

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

Кафедра «Прикладне матеріалознавство і технології конструкційних матеріалів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ О.П. Гапонова

«__» _____ 2021 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»

Тема: «Дослідження впливу термічної обробки на властивості особливо високоякісних сталей»

Студента гр. МТ.м-01 _____

Кайдаша Д.В.

Керівник _____

Харченко Н.А.

Консультант
з економічної частини _____

Берладір Х.В.

Консультант
з охорони праці _____

Говорун Т.П.

Нормоконтроль _____

Дегула А.І.

Суми 2021

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра «Прикладне матеріалознавство і технології конструкційних матеріалів»

Спеціальність 132 «Матеріалознавство»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ О.П. Гапонова

« _____ » _____ 2021 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Кайдаш Дмитро Віталійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Дослідження впливу термічної обробки на властивості особливо високоякісних сталей»

Затверджена наказом по університету від « _____ » _____ 2021 р.
№ _____.

2. Термін здачі студентом роботи _____.

3. Вихідні дані проекту (роботи): аналіз літературних джерел та результати дослідження.

4. Зміст розрахунково – пояснювальної записки: огляд літературних джерел; методика дослідження; проведення експериментальних досліджень; економічна частина; охорони праці; навколишнього середовища та техніка безпеки; висновки; список використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): креслення у роботі немає так, як робота дослідницького характеру.

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

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Говорун Т.П.		
Економічна частина	Берладір Х.В.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Літературний огляд	05.09.2019 - 05.10.2019	виконано
2	Розділ 2. Вибір матеріалу та методів дослідження	07.10.2019 – 19.10.2019	виконано
3	Розділ 3. Експериментальна частина	14.10.2019 – 12.11.2019	виконано
4	Розділ 4. Економічна частина	14.11.2019 – 28.11.2019	виконано
5	Розділ 5. Охорона праці	29.11.2019 – 07.12.2019	виконано

7. Дата видачі завдання _____ 2021 р.

Студент: _____ Кайдаш Д.В.
(підпис)

Керівник: _____ Харченко Н.А.
(підпис)

АННОТАЦІЯ

Кайдаш Дмитро Віталійович. Дослідження впливу термічної обробки на властивості особливо високоякісних сталей – **Рукопис.**

Кваліфікаційна робота на здобуття кваліфікації магістра зі спеціальності 132 – Матеріалознавство. – Сумський державний університет, Суми, 2021.

Актуальність роботи пов'язана з дослідженням впливу термічної обробки на корозійну стійкість, пластичні характеристики і ударну в'язкість особливо високоякісних сталей, зокрема сталь виготовлену електрошлаковим переплавом 25X17H2B-Ш, застосовувану для виготовлення складно навантажених деталей в судновому, атомному машинобудуванні, які сприймають значні різноспрямовані динамічні навантаження, наприклад, кріплення, та працюють в агресивних середовищах. В результаті цього підвищується строк експлуатації даного виробу, що значно може скоротити витрати в подальшому на його ремонти або заміну.

Надійність експлуатаційних властивостей таких деталей визначається, перш за все, межею плинності, відносним подовження та звуженням, ударною в'язкістю, стійкістю проти міжкристалічної корозії та твердістю матеріалу з якого виготовлена деталь.

Робота присвячена дослідженню впливу термічної обробки на властивості особливо високоякісних сталей.

Основним способом підвищення якісних та механічних характеристик сталі є правильно підібрана термічна обробка, мета якої створити структуру, яка б задовільняла потреби.

Ключові слова: термічна обробка, 25X17H2B-Ш, особливо високоякісні сталі, МКК, аустеніт, мартенсит, ферит, електрошлаковий переплав

ABSTRACT

Kaidash Dmytro Vitaliyovych. Investigation of the influence of heat treatment on the properties of especially high-quality steels - Manuscript.

Qualification work for a master's degree in specialty 132 - Materials Science.
- Sumy State University, Sumy, 2021.

The relevance of the work is related to the study of the effect of heat treatment on the corrosion resistance, plastic characteristics and impact strength of especially high-quality steels, in particular steel made by electroslag remelting 25X17N2B-SH, used for the manufacture of difficult-to-load parts in marine, nuclear engineering, which perceive significant multidirectional dynamic loads, for example, fasteners, and work in aggressive environments. As a result, the service life of this product increases, which can significantly reduce the cost of further repairs or replacement.

The reliability of the operational properties of such parts is determined primarily by the yield strength, elongation and narrowing, impact strength, resistance to intergranular corrosion and the hardness of the material from which the part is made.

The work is devoted to the study of the influence of heat treatment on the properties of especially high - quality steels.

The main way to improve the quality and mechanical characteristics of steel is the right heat treatment, which aims to create a structure that would meet the needs.

Key words: heat treatment, 25X17H2B-III, especially high-quality steels, MKK, austenite, martensite, ferrite, electroslag remelting

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра включає 96 сторінок, у тому числі 5 таблиць, 14 рисунків, бібліографії із 57 літературних джерел на 5-х сторінках.

Мета роботи – дослідити вплив режимів термічної обробки на властивості особливо високоякісних сталей, зокрема на сталь 25X17H2B-Ш.

Задачі досліджень :

- провести патентно-літературний аналіз теорії термічної обробки аустенітно мартенситних сталей;
- підібрати оптимальні режими термічної обробки особливо високоякісної сталі 25X17H2B-Ш;
- провести термічну обробку зразків особливо високоякісної сталі 25X17H2B-Ш;
- провести випробування зразків на стійкість до МКК, механічні властивості після проведення термічної обробки;
- зробити висновки про проведену роботу і дати рекомендації.

Об'єкт дослідження – вплив режиму термічної обробки на стійкість до МКК, механічні властивості деталей з особливо високоякісної сталі 25X17H2B-Ш.

Предмет дослідження – структура, механічні та експлуатаційні властивості зразків із корозійностійкої, особливо високоякісної, високолегованої сталі 25X17H2B-Ш після різних режимів термічної обробки.

Методи досліджень – термічна обробка, мікроструктурний аналіз, вимірювання показників міцності, пластичності і твердості, випробування на стійкість до міжкристалічної корозії.

Наукова новизна отриманих результатів. Розроблений новий метод термічної обробки сталі 25X17H2B-Ш (подвійний відпал, гартування, обробка холодом та відпуск), який забезпечує особливий комплекс механічних властивостей та стійкості до МКК.

Ключові слова: термічна обробка, 25X17H2B-Ш, особливо високоякісні сталі, МКК, аустеніт, мартенсит, ферит, електрошлаковий переплав

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1.....	9
ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ І ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	9
1.1. Способи підвищення якості	11
1.2 Класи сталей.....	18
1.3 Вплив режимів термічної обробки на структуру особливо високоякісних сталей.....	22
Висновки.....	28
РОЗДІЛ 2.....	29
ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	29
2.1 Матеріал дослідження	29
2.2 Металографічний аналіз.....	31
2.3 Випробування на стійкість до міжкристалітної корозії.....	37
2.4 Визначення механічних властивостей.....	40
Висновки.....	51
РОЗДІЛ 3.....	52
ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	52
3.1 Визначення структурного класу та призначення режиму термічної обробки сталі 25X17H2Б-Ш.....	52
3.2 Результати металографічного аналізу	59
3.3 Визначення неметалевих включень	61
3.4 Результати визначення стійкості до міжкристалітної корозії	63
3.5 Результати випробувань на механічні властивості	64
Висновки.....	67
РОЗДІЛ 4.....	68
ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	68

4.1 Теоретична частина	68
4.2 Практична частина.....	71
РОЗДІЛ 5.....	77
ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ.....	77
5.1 Техніка безпеки при термічній обробці	77
5.2 Вимоги до технологічного процесу при гартуванні	82
5.3 Заходи з охорони навколишнього середовища.....	83
Висновки.....	85
ВИСНОВКИ.....	86
Список використаних джерел	89

ВСТУП

Актуальність роботи. пов'язана з дослідженням впливу термічної обробки на корозійну стійкість, пластичні характеристики і ударну в'язкість особливо високоякісних сталей, зокрема сталь виготовлену електрошлаковим переплавом 25X17H2Б-Ш, застосовувану для виготовлення складно навантажених деталей в судновому, атомному машинобудуванні, які сприймають значні різноспрямовані динамічні навантаження, наприклад, кріплення, та працюють в агресивних середовищах. В результаті цього підвищується строк експлуатації даного виробу, що значно може скоротити витрати в подальшому на його ремонті або заміну.

Надійність експлуатаційних властивостей таких деталей визначається, перш за все, межею плинності, відносним подовження та звуженням, ударною в'язкістю, стійкістю проти міжкристалічної корозії та твердістю матеріалу з якого виготовлена деталь.

Широкі діапазони температур нагріву під гартування та відпуск істотно впливають на структуру та властивості матеріалів. За рахунок вибору вузького діапазону температур нагріву сталі під гартування та відпуск, спостерігається збільшення пластичності сталі.

Мета роботи – запропонувати таку термічну обробку особливо високоякісної сталі 25X17H2Б-Ш, яка б підвищила експлуатаційні властивості деталей, виготовлених даного матеріалу.

Задачі досліджень:

- провести патентно-літературний аналіз теорії термічної обробки аустенітно мартенситних сталей;
- підібрати оптимальні режими термічної обробки особливо високоякісної сталі 25X17H2Б-Ш;
- провести термічну обробку зразків особливо високоякісної сталі 25X17H2Б-Ш;

- провести випробування зразків на стійкість до МКК, механічні властивості після проведення термічної обробки;
- зробити висновки про проведену роботу і дати рекомендації.

Об’єкт дослідження – вплив режиму термічної обробки на стійкість до МКК, механічні властивості деталей з особливо високоякісної сталі 25X17H2Б-Ш.

Предмет дослідження – структура, механічні та експлуатаційні властивості зразків із корозійностійкої, особливо високоякісної, високолегованої сталі 25X17H2Б-Ш після різних режимів термічної обробки.

Методи досліджень – термічна обробка, мікроструктурний аналіз, вимірювання показників міцності, пластичності і твердості, випробування на стійкість до міжкристалічної корозії.

Наукова новизна отриманих результатів. Розроблений новий метод термічної обробки сталі 25X17H2Б-Ш (подвійний відпал, гартування, обробка холодом та відпуск), який забезпечує особливий комплекс механічних властивостей та стійкості до МКК.

Апробація роботи. Не має.

Публікації. Не має.

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Робота складається із вступу, п’яти розділів, списку використаних джерел. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 91 сторінки у тому числі 17 рисунків, 13 таблиць, бібліографії із 57 джерел на 5 сторінках.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ І ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Корозійностійкі сталі мартенситно-аустенітного класу володіють поєднанням високих механічних властивостей і корозійної стійкості, тому даний клас сталей широко застосовується в різних галузях промисловості. Сталь марки 25Х17Н2Б-Ш відноситься до даного класу сталей і володіє не тільки високими механічними властивостями, але і високою технологічністю [1]. Дана сталь відноситься до сталей особливо високоякісних, які в умовах сучасного виробництва представляють високий практичний інтерес.

Якість сталі визначається кількістю присутніх в ній шкідливих домішок - сірки і фосфору. Залежно від їх допустимої кількості стали поділяються за якістю на наступні групи [1-2]:

- сталі звичайної якості;
- якісні сталі;
- високоякісні сталі;
- особлиовисокоякісні сталі

Кількість шкідливих домішок залежить від способу виробництва. При виплавці киснево-конверторним способом їх зміст менше; видалення сірки, фосфору і кисню в ще більшому ступені відбувається при виплавці сталей в електропечах (дугових або індукційних) - це технологія отримання високоякісних сталей. Високоякісні сталі не схильні до червоноламкості, оскільки сірка в малих кількостях, допустимих в цих сталях, розчиняється в фериті і в металі не утворюється сульфідна евтектика. Ще більша чистота

сталей досягається спеціальними металургійними технологіями: електрошлаковим переплавом (ЕШП), вакуумнодуговим (ВДП) переплавом або вакуумуванням рідкої сталі в ковші та ін. Так, переплав електросталі під шаром спеціального шлаку знижує вміст сірки до 0,002 ... 0,008 %; різні методи вакуумного переплаву практично повністю виводять з металу газу. Разом з тим наявність у сталі сірки і фосфору може бути корисним. Так, підвищений вміст сірки (0,08 ... 0,35%) і фосфору (0,06 ... 0,15%) в автоматних сталях покращує оброблюваність різанням. Вуглецеві сталі випускаються звичайної якості, якісні і високоякісні; леговані сталі - якісні, високоякісні і особливовисокоякісні [1].

Для позначення марок легованих сталей прийнята система цифр і букв. Цифра, що стоїть попереду позначення марки, вказує на середнє зміст вуглецю в сотих частках відсотка в конструкційних і в десятих частках відсотка в інструментальних сталях; якщо в інструментальних сталях перша цифра відсутня, то вміст вуглецю близько 1% [2].

Буква "А", що стоїть в кінці позначення марки, вказує на те, що сталь є високоякісною, тобто містить невелику кількість сірки і фосфору. Якщо буква А варто в середині позначення марки, то вона вказує на присутність в сталі азоту в якості легуючого компонента [1-2].

Особливовисокоякісні сталі, одержувані електрошлаковим переплавом, часто позначають буквою "Ш" в кінці марки. Позначення деяких легованих сталей спеціального призначення дещо відрізняється від загальноприйнятого. Воно наводиться окремо у відповідних розділах [3].

1.1. Способи підвищення якості

Розроблено низку інших і найефективніших способів підвищення якості сталі у металургійному виробництві. Ці засоби засновані, по-перше, на більш повному видаленні зі сталей газів і шкідливих неметалевих включень і, по-друге на зміні хімічного складу сталей з допомогою входження у них спеціальних легуючих елементів, що поліпшують різні властивості сталей.

У виплавленій сталі завжди міститься певна кількість газів і неметалевих включень. Вміст газів навіть у сотих і тисячних частках відсотка істотно знижує механічні та інші властивості сталі. Неметалевими включеннями, у сталі, є сполуки заліза, кремнію, марганцю та інших. Основними металургійними способами зниження вмісту газів і неметалевих включень в сталі є: електрошлаковий переплав, вакуумно індукційний та вакуумно дуговий переплави [5].

При вакуумно дуговому переплаві, так само як і при ЕШП, використовують електроди, що переплавляються, зі сталі тієї ж марки, злиток якої необхідно отримати. Метал для електродів виплавляють у дугових електропечах, іноді в мартенівських печах з подальшою обробкою синтетичним шлаком, а в деяких випадках в інших агрегатах для переплаву (ЕШП, вакуумних індукційних печах або в тих же установках ВДП). Виплавка електродів у відкритих печах більш економічно виправдана [4].

При використанні кованих або катаних електродів заготівлі під них обдирають та торцюють на токарних верстатах. Основний недолік цієї технології полягає у великій кількості відходів (50%). Найбільш економічно доцільне використання литих електродів. Однак литі електроди мають глибоку усадкову раковину, яка виникає при кристалізації у високих виливницях, та грубу поверхню. Вища якість електродів спостерігається при виливку їх на МНЛЗ.

Необхідно пам'ятати, що з усіх сталей собівартості сталі ВДП особливо висока вартість електрода (до 85%). Тому зниження вартості електрода зменшує вартість всього процесу ВДП [5].

Установки ВДП працюють на постійному струмі: електрод, що витрачається, є катодом, а рідкий метал у кристалізаторі - анодом. У вакуумі дуга може бути розтягнутою без значного зниження сили струму і збільшення напруги. При короткій дузі краплі металу, що зриваються з кінця електрода, замикають дуговий проміжок, внаслідок чого відбувається розбрикування металу, ванна охолоджується, оскільки струм йде через краплі, а не через газовий стовп розряду [4-5].

Для зменшення відходів металу від головної частини зливка внаслідок наявності в ній усадкової раковини в кінці переплаву вдаються до операції виведення усадкової раковини. У цей момент швидкість кристалізації металу дещо менша за швидкість плавлення електродів, що забезпечує поступове заповнення утворювальної усадкової раковини металом.

Після повного затвердіння зливка вакуум печі порушують, від'єднують кристалізатор зі злитком і приступають до очищення печі. Працюючи з двома кристалізаторами другий, заздалегідь підготовлений, ставлять у піч і плавку починають знову [6].

Можливість проплавлення стінки кристалізатора установки ВДП майже виключена за підтримки стабільного електричного режиму. Необхідно стежити, щоб довжина дуги була менше відстані від поверхні електрода до стінки кристалізатора. Найбільш ефективним способом усунення вибуху при проплавленні кристалізатора є оснащення печі потужною системою вакуумування, здатною навіть при великій течії води підтримувати в печі низький тиск. При нормальній роботі тиск у печі має підтримуватися [5].

Переваги установок ВДП [5]

Установки ВДП мають перед іншими вакуумними печами і передусім перед індукційними ряд переваг:

1. відсутність контакту металу з футеруванням забезпечує отримання більш чистого металу;
2. продуктивність установок ВДП значно вища за продуктивність вакуумних індукційних печей;
3. методом ВДП можна виплавляти зливки великої маси: в даний час до 60 т, проектується печі для виплавки злитків масою 100-200 т.

Це визначає переважно розвиток серед вакуумних способів переплаву саме методу ВДП. Однак установки ВДП мають такі недоліки [5]:

1. необхідність використання спеціально підготовленої шихти у вигляді кованих або литих електродів;
2. обмеженість можливостей легування металу;
3. непристосованість для лиття.

Вакуумно індукційний переплав (ВІП) – процес плавки металів в індукційних печах у вакуумі. Промислове значення технологія набула у 1950-х., коли практика показала збільшення терміну служби та якості жаростійких та суперсплавів з високим вмістом алюмінію та титану, отриманих плавкою у вакуумі [5].

Технологія підштовхнула розвиток реактивних двигунів у військовій та цивільній авіації. Турбіни з деталями зі сплавів, отриманих за допомогою ВІП, відрізнялися підвищеною продуктивністю та надійністю [5].

Успішне виробництво якісних суперсплавів для турбінних двигунів із застосуванням вакуумної індукційної плавки пробудило інтерес до використання матеріалів в інших областях, наприклад, для ядерних реакторів та електроніки. До того ж, низькі втрати матеріалів зробили процес економічно вигідним отримання деяких цінних сплавів з невисокими вимогами до чистоті.

