

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**НН Інститут матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона Кафедра високотемпературних
матеріалів та порошкової металургії**

«На правах рукопису»
УДК 621.762, 629.78

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри __ Юрій
БОГОМОЛ «__» __ 2023 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Нанотехнології та комп'ютерний
дизайн матеріалів»**

зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»

на тему: «Вплив умов роботи АЕС на структуру та властивості матеріалу трубопроводів»

Виконала:
студентка VI курсу, групи ФН–21мп
Мосагутова Тетяна Валеріївна

Керівник:
ст. викладач Руденький С.О.

Консультант з розділу охорони праці:
професор, д.т.н. Левченко О.Г.

Консультант з економічно-організаційного розділу:
Доцент, к. т. н., доцент, Нараєвський Ю.В

Консультант з нормоконтролю:
Доцент, к. т. н. Троснікова І.Ю

Рецензент:
Доцент, к.т.н., Дудка О.І.

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Магістрант _____

Київ – 2024 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
НН Інститут матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона
Кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії

Рівень вищої освіти – другий
(магістерський)
Спеціальність – 132 Матеріалознавство
Освітньо професійна програма – «ОПП
Нанотехнології та комп'ютерний дизайн
матеріалів»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Ю.І. Богомол
«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Мосагутовій Тетяні Валеріївні

1. Тема дисертації «Вплив умов роботи АЕС на структуру та властивості матеріалу трубопроводів», науковий керівник дисертації Руденький С.О., ст. викладач, затверджені наказом по університету від 08.11.2023 р. № 5195-с

2. Термін подання студентом дисертації 08.01.2024 р.

3. Об'єкт дослідження: матеріал 16ГНМА, котрий працює в умовах роботи АЕС.

4. Вихідні дані до дисертації: стан матеріалу, який працює в екстримальних умовах.

5. Перелік завдань: Літературний огляд: 1) аналіз літературних даних; 2) освоєння методик експерименту. Експериментальна частина: 1) підготовка матеріалу; 2) проведення металографічного аналізу; 3) дослідження механічних властивостей. Результати досліджень та їх обговорення: 1) дослідження впливу умов роботи АЕС на сталь; 2) порівняльний аналіз матеріалів та їх властивостей, які піддаються впливу радіації та високих тисків і температур. Написання висновків за результатами досліджень.

6. Зміст роботи: літературний огляд, експериментальна частина, обговорення результатів, розділ стартапу, розділ охорони праці, висновки, перелік використаної літератури.

7. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: тема роботи (слайд); актуальність (слайд); мета (слайд); задачі дослідження (слайд); вибір методу (слайд); аналіз впливу умов роботи АЕС (слайд); дослідження хімічного складу (слайд); результати досліджень механічних властивостей (слайд); механічні характеристики (слайд); висновки (слайд).

8. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	професор, д.е.н. Левченко О.Г.		
Економічно-організаційний розділ	старший викладач к.е.н. Нараєвський С.В.		

9. Дата видачі завдання 05.02.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз літератури	01.09.2021 –20.09.2023	
2	Розробка методики експерименту	21.09.2021 –10.10.2023	
3	Приготування матеріалу	11.10.2023 –20.10.2023	
4	Проведення металографічного аналізу	21.10.2023 –29.10.2023	
5	Дослідження механічних властивостей	30.10.2023 –10.11.2023	
6	Оформлення розділу охорони праці	11.11.2023–29.11.2023	
7	Оформлення висновків та підготовка до захисту роботи	30.11.2021–30.12.2023	
8	Захист магістерської дисертації	16.01.2024	

Магістр

Тетяна МОСАГУТОВА

Науковий керівник дисертації

Сергій РУДЕНЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація включає: 107 сторінок, 15 рисунків, 28 таблиць, 69 джерел.

