. – 168 с.
3. Ремонтно-технологічна інструкція №404-013-2017: Відновлення наплавленням зношеної поверхні гребня суцільнокатаних і бандажованих коліс колісних пар, без викатки з під локомотиву: Маріуполь, 2017. – 18 с.
4. <https://svarka.kr.ua/svarochnyye-materialy/>
5. ДСТУ ГОСТ 31847:2016 (ГОСТ 31847–2012, IDT) Колісні пари спеціального рухомого складу. Загальні технічні умови
8. Горбунов Н.І., Ноженко Е.С., Марченко Д.Н., Попов С.В. и др. Ресурсозберігаючі технології в контакті "гребінь колеса-рейки" //Вестник Восточноукраинского національного университета имени Владимира Даля. – 2008. – № 5. – Ч. 1. – С. 76–82.
7. Погребна Н.Е., Куцова В.З., Котова Т.В. Способи зміцнення металів: Навчальний посібник. – Дніпро: НМетАУ, 2021. - 89 с.
8. Конспект лекцій з дисципліни „Надійність машин” для студентів спеціальності 6.090219 “Обладнання лісового комплексу” машинобудівного факультету денної та заочної форм навчання / М.В. Вржещ, С.І. Пустюльга - Луцьк: ЛНТУ, 2011.- 52 с.
9. Конспект лекцій для студентів спец. 6.0902 „інженерна механіка” з дисципліни „технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство” денної та заочної форми навчання. Упор.: В.П. Анішин К:КНУТД.2004.-72с.

10. Костін О.М. Зварювальні матеріали. - Миколаїв: НУК, 2004 р.

11. Василенко Д.С., Одінцов В.В. Дослідження складу сплавів методом спектрального аналізу Пошук молодих. Випуск 18: Збірник матеріалів Всеукраїнської студентської науково-практичної конференції [“STEM – освіта як напрям модернізації методик навчання природничо-математичних дисциплін у середніх і вищих навчальних закладах”], (Херсон, 26-27 квітня 2018 р.) / Укладач: В.Д. Шарко. – Херсон: Видавництво ХНТУ- 2018. – С. 63-64

12. Методичні вказівки до практичних занять і самостійної роботи з дисципліни «Методи випробувань і досліджень металу шва і зварних з'єднань» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» (перевидання) / Татарин Б.П., Підгурський М.І., Мариненко С.Ю. – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2016. – 109 с.

13. <http://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/lekciya-13-metody-i-zasoby-doslidzhen-tertja-i-znoshuvannja-z-dyscypliny-trybotehnika-133-hm.pdf>

14. Конспект лекцій з дисципліни «Наплавлення та напилення» для студентів усіх форм навчання напряму 6.050504 «Зварювання» Укладачі: Камель Г. І., Гасило Ю. А., м. Кам, янське, 2017 р.

15. Камель Г. І. Технологічні процеси та комплекси відновлення і зміцнення деталей : конспект лекцій / Г. І. Камель, В. М. Мілютін. — Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2014. — 167 с.

16. Андрейко І. М. Вплив термічної обробки на міцність і циклічну тріщиностійкість сталей для залізничних коліс / І. М. Андрейко, В.В Кулик, О.П. Осташ // Машинознавство. – 2006. – №3. – С. 21 – 27.

17. Шаблій О.М. Спосіб відновлення спрацьованих сталевих деталей [Текст] / О.М. Шаблій, Ч.В. Пулька, Б.М. Береженко // Патент

на корисну модель №42596 – № u200901692; заявл. 26.02.09; опубл. 10.07.09, Бюл. №13.

18. Шаблій О.М. Спосіб відновлення спрацьованих сталевих деталей [Текст] / О.М. Шаблій, Ч.В. Пулька, І.І. Стойко, О.І. Король // Патент на корисну модель №45731 – №u200905443; заявл. 29.05.09; опубл. 25.11.09, Бюл. №22.

19. Квасницький В.В. Теорія зварювальних процесів. Дослідження фізикохімічних і металургійних процесів та здатності до зварювання Миколаїв: «Український державний морський технічний університет імені адмірала Макарова», 2002 р.

20. https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/572/2/TSTUB_2_010_v15_No2-Shabliy_O_Pulka_Ch_Korol_O_Senchushun_V-Technological_features_of_proceeding_101.pdf

21. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві: Навчальний посібник. К.: Основа, 2010

22. ДСТУ 2456-94. Зварювання дугове і електрошлакове. Вимоги безпеки.

23. ДСН 3.3.6.042-99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

24. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

25. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації.

26. ДСТУ EN 169-2001. Засоби індивідуального захисту очей. Фільтри під час виконання зварювання та споріднених процесів. Вимоги до пропускання та рекомендації щодо використання.

27. Охорона праці та цивільний захист / О. Г. Левченко, О. І. Полукаров, В. В. Зацарний та ін.// За ред. О. Г. Левченка. – К.: Основа, 2019. – 472 с.

28. ДНАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
29. ДНАОП 0.00-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.
30. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування.
31. ДСТУ 7239:2011. Національний стандарт України. Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація.
32. НПАОП 28.5-1.02-07. Правила охорони праці при термічній обробці металів.
33. ДБН В.2.2-28:2010. Будинки адміністративного та побутового призначення.
34. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.
35. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. – К.: Міненерговугілля України, 2017. – 617 с.
36. Зміна No 1 ДСТУ 2456-94.
37. ДСТУ 7239:2011. Національний стандарт України. Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація.
38. ДСТУ EN 133:2005. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Класифікація.
39. ДСТУ EN 420-2017. Загальні вимоги до рукавиць.
40. НАПБ Б.03.002-2007. Визначення категорії приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.
41. A. Nasui and O. Morigaki, "Hard facing and thermal spraying", (1979) Sanpo-shuppan.

42. ДСТУ 7239:2011. Національний стандарт України. Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація.

43. ДСТУ EN 169-2001. Засоби індивідуального захисту очей. Фільтри під час виконання зварювання та споріднених процесів. Вимоги до пропускання та рекомендації щодо використання.

44. ДСТУ EN 175-2001. Засоби індивідуального захисту очей та обличчя під час зварювальних та споріднених процесів.

45. <https://soctrade.ua/obladnannya/perkinelmer-ukr/atomna-spektroskopiya/isp-spektrometri/avio550-560max/>

46. <https://antiteck.com/uk/%D0%BE%D0%BF%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9-%D0%B5%D0%BC%D1%96%D1%81%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B8%D0%B9-%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80-2/>

47. https://materials-lab.com.ua/statsionarni-renthenofluorestsentni-spektrometry-rfs/elvax-plus_ua

48. <https://spectrolab.com.ua/ua/p1876577030-atomno-absorbtsionnyj-spektrofotometr.html>

49. <https://spectrolab.com.ua/ua/p18903275-atomno-absorbtsionnyj-spektrofotometr.html>

50. <http://www.eurotek.com/ru/Olympus/GX51/options>

51. International scientific conference “MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education” : conference proceedings (November 29–30, 2023. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2023. Vol. 2. 348 pages.

ДОДАТОК А

ПАТ «Запоріжсталь»
Центр з випробувань та атестації
продукції комбінату

ЦІАПК

Протокол

хімічний аналіз сталі

№ зразка	найменування	Марка	Химический анализ в процентах							
			C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
	1	наплав	0,172	0,87	1,03	0,022	0,021	1,50	0,05	0,04
	2	сталь	0,524	0,74	0,30	0,027	0,020	0,10	0,04	0,06