Перевагами технології ВІП є [6]:

1. Видалення газів. При дуже низькому тиску (0,000001 атм.) забруднюючі газоподібні речовини та інші небажані елементи залишають вихідний матеріал у процесі плавки.
2. Точний контроль хімічного складу. За відсутності атмосфери кількість елементів та сполук у реакціях легше контролювати.
3. Чудовий контроль процесу. Незалежний контроль тиску, температури та індукційного перемішування дозволяє створювати різні технологічні процеси для одержання сплавів із необхідними властивостями.
4. Безшлакове плавлення. Плавлення у вакуумі виключає необхідність у захисному шарі шлаку на дзеркалі розплаву. Заодно виключається і можливість забруднення готового матеріалу шлаком.
5. Захист розплаву. Високий вакуум попереджає забруднення розплаву реакціями з газами, що у атмосфері.

Електрошлаковий перепплав (ЕШП) - один із процесів спеціальної електromеталургії. ЕШП є вторинним процесом рафінування металів. Він застосовується для подальшого очищення металів та сплавів після завершення первинних операцій з видалення домішок і рафінування [4-6].

Характерною особливістю ЕШП є відсутність електричної дуги. Електричний ланцюг між витраченим електродом і зливком, що наплавляється, до яких подається різниця потенціалів, замикається через шар розплавленого шлаку. Шлак у твердому вигляді струм не проводить, а в рідкому стані стає електропровідним, але при цьому має високий електроопір. На цій ділянці електричного кола виділяється значна частина тепла: $Q = k_{\text{Т}}R_{\text{х}}$.

Шлак нагрівається до температури 1700 - 2000°C, у результаті починає оплавлятися занурений у нього кінець витрачається електрода. Метал електрода у вигляді крапель перетікає в рідку ванну в кристалізаторі і через деякий час твердне [7].

При нормальному перебігу процесу ЕШП торець електрода, що оплавляється, має форму правильного конуса, на вершині якого утворюється крапля. Відрив краплі відбувається у момент, коли гравітаційні та динамічні сили перевищують сили міжфазного натягу. Після відриву крапля проходить міжелектродний проміжок за $0,1 - 0,3$ с [7].

Найважливіший вплив на металургійні процеси та електротехнічні параметри переплаву надають склад та властивості шлаків (флюсів).

Шлак при ЕШП не тільки рафінує метал від небажаних домішок, але і є генератором тепла, формує поверхню зливка, захищає метал від взаємодії з газами, бере участь у замиканні електричного ланцюга та виконує низку інших функцій. Тому до шлаку пред'являють особливі вимоги щодо хімічного складу, фізичних та фізико-хімічних властивостей.

Основні вимоги зводяться до наступного [5]:

1. Склад шлаку повинен забезпечувати протікання певних фізико-хімічних процесів, пов'язаних з рафінуванням металу від небажаних розчинених домішок та неметалічних включень, захист активних легуючих елементів (Al, Ti та ін.) від окиснення, стабільність хімічного складу по висоті зливка, що наплавляється.

2. При робочих температурах теплопровідність шлаку повинна становити близько $1 - 6$ Ом $^{-1}$ см $^{-1}$. Занадто висока провідність шлаку може забезпечити необхідну концентрацію тепла, а занадто мала - призвести до дугового розряду.

3. Шлак може бути легкоплавким, мати високу температуру кипіння мало змінювати в'язкість у широкому інтервалі температур, тобто. бути "довгим". Такий шлак утворює рівну тонку скоринку гарнісажу і дозволяє отримати зливок з гарною поверхнею. Використання тугоплавких «коротких» шлаків призводить до а, а до появи ряду поверхневих дефектів.

4. Шлаки повинні відрізнятися високим міжфазним натягом на гуру кордону з металом і мати високу адгезію до неметалічних тур, включень. Це сприяє хорошему відділенню шлаку від металу, запобігає його заплутуванню в металевій ванні і забезпечує гарне відшарування скоринки шлаку від поверхні зливка, а також сприяє вилученню шлаком неметалевих включень.

Склади шлаків при ЕШП різні; найчастіше використовують шлак, що складається з CaF_2 з добавками CaO , Al_2O_3 , SiO_2 . Проходячи через такий шлак, краплі металу очищаються від сірки; у яких знижується вміст неметалевих включень, а кристалізаторі утворюється щільний якісний злиток.

Електрошлаковий переплав дозволяє отримувати зливки високої якості, що наплавляється, за рахунок зниження вмісту шкідливих домішок, особливостей кристалічної структури і однорідності за хімічним складом.

В даний час встановлені наступні переваги електрошлакового переплаву перед іншими способами одержання сталі [7]:

1. Хороша якість зливка, відсутність усадкової раковини та пористості.
2. Менша кількість та менший розмір включень.
3. Однорідність структури та хімічного складу.
4. Високий вихід придатного.
5. Можливість регульованого зниження вмісту сірки, кисню, а деяких умовах і азот; можливість збереження легуючих елементів, які можуть бути окислені, таких як кремній та титан.
6. Можливість коригування складу металу шляхом застосування відповідного флюсу.
7. Загальне поліпшення характеристик пластичності та ударної в'язкості.
8. Поліпшення зварюваності.

9. Забезпечення такої якості поверхні, що виключає потребу у зачистці поверхні при гарячій обробці.

10. Полегшення умов виливки електродів у порівнянні з розливом злитків для безпосереднього прокочення.

11. Можливість управління напрямом та швидкістю затвердіння.

12. Можливість регулювання крупності зерен та величини карбідів, особливо в швидкорізальних інструментальних сталях.

13. Розплавлений метал захищений від атмосферного окиснення [7].

Така велика кількість переваг процесу ЕШП є наслідком великої кількості ступенів свободи, властивого цьому процесу. Важливість ступенів волі у технології стала набувати дедалі більшого значення в міру ускладнення вимог до сучасних продуктів [7].

Відоме технічне рішення, в якому розміщують на піддоні кристалізатора та розплавляють відходи металу, що переплавляється, в кількості 1 -15% ваги зливка [7]. Недоліком даного технічного рішення є те, що відходи повинні бути тієї ж марки сталі, як і електроди (тобто мати регламентований хімічний склад), оскільки інакше буде мати місце зміна хімічного складу зливка внаслідок перемішування об'ємів, що плавляться, витрачених електродів (основного металу) та відходів. Це вимагатиме збільшення донної обрізки зливка, що зведе нанівець ефективність способу.

В основу винаходу поставлено завдання створити технологію виплавки злитків ЕШМ, що дозволяє використовувати відходи нерегламентованого хімічного складу збільшення виходу придатного [8].

Вирішення поставленого завдання полягає в тому, що після досягнення дзеркалом металу 0,3-0,9 рівня, відповідного донного обрізу зливка,

відключають напругу, а тривалість витримки до наступного включення напруги приймають рівним 0,5-0,9 кореня квадратного з висоти цього рівня[8].

Сутність способу полягає в тому, що розміщені на піддоні кристалізатора відходи нерегламентованого хімічного складу в процесі електрошлакового переплаву розплавляються в форсованому режимі, а в процесі витримки твердне. При наступному включенні напруги та плавному переході на номінальний режим відбувається сплавлення затверділого металу з розплавом витрачаються електродів практично без їх зміщення. Отже, вихід придатного підвищується на величину використуваних відходів [10].

У разі переплаву без витримки розплав електродів, що витрачаються, перемішується з розплавленими відходами, що призводить до зміни хімічного складу нижньої частини зливка і, отже, до зниження виходу придатного. Таким чином, використання заявленого технічного рішення розширює технологічні можливості способу ЕШП та збільшує вихід придатного [9].

1.2 Класи сталей

Структура сталі – менш стійка класифікаційна ознака, оскільки залежить від швидкості охолодження (товщини стінки виливків), ступеня легування, режиму термообробки та інших факторів, що змінюються, але структура готового виробу дозволяє об'єктивно оцінювати його якість [12].

За структурою, що формується в умовах рівноваги, леговані сталі можуть бути доевтектоїдними, евтектоїдними та заевтектоїдними. Однак, виходячи зі структури, сталі діляться на 6 класів: перлітний, аустенітний, феритний, напівферитний, напіваустенітний і ледебуритний [12].

У перлітний клас об'єднуються сталі, які містять перліт. Це як доевтектоїдні, так і евтектоїдні та заевтектоїдні сталі. Серед легованих сталей

виділяються так звані ледебуритні сталі, які у литому стані містять евтектику, однією зі складових якої є первинні карбіди (об'ємна частка первинних і вторинних карбідів у них досягає 30–35%). За структурою ледебуритні сталі потрібно було б розглядати як білі чавуни. Але оскільки ці сплави містять менше 2% С і можуть куватися, то їх відносять до сталей. Леговані сталі феритного класу утворюються при відносно низькому вмісті вуглецю і великому вмісті легуючих елементів, що збільшують область існування фериту (Cr, W, Mo, V, Si). При всіх температурах структура 40 цих сталей складається із легованого фериту, іноді із найбільшим вмістом карбідів [13].

Аустенітні сталі одержують при високому вмісті таких легуючих елементів, як Ni і Mn. Однак часто структура сталей, що містять ці елементи, складається із суміші фериту та аустеніту. Сталі, які мають таку структуру, відносять до феритоаустенітних, або до аустенітно-феритних залежно від того, яка фаза переважає [13].

Ураховуючи структуру, що одержана після охолодження на спокійному повітрі зразків найбільшої товщини, можна виділити три основні класи сталей: перлітний, мартенситний, аустенітний. Сталі перлітного класу характеризуються відносно малим вмістом легуючих елементів, мартенситного – більш значним і, нарешті, аустенітного – високим вмістом легуючих елементів. Одержання трьох класів сталі обумовлене тим, що у міру збільшення вмісту легуючих елементів стійкість аустеніту в перлітовій області зростає, а температурна область мартенситного перетворення знижується, що й відображено на діаграмах ізотермічного розпаду аустеніту крива швидкості охолодження на повітрі перетинатиме область перлітового розпаду і виходитимуть структури – перліт, сорбіт, тростит. У сталей мартенситного класу область перлітового розпаду вже значно зміщена вправо. Тому охолодження на повітрі не призводить до перетворення в перлітовій області – аустеніт тут переохолоджується без розпаду до температур мартенситного перетворення, де й відбувається утворення мартенситу. Подальше збільшення

вмісту вуглецю і легуючих елементів не тільки зміщує праворуч область перлітного розпаду, але й знижує мартенситну точку, переводячи її в область від'ємних температур. У цьому випадку сталь, охолоджена на повітрі до кімнатної температури, зберігає аустенітний стан [13].

Дослідження показали, що сталі аустенітно-мартенситного класу в порівнянні з корозійностійкими сталями мартенситного класу завдяки регламентованому вмісту в їх структурі залишкового аустеніту при рівній міцності мають більш високі характеристики надійності: високу в'язкість руйнування K_{Ic} , низьку чутливість до надрізу та тріщини. Крім того, сталі цього класу характеризуються високим опором до загальної корозії та корозії під напругою, гарною зварюваністю всіма видами зварювання, у тому числі і без подальшої термічної обробки [13].

Вимоги високої в'язкості та корозійної стійкості обумовлюють необхідність легування особливо високоміцних корозійностійких сталей 13–14% Cr та 4–6% Ni, а також 1,5–2,5% Mo. Молибден уповільнює процес виділення карбідів і карбонітридів як по межах зерен при охолодженні від температури аустенітизації (гартування), так і в мартенситі при високих температурах нагріву, у т. ч. у зонах термічного впливу зварних сполук. Внаслідок цього сталі, леговані молибденом, мають високий опір корозійному розтріскуванню (КР), у т. ч. у морських умовах, а також високу тріщиностійкість як у великих перерізах, так і у зварних з'єднаннях без подальшої термічної обробки [13].

Для даних сталей класу рівень міцності визначається переважно сумарним вмістом атомів застосування вуглецю і азоту ($C+N=0,08-0,30\%$), а висока пластичність і в'язкість – наявністю у структурі 15–20% рівномірно розподіленого залишкового аустеніту [15].

Для забезпечення постійного співвідношення мартенситу та аустеніту сталі контролюють не лише за хімічним складом, а й доводять до заданого фазового складу, застосовуючи метод магнітного експрес-аналізу.

Широке поширення із середньо-міцних сталей набула сталь 07X16H6. Високі значення ударної в'язкості та пластичності сталі, а також високий опір корозійному розтріскуванню дозволили широко застосувати її для силових та кріпильних деталей, що працюють при низьких температурах до -253°C , а також для зварних балонів високого тиску ($p = 15\text{-}22\text{ МПа}$) [15].

Для застосування сталі при виготовлення великогабаритних виробів було запропоновано вдосконалення даної сталі за рахунок її модифікації. Додатково до складу сталі було додано молібден ($\sim 0,4\%$) та знижено вміст кремнію ($\text{Si} < 0,4\%$). Встановлено, що при охолодженні від температури аустенізації даної вдосконаленої сталі забезпечується формування структури гартування без виділень карбідної фази по межах зерен, яка різко знижує тріщиностійкість сталі та опір корозійному розтріскуванню [16].

При додаванні до складу не значної частки молібдена зникає карбідна сітка при гартуванні, вдвічі збільшується КСТ при $+20^{\circ}\text{C}$ та в десять разів при -70°C , також втричі збільшується $\sigma_{\text{кр}}$.

Дослідження сталей перехідного класу з різним фазовим складом (співвідношенням мартенситу та залишкового аустеніту) та сумарним вмістом вуглецю та азоту дозволило встановити оптимальне поєднання міцності та надійності таких сталей [13].

Однією з основних переваг особливо високоміцних сталей перехідного класу є високий опір до малоциклічної втоми.

1.3 Вплив режимів термічної обробки на структуру особливо високоякісних сталей

Для ефективного використання легованих сталей спеціаліст повинен розуміти їх позитивні сторони і недоліки порівняно з вуглецевими сталями.

1. Позитивні особливості легованих сталей виявляються в термічно обробленому стані. Тому з легованих сталей виготовляються деталі, що обов'язково піддаються термічній обробці [15].

2. У термічно обробленому стані (гартування + відпуск) усі леговані сталі знаходять вищі показники опору пластичним деформаціям σ_T порівняно з вуглецевими сталями при однаковому вмісті вуглецю [15].

3. Більшість легуючих елементів стабілізують аустеніт (збільшують його стійкість). У зв'язку з цим за інших рівних умов прогартуваність легованих сталей вища, ніж вуглецевих. Тому навантажені деталі великого перерізу потрібно виготовляти з легованої конструкційної сталі, вибираючи при цьому сталь такого складу, яка в заданому перерізі прожарюється наскрізь [15].

4. У зв'язку з гальмівною дією легуючих елементів на розпад аустеніту виявляється й інша позитивна особливість легованих сталей – можливість застосування при гартуванні «м'яких» охолоджувачів (масла). Гартування в маслі значною мірою знижує брак щодо гартівних тріщин і викривлення. Тому за необхідності проведення термічної обробки виробів складної форми, навіть коли ці вироби мають невеликий переріз, застосування легованих сталей переважне, тому що зменшується ймовірність браку. 5. Підвищення запасу в'язкості та опору холодноламкості легованої сталі після гартування і відпуску за рахунок легування (особливо нікелем), унаслідок чого збільшується експлуатаційна надійність деталей машин [15].

6. У високовідпущеному стані вплив легуючих елементів на крихку міцність визначається тим, як ці елементи впливають на коагуляцію карбідів і на феритну фазу. Особливо сприятливо діє нікель, що різко знижує поріг холодноламкості. Такий вплив нікелю спостерігається і в складнолегованих сталях, у складі яких наявний цей елемент [15].

Проте леговані сталі мають і специфічні недоліки [16].

1. Багато легованих сталей схильні до оборотної відпускнуї крихкості.

2. У високолегованих сталях після гартування є підвищена кількість залишкового аустеніту, що знижує твердість, опір утомленості. Для усунення Ауст потрібна додаткова обробка.

3. Леговані сталі більше вуглецевих сталей схильні до дендритної ліквідації, тому що швидкість дифузії легуючих елементів у залізі мала. Тому при кристалізації дендрити збагачуються легуючими елементами, міждендритний матеріал збагачується ними. Після кування, плющення таких сталей утворюється характерна рядкова структура і збільшується неоднорідність властивостей сталі вздовж і впоперек напрямку деформації. Сталь із такою структурою також погано обробляється різанням. Леговані сталі, будучи міцними порівняно з вуглецевими, здебільшого при однаковому вмісті вуглецю мають гіршу оброблюваність різанням. Це ж утруднює обробку тиском легованих сталей. Результат ліквідації виявляється і після термічної обробки сталі.

4. Дуже небезпечним дефектом легованих сталей є флокени (особливо у сталях, легованих нікелем). Флокени – це світлі плями в зламі. У поперечному перерізі флокени виявляються у вигляді дрібних тріщин з різною орієнтацією. Причиною виникнення флокенів є виділення водню, розчиненого у сталі. Розчинність водню у сталі зменшується зі зниженням температури. Якщо охолодження сталі повільне, то водень, що виділяється із сталі, встигне

продифундувати через товщу зливка і флокени не утворюються. При порівняно швидкому охолодженні водень не встигає продифундувати і залишається у сталі, створюючи великий 45 внутрішній тиск, що призводить до утворення тріщин. Якщо у сталі відбуваються також фазові перетворення, які проходять різночасно в різних ділянках зливків через неоднорідність складу, то з'являються додатково ще й фазові напруження, що посилюють флокеноутворення. Заходами боротьби з флокенами є зменшення вмісту водню у сталі при її виплавці і повільне охолодження зливків у області температур флокеноутворення (від 200 °С і нижче), а також ізотермічний відпал зливків. Сталь, у якій флокени вже утворилися, можна виправити плющенням або куванням заготовки на дрібніші перерізи. При гарячій обробці тиском флокени зварюються [16-18].

5. Леговані сталі дорожче вуглецевих. Сталі, що містять нікель, крім того, є дефіцитними.