ЗОНА ТЕРМІЧНОГО ВПЛИВУ, ЛЕГОВАНА ВУГЛЕЦЕВА СТАЛЬ, РАДІАЦІЙНИЙ ВПЛИВ, РЕАКТОР, СТАЛЬ 16ГНМА

Об'єкти дослідження – сталь 16ГНМА.

Мета роботи – дослідити матеріал 16ГНМА, який працює в умовах експлуатації атомних електростанцій, провести порівняльний та хімічний аналіз, дослідити механічні властивості: визначити хімічний склад, границю міцності, границю текучості, відносне видовження, відносне звуження і ударну в'язкість сталі.

Методи дослідження – металографічний аналіз, хімічний аналіз, вимірювання твердості, визначення механічних властивостей, метод порівняльного аналізу.

Це дослідження зосереджено на принципах вибору конструкційних матеріалів на основі їх поведінки на атомних електростанціях.

В роботі розглядаються деякі з основних питань щодо властивостей поведінки матеріалів в умовах експлуатації АЕС (високі температури та під впливом радіації).

Вивчалась мікроструктура сталі труб за допомогою оптичного мікроскопа та досліджувався її хімічний склад, визначалась твердість зразків сталі в умовах експлуатації атомних електростанцій.

Вивчено основні властивості робочого матеріалу труб – сталі 16ГНМА і отримано результати: межа міцності – 560 МПа, межа текучості – 400 МПа, відносне подовження при розриві – 21%, відносне звуження – 60%.

ABSTRACT

Master's thesis includes: 107 pages, 15 figures, 28 tables, 69 sources.

ZONE OF THERMAL INFLUENCE, ALLOY CARBON STEEL, RADIATION INFLUENCE, REACTOR, 16GNMA STEEL

The research objects are 16GNMA steel.

The purpose of the work is to investigate the material 16GNMA, which works in the operating conditions of nuclear power plants, to conduct a comparative and chemical analysis, to investigate the mechanical properties: to determine the chemical composition, strength limit, yield limit, relative elongation, relative narrowing and impact toughness of steel.

Research methods – metallographic analysis, chemical analysis, measurement of hardness, determination of mechanical properties, method of comparative analysis.

This study focuses on the principles of selecting structural materials based on their behavior in nuclear power plants.

The paper examines some of the main issues regarding the behavior properties of materials under the conditions of NPP operation (high temperatures and under the influence of radiation).

The microstructure of pipe steel was studied using an optical microscope and its chemical composition was studied, the hardness of steel samples was determined in the conditions of operation of nuclear power plants.

The main properties of the working material of the pipes - 16GNMA steel - were studied and the results were obtained: strength limit - 560 MPa, yield strength - 400 MPa, relative elongation at break - 21%, relative narrowing - 60%.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	12
1.1 Методи отримання матеріалу 16ГНМА	12
1.2 Конвертерний метод.....	13
1.3 Вакуумно-плавильний метод	15
1.4 Особливості умов роботи атомних станцій	16
1.4.1 Вимоги до матеріалу в умовах роботи АЕС	19
1.4.2 Умови експлуатації атомної станції.....	19
1.4.3 Чинники, що впливають на матеріали в атомних умовах (температура, радіація, корозія).....	20
1.5 Надійність та безпека	21
1.5.1 Стійкість до екстремальних умов	22
1.5.2 Області застосування та важливість у промисловості	23
1.5.3 Методи аналізу сталі 16ГНМА.....	24
1.6 Проведення випробувань матеріалу 16ГНМА в умовах, що симулюють роботу на атомній станції.....	24
1.6.1 Проблеми створення сталі 16ГНМА.....	25
1.7 Методи для випробування радіаційної стійкості.....	26
1.8 Моделювання впливу умов роботи на матеріал	27
1.9 Визначення розміру зерен.....	28
1.10 Зміни механічних та фізичних властивостей матеріалу під впливом умов роботи	29
1.11 Корозійні процеси та їх вплив на матеріал 16ГНМА	30
1.12 Обґрунтування актуальності дослідження.....	30