Особливістю термічної обробки сталей аустенітно-мартенситного класу є можливість їх обробки в стан із структурою аустеніту, що характеризується підвищеною пластичністю, або в зміцнений – зі структурою мартенситу [4].

Існують наукові роботи, мета яких полягає в визначенні оптимального хімічного складу особливо високоякісних сталей для отримання матеріалу заданих механічних властивостей. Так в роботі розглянуто вплив хімічного складу на властивості і структуру сталі 25X17H2Б-Ш. Встановлена причина знижених властивостей міцності при високому вмісті вуглецю (0,28%). Визначено режим термічної обробки, що забезпечує підвищення твердості і низький вміст залишкового аустеніту (<15 %).

Необхідне поєднання властивостей багато в чому визначається хімічним складом, який при виготовленні сталі може варіюватися в межах, встановлених нормативними документами на дану марку (ГОСТ, ТУ). При цьому максимальний вплив надає вуглець, зміна якого в діапазоні граничних

значень (0,22-0,28) %з не завжди забезпечує гарантовані властивості міцності після термічної обробки [15-16].

Мета роботи дослідників полягала у з'ясуванні причин низької твердості сталі 25x17н2б-Ш с вмістом вуглецю на верхній межі (0,28%) після термічної обробки і забезпеченні гарантованих технічними умовами міцнісних властивостей (твердість не менше 46 HRC) [15-17].

В якості об'єкта досліджень розглянуто три плавки сталі 25X17H2B-Ш с різним вмістом вуглецю.

При цьому в плавці № 1 вуглець знаходиться на верхній межі 0,28 %, в двох інших плавках він менше (0,25-0,26) %. За іншими елементами сприяють підвищенню стабільності аустеніту, всі плавки наближені за складом [15].

За результатами металографічного та рентгенофазового аналізу встановлено, що в стані поставки метал першої плавки являє собою чисте α -Fe (структура фериту, ферито-карбідна суміш-ФКС), твердість 44,3 HRC. У двох інших плавках крім α -Fe присутній γ -Fe (аустеніт), твердість, відповідно, 31,0 і 29,2 HRC.

Після термічної обробки всіх трьох плавок структура сталі являє собою відпущений мартенсит, включаючи залишковий аустеніт і продукти розпаду залишкового аустеніту (ФКС) [15].

Твердість сталі плавки № 2 і 3 склала 48,0 і 48,3 HRC, що відповідає вимогам технічних умов на сталь. Твердість сталі плавки №1 нижче – 45 HRC . Метал плавки №1 відрізняється більш високим вмістом аустеніту (18%). Залишковий аустеніт володіє високими пластичними властивостями і меншими міцнісними характеристиками щодо мартенситу [22, 23], що сприяє зниженню міцності і твердості матеріалу в цілому.

Цей факт підтверджується результатами механічних випробувань розтягуванням зразків зі сталей після термічної обробки.

Результати механічних випробувань показали, що міцність сталі з вмістом вуглецю 0,28% (плавка №1) знаходиться на нижній межі, а твердість нижче необхідних значень, в той час, як властивості двох інших плавок відповідають вимогам технічні умови.

Як відомо [21, 23, 24], для підвищення твердості (плавки №1) необхідно знизити кількість залишкового аустеніту в структурі сталі, зміст якого, в свою чергу, залежить від:

1. вміст вуглецю та легуючих елементів у високотемпературному аустеніті;
2. швидкості охолодження в інтервалі температур мартенситного перетворення (нижче 188 °С);
3. швидкості охолодження з температури гарту (1100 °С);
4. температури гартування.

Експерименти, проведені зі зміною швидкості охолодження за рахунок застосування рідкого азоту, показали незначне підвищення твердості (не більше 0,5 од. HRC).

З метою зменшення розчинності легуючих елементів і зниження стабільності аустеніту були проведені досліді з коригуванням температури гарту (зменшенням до 950°С). Це призвело до неповного розчинення карбідів, збіднення аустеніту вуглецем і, як наслідок, зниження стійкості аустеніту до розпаду. Кількість залишкового аустеніту знизилося до 2 %, а твердість підвищилася до 49,5 HRC [25].

Вплив низькотемпературної (від 950°С) гарту на структуру і властивості багато в чому визначається вихідним станом сталі (рисунок 2а). На малюнку 2б видно, що в наслідок неповного розчинення карбідів при низькотемпературному загартуванні відбулося їх значне виділення по межах

зерен. Мабуть, приросту твердості в сталі сприяло інтенсивне виділення і коагуляція карбідної фази по межах зерен [21]. Поєднання попередньої високотемпературної гарту від 1100°C (гомогенізація структури) і подальшої низькотемпературної гарту від 950°C не призводить до інтенсивному виділенню карбідної фази. Вторинної гарту від температури 950°C не вистачає для повної аустенізації твердого розчину у високотемпературній області, і так як гомогенна структура більш стійка, то продукти розпаду після низькотемпературної термічної обробки успадковують первісну мартенситну структуру [21,23]. Великий карбіди по межах зерен відсутні (рисунок 2в). Твердість сталі склала 49,3 HRC, вміст залишкового аустеніту в структурі значно зменшився.

В результаті виявлено причину низької твердості сталі 25X17H2Б-Ш з вмістом вуглецю на верхній межі (0,28%). Показано, що вуглець (0,28%) сприяє підвищенню стабільності аустеніту до розпаду при високотемпературній термічній обробці, і як наслідок, призводить до підвищеного вмісту залишкового аустеніту в структурі (18%) і зниження твердості (менше 46HRC). В результаті досліджень визначено режим термічної обробки, що забезпечує максимальне зниження кількості залишкового аустеніту в структурі і підвищення твердості до 49,3 HRC [25].

Висновки

При проведенні літературного огляду були сформовані наступні висновки: розвиток машинобудування стимулює створення нових конструкційних матеріалів з більш високими технологічними та функціональними властивостями, здатними забезпечити необхідні умови експлуатації – тривалі термічні витримки при впливі навантажень і корозійного середовища. В даний час найбільш перспективними конструкційними матеріалами, є корозійностійкі, особливо високоякісні сталі з аустенітно-мартенситною структурою. Було розглянуто варіанти термічної обробки, що застосовуються для даних матеріалів, вплив легуючих елементів на термічну обробку. Також досліджено вплив електрошлакового переплаву на властивості особливо високоякісних сталей та методи його вдосконалення.

РОЗДІЛ 2

ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

На сьогоднішній день матеріалознавство є однією з найперспективніших наук. За останній час технології і обладнання, які застосовуються в проведенні експериментів зробили великий крок вперед. Для проведення роботи ми використовували новітнє обладнання, яке гарантує точність проведених досліджень.

2.1 Матеріал дослідження

Сталь 25X17H2Б-Ш (також відома як ЭП407-Ш) особливо високоякісна електрошлакового переплаву, відноситься до групи корозійностійких (нержавіючих) сталей і сплавів, що володіють стійкістю проти електрохімічної та хімічної корозії (атмосферної, ґрунтової, лужної, кислотної, сольовий), міжкристалічної корозії, корозії під напругою і т.д. Після термічної обробки по раціональним режимам володіє високою міцністю і пластичними властивостями в поєднанні з досить високою ударною в'язкістю. У таблиці 1.1 наведено її хімічний склад [25].

Застосовується сталь 25X17H2Б-Ш для виготовлення важко навантажених деталей, які піддаються великому зносу та впливу агресивних середовищ: азотній та органічним кислотам, більшості розчинів солей органічних та неорганічних кислот різних концентрацій. Найбільш широке застосування отримала в виготовленні деталей конструкцій стикових з'єднань трубопроводів гідравлічних і пневматичних систем, що працюють в умовах високого тиску, які повинні поєднувати в собі високі міцносні і пружні властивості для збереження складальних зусиль, що забезпечують герметичність з'єднання [25].

Сталь 25X17H2Б-Ш відрізняє відмінна корозійна стійкість, здатність до зварювання, більш висока пластичність та міцність в порівнянні з аналогами, стійка до різного роду механічних впливів і пошкоджень.

Необхідне поєднання властивостей багато в чому визначається хімічним складом, який при виготовленні сталі може варіюватися в межах, встановлених нормативними документами на дану марку (ГОСТ, ТУ). Хімічний склад даного матеріалу визначали на устаткуванні науково дослідної лабораторії Сумського Державного університету. Основним методом визначення хімічного складу виплавлених сталей був спектральний аналіз (наведено в таблиці 2.1 та додатку А). При цьому максимальний вплив надає вуглець, зміна якого в діапазоні граничних значень (0,22-0,28) % не завжди забезпечує гарантовані властивості міцності після термічної обробки.

Таблиця 2.1

Хімічний склад зразків сталі 25X17H2Б-Ш

Сталь, марка	Вміст елементів, % по масі								
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Nb	Cu
25X17H 2Б-Ш	0,235	0,499	0,451	0,001	0,012	17,58	2,51	0,07	0,09

Сталь отримували електрошлаковим переплавом на установці ЕШП з подальшою доводкою до потрібного хімічного складу та розливкою в установці безперервної розливки сталі, де отримали блюм. В подальшому, на радіально-кувальній машині сформовано круг 170 мм (рисунок 2.1). Для виплавки використовували чисті шихтові матеріали. Після виплавки і кування круг піддавався відпалу.

Від частини круга відрізався темплет у вигляді диска завтовшки 4-7 мм, на якому проводився аналіз хімічного складу сплаву і первинний контроль макроструктури (на відсутність грубих дефектів плавки і кристалізації) і

мікроструктури (на відсутність грубих неметалічних включень, зерномежевої сітки інтерметалідних фаз і т.п.).

Результати аналізу показали, що хімічний склад виплавленої сталі відповідає заданому, явища ліквідації легуючих елементів по висоті і по перетину круга не спостерігається, основне тіло злитка вільно від макропористості. Будь-яких негативних особливостей в мікроструктурі металу не виявлено.

В ході роботи був запропонований оптимальний режим термічної обробки, який складається з відпалу, гартування, охолодження і відпуску.

2.2 Металографічний аналіз

Металографічний аналіз проводиться з метою вивчення впливу хімічного складу та різних видів обробки на структуру металу. Розрізняють макро- та мікроструктуру. Відповідно, металографічний аналіз поділяється на макроаналіз та мікроаналіз [26].

Макроструктура – це будова металу, видиме неозброєним оком або за невеликому збільшенні (до 30 крат) [26].

Мікроструктура – це будова металу чи сплаву, видиме за більших збільшеннях (більше 50 крат) з допомогою мікроскопа.

Макроаналіз дає уявлення про загальну будову металу та дозволяє оцінити його якість після різних видів обробки: лиття, обробки тиском, зварювання, термічної та хіміко-термічної обробки [25].

Не виявляючи подробиць будови, макроаналіз дозволяє визначити ділянки металу, які потребують подальшого мікроскопічного дослідження. Макроаналіз дозволяє визначити:

1. Порушення суцільності металу: центральну пористість, нориці, підкіркові міхури, тріщини, непровари та газові міхури при зварюванні;
2. Дендритна будова, розміри та орієнтацію зерен у литому стані;

3. Хімічну неоднорідність литого металу – ліквацію (досліджується макрошліф);

4. Волокниста будова деформованого металу;

5. Вид зламу: в'язкий, тендітний, нафталінистий, кам'яний;

6. Глибину шару після хіміко-термічної обробки (досліджується злам).

Макроаналіз проводять на поздовжніх та поперечних макрошліфах (темплетах) та зламах. Для успішного виконання макроаналізу необхідний вибір найбільш характерного для виробу, що вивчається, перерізу або зламу. Вирізані темплети піддають механічній обробці, хімічному травленню та дослідженню [26].

Методи макротравлення поділяють три групи: глибокого травлення; поверхневого травлення; відбитків. Структура, що виявляється глибоким травленням, слабо залежить від підготовки поверхні зразка; поверхнєве травлення або метод відбитків потребує більш ретельної підготовки поверхні. Способи макроаналізу різні в залежності від складу сплаву та завдань, що стоять перед дослідником. Для сталі 25X17H2Б-Ш, з метою виявлення дефектів, що порушують суцільність, застосовують гарячий 50% водний розчин соляної кислоти. Темплети трують протягом 25 хв. До чіткого виявлення макроструктури - це глибоке травлення [26].

Хімічну неоднорідність сталі, наприклад, ліквацію фосфору, сірки, свинцю визначають методом поверхневого травлення та відбитків.

При необхідності повного макроскопічного дослідження, а також визначення порушень суцільності металу та дефектів будови доцільно дотримуватися наступної послідовності; спочатку труїти зразок реактивом поверхневого травлення, потім знову шліфувати та визначати розподіл сірки за відбитком на фотопапері, після чого проводити глибоке травлення для визначення порушень суцільності [27].

Мікроскопічний аналіз полягає у дослідженні структури спеціально підготовлених зразків (мікрошліфів) при збільшенні від 30-50 до 1500-1800 крат [26].

Мікроаналіз проводять з метою визначення:

1. Кількості, розмірів та типу структурних складових;
2. Фазового складу сталей та сплавів;
3. Зв'язки хімічного складу, умов виробництва та обробки металу з його мікроструктурою та властивостями.

Для проведення висококваліфікованого мікроаналізу необхідні знання у галузі металографії, а й у методиці приготування мікрошліфів, у пристрої мікроскопів і методах мікроскопічного аналізу [27].

Приготування мікрошліфу зазвичай включає такі основні операції.

1. Вирізування зразків та підготовку поверхні.
2. Шліфування.
3. Полірування.
4. Травлення.

Вибір числа зразків, місця вирізки і перерізу матеріалу, яким проходить площину мікрошліфа, визначається метою металографічного дослідження, розмірами, формою і особливостями структури об'єкта, що вивчається.

Найбільш зручні прості форми зразків таких розмірів: циліндр або паралелепіпед з діаметром або стороною основи 10-20 мм та висотою 10-15 мм. Зразки малих розмірів (стрічка, дріт) або складної конфігурації після вирізки для виготовлення шліфів поміщають у пластмаси або легкоплавкі сплави, використовуючи заливку або запресування в циліндричні обойми. Найчастіше для холодного закладення шліфів використовують епоксидні смоли. Вони мають достатню твердість, малу об'ємну усадку при затвердінні і добре з'єднуються з більшістю металевих зразків [27].

Обробку шліфу на площину здійснюють за допомогою напилка або наждачного кола. Потім виробляють шліфування вручну або на шліфувальних

верстатах. Шліфування здійснюють на 4-5 номерах наждачного паперу, послідовно зменшуючи розмір абразиву. Напрямок руху зразка за наждачним папером при зміні номера паперу слід змінювати на 90°, а шліфування на одному номері вести до зникнення рисок від попереднього шліфувального паперу. При зміні номера паперу слід видаляти зі шліфу частинки абразиву. Після шліфування на останньому папері шліф ретельно промивають у воді, щоб частинки абразиву не потрапили на полірувальне коло.

При шліфуванні дуже м'яких металів часом шкірку попередньо змочують в гасі або натирають парафіном (наприклад, при виготовленні мікрошліфів з алюмінію), щоб звести до мінімуму вдавлювання абразивних частинок у поверхню шліфів [29]

Полірування служить видалення дрібних рисок, що залишилися після шліфування, і отримання гладкої дзеркальної поверхні шліфу. Застосовують механічне чи електрохімічне полірування [28-29].

Механічне полірування виробляють на колі, що обертається, з натягнутим полірувальним матеріалом (фетр, сукно, драп), на який безперервно або періодично наносять дуже дрібний абразив у вигляді суспензії у воді. Як абразиви застосовують оксид хрому, оксид алюмінію і оксид заліза. Дедалі ширше використання знаходять полірувальні алмазні пасти, які наносять на спеціальну тканину або папір.

Полірування продовжують до отримання дзеркальної поверхні, і воно вважається закінченим, коли на поверхні шліфу під мікроскопом не спостерігаються ризики або подряпини. Після полірування шліф промивають у воді або спирті та сушать поліровану поверхню фільтрувальним папером [25].

Електрохімічне полірування засноване на використанні процесу анодного розчинення металу, який за певних умов протікає з утворенням гладкої поверхні. Зразок після механічного шліфування занурюють як анод в електролізну ванну і витримують при заданому режимі (напрузі, щільності

струму та температурі електроліту) певний час. Катодом зазвичай є платівка, виготовлена з нержавіючої сталі [29].

Перевагою електрополірування є відсутність на поверхні шліфу деформованого шару, що утворюється при шліфуванні або механічному поліруванні. Цей метод особливо підходить для полірування шліфів з м'яких сплавів, що легко наклепуються. До недоліків електрополірування відносяться: чутливість до неоднорідності хімічного складу, переважне розчинення металу навколо пустот та неметалічних включень, крайові ефекти.

Для виявлення структури відполіровану поверхню зразка піддають травленню реактивами, що розрізняються за своїм впливом на поверхню металу. Під впливом реактиву відбувається розчинення одних фаз, окиснення та фарбування інших. В результаті створеної різної здатності, що відображає фаз, самих зерен і їх меж можна побачити під мікроскопом обриси зерен і різних фаз, визначити їх взаємне розташування; за кольором, формою та розмірами визначити присутні у сплаві фази, тобто виявити мікроструктуру сплаву [29].

Якість травлення перевіряють під мікроскопом у тому ж збільшенні, у якому передбачається вивчення шліфу. Якщо поверхня шліфу, видима під мікроскопом, дуже світла, немає чіткості контуру структури, то шліф недотравлений; тоді проводять повторне травлення. Якщо поверхня шліфу темна, із широкими темними межами структурних складових, то шліф перетравлений; тоді його необхідно переполірувати з повторним травленням. Після закінчення травлення шліф промивають проточною водою, спиртом і висушують прикладанням фільтрувального паперу [32].

Вивчення мікроструктури здійснювали за допомогою світлового металографічного мікроскопа. Металографічний мікроскоп дозволяє розглядати непрозорі тіла у відбитому світлі. У цьому його основна відмінність від біологічного мікроскопа [32].

В даній роботі було застосовано вертикальний металографічний мікроскоп МИМ-7 (рисунок 2.1) призначений для спостереження і фотографування мікроструктури металів зі збільшенням від 60х до 1440х. Має потужний механізм фокусування, що дозволяє досліджувати зразки з вагою до 15 кг. Як джерело світла використана кінопроекційна лампа К-30 17В, 170Вт.

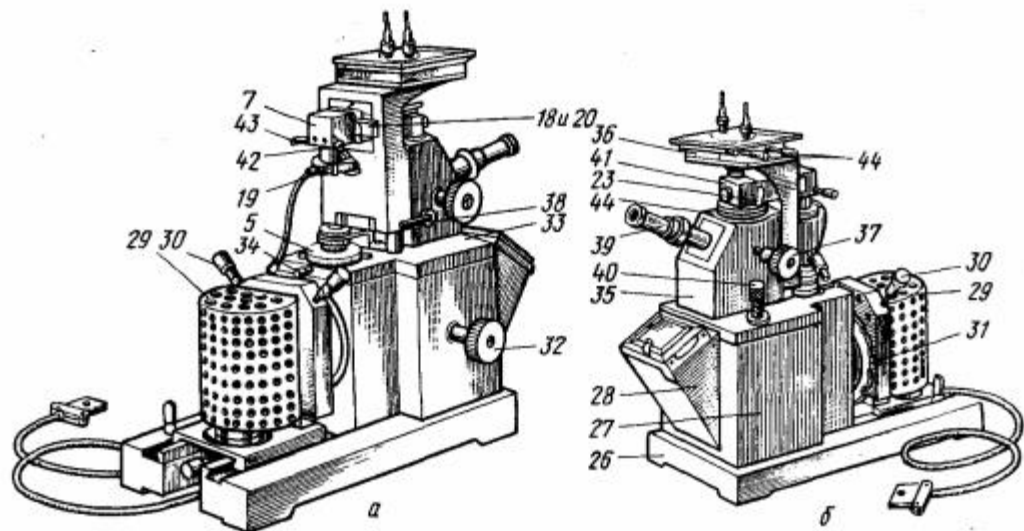


Рисунок 2.1 – Мікроскоп МИМ-7 [28]

а - вид з боку трансформатора; б - вид з боку фотокамери; 1 - 25 - см. Рис.6; 26 - плита; 27 - підстава або корпус фотокамери; 29 - ліхтар освітлювача; 30 - гвинти, що центрують лампу; 31 - диск з світлофільтром; 32 - рукоятка для повороту диска з трьома окулярами; 33 - рукоятка для зміщення і повороту діафрагми 5; 34 - гвинт, що фіксує поворот діафрагми 5; 35 - корпус мікроскопа; 36 - предметний столик; 37 - макроскопічний гвинт для вертикального переміщення столика; 38 - стопорний пристрій макровінта; 39 - візуальний тубус; 40 - мікрометричний гвинт; 41 - освітлювальний тубус; 42 - рукоятка польовий діафрагми; 43 - механізм центрировки; 44 - гвинти для переміщення.

2.3 Випробування на стійкість до міжкристалітної корозії

Міжкристалітна корозія – найбільш небезпечний вид електрохімічного руйнування сплавів через те, що матеріал втрачає свої міцнісні властивості без помітної зміни зовнішнього вигляду. Міжкристалітна корозія може бути спричинена неправильною термообробкою, а також певним термічним впливом у процесі зварювання чи іншими видами технологічної обробки. Цьому виду корозії схильні: аустенітні хромонікелеві сталі; високохромисті сталі, що містять понад 13% хрому; аустенітні сталі, леговані молібденом; нержавіючі сталі леговані молібденом і міддю [23].

Стійкість до міжкристалітної корозії визначали за стандартною методикою, описаною в ГОСТ 6032-2017. Перевагу надаємо методу АМУ.

Метод АМУ (А – літерне найменування методів, М – присутність в розчині для випробувань металевої міді, У – прискорені випробування) полягає в тому, що зразки сталей витримують в киплячому водному розчині сірчаної кислоти міді і сірчаної кислоти в присутності металічної міді (стружка) [25].

Для проведення випробувань застосовують такі реактиви (рис.2.2):

- мідь сірчаної кислоти ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) по ГОСТ 4165 або мідний купорос по ГОСТ 19347;
- кислоту сірчану по ГОСТ 4204 щільністю $1,83 \text{ г/см}^3$;
- воду дистильовану за ГОСТ 6709;
- мідь у вигляді стружки по ГОСТ 859;
- кислоту соляну за ГОСТ 3118 щільністю $1,19 \text{ г/см}^3$;
- кислоту азотну по ГОСТ 4461 щільністю $1,40 \text{ г/см}^3$. [25]



а

б

в

г

Рисунок 2.2 – Реактиви, що застосовувалися для проведення випробування на стійкість до міжкристалітної корозії: а – мідь сірчанооксида; б – сірчана кислота; в – дистильована вода; г – мідь у вигляді стружки

Зразки для проведення випробувань мають розміри $L = 80$ мм, $B = 20$, $s = 3-5$ мм.

Розчин для випробування: до (1000 ± 3) см³ води додають сірчаноокислу мідь $(50 \pm 0,1)$ г, невеликими порціями сірчану кислоту (250 ± 3) см³ і до завантаження зразків в колбу з розчином додають мідну стружку в кількості, що забезпечує всебічний контакт із зразками і відсутність контакту між зразками.



Рисунок 2.3 – Проведення випробування на схильність до МКК

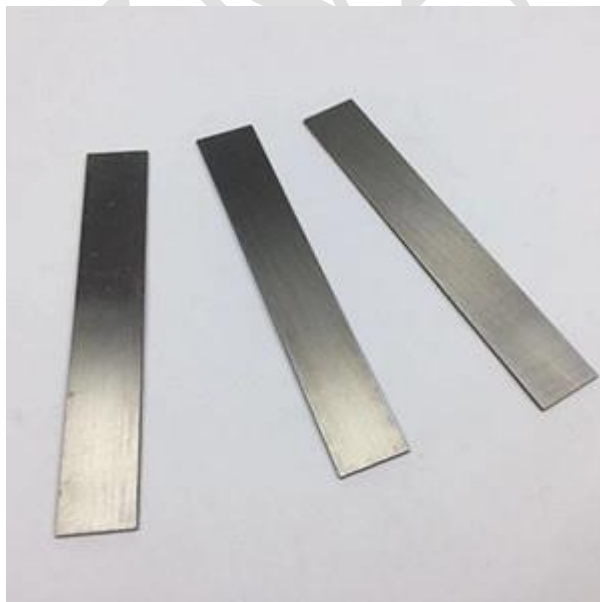


Рисунок 2.4 – Зразки зі сталі 25X17H2Б-Ш для випробування на МКК

Випробування проводять в скляній колбі зі зворотним холодильником. Допускається завантаження зразків однієї і тієї ж марки сталі в кілька рядів за умови, що ряди зразків, між якими повинна знаходитися мідна стружка, не будуть стикатися один з одним. Завантаження зразків різних марок сталей в одну і ту ж колбу не допускається. Потім колбу заповнюють розчином для випробувань близько $4-8 \text{ см}^3$ на 1 см^3 поверхні зразка, при цьому рівень розчину повинен бути на $1,0-1,5 \text{ см}$ вище поверхні зразків або шару стружки. Реакційний посудину з розчином і зразками для випробування нагрівають і безперервно кип'ятять, не допускаючи нагрівання холодильника. Тривалість витримки в киплячому розчині ($2,0 \pm 0,25$) год. Після витримки в розчині зразки промивають водою і просушують. При відкладенні на зразках шару міді, незмивним струменем води, його видаляють, промиваючи зразки в 20%, 30%-ому розчині азотної кислоти при температурі від 20°C до 25°C . Допускається багаторазове використання розчину для випробувань за умови збереження його кольору, за винятком випробувань, що проводяться при розбіжностях [25].

Після закінчення випробувань для виявлення МКК зразки згинають на кут $90^\circ \pm 5^\circ$. Радіус заокруглення оправки вибирають в залежності від товщини зразків, класу сталі і виду металопродукції, з якої виготовлені зразки.

Огляд вигнутих зразків проводять за допомогою лупи із збільшенням 8х-12х. Відсутність тріщин на зразку, зігнутому після випробування в розчині, за винятком поздовжніх тріщин і тріщин безпосередньо на крайках, свідчить про стійкість проти міжкристалітної корозії. [25].

2.4 Визначення механічних властивостей

В роботі було проведено ряд випробувань на механічні властивості сталі 25X17H2Б-Ш. Зорема випробування на розтяг, межу в'язкості та вимірювання твердості.

Для визначення механічних властивостей зразків сталі 25Х17Н2Б-Ш використовують наступні методи:

- статичні, коли навантаження зростає повільно і плавно;
- динамічні, коли навантаження зростає з великою швидкістю.

За допомогою випробування на розтягування визначають такі механічні характеристики як межа плинності та межа пружності. Зразки вирізані на металоріжучих станках можуть бути циліндричної або прямокутної форми (рис.4.1).

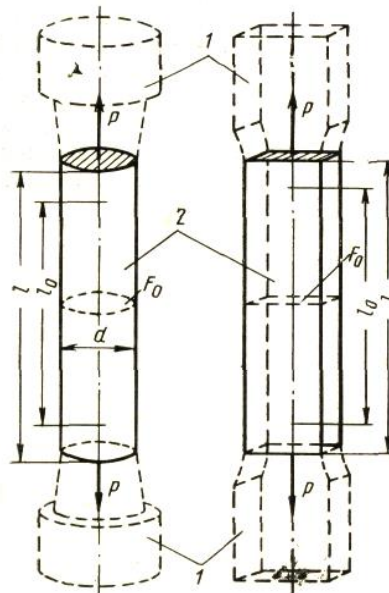


Рисунок 2.5 – Зразки для випробування розтягування: 1– головки; 2 – робоча частина

Випробування проводжу на розривних машинах МР-200 (рисунок 2.5) з використанням стандартних зразків (тип III за ГОСТ 1497-84) з площею поперечного перерізу F_0 і робочої (розрахункової) довжиною l_0 .



Рисунок 2.6 – Розривна машина МР-200

Щоб визначити міцність металу, що працює на розтяг, зразок встановлюють в затискачі розривної машини. Сила, що розтягує, F створює напругу в випробувальному зразку і викликає його подовження. Коли напруга перевищить міцність зразка, він розірветься. В результаті проведення випробувань отримують діаграму розтягування. По осі абсцис відкладають навантаження F , по осі ординат – абсолютне подовження ΔL [35].

Аналізуючи отриману діаграму можна визначити, що спочатку зразок подовжується пропорційно навантаженню. Прямолінійна ділянка відповідає зворотнім, пружним деформаціям. При розвантаженні зразок приймає вихідні розміри (цей процес описується все тим же прямолінійним ділянкою кривої). Викривлена ділянка відповідає незворотнім, пластичним деформаціям. При розвантаженні зразок не повертається до початкових розмірів і зберігає деяку залишкову деформацію.

Зразок подовжується без збільшення навантаження. Горизонтальний ділянку називається майданчиком плинності. Напруга, при якому відбувається

зростання деформацій без збільшення навантаження, називається межею плинності. [30]

Як показують дослідження, плинність супроводжується значними взаємними зрушеннями кристалів, в результаті чого на поверхні зразка з'являються лінії, похилі до осі зразка під кутом 45° . Зазнавши стану плинності, матеріал знову знаходить здатність чинити опір розтягуванню (зміцнюється), і діаграма за піднімається вгору, хоча набагато більш полого, ніж раніше. В деяких місцях напруга зразка досягає своєї максимальної величини, і на зразку з'являється різке місцеве звуження, так звана шийка. Площа перетину шийки швидко зменшується і, як наслідок, відбувається розрив зразка [35].

При випробуванні на розтяг визначають:

Межа міцності (σ_B) – це максимальне навантаження, яке витримує матеріал без руйнування, віднесене до початкової площі поперечного перерізу зразка [69].

$$\sigma_B = \frac{P_B}{F_0} \quad (2.1)$$

де, P_B – найбільше навантаження, Н;

F_0 – початкова площа перерізу зразка, мм.

Межа плинності (σ_T) – це навантаження, при якій відбувається пластична деформація, віднесена до початкової площі поперечного перерізу зразка [25].

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0} \quad (2.2)$$

де, P_T – навантаження, відповідна кордоні плинності, Н.

Пластичність – здатність твердих тіл необоротно деформуватися під дією зовнішніх сил. Пластичність для сталі 25X17H2Б-Ш характеризується відносним подовженням (δ) і відносним звуженням (ψ) [25]:

δ – відносне подовження, %

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_1} 100\% \quad (2.3)$$

де, l_0 – довжина зразка до розриву, мм;

l_1 – довжина зразка після розриву, мм;

ψ - відносне звуження, %:

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} 100\% \quad (2.4)$$

де, F_0 – площа перетину до розриву, м²;

F_1 – площа перетину після розриву, м².

Деталі машин і елементи сталевих конструкцій часто сприймають ударні навантаження. Міцність матеріалу, визначена при плавному навантаженні, не може дати уявлення про працездатність матеріалу при динамічних навантаженнях. Метал може бути дуже міцним при статичних навантаженнях і в той же час легко розколюватися від ударів. [45]

Випробування на ударну в'язкість проводять для визначення здатності металу сприймати динамічні навантаження. Для випробування на ударну в'язкість застосовують квадратний зразок, який руйнують на маятниковому копрі моделі JB-300В (рис. 2.6). Зразок вирізують поперек напрямку прокатки. Його встановлюють на спеціальних підставках. Перед випробуванням маятник піднімають вгору на кут α й закріплюють. Потім маятник звільняють, він падає, вдаряє по стороні зразка, протилежної надрізу, як раз навпроти надрізу. Зразок руйнується, а маятник проходить далі, відхиляючись на кут β від вертикальної осі [25].



Рисунок 2.6 – Випробування на ударну в'язкість:

Загальний запас енергії маятника витратиться на руйнування зразка і на підйом маятника після його руйнування. Тому якщо із загального запасу енергії маятника відняти частину, яка витрачається на підйом (зліт) після руйнування зразка, отримаємо роботу руйнування зразка [69]:

$$K = P(h_1 - h_2) \quad (2.8)$$

або

$$K = \frac{P}{(\cos\beta - \cos\alpha)}, \text{ Дж(кг}\cdot\text{м)} \quad (2.9)$$

де, P – маса маятника, Н (кг);

h_1 – висота підйому центру мас маятника до удару, м;

h_2 – висота зльоту маятника після удару, м;

l – довжина маятника, м;

α, β – кути підйому маятника відповідно до руйнування зразка і після нього.

Ударну в'язкість, тобто роботу, витрачену на руйнування зразка і віднесену до поперечного перерізу зразка в місці надрізу, визначаю за формулою:

$$КС = \frac{K}{F}, \text{ МДж/м}^2(\text{кг}\cdot\text{м/см}^2) \quad (2.7)$$

де, F – площа поперечного перерізу в місці надрізу зразка, м^2 (см^2) [25].

Для визначення КС користуються спеціальними таблицями, в яких для кожного кута β визначена величина роботи удару K . При цьому $F = 0,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ [25].

Для позначення ударної в'язкості додають і третю букву, що вказує на вид надрізу на зразку: U, V, T. В моєму випадку візначаю КСУ – ударну в'язкість зразка з U-подібним надрізом [29].

Твердість – властивість металів чинити опір проникненню в них інших, більш твердих тіл. Твердість визначає багато експлуатаційні властивості металу, опір стиранню, ріжучі властивості інструменту для обробки металів, ерозійну стійкість і т.д. По твердості іноді можна непрямым шляхом визначити межу міцності і текучості металу, не вирізаючи зразків. Більшість методів визначення твердості засноване на принципі вдавнення в випробуваний метал більш твердого кульки, конуса або піраміди [35].

Твердість металу або сплаву дуже впливає на тривалість роботи деталей. Від твердості значною мірою залежить міцність деталі і стійкість поверхні її до спрацювання.

На практиці найпоширенішими є такі методи визначення твердості металів: вдавлювання сталеві кульки (методом Брінеля), вдавлювання алмазного конуса (методом Роквелла), вдавлювання алмазної піраміди (методом Віккерса) [19].

Для визначення твердості досліджуваної сталі використовуємо метод Роквелла.

Вимірювання твердості по Роквеллу проводять втисканням в випробуваний зразок (або деталь) алмазного конуса з кутом при вершині або сталевій кульки діаметром 1,5875. Число твердості за Роквеллом вимірюють в умовних одиницях, і воно є мірою глибини вдавлення індентора під певним навантаженням [35].

Спочатку індентор вдавлюється в поверхню зразка під попереднім навантаженням, яке не знімається до кінця випробування. Це забезпечує підвищену точність випробування, т.к. виключає вплив тонкого поверхневого шару. Під навантаженням індентор вдавлюється у зразок на глибину. Потім на індентор подається загальне навантаження і глибина вдавлення збільшується. Глибина вдавлення після зняття основного навантаження, коли на індентор діє лише попереднє навантаження, і визначає кількість твердості за Роквеллом. Чим більша глибина вдавлення, тим менша кількість твердості. За одиницю твердості приймають величину, рівну осьовому переміщенню індентора на 0,002 [35].

Визначення твердості за Роквеллом використовується дуже широко, оскільки цей метод дозволяє вимірювати твердість різних матеріалів як твердих, і м'яких. Відбитки від індентора на випробуваний поверхні дуже малі, тому можна відчувати готові деталі без їх псування. Випробування легко здійсненне, не вимагає жодних обчислень і займає лише кілька секунд. Число твердості за Роквеллом читається прямо на відповідній шкалі індикатора і може бути легко переведено до числа твердості за Брінеллем [35].

Методика виміру полягає в тому, що поверхні зразка, як випробувані, і опорна, мають бути паралельні і не мати таких дефектів, як окалина, вибоїни, бруд тощо. Усі дефекти повинні бути видалені дрібнозернистим наждачним колом або напилком [37].

Перед початком проведення вимірювання, для точних результатів, ми проводили відбір зразків. Для успішного проведення експерименту товщина зразка повинна мінімум в 10 разів перевищувати товщину введення наконечника після зняття основного зусилля. Зразок повинен бути підготовлений таким чином щоб не змінювалися його властивості в результаті механічної обробки або нагрівання.