1.13 Мета та завдання дослідження	31
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	33
2.1 Вибір вихідних компонентів та обґрунтування обраного складу легованої вуглецевої сталі	33
2.1.1. Умови формування сталі	33
2.1.2 Аналіз структури та властивостей матеріалу	34
2.2 Хімічний аналіз сталі	38
2.3 Лабораторні випробування матеріалу 16ГНМА.....	39
2.4 Механічні та фізичні тести	40
2.5 Аналіз структури та властивостей матеріалу. Вплив умов роботи на матеріал	43
2.6 Порівняльний аналіз матеріалів	46
2.7 Розрахунок фазового складу металу зварного шва	47
2.8 Розрахунки кількості структурних елементів металу навколошовної ділянки	48
2.9 Розрахунок фазового складу навколошовної ділянки.....	50
2.10 Аналіз схильності даного матеріалу до утворення тріщин під час зварювання.....	51
2.11 Розрахункова оцінка стійкості до розтріскування металу зварних з'єднань під час зварювання	52
2.12 Розрахункова оцінка стійкості до розтріскування металу зварних з'єднань під час зварювання до утворення холодних тріщин.....	52
2.13 Рекомендації, на рахунок теплового режиму зварювання та розрахунок температури попереднього підігріву	53
2.14 Характеристики зварювання та термічної обробки сталі 16ГНМ (і схожих)	55

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ . **Error! Bookmark not defined.**58

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	68
4.1 Характеристика об'єкту та умови його експлуатації	68
4.2 Оцінка ключових небезпечних та шкідливих виробничих факторів і розроблення заходів щодо поліпшення умов праці.....	71
4.2.1 Системи підвищеного тиску.....	72
4.2.2 Аналіз освітленості приміщення.....	72
4.2.3 Аналіз рівня шуму та вібрації	73
4.2.4 Аналіз електробезпеки приміщення	74
4.2.5 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях	75
4.3 Висновки	77
5 ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	78
6 ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ.....	81
6.1 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження	81
6.1.1 Витрати на оплату праці.....	81
6.1.2 Єдиний соціальний внесок.....	83
6.2 Витрати на матеріали, що використовуються в роботі.....	83
6.3 Витрати на спеціальне обладнання та прилади.....	84
6.4 Витрати на службові відрядження	84
6.5 Інші прямі невраховані витрати	83
6.6 Накладні витрати	84
6.7 Планова кошторисна вартість магістерської дисертації	84
7 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	87
7.1 Науково-технічна актуальність магістерської роботи	87

7.2 Мета і завдання магістерської роботи	87
7.3 Економічна ефективність магістерської роботи	89
7.4 Висновки	90
8 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	91
8.1 Актуальність	91
8.2 Мета і завдання стартап проєкту.....	92
8.3 Опис ідеї проєкту	92
8.3.1 Технологічний аудит ідеї проєкту	93
8.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту.....	92
8.5 Висновки	99
ВИСНОВКИ.....	100
CONCLUSIONS	101
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	102

ВСТУП

Матеріал 16ГНМА – це легована вуглецева сталь, що зазвичай використовується для виготовлення деталей і конструкцій, що працюють в різних умовах, включаючи схильність до високих температур і агресивних середовищ.

За період існування індустрії сталося 11 серйозних аварій атомних реакторів (із розплавом ядерного палива та\або руйнацією реактора), ще 5 – на об'єктах ядерно-паливного комплексу. Набагато більше, ніж прогнозували представники індустрії.

Робота на атомній станції передбачає високі температури, радіаційний вплив та особливі умови експлуатації. Вплив цих умов на матеріал 16ГНМА може бути наступним:

Термічна дія: Високі температури на атомній станції можуть вплинути на властивості сталі, викликаючи зміни у її структурі. Це може призвести до зміни міцності, пружності та інших механічних характеристик матеріалу.