Відстань між центрами двох сусідніх відбитків має бути не меншою за чотири діаметри відбитка (але не менше 2 мм). Відстань від центру відбитка до краю зразка має бути не менше 2,5 діаметра відбитка (але не менше 1 мм).

Число твердості за Роквеллом визначали за шкалою індикатора або показника цифрового відлікового пристрою із заокругленням до 0,5 одиниці твердості (рис.2.7).

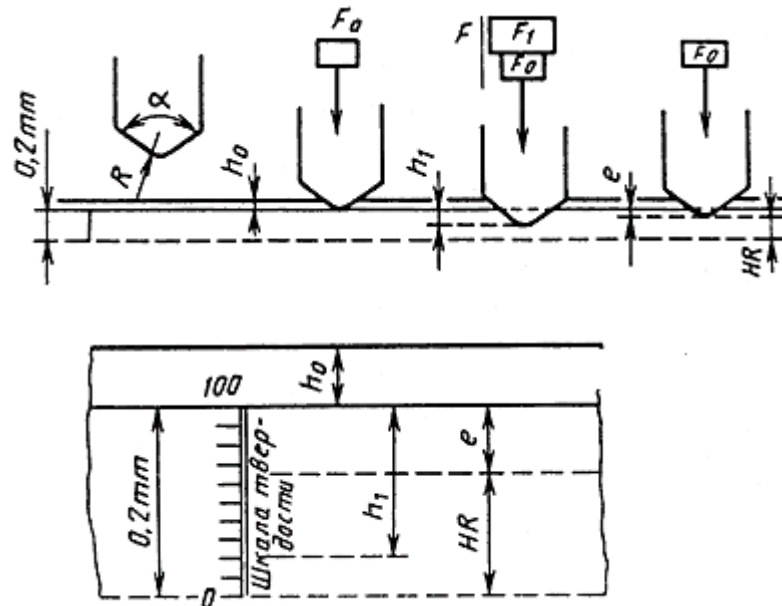


Рисунок 2.7 – Схема проведення вимірювання при застосуванні алмазного наконечника [35]

Твердість за шкалою Роквела виражають в $\text{кгс}/\text{мм}^2$. Визначення твердості реалізовували на приладі твердомір ТК-2М (рис. 2.7) за стандартною технологією (рис.2.8).



Рисунок 2.8 – Твердомір ТК-2М для визначення твердості за Роквеллом

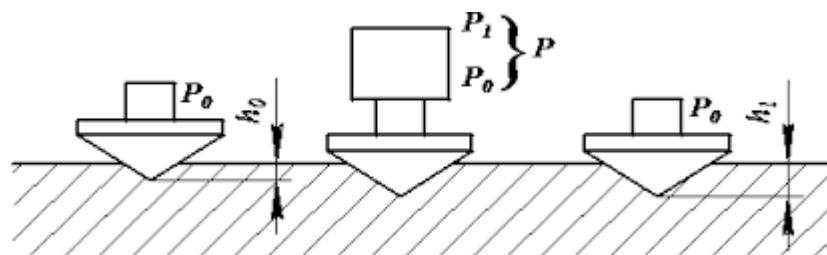


Рисунок 2.9 – Схема визначення твердості за методом Роквела [59]

Обравши необхідний індентор, навантаження та встановивши їх на твердомір, приступають до проведення випробувань. Вимірювання твердості за Роквеллом рекомендується проводити в наступному порядку [35].:

1. Увімкненням тумблера подати напругу на електродвигун.
2. Підготовлений зразок встановити на предметний стіл твердоміра.
3. Повертанням маховика за годинниковою стрілкою плавно підняти стіл із зразком доти, доки індентор виявиться втиснутим у зразок із попереднім навантаженням кгс. Цей момент буде досягнуто, коли маленька стрілка на допоміжному лімбі індикатора співпадає з червоною точкою на шкалі.
4. Повертанням барабана, розташованого під маховиком, встановити нульову позначку чорної шкали проти кінця великої стрілки.
5. Плавним натисканням руки на клавішу увімкнути привід механізму навантаження. При цьому на індентор подається загальне навантаження і велика стрілка індикатора обертається проти годинникової стрілки. Після закінчення вдавлювання основне навантаження автоматично знімається, і на індентор діє лише попереднє. При цьому велика стрілка індикатора переміщується за годинниковою стрілкою та в момент зупинки вказує на відповідній шкалі число твердості за Роквеллом. При випробуванні алмазним конусом під навантаженням 60 або 150 кгс відлік проводять за чорною шкалою, а при випробуванні сталеву кулькою під навантаженням 100 кгс - червоною шкалою.
6. Записавши отримане значення твердості таблицю, повторюють випробування в іншому місці зразка. Попередньо обертанням маховика проти годинникової стрілки опускають стіл твердоміра разом із зразком і тим самим знімають попереднє навантаження.
7. На кожному зразку рекомендується робити не менше трьох вимірів у різних точках та підраховувати середнє значення твердості [35].

Висновки

Розглянуто спосіб отримання сортового прокату зі сталі 25X17H2Б-Ш. Визначено точний хімічний вміст елементів і обрахована за допомогою діаграми Шефлера за вмістом хімічних елементів структура сталі. Завдяки цьому підібрані експериментальні режими термічної обробки зразків для отримання комплексу механічних характеристик, які задовольняють умовам експлуатації даної сталі.

Проведений аналіз сучасних методик вимірювання експлуатаційних властивостей сталі, а також сучасного обладнання, що дасть змогу підвищувати якість проведених результатів. Обрані методики вивчення мікроструктури і механічних властивостей досліджуваних матеріалів.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Визначення структурного класу та призначення режиму термічної обробки сталі 25X17H2Б-Ш

Особливо важливим показником, який впливає на кінцеві властивості і характеристики є правильне визначення структурного класу сталі. Спираючись на ці данні можна коректно призначити режим термічної обробки.

Структурний клас сталі 25X17H2Б-Ш встановлюю за діаграмою Шеффлера (рис. 3.1).

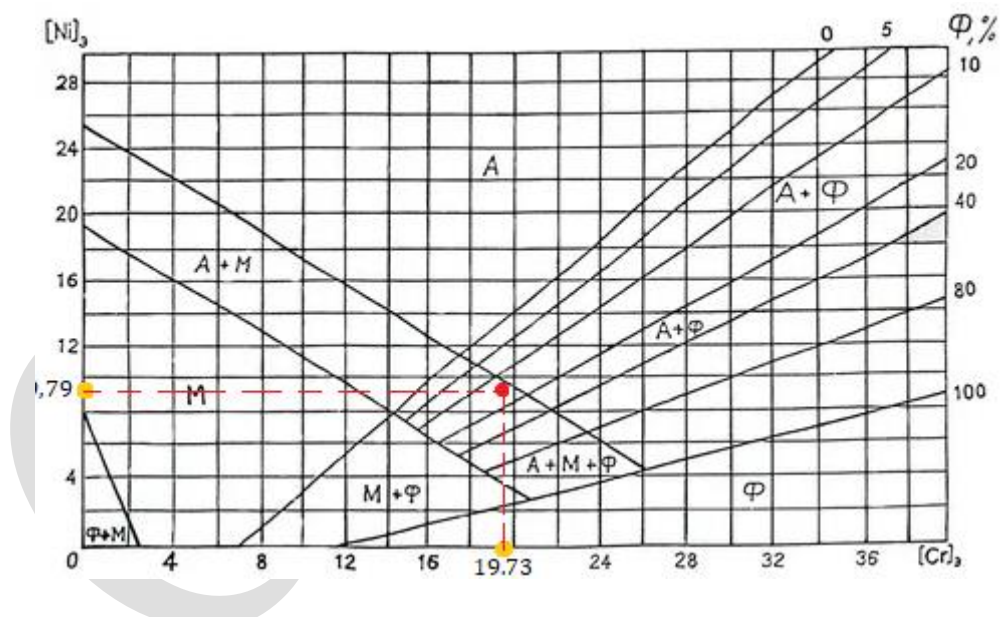


Рисунок 3.1 – Визначення структури сталі за діаграмою Шеффлера

За даною технологією визначається еквівалент по двум хімічним елементам: хрому і нікелю за формулами 3.1 і 3.2. При цьому використовується відсотковий вміст хімічних елементів- складових сталі (табл. 2.1). Визначивши значення даних еквівалентів ми маємо можливість

встановити структурний клас даної сталі. Розташування точки перетину двох еквівалентів вказує на приналежність матеріалу до того чи іншого класу [43].

$$Ni_E = Ni + 30C + 0,5Mn + 30N + 10B \quad (3.1)$$

$$Ni_E = 1,61 + 30 \cdot 0,11 + 0,5 \cdot 0,38 + 30 \cdot 0 + 10 \cdot 0 = 9,79$$

$$Cr_E = Cr + 1,25Mo + 1,5Si + 0,5Nb + 3,5Ti + 2Al + W + V \quad (3.2)$$

$$Cr_E = 17,16 + 1,25 \cdot 0,07 + 1,5 \cdot 0,4 + 0,5 \cdot 0 + 3,5 \cdot 0,005 + 2 \cdot 0 + \\ + 0,02 + 0,04 = 19,73$$

Теоретично визначені координати точки перетину вказують на те, що сталь 25X17H2Б-Ш відноситься до перехідного класу, складу: аустеніт, ферит, мартенсит. На відміну від опрацьованих літературних джерел, в яких вказується, що дана сталь належить до мартенситного класу, нами було встановлена приналежність до іншого структурного класу. Існують роботи, в яких 25X17H2Б-Ш класифікують як сталь подвійного перехідного класу аустеніт- мартенсит, що є припустимо і для нашого випадку. Дане ствердження можна обґрунтувати незначною кількістю фериту, кількість якого було визначено за формулою 2.3.

При визначенні кількості фериту враховується значення еквівалентів Ni_E і Cr_E :

$$\Phi = 1,05Cr_E + 5,31 - \sqrt{1,1Cr_E^2 - 35,4Cr_E + 45,7Ni_E + 284}, \% \quad (2.3)$$

$$\Phi = 1,05 \cdot 19,04 + 5,31 - \sqrt{1,1 \cdot 19,04^2 - 35,4 \cdot 19,04 + 45,7 \cdot 5,1 + 284} = \\ = 19,99 + 5,31 - \sqrt{398,77 - 674,02 + 233,07 + 284} = 3,33\%$$

Встановлено, що дана сталь містить 3,33 % фериту. Ферит (позначають Ф або α -фаза) є твердим розчином впровадження вуглецю в α -Fe з ОЦК-гратами. Оскільки ОЦК-решітка існує в двох температурних областях, в сплавах Fe-C розрізняють низькотемпературний (α -) і високотемпературний (δ) ферит. δ -залізо (δ -ферит) – це один з твердих розчинів в системі залізо-вуглець, високотемпературна модифікація фериту. δ -ферит є алотропічною модифікацій заліза, яка існує при температурі вище 1390°C. Гранична концентрація вуглецю в α -фериті становить 0,025%, а в δ -фериті – приблизно 0,1%. Настільки низька розчинність вуглецю в α -Fe обумовлена малими розмірами міжвузольних пір в кристалічній решітці ОЦК, так що значна частка атомів вуглецю змушена розміщуватися на дефектах (вакансіях, дислокаціях, кордонах зерен). Властивості фериту близькі до властивостей заліза. Тому він є м'якою фазою з відносно низькою твердістю по Брінелю: при кімнатних температурах HB = 80-130. Він пластичний і має межу міцності $\sigma_b = 300$ МПа і відносне подовження $\delta - 30\%$ [43].

Також δ -ферит негативно впливає на механічні властивості. δ -ферит, що утворився при високій температурі, був зафіксований гартуванням, оскільки перетворення феррит-аустеніт не встигло повністю відбутися.

Відомо, що термічна обробка особливо високоміцних корозійностійких сталей аустенітно-мартенситного-феритного класу, зокрема 25X17H2Б-Ш, складається з декількох послідовних операцій, перед авторами роботи постала задача запропонувати оптимальну технологію яка забезпечить необхідний рівень експлуатаційних та механічних властивостей. Тому питання дослідження впливу тремічної обробки на властивості становить теоретичний та практичний інтерес.

На основі отриманих даних з проведених розрахунків за діаграмою Шефлера та проведеного літературного огляду можна призначити режим термічної обробки сталі 25X17H2Б-Ш.

Термічна обробка сталі 25X17H2Б-Ш включає в себе: подвійний відпал

гартування, обробку холодом і відпуск. Обрані режими термічної обробки для дослідження наведені на рисунку 3.2

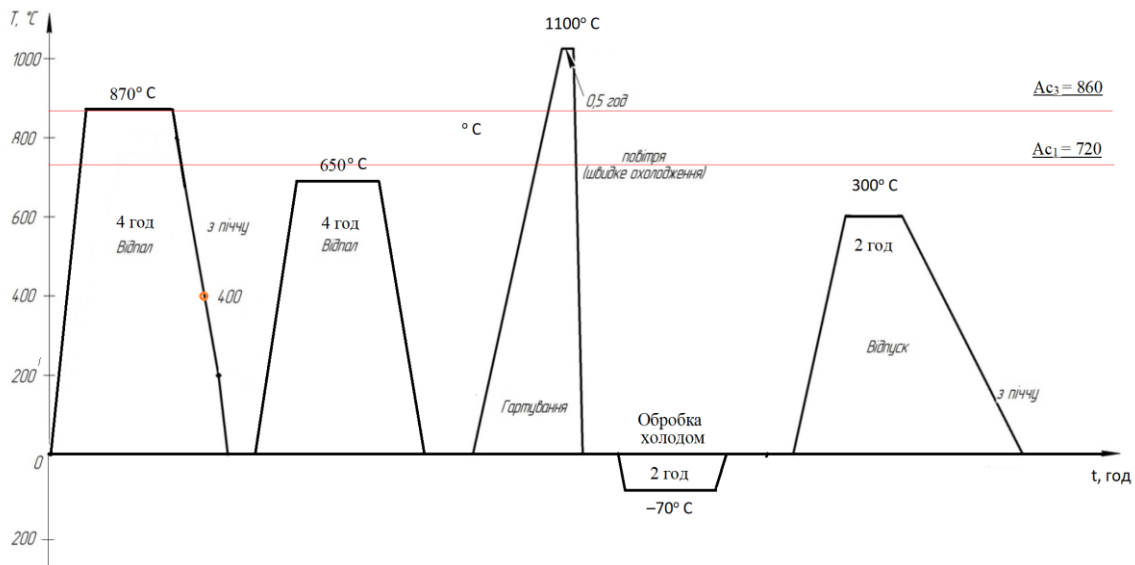


Рисунок 3.2 – Режим термічної обробки сталі 25Х17Н2Б-Ш

Відпал являє собою операцію термічної обробки, яка полягає в нагріванні сталі, витримці при даній температурі і наступному повільному охолодженні разом з піччю. В результаті відпалу утворюється стійка структура, вільна від залишкових напружень. Відпал є важливою операцією термічної обробки для сталі [21].

Мета відпалу:

- 1) зниження твердості і підвищення пластичності для полегшення обробки металів різанням;
- 2) зменшення внутрішнього напруження, яке виникає після обробки тиском (кування, штампування), механічної обробки і т.д.;
- 3) зняття крихкості і підвищення ударної в'язкості;
- 4) усунення структурної неоднорідності складу матеріалу, що виникає при затвердінні виливка в результаті ліквідації;
- 5) зміна властивостей наклепаного металу [22].

Враховуючи хімічний склад, форми і розміри деталі нагрів повинен бути повільним до 800 градусів з витримкою 10-20 год. Після витримки проводиться охолодження з пічкою при малій швидкості. Якість відпалу визначатимемо по твердості.

Гартування – це операція при якій здійснюють нагрівання деталей трохи вище критичних температур з подальшим швидким охолодженням [21].

Основна мета гартування в даному випадку - отримання високої твердості, зносостійкості і фізико-механічних властивостей.

Різне збільшення твердості і міцності в процесі гартування відбувається через фазові перетворення структури в процесі нагрівання і охолодження і утворення не рівноважних твердих структур – мартенситу [22].

Нагрівання деталей повинно бути досить повільним, щоб не виникли напруги і тріщини [22]. Охолодження деталі є найбільш відповідальним етапом операції. Швидкість охолодження повинна бути такою, щоб забезпечити отримання потрібної структури - мартенсит. Забезпечити необхідні механічні властивості оброблюваної деталі.

Критичною швидкістю гартування називається швидкість охолодження, що забезпечує отримання структури - мартенсит і залишковий аустеніт. При швидкості охолодження менше критичної в структурі загартованої сталі, поряд з мартенситом, буде знаходитися тростит, а при подальшому зменшенні швидкості виходять структури троститу або сорбіту без мартенситу. Для отримання структури мартенситу потрібно переохолодити аустеніт до температури початку мартенситного перетворення даної сталі шляхом швидкого охолодження сталі [22].

Структура сталі 25X17H2Б-Ш після гартування зображено на рисунку 3.3



Рисунок 3.3 – Міроструктура сталі 25X17H2B-Ш

Обробка холодом полягає в зануренні на деякий час загартованих деталей в середовище, що має температуру нижче нуля. Сутність термообробки холодом у тому, що з багатьох марок промислових сталей температура закінчення мартенситного перетворення M_k лежить нижче 0°C , отже, після гартування у структурі є залишковий аустеніт. Чим нижче розташована точка M_k , тим більше залишкового аустеніту у структурі загартованої сталі [43].

З метою зменшення кількості залишкового аустеніту сталь після загартування охолоджують до негативних температур. В результаті відбувається поновлення мартенситного перетворення.

Збільшення кількості мартенситу з допомогою аустеніту викликає підвищення твердості, стабілізацію розмірів, збільшення обсягу, підвищення феромагнітних характеристик [43].

Ефект обробки холодом визначається кількістю перетвореного при негативних температурах аустеніту. Чим нижче лежить M_k , тим більше аустеніту перетворюється на мартенсит, тим більший ефект від обробки.

Витримка сталі після гарту при кімнатній температурі більше 3-6 годин стабілізує аустеніт, і тому він у меншій кількості перетворюється на

мартенсит при подальшому охолодженні і, таким чином, зменшує ефект обробки холодом. В даному випадку обробку холодом виконують відразу після загартування.

На практиці обробку холодом застосовують у таких випадках: при обробці швидкорізальних сталей для скорочення тривалості циклу термообробки та поліпшення ріжучих властивостей; при обробці високохромистих сталей, в яких після гарту є велика кількість залишкового аустеніту; для підвищення твердості та зносостійкості цементованих деталей з вуглецевих та легованих сталей; для стабілізації розмірів калібрів кілець шарикопідшипників та інших особливо точних виробів; підвищення магнітних характеристик магнітів. Обробку холодом рекомендується застосовувати безпосередньо після гартування.

Відпуск сталі є кінцевою операцією термічної обробки, яка формує структуру, а отже, і властивості сталі [21].

Відпуск полягає в нагріванні сталі до різних температур (в залежності від виду відпуску, але завжди нижче критичної точки A_{c1}), ізотермічній витримці при цій температурі і охолодженні з різними швидкостями.

Призначення відпуску – зняти внутрішні напруження, що виникають в процесі гартування, і отримати необхідну структуру. Залежно від виду відпуску структура сталі може бути мартенсит, тростит або сорбіт відпуску [21].

3.2 Результати металографічного аналізу

Візуальний огляд спеціально підготовленого зразка (темплета) надав можливість встановити наявні макродефекти структури сталі. Дослідження проводили допомогою лупи, без застосування мікроскопів. Встановлено, що максимальна оцінка макродефекту становить 1 бал (рис.3.4)

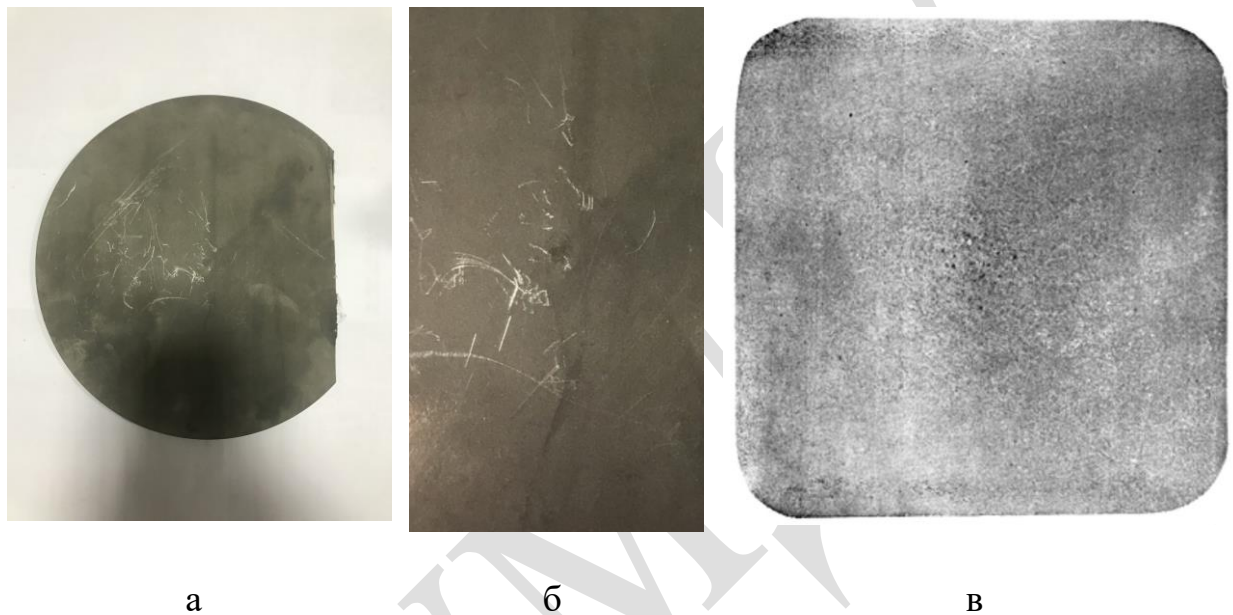


Рисунок 3.4 – Центральна пористість: а – зразок зі сталі 25Х17Н2Б-Ш на якому виявлено дефект; б – зразок сталі у збільшенні; в – центральна пористість з оцінкою в 1 бал згідно ГОСТ

Таким чином була встановлена наявність двох типів дефектів: центральна пористість і загальна п'ятниста ліквіація (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1

Оцінка макродефектів сталі 25X17H2Б-Ш

№ п/п	Назва дефекту	Оцінка, бал
1	Центральна пористість	1
2	Точкова неоднорідність	0
3	Загальна п'ятниста ліквіація	1
4	Крайова плямова ліквіація	0
5	Ліквіаційний квадрат	0
6	Підусадкова ліквіація	0
7	Підкоркові бульбашки	0
8	Міжкристалічні тріщини	0
9	Пошарова кристалізація	0
10	Світла смужка	0

Виявлені дефектів не несуть в собі особливого впливу на функціонування деталей з особливо високояксною сталі 25X17H2Б-Ш. Сталь є особливо високоякісною тобто відповідає всім вимогам.

3.3 Визначення неметалевих включень

Випробування по визначенню неметалевих включень в сталі 25X17H2Б-Ш проводилися металографічним способом за методом «Ш» під мікроскопом МІМ-8М при збільшенні 100 крат порівнянням з еталонними шкалами при перегляді всієї площі нетравленого шліфа з повздовжнім направленням волокон [43].

За п'яти бальною шкалою ми класифікували наступні види неметалевих включень оксиди рядкові - ОР, оксиди точкові – ВІД, силікати тендітні – СХ, силікати пластичні – СП, силікати, що не деформуються – СН, сульфідні – С, нітриди та карбонітриди рядкові – НС, нітриди та карбонітриди точкові – НТ, нітриди алюмінію – НА.

До оксидів відносяться включення окремих дрібних зерен, частіше корунду та шпинелі, розташовані у вигляді рядків. Точкові включення переважно простих та складних кристалів оксидів у вигляді окремих частинок або розрізнених груп, розосереджених по всій площині шліфу [43].

До силікатів відносяться зруйновані в результаті деформації витягнуті в суцільні рядки крихкі силікати або силікатні стекла, іноді разом із включеннями оксидів. Пластичнодеформовані включення силікатів або силікатного скла, витягнуті у напрямку волокна, що відрізняються від сульфідів темнішим кольором і прозорістю в темному полі зору. Недеформовані (глобулярні) поодинокі або групові округлі або неправильної форми включення силікатів та силікатного скла, великі частинки оксидних включень, частіше корунду [43].

До сульфідів відносяться пластичні, непрозорі в темному полі зору, витягнуті у напрямку волокна окремі включення або групи включень, як правило, подвійного сульфїду залїза та марганцю.

До нітрїдів відносяться рядки та розосереджені по всьому полю зору жовто-рожеві кристали нітрїдів та карбонїтрїдів титану, переважно

правильної форми. Рядки та розосереджені по всьому полю зору блідо-рожеві включення нітридів та карбонітридів ніобію неправильної та округлої форми.

Результати випробування наведені в таблиці 3.2

Таблиця 3.2

Результати випробувань сталі 25X17H2Б-Ш за методом «Ш»

ОС	0
ОТ	1
СХ	0
СП	0
СН	0
С	0

Було виявлено незначну кількість оксиду точкового (рис. 3.5), яку оцінено в 1 бал. Така наявна кількість не несе значного впливу на якісні характеристики сталі.

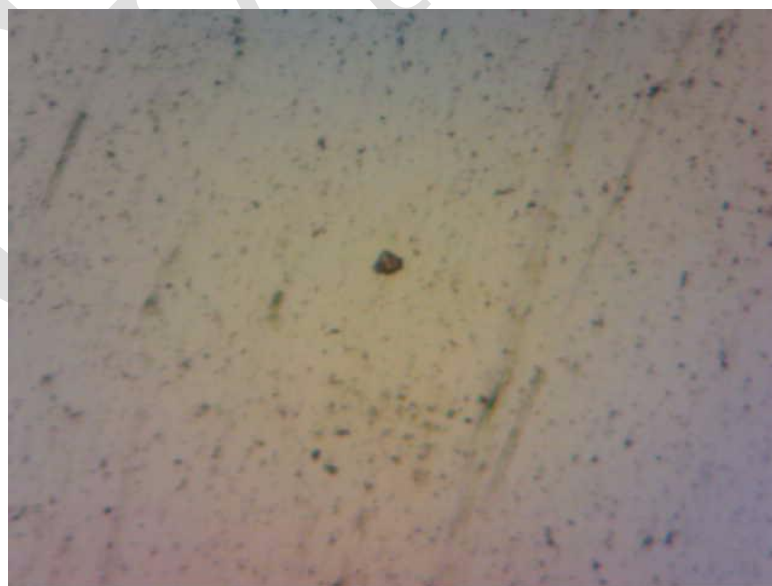


Рисунок 3.5 –Виявлений дефект на сталі 25X17H2Б-Ш (оксид точковий)

В результаті можна сказати, що сталь 25X17H2Б-Ш високої чистоти і якості за неметалевими включеннями, що відповідає вимогам до властивостей деталей, які виготовляються з даної марки сталі і номера плавки.

3.4 Результати визначення стійкості до міжкристалітної корозії

Для визначення ступеня корозії у зерні матеріалу існує кілька методів, застосування яких залежить від хімічного складу випробуваного матеріалу. В нашій роботі враховуючи хімічний склад сталі ми використали метод АМУ.

Важливим фактором перед проведенням випробувань за даним методом є підготовка зразків, які мають забезпечувати можливість згину на кут 90° . Нами було підготовлено 8 зразків для забезпечення точних результатів випробування.

Утворена на поверхні зразків після провокуючого нагріву до шліфування була видалена хімічним травленням. Травлення проводили при температурі 20°C у розчині: азотної кислоти густиною $1,35 \text{ г/см}^3$, амонію фтористого та води до повного зникнення окалини.

Випробування проводили у скляній колбі зі зворотним холодильником. Потім колбу заповнювали розчином для випробувань близько 6 см на 1 см поверхні зразка.

Реакційну посудину з розчином та зразками для випробування нагрівали і безперервно кип'ятили, не допускаючи нагрівання холодильника. Тривалість витримки в киплячому розчині становив – 8 годин.

Після витримки у розчині зразки промили водою та просушили.

На зразках було виявлено шар міді, який не вдалося змити струменем води, його видалили, промиваючи зразки в 30% розчині азотної кислоти.

Після закінчення випробувань зразки було зігнуто під кутом 90°C для виявлення міжкристалітної корозії, що зображено на рисунку 3.6.



Рисунок 3.6 – Результати випробувань на стійкість до МКК

Проаналізувавши результати дослідження ми дійшли висновку, що всі зразки показали повну відсутність схильності до міжкристалітної корозії. Це можна пояснити тим що запропонований режим термічної обробки абсолютно точно задовільняє потреби сталі 25X17H2B-Ш. В результаті формується структура, яка є стійкою до міжкристалітної корозії.

3.5 Результати випробувань на механічні властивості

Механічні властивості сталі визначаються тим, як вона сприймає зовнішні навантаження, тобто пручається деформації і руйнуванню. При їх деформації спостерігається два різних види деформацій – пружні і пластичні, - які відрізняються і зовнішніми проявами і внутрішніми механізмами.

Пружні деформації відбуваються за рахунок зміни міжатомних відстаней, вони не змінюють структуру металу, його властивості та є оборотними. Оборотність означає, що після зняття навантаження тіло приймає колишню форму і розміри, тобто залишкова деформація відсутня.

Пластичні деформації виникають за рахунок утворення руху дислокацій, вони змінюють структуру і властивості металу. Після зняття навантаження

деформації залишаються, тобто пластичні деформації мають незворотній характер. Пружний стан існує до тих пір, поки у всіх зернах металу дислокації нерухомі. Перехід до пластичного стану спостерігається в такому інтервалі навантажень, при яких рух дислокацій (і, отже, пластична деформація) відбувається тільки в окремих кристалічних зернах, а в інших продовжує реалізовуватися механізм пружної деформації. Пластичний стан реалізується, коли рух дислокацій відбувається у всіх зернах зразка. Після перебудови дислокаційної структури (завершення пластичної деформації) метал повертається в пружний стан, але зі зміненими пружними властивостями.

Зазвичай пластичну деформацію досліджують при одноосьовому розтягуванні зразка. При цьому визначаються межу плинності σ_T , відносне подовження після розриву δ_5 і відносне звуження після розриву ψ .

Результати випробувань наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Результати випробувань на механічні властивості

Матеріал	Початкова базова довжина, мм	Умовна межа плинності, МПа	Тимчасовий опір, МПа	Відносне подовження, %	Відносне звуження, %	Ударна в'язкість КСУ, Дж/см ²	Твердість по Роквелу, HRC
25X17 Н2Б-Ш	50	1180	1480	13	48	51	28

Визначення ударної в'язкості проводилися в умовах кімнатної температури по ГОСТ 9454-78; випробування на розтягнення зразків проводилося по ГОСТ 1497-84.

Твердість на зразках згідно вимірюванням дорівнює 28 HRC, що є задовільним для виробів зі сталі 25X17H2Б-Ш.

Як видно з результатів досліджень термічна обробка, що включає в себе гарутвання при температурі 1100°C, обробку холодом при -70°C і відпуск при 600°C дає високі значення пластичних характеристик і ударної в'язкості.

Висновки

Перший етап проведених досліджень полягав у пошуку оптимальної термічної обробки. При виборі правильного режиму ми спиралися на отримані данні з діаграми Шефлера та металографічного аналізу.

Характеристиками, що показали доцільність саме цього режиму термічної обробки були стійкість сталі до міжкристалітної корозії, твердість, межа плинності, межа міцності та інші механічні характеристики.

Отримані результати дозволили остаточно визначитися з режимом, а саме: двоступінчатий відпал: перший етап 870°C з охолодженням в печі, другий етап 630°C з охолодженням на повітрі, гарутвання при 1100°C , обробка холодом при -70°C та відпуск за температури 300°C . Така термічна обробка дозволяє отримати аустенітно-мартенситну структуру, яка характеризується високими механічними характеристиками та стійкістю до МКК.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Теоретична частина

Як б не була обрана модель формування ціни на науково-дослідну роботу, будь-яка ціна розраховується на основі собівартості розробки. Навіть в тому випадку, коли ринкова ціна на власну комерційну розробку визначається на основі вивчення ринку, питання калькуляції собівартості є першорядним для розрахунку прибутку, визначення рентабельності роботи.

При визначенні собівартості науково-дослідної роботи, прийнято виділяти наступні види витрат (статті витрат) [55]:

1. Матеріали

Витрати за статтею «Матеріали» розраховуються, виходячи з даних про кількість використовуваних матеріалів, цінах на різні види матеріалів, кількість і ціну зворотних відходів. У розшифровку витрат за цією статтею включаються відомості про кількість матеріалів і ціну, за якою вони були придбані. При цьому витрати підтверджуються договорами поставки матеріалів, рахунками, накладними та іншими фінансовими документами. Якщо матеріали вже були у виконавця, вони оцінюються за ринковою ціною, що існувала на час їх використання. Витрата матеріалів підтверджується матеріальною специфікацією [49].

При використанні корегованої моделі ціни, витрати на матеріали перераховуються відповідно до реальних, документально підтверджених витрат виконавця. В іншому випадку, для того, щоб врахувати зростання цін на матеріали, в договір може бути внесений пункт про те, що вони закупаються замовником науково-дослідної роботи і передаються виконавцю для виконання роботи (давальницький матеріал). Це дозволяє замовнику контролювати ціну і якість закупаваного матеріалу. Така система

використовується також у разі, коли для виконання науково-дослідної роботи необхідний рідкісний, специфічний матеріал, зв'язок з виробником якого має замовник, але не має виконавець [56].

2. Спеціальне обладнання для наукових (експериментальних) робіт

Під спеціальним мається на увазі обладнання та вимірювальні прилади, що спеціально купуються або створюються для виконання даної науково-дослідної роботи. Після виконання робіт, для яких і за рахунок яких було придбано спеціальне обладнання, воно може бути:

- передано замовнику;
- залишено на відповідальному зберіганні у виконавця для виконання інших робіт, що фінансуються тим же замовником (в цьому випадку його ціна вже не входить до складу витрат за наступними замовленнями) [55];
- передано виконавцю за залишковою вартістю (за згодою останнього).

3. Робота машин і механізмів

Витрати розраховуються виходячи з кількості потрібних годин часу роботи машин і механізмів та ціни однієї години машинного часу. Часто такі витрати не виділяють в окрему статтю витрат, а враховують в складі інших статей:

- оплату праці обслуговуючого персоналу, додаткова заробітна плата та відрахування з фонду оплати праці – в складі відповідних статей кошторису;
- витрати на утримання, експлуатацію та поточний ремонт машинного парку, його амортизацію, енергопостачання та придбання пально-мастильних матеріалів – в складі накладних витрат [55-56]

4. Оплата праці

Витрати з оплати праці виробничих робітників та інженерно-технічних працівників (ІТП) розраховується на основі трудомісткості робіт. У тому випадку, коли відомо і не заперечується сторонами точна необхідна кількість і кваліфікація кожного працівника, витрати на оплату праці можуть бути визначені прямим рахунком виходячи з кількості задіяних співробітників, їх

тарифних розрядів і преміальних коефіцієнтів, кількості нормо-годин кожного працівника [45].

5. Додаткова заробітна плата

У поняття «додаткова заробітна плата» включаються виплати працівникам підприємства, не обумовлені безпосереднім виконанням трудових обов'язків (відпускні; надбавки за вислугу років; виплати за підсумками року; допомоги по вагітності та пологах; оплата додаткових відпусток працівникам шкідливих виробництв; доплати працівникам, які не досягли 18 років; надбавки за роботу в другу і третю зміни і т. п.). Витрати на додаткову заробітну плату розраховуються виходячи з фонду оплати праці по даній науково-дослідній роботі і нормативу додаткової заробітної плати, що встановлюється в цілому по підприємству на підставі даних про її розмірах за минулий період.

6. Обов'язкові відрахування з фонду оплати праці

Страхові внески до фондів державного страхування за ставкою, яка встановлюється законодавством в процентах від фонду оплати праці (як за основною, так і по додатковій заробітній платі) [55].

7. Витрати на відрядження

Витрати на відрядження складаються з оплати відрядженим працівникам добових, проїзду до місця відрядження і назад і проживання. До кошторисі договірної ціни додається розшифровка витрат на відрядження, де вказується кількість відряджень, місце призначення, кількість співробітників, відряджених в кожне місце призначення.

8. Накладні витрати

До накладних витрат відносять витрати, які не мають прямого відношення до виконання конкретної науково-дослідної роботи, але забезпечують функціонування підприємства в цілому. До складу накладних витрат можуть входити [55]:

– загальновиробничі витрати.

- загальноорганізаційні витрати.
- амортизаційні відрахування на повне відновлення основних засобів.

Накладні витрати розраховуються у відсотках від фонду оплати праці по даній науково-дослідній роботі. При цьому величина процентного нормативу визначається виходячи з даних минулого періоду як частка від ділення загальної суми накладних витрат за період на загальну величину фонду оплати праці підприємства. Процентний норматив накладних витрат встановлюється єдиним для підприємства-виконавця на певний період і застосовується для всіх науково-дослідних робіт [43].

Таким чином, собівартість науково-дослідної роботи складається з перерахованих видів витрат. При цьому статті витрат:

- матеріали,
- спеціальне обладнання,
- робота машин і механізмів,
- роботи, які виконують сторонні підприємства та організаціями,
- витрати на відрядження - можуть і не враховуватися в кошторисі, якщо характер роботи не передбачає відповідних витрат.

У разі, коли договірна ціна формується як фіксована, за угодою сторін може бути введена додаткова стаття витрат «Непередбачені витрати», формується як відсоток від собівартості науково-дослідної роботи [56].

4.2 Практична частина

Загальна формула для розрахунку витрат на науково-дослідну роботу:

$$V_{нд} = V_{матер.} + V_{доп.матер.} + V_{електр.} + A_{обл.} + V_{робіт} + V_{прац} \quad (4.1)$$

В таблиці 4.1 приведений кошторис витрат на виконання науково-дослідної роботи.

Витрати на основні матеріали, покупні вироби і напівфабрикати включають різні матеріали (наприклад, сталь різних марок) і вироби, що є об'єктом дослідження. Ціна за 1 кг круга сталі 25X17H2Б-Ш становить:

$$V_{\text{матер.}} = 1555,00 \text{ грн.}$$

Витрати на допоміжні матеріали включають витрати на кислоту для травлення зразків, солі для проведення випробувань на стійкість до МКК та інші матеріали, що використовуються безпосередньо при проведенні досліджень.

Таблиця 4.1

Калькуляція витрат на виконання науково-дослідної роботи

Статті витрат	Сума, грн	Позначення
Основні матеріали: Круг, сталь 14X17H2 (10 кг)	1555,00	$V_{\text{матер.}}$
Допоміжні матеріали: Сірчана кислота (200 мл) Мідь сірчанокисла (сульфат) 5-водна (0,5 кг)	36,00 80,00	$V_{\text{доп.матер.}}$
Електроенергія	1013,48	$V_{\text{електр}}$
Спеціальне устаткування Коефіцієнт амортизації на електричну піч	450,00	$A_{\text{обл}}$
Металографічні дослідження структури металу	350,00	$V_{\text{робіт}}$
Визначення хімічного складу сталі методом фотоелектричного спектрального аналізу	270,00	
Випробування на розтяг з визначенням σ_T ; σ_B ; δ ; ψ	280,00	
Випробування твердості за Брінелем	100,00	

Випробування стандартних зразків на ударний вигин	320,00	
Випробування на стійкість до МКК	130,00	
Заробітна плата працівника	2000,00	$V_{\text{прац}}$
Разом:	5778,00	$V_{\text{нд}}$

Сірчана кислота для травлення зразків 200 мг – вартість ставить 36,00 грн.

Мідь сірчанооксида (сульфат) 5-водна 0,5кг для проведення випробувань на стійкість до МКК – вартість ставить 80,00 грн.

Загальна вартість:

$$V_{\text{доп.матер.}} = 36 + 80 = 116,00 \text{ грн.}$$

Електроенергія.

Вартість 1 кВт = 1,68 грн. Потужність електричної печі становить 11,6 кВт.

Вартість роботи печі грн/год. $11,6 \times 1,68 = 19,49$ грн.

Загальна вартість електроенергії за 52 год. роботи печі:

$$V_{\text{енерг.}} = 19,49 \times 52 = 1013,48 \text{ грн.}$$

Витрати на спеціальне обладнання включають витрати на придбання його для виконання даної роботи.

Коефіцієнт амортизації на електричну піч.

Оцінка технологічного обладнання 40000 грн., період експлуатації 96 місяців (8 років).

Норма амортизування = $100\% : 8 = 12,5\%$ на рік.

Сума = $40000 \times 12,5\% : 100\% = 4800$ грн. на рік.

Амортизаційні відрахування щомісяця = $4800 : 12 = 400$ грн.

Амортизаційні відрахування на один день = $400 : 30 = 13,30$, а на виконання науково-дослідної роботи 10 днів:

$$A_{\text{обл.}} = 13,30 \times 10 = 133,00 \text{ грн.}$$

Металографічний аналіз 1 шт. мікрошліфа становить 350,00 грн., для дослідження у нас 1 шт.:

- абразивний круг становить 150,00 грн;
- шліфувальний папір 10 шт., ціна за 1 шт. 12 грн, $12 \times 10 = 120,00$ грн;
- абразивна паста: паста Гої становить 70,00 грн;
- електроенергія використана при роботі з мікроскопом становить 10,00 грн.

Загальна сума, яка витрачена на металографічний аналіз становить 350,00 грн.

Визначення хімічного складу сталі методом фотоелектричного спектрального аналізу 1 шт. становить 200,00 грн., для дослідження у нас 1 шт.:

- абразивний круг становить 120,00 грн;
- електроенергія використана при роботі з спектрометром становить 80,00 грн.

Загальна сума, яка витрачена на спектральний аналіз становить 200,00 грн.

Випробування на розтяг з визначенням σ_T ; σ_B ; δ ; ψ 1 шт. становить 275,00 грн., для дослідження у нас 1 шт.:

- різець токарний становить 120,00 грн;
- полотна стрічкопильні становить 120,00 грн;
- електроенергія використана при роботі з розривною машиною становить 35,00 грн.

Загальна сума, яка витрачена на випробування на розтяг становить 275,00 грн.

Випробування твердості за Роквелом 1 шт. становить 30,00 грн., для дослідження у нас 1 шт.:

- абразивний круг становить 28,00 грн;
- електроенергія використана при роботі з твердоміром становить 2,00 грн.

Загальна сума, яка витрачена на випробування твердості за Брінелем становить 30 грн.

Випробування стандартних зразків на ударний вигин 1 шт. становить 45,00 грн., для дослідження у нас 1 шт.:

- полотно стрічкопильні становить 20,00 грн;
- спеціальна фреза для фрезерування концентратора становить 25,00 грн.

Загальна сума, яка витрачена на випробування на розтяг становить 45 грн.

Випробування на стійкість до МКК 1 шт. становить 160,00 грн., для дослідження у нас 1 шт.:

- полотно стрічкопильні становить 30,00 грн;
- абразивний круг становить 80,00 грн;
- шліфувальний папір 15,00 грн;
- електроенергія використана при роботі з розривною машиною становить 35,00 грн.

Загальна сума, яка витрачена на випробування на розтяг становить 160 грн.

$$V_{\text{робіт}} = 350 + 200 + 275 + 30 + 45 + 160 = 960,00 \text{ грн.}$$

Заробітна плата працівника за 10 днів випробувань становить:

$$V_{\text{прац}} = 200 \times 10 = 2000 \text{ грн.}$$

Загальний підсумок розрахунку витрат на науково-дослідну роботу:

$$\begin{aligned} V_{\text{нд}} &= V_{\text{матер.}} + V_{\text{доп.матер.}} + V_{\text{електр.}} + A_{\text{обл.}} + V_{\text{робіт}} + V_{\text{прац}} = \\ &= 1013,48 + 116 + 1555 + 133 + 960 + 2000 = 5777,48 \text{ грн. (п'ять тисяч} \\ &\text{сімсот сімдесят сім гривень, сорок вісім копійок)} \end{aligned}$$

Висновки

Сучасна господарська система характеризується необхідністю постійного зростання продуктивності в умовах обмеженості первинних ресурсів. Це досягається за рахунок безперервної інноваційної діяльності і науково-дослідних робіт в різних секторах і на різних структурних рівнях економіки.

Попит на науково-технічну продукцію в світі постійно зростає, оскільки вона безпосередньо пов'язана, з одного боку, з вдосконаленням і розвитком діючих виробництв з метою підвищення їх технічного рівня і економічної ефективності, а з іншого боку – з оновленням продукції, що випускається, з постановкою на виробництво нових висококонкурентних виробів.

На виконання науково-дослідної роботи було витрачено $V_{нд.} = 5777,48$ грн. (п'ять тисяч сімсот сімдесят сім гривень, сорок вісім копійок).

$V_{матер.} = 1555,00$ грн.

$V_{доп.матер.} = 116,00$ грн.

$V_{енерг.} = 1013,48$ грн.

$A_{обл.} = 133,00$ грн.

$V_{робіт} = 2000,00$ грн.

$V_{прац} = 960,00$ грн.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

5.1 Техніка безпеки при термічній обробці

Застосовуючи термічну і хіміко-термічну обробку металів слід пам'ятати про можливий вплив на працівників небезпечних і шкідливих для здоров'я виробничих факторів, у тому числі [51]:

- незахищені рухливі елементи виробничого обладнання;
- заготовки, готові вироби або деталі;
- рухомі транспортні засоби;
- аерозолі фіброгенного впливу (пилу);
- несприятливий мікроклімат робочої зони;
- підвищена температура поверхонь устаткування і матеріалів;
- знижена температура при обробці деталей холодом;
- небезпечний рівень напруги в електричному ланцюзі;
- підвищений рівень електромагнітного випромінювання (ультрафіолетового, видимого, інфрачервоного, лазерного, мікрохвильового, радіочастотного);
- підвищена напруженість магнітного поля;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- знижена освітленість робочого місця;
- пожежонебезпечність і вибухонебезпечність;
- хімічні фактори загальнотоксичного, подразнюючого, канцерогенного впливу на організм працівника;
- важкість і напруженість праці [52].

Ці фактори є дуже важливими і їм слід приділяти особливу увагу.

Людина, що бере участь у виробничому процесі, постійно наражається на небезпеку, особливо при роботі на устаткуванні [52].

Шкідливі речовини (пил, пари металоорганічних з'єднань, шкідливі речовини) проникають в організм людини через дихальні шляхи, через шкіру

і надають подразнюючу дію на слизову оболонку очей, дихальні шляхи, шкіру. В організмі людини пил викликає подразнення дихальних шляхів, призводить до появи специфічних захворювань. Концентрація пилу та інших шкідливих речовин у повітрі робочої зони не повинна перевищувати значень, встановлених ГОСТ 12.1.003.

Для досягнення нормативних значень вмісту шкідливих речовин необхідно застосовувати повітряні відвідники. Місцеві відвідники повинні бути розташовані таким чином, щоб відсмоктуване повітря не проходило через зону дихання працівника. В якості місцевих відсмоктувачів можна застосовувати бортові відсмоктувачі. Круглі ванни і шахтні термічні печі рекомендується обладнати кільцевими відсмоктувачами. Не допускається поєднувати повітроводи витяжних систем від термічних печей і від гартівних масляних баків і ванн (через можливе загоряння масла) [51].

На організм людини великий вплив робить мікроклімат приміщення.

У цеху повинні бути сприятливі метеорологічні умови праці відповідно до ГОСТ 12.1.005, значення температури, відносної вологості і швидкості руху повітря встановлюються для робочої зони виробничих приміщень залежно від категорії тяжкості виконуваної роботи, величини надлишків явного, що виділяється в приміщенні, тепла і періоду року. Оптимальні норми температури, відносної вологості і швидкості повітря в робочій зоні виробничого приміщення показані в таблиці 5.1 [53].

Категорії робіт – це розмежування робіт на основі загальних енерговитрат організму, вимірюваних в Дж/с.

Необхідно досягати нормативних значень мікроклімату. У теплий період року для зниження температури і вологості повітря необхідно застосують штучну і природну вентиляцію приміщення. Аерацію слід робити шляхом відкривання вікон і світлоаераційних ліхтарів, отворів вентиляційних шахт. В якості вентиляторів для штучної вентиляції можна застосовувати різні типи осьових (МЦ, Ц3 - 0,4) і радіальних (Ц4 - 70, Ц4 - 76) вентиляторів. У холодний період слід влаштовувати повітряні системи опалення, суміщені з припливною вентиляцією без рециркуляції[53].

Величезне значення має освітленість приміщення. При недостатній освітленості і поганій якості освітлення стан зорових функцій людини знаходиться на низькому вихідному рівні, підвищується стомлення зору в процесі виконання роботи, зростає ризик виробничого травматизму [51].

Таблиця 5.1

Оптимальні норми температури, відносної вологості і швидкості повітря в робочій зоні виробничого приміщення

Сезон року	Категорії робіт	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість, м/с, не більше
Холодний і перехідний період (температура зовнішнього повітря <100 °С)	Середньої тяжкості	17 - 19	60 - 40	0,3
Теплий період (температура зовнішнього повітря > 100 °С)	Середньої тяжкості	20 - 22	60 - 40	0,4

Наслідком цього є тимчасове порушення зорових функцій ока з усіма витікаючими звідси негативними наслідками небажаними як для якості трудової діяльності, так і для самої людини [51].

У той же час раціональне освітлення виробничих приміщень робить позитивний психофізіологічний вплив на працюючих, сприяє підвищенню продуктивності праці, забезпечення його безпеки, збереженню високої працездатності людини в процесі праці [53].

Освітленість робочого місця термічного ділянки згідно СНіП 23-05 повинна бути рівна 200 лк, це значення забезпечується в результаті денного світла через бічні прорізи з коефіцієнтом природного освітлення від 1 до 1,5 % або, якщо цього недостатньо, внаслідок люмінесцентних ламп типу ЛОУ, ЛСП або ламп розжарювання типу УПД, УПМ - 15. Шкали приладів і датчиків повинні забезпечуватися додатковою підсвічуванням [51].

При обслуговуванні електроустановок (ванна соляна СВС) з напругою 380 В виникає небезпека ураження електричним струмом. Воно не повинно перевищувати значень, зазначених ГОСТ 12.1.006.

Основні причини нещасних випадків від впливу електричного струму:

- випадковий дотик або наближення на небезпечну відстань до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою;
- поява напруги на металевих частинах верстатів в результаті пошкодження ізоляції.

Захист людей від ураження електричним струмом в умовах виробництва досягається наступним: наявність ізоляції, огорож, розташований на недоступній висоті, блокуваннями, наявністю захисних заземлень і автоматичного відключення, пристроєм ізолюючих підлог, а також постійним інструктажем з техніки безпеки працівників [54].

Для запобігання нещасних випадків обладнання необхідно забезпечувати спеціальними огорожами, захисними і запобіжними пристроями.

У виробничому цеху для запобігання ураження електричним струмом передбачено захисне заземлення.

Для заземлення електроустановок різних призначень і напруг в більшості випадків роблять одне спільне заземлення, що забезпечує найменший опір [51].

За наявності заземлення внаслідок стікання струму на землю напруга дотику зменшується і, отже, струм, що проходить через людину, виявляється менше, ніж у незаземленої установці. Щоб напруга на заземленому корпусі обладнання була мінімальною, обмежують опір заземлення. Для електроустановок напругою до 1000 В при ізольованій нейтралі трансформатора, генератора опір захисного заземлення повинен бути не більше 4 Ом [52].

Для того щоб зменшити або виключити взагалі вплив небезпечних і шкідливих факторів на людину, необхідний цілий комплекс заходів з охорони праці [55].

Технологічні процеси термічної і хіміко-термічної обробки металів повинні передбачати:

- усунення безпосереднього контакту працівників з хімічними речовинами, матеріалами, деталями і відходами виробництва, що надають на них шкідливий вплив;
- заміну операцій, при яких виникають небезпечні і шкідливі виробничі фактори, на операції, де зазначені фактори відсутні або мають меншу інтенсивність;
- використання автоматизованих методів визначення концентрації речовин 1-го класу небезпеки в повітрі робочої зони;
- оптимальні режими роботи устаткування, що забезпечують безперервність технологічного процесу;
- раціональний ритм роботи людей, що виконують окремі технологічні операції;
- виключення можливості створення аварійних ситуацій;
- застосування комплексної механізації та автоматизації, дистанційного управління – контролю і регулювання параметрів технологічних процесів (температури, тиску в робочому просторі печі, вмісту компонентів у газовому середовищі і т.д.);
- використання блокувальних пристроїв (з метою виключення виникнення аварійних ситуацій) і засобів світлової та звукової сигналізації про порушення технологічного процесу;
- герметизацію устаткування, з якого можливе виділення шкідливих речовин;
- своєчасне видалення і знешкодження відходів виробництва, що є джерелами небезпечних і шкідливих виробничих факторів;
- дотримання встановленої періодичності чищення гартівних баків, ємностей і нагрівальних печей;
- механізацію ручної праці.

5.2 Вимоги до технологічного процесу при гартуванні

Операції завантаження, вивантаження і транспортування деталей, що гартуються, як правило, повинні бути механізовані [54].

Гартівні масла в баках і ваннах періодично (при заливанні свіжої порції масла або після тривалої зупинки устаткування) повинні піддаватися контролю на вміст у них води, що викликає піноутворення, чим сприяє загорянню масла. Виявлена вода повинна бути видалена через спускні крани, установлені в нижній частині баків. Максимальний вміст води в гартівному маслі не повинен перевищувати 0,1% [54].

Обсяг масла в баку, у який занурюються при загартуванні і відгартуванні нагріті деталі, повинен у 4-6 разів перевищувати обсяг деталей, що завантажуються [54].

У процесі роботи необхідно візуально контролювати рівень масла в баку, щоб уникнути його викиду і загорання (що можливо при відсутності пристрою автоматичного контролю рівня), а також стежити за справністю сигналізаторів перегріву масла і пристрою для аварійного зливання.

Для загартування необхідно застосовувати масло з температурою спалаху не нижче 170°C [51].

Максимальна робоча температура нагрівання масла при загартуванні не повинна перевищувати 80°C.

В окремих випадках і при ступеневому загартуванні повинні застосовуватися спеціальні масла з підвищеною температурою спалаху (вище 300 °C), що допускають термічну обробку деталей в маслі при температурі до 180°C [54].

Температура нагрівання масла повинна контролюватися періодично (візуально за термометром) або постійно (за допомогою автоматичних приладів).

Вантажопідйомні механізми, призначені для завантаження великих деталей у масляні гартівні ванни, повинні забезпечувати швидкість занурення не менше 15 м/хв.

При загартуванні в маслі занурення деталей слід здійснювати на глибину не менше 200 мм від поверхні, щоб уникнути перегріву і спалаху масла [51].

При загартуванні в гасі, температура гасу у ванні не повинна перевищувати 38°C. Гас повинний мати температуру спалаху пари не менше 45°C.

При використанні як гартівного середовища водних розчинів полімерів слід дотримувати вимог безпеки, викладених у нормативно-технічних актах на ці матеріали [54].

5.3 Заходи з охорони навколишнього середовища

При проведенні процесів термічної і хіміко-термічної обробки повинні бути передбачені заходи захисту працюючих від можливого впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів по ГОСТ 12.0.003-74. Концентрації речовин, що володіють шкідливими властивостями, і рівні фізичних небезпечних і шкідливих виробничих факторів не повинні перевищувати значень, встановлених санітарними нормами [51].

У термічних цехах при нагріванні в контрольованих атмосферах, сушінні й деяких інших операціях в атмосфері виділяються шкідливі гази. Для зменшення забруднення атмосфери проводяться наступні заходи: застосування систем газозуловлення й газоочищення, заміна технологічних процесів з більшим газовиділенням на удосконалені [51].

Забруднення водойм виробничими стічними водами, у які в термічних цехах потрапляють розчини кислот, лугів і солей, що застосовуються для травлення деталей; вода, яка використовується для гартування й промивання виробів, охолодження устаткування.

Для знешкодження стічних вод проводяться наступні заходи: стічні води повинні перед скиданням проходити різні методи очищення, що забезпечують концентрацію шкідливих речовин у воді не вище гранично допустимої; після обробки, відстоювання й фільтрування стічні води скидаються в побутову каналізацію [51].

Електротермічне устаткування є великим споживачем води, що витрачається на охолодження елементів печей і пристроїв. До неї пред'являються високі вимоги: для зменшення забору води із джерел і забезпечення її якості необхідно застосовувати системи оберненого водопостачання [51].

Вся електроенергія, споживана печами, перетворюється в тепло й розсіюється в біосфері у вигляді втрат або при охолодженні нагрітих деталей, тобто відбувається виділення тепла в біосферу. Чим потужніші електropечі, тим істотніше впливає цей фактор [51].

Для зменшення марного розсіювання тепла доцільні поліпшення теплоізоляції й скорочення всіх видів втрат, використання тепла газів, що відходять, і охолоджувальної води для технологічних або комунальних цілей.

Висновки

В ході виконання роботи були запропоновані правила поведінки та техніка безпеки для робітників які працюють в термічних цехах. Проаналізовано потенційні небезпеки і шкідливі фактори на виробництві.

Представлені вимоги до технологічних процесів, виробничих приміщень, технологічних матеріалів, розміщення виробничого обладнання, зберігання і транспортування вихідних матеріалів, оброблюваних виробів і відходів виробництва.

Для забезпечення працівників від дії небезпечних і шкідливих виробничих факторів при існуючій технології та умовах робіт необхідне застосування засобів індивідуального захисту.

Основними засобами індивідуального захисту при процесах термічної обробки є: спеціальне взуття, спеціальний одяг, окуляри, респіратори.

При роботі з кислотами і лугами слід застосовувати захисні дерматологічні засоби для рук: плівкоутворювальні пасту, крем та рукавички.

Для захисту обличчя і очей від бризок розплавлених солей і енергії випромінювання необхідно застосовувати металеву сітку з осередками 0,8x0,8 мм, у якій на рівні очей вставлене органічне скло розміром 80x80 мм і завтовшки 3 мм, вигнуте по овалу обличчя.

Керівники ділянок повинні періодично інструктувати працівників щодо правильного застосування засобів індивідуального захисту і догляду за ними.

Адміністрація зобов'язана забезпечувати збереження, прання, сушіння, дезінфекцію, дегазацію, дезактивацію і ремонт виданих працівникам спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту.

Для заміни спецодягу, що здається працівниками в прання або ремонт, у організації повинен бути запас комплектів спецодягу.

На ділянках ціанування, свинцевих ванн і рідинного азотування термічного цеху слід вживати заходів, що унеможлиблює винесення працівниками спецодягу, спецвзуття та інших засобів індивідуального захисту за межі цеху і вихід працівників цих ділянок у спецодязі.

Спецодяг, спецвзуття та інші засоби індивідуального захисту працівників ділянок ціанування, рідинного азотування і свинцевих ванн повинні зберігатися окремо від засобів індивідуального захисту працівників інших ділянок термічних цехів.

ВИСНОВКИ

В ході роботи був проведений патентно-літературний огляд, він показав, що принципи підвищення механічних, корозійних характеристик засновані на чотирьох групах змінних факторів, розташованих за ступенем свого впливу:

- 1) хімічного складу;
- 2) структурного стану;
- 3) термічної обробки;
- 4) технології виготовлення.

Було розглянуто варіанти термічної обробки, що застосовуються для даних матеріалів, вплив легуючих елементів на термічну обробку. Також досліджено вплив електрошлакового переплаву на властивості особливо високоякісних сталей та методи його вдосконалення.

Результатом дослідного етапу роботи стало отримання відомостей про структурно-механічні характеристики сталі 25X17H2B-Ш і їх взаємозв'язку з параметрами термічної обробки, що дозволило визначити оптимальні послідовності операцій термічної обробки і її температурно-часові параметри для кожної стадії з метою знаходження максимально досяжного рівня за механічними властивостями.

В роботі було визначено, що сталь відноситься до аустеніт-мартенсит-ферит, з вмістом δ -фериту 3.33%. Також була розроблена термічна обробка сталі 25X17H2B-Ш, загальними операціями якої були подвійний відпал, гартування, обробка холодом і відпуск.

На основі металографічного дослідження можна зробити висновок про формування структури сталі мартенсит-аустеніт залишковий, обробка холодом призводить до зменшення кількості аустеніта залишкового, а кінцева операція відпал призводить до формування структури мартенсит відпуску, при цьому кількість аустеніта залишкового зменшується до кількості 3-5% Основий макродефект який був присутній у сталі 25X17H2B-Ш –

центральна пористість (1 бал), єдиний дефект серед неметалічних включень, який був присутній - оксид точковий.

В результаті проведенень випробувань на стійкість до міжкристалітної корозії було встановлено, що сталь 25X17H2Б-Ш стійка до МКК.

В результаті проведення випробувань на механічні властивості були отримані наступні значення: $\sigma_T = 1180$ МПа, $\delta_5 = 1480$ МПа, $\psi = 48\%$, КСУ= 51 Дж/см², твердість 28 НРС.

На виконання науково-дослідної роботи було витрачено $V_{нд.} = 5777,48$ грн.(п'ять тисяч сімсот сімдесят сім гривень, сорок вісім копійок).

$V_{матер.} = 1555,00$ грн.

$V_{доп.матер.} = 116,00$ грн.

$V_{енерг.} = 1013,48$ грн.

$A_{обл.} = 133,00$ грн.

$V_{робіт} = 2000,00$ грн.

$V_{прац} = 960,00$ грн.

В ході виконання роботи були запропоновані правила поведінки та техніка безпеки для робітників які працюють в термічних цехах. Проаналізовано потенційні небезпеки і шкідливі фактори на виробництві.

Представлені вимоги до технологічних процесів, виробничих приміщень, технологічних матеріалів, розміщення виробничого обладнання, зберігання і транспортування вихідних матеріалів, оброблюваних виробів і відходів виробництва.

Для забезпечення працівників від дії небезпечних і шкідливих виробничих факторів при існуючій технології та умовах робіт необхідне застосування засобів індивідуального захисту.

Список використаних джерел

1. Потак Я.М . Высокопрочные стали. - М.: Металлургия, 1982. - 208 с.
2. Чигал В. Межкристаллитная коррозия нержавеющей сталей // Химия. - 1999. - 232 с.
3. Ланская К. А . Высокохромистые жаропрочные стали. - М.: Металлургия, 1976. - 216 с.
4. Усынин Г.Б., Кусмарцев Е.В. Реакторы на быстрых нейтронах: Учеб. пособ. для вузов / Под ред. Ф.М. Митенкова. М.: Энергоатомиздат, 1985,-288 с.
5. Решетников Ф.Г., Бибилашвили Ю.Х., Головин И.С. и др. Разработка, производство и эксплуатация тепловыделяющих элементов энергетических реакторов / Под ред. Ф.Г. Решетникова. Кн. 1. М.: Энергоатомиздат, 1995,-320 с.
6. Уайэтт Л.М. Материалы ядерных энергетических установок. / Пер. с англ. М.: Атомиздат, 1979, – 256 с.
7. Баландин Ю.Ф., Марков В.Г. Конструкционные материалы для установок с жидкометаллическими теплоносителями. Ленинград.: СУДПРОМ ГИЗ, 1981, 208 с.
8. Паршин А.М., Тихонов А.Н., Бондаренко Г.Г. и др. Радиационная повреждаемость конструкционных материалов / Под ред. Паршина А.М. и Тихонова А.Н. СПб.: СПбГТУ, 2000, – 296 с.
9. Решетников Ф.Г., Бибилашвили Ю.Х., Головин И.С. и др. Разработка, производство и эксплуатация тепловыделяющих элементов энергетических реакторов / Под ред. Ф.Г. Решетникова. Кн. 2. – М.: Энергоатомиздат, 1995, 336 с.

10. Сварка и свариваемые материалы: В 3-х т. Т. I. Свариваемость материалов. Справ. изд./Под ред. Э.Л. Макарова – М.: Metallurgiya, 1991, с. 528.
11. Tofaute W., Sponheuer A., Bennek H. Archiv für Eisenhüttenwesen, 8, (1995), p. 499.
12. Bungardt K. u. a. Untersuchungen über den aufbau des systems eisen-chrome-kohlenstoff. Arch. Eisenhüttenwesen, 29 (1988), s. 193/203. (Werkstoffaussch. 1118).
13. Мосалева Е.Н. сб. Жаропрочные материалы для энергомашиностроения, Л., Машиностроение, 1985 (Труды ЦКТИ, Вып. 53), 34-39 с.
14. Меськин В.С. Основы легирования стали. М.: Metallurgizdat, 1981.-688с.
15. Калинин Б.А., Платонов П.А., Тузов Ю.В., Чернов И.И., Штромбах Я.И. Физическое материаловедение: учебник для вузов. Т. 6. М.: МИФИ, 2008. 672 с.
16. Irvine K.J., Crowe D.J., Pickering F.V. The physical metallurgy of 12 % chromium steels. J. Iron Steel Inst. 195 (1980), pp. 386-405с.
17. Дзугутов М.Л. Пластическая деформация высоколегированных сталей и сплавов. М.: Metallurgiya, 1977. - 749 с.
18. Briggs J.Z., Parker T.D. The super 12 % Cr steels. New York: Climax Molybdenum Company, 1995, -220с.
19. Schirra M. Historical-empirical development of the microstructural diagram of Cr-Ni steels. Stahl und Eisen. 112 (1992), p. 117.
20. Klueh R.L., Harries D.R. High-chromium ferritic and martensitic steels for nuclear applications. ASTM, West Conshohocken, PA, 2001, p. 220.
21. Потак Я.М. Высокопрочные стали. М.: Metallurgiya, 1972, 208 с.

22. Зюзин В.И., Садовский В.Д., Баранчук С.И. Влияние легирующих элементов на положение мартенситной точки, количество остаточного аустенита и стойкость его при отпуске. *Металлург*, № 10-11, 1989. с. 12-16
23. Irvine K.J., Crowe D.J., Pickering F.B. The physical metallurgy of 12 % steels. *J. Iron steel inst.*, 195 (1960), pp. 386-405.
24. Пикеринг Ф.Б. Физическое металловедение и разработка сталей. М.: *Металлургия*, 1982. 184 с.
25. Finkler H., Schirra M. Transformation behaviour of the high temperature martensitic steels with 8-14 % chromium. *Materials technology, Steel research*, 67 (1996), pp. 328-342.
26. Alamo A., Brachet J.C., Castaing A., Lepoittevin C., Barcelo F. Physical metallurgy and mechanical behaviour of FeCrWTaV low activation martensitic steels: effects of chemical composition. *J. Nucl. Mater.*, 258-263 (1998), pp. 1228-1235.
27. Ланская К.А. Высокохромистые жаропрочные стали. М.: *Металлургия*, 1976, – 216 с.
28. Приданцев М.В., Ланская К.А. Стали для котлостроения. М.: *Металлургиздат*, 1986, 304 с.
29. Hättestrand M., Andrén H.-O. Evaluation of particle size distributions of precipitates in a 9 % chromium steel using energy filtered transmission electron microscopy. *Micron*, 32 (2001), pp. 789-797.
30. Golpayegani A., Andrén H.-O., Danielsen H., Hald J. A study on Z-phase nucleation in martensitic chromium steels. *Materials science and engineering: A*. 489 (2008), pp. 310-318.
31. Abe F., Horiuchi T., Taneike M., Sawada K. Stabilization of martensitic microstructure in advanced 9Cr steels during creep at high temperature. *Materials science and engineering: A*. 378 (2004), pp. 299-303.
32. Химушин Ф.Ф. Жаропрочные стали и сплавы. М.: *Металлургия*, 1986, – 752 с.

33. Позняк Л.А., Скрипченко Ю.М., Тимощаев С.И. Штамповые стали. М.: Metallurgy, 1980, 244 с.
34. Kadoya Y., Dyson B.F., McLean M. Microstructural stability during creep of Mo- or W-bearing 12 Cr steels. Metallurgical and materials transactions: A. 33 (2002), pp. 2549-2557.
35. Abe F. Coarsening behavior of lath and its effect on creep rates in tempered martensitic 9Cr-W steels. Materials science and engineering: A. 387-389 (2004), pp. 565-569.
36. Силаев А.Ф., Федорцов-Лутиков Г.П., Шешенев М.В. Хромистые жаропрочные стали для энергомашиностроения. М.: Metallurgizdat, 1963, 184 с.
37. Klueh R.L., Alexander D.J., Sokolov M.A. Effect of chromium, tungsten, tantalum and boron on mechanical properties of 5–9Cr–WVTaB steels. Journal of nuclear materials. 304 (2002), pp. 139-152.
38. Химушин Ф.Ф. Легирование, термическая обработка и свойства жаропрочных сталей и сплавов. М.: Оборонгиз, 1962, 336 с. 179.
39. Fujita T., Asakura K., Sawada T., Takamatsu T., Ootoguro Y. Creep rupture strength and microstructure of low C-10Cr-2Mo heat-resisting steels with V and Nb. Metallurgical transactions A. 12 (1981), pp. 1071-1079.
40. Косма Д., Константинеску О. МИТОМ, 1988, № 12, с. 31-34.
41. Гудремон Э. Специальные стали. М.: Metallurgy, т. 1, 1966. 734 с.
42. Hayashi K., Kojima T., Minami Y. Advanced heat resistant steel for power generation. Eds. Viswanathan R., Nutting J. The Institute of materials. London, 1999, pp. 51-64.
43. Leslie W.C. Iron and its dilute substitutional solid solutions. Metallurgical transactions. 3 (1972), pp. 5-26.
44. Лякишев Н.П., Плинер Ю.Л., Лаппо С.И. Борсодержащие стали и сплавы. М.: Metallurgy, 1986. 192 с.
45. Качанов Н.Н. Прокаливаемость стали. М.: Metallurgy, 1978. 192 с.

46. Hätteststrand M., Andrén H-O. Boron distribution in 9-12% chromium steels. *Materials science and engineering: A*. 270 (1999) 33-37.
47. Liu F., Fors D.H., Golpayegani A., Andrén H-O., Wahnström G. Effect of boron on carbide coarsening at 873 K (600 °C) in 9 to 12 pct chromium steels. *Metallurgical and materials transactions: A*. 43 (2012), pp. 4053-4062.
48. Abe F. Behavior of boron in 9Cr heat resistant steel during heat treatment and creep deformation. *Key engineering materials*. 345-346 (2007), pp. 569-572.
49. Fujitsuna N., Igarashi M., Booker G.R. Acceleration of Fe₂W precipitation and its effects on creep deformation behavior of 8.5Cr-2W-VNb steels with Si. *Key engineering materials*. 171-174 (2000), pp. 469-476.
50. Aghajani A., Richter F., Somsen C., Fries S.G., Steinbach I., Eggeler G. On the formation and growth of Mo-rich Laves phase particles during long-term creep of a 12% chromium tempered martensite ferritic steel. *Scripta Materialia*. 61 (2009), pp. 1068-1071.
51. Ku B. S., Yu J. Effect of Cu additions on the creep rupture properties of 12% Cr steels. *Scripta Materialia*. 45 (2001), pp. 205-211.
52. ГОСТ 1497-84. Методы испытаний на растяжение. ИПК Издательство стандартов, 1997 г.
53. Азбукин В.Г, Башаева Е.Н, Мещерякова Т.Н. и др. Повышение структурной стабильности мартенситной стали с регулируемым $\alpha \rightarrow \gamma$ превращением при отпуске // *МиТОМ*. 1982. №9. С. 10-13.
54. https://ru.wikipedia.org/wiki/Ценообразование_на_НИОКР.
55. Техніка безпеки при термічній обробці [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://ohranatruda.in.ua/pages/1048/>
56. Техніка безпеки при термічній обробці [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://ohranatruda.in.ua/pages/1049/>
57. Вимоги до технологічного процесу при гартуванні [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://ohranatruda.in.ua/pages/1080/>

САНДЫ