Радіаційний вплив: В умовах атомної станції матеріал може піддаватися радіаційному впливу, що також може викликати зміни у його структурі та властивостях. Це може вплинути на стійкість до втоми матеріалу або його здатність зберігати механічні властивості у часі.

Для мінімізації впливу цих факторів виробники можуть використовувати спеціальні методи обробки сталі, додавати легуючі елементи або використовувати покриття, щоб поліпшити її стійкість до різних видів впливу. Також проводяться спеціальні тести та дослідження, щоб переконатися, що матеріали, що використовуються в атомній енергетиці, відповідають вимогам безпеки та надійності.

Оскільки безпека та надійність важливі у цьому контексті, існують суворі вимоги до матеріалів:

Стійкість до впливу радіації: Матеріали повинні мати високу стійкість до впливу радіації, що може виникати внаслідок ядерних реакцій у реакторі. Це

означає, що матеріали повинні бути стійкими до змін структури та властивостей під впливом доз радіації.

Термічна стійкість: Умови в атомних станціях можуть бути дуже високими або екстремальними за температурою. Матеріали повинні бути здатні витримувати високі температури без деформацій або втрати міцності.

Стійкість до корозії: У атомних умовах можуть бути присутні різні хімічно активні речовини та агресивні середовища, які можуть сприяти корозії. Тому матеріали повинні мати високу стійкість до корозії.

Механічні властивості: Матеріали повинні мати необхідні механічні властивості, такі як міцність, пластичність, в'язкість та інші, щоб вони можливо було використовувати в конструкціях та механізмах станцій.

Стійкість до іонного опромінення: Деякі матеріали можуть бути піддані іонному опроміненню, що може впливати на їхню структуру та властивості. Тому важливо, щоб матеріали були стійкими до цього впливу.

Ці вимоги до матеріалів на атомних станціях дуже високі, оскільки безпека та надійність функціонування установки - основні пріоритети.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Методи отримання матеріалу 16ГНМА

Сталь 16ГНМА – це високоміцна конструкційна хромонікелева сталь, яка часто використовується для виробництва деталей турбін в енергетичній промисловості.

Ось декілька загальних методів отримання сталі цього типу:

1. Конвертерний метод: Процес виробництва сталі може розпочинатися з отримання чавуну, який потім переробляється в сталь у конвертері. До чавуну додаються певні сплави, такі як хром і нікель, для створення специфічних характеристик 16ГНМА сталі.

2. Вакуумно-плавильний метод: Цей метод полягає у використанні вакуумних печей для плавлення сплавів. Вакуум допомагає уникнути окислення та забруднення матеріалу, що може погіршити якість сталі.

3. Електродугове плавлення: Використання високої температури, створеної електродуговим розрядом, для плавлення сировинних матеріалів та сплавів для отримання пот

Матеріал 16ГНМА відноситься до класу вуглецевих сталей. Цей вид сталі може бути використаний у виробництві різних конструкційних деталей, зокрема, у важких умовах експлуатації.

Зазвичай, процес виготовлення сталей включає кілька основних етапів:

1. Відплавлення руди: В процесі виробництва сталі спочатку руду (зазвичай залізо) перетворюють у чавун або сировину для дальшої обробки.

2. Конверсія: Сировину переробляють у сталь через процеси, такі як конвертерний метод (наприклад, вугільний або кисневий конвертерний метод) або повітряно-дугове плавлення.

3. Легування: Додавання легуючих елементів для поліпшення властивостей сталі, наприклад, для підвищення міцності, корозійної стійкості або інших властивостей.

1.2 Конвертерний метод

Конвертерний метод – це процес виробництва сталі, який використовується для перетворення чавуну або іншої сировини заліза у сталь. Цей метод передбачає використання спеціальних конвертерів (рис. 1.1), де відбувається видалення зайвого вуглецю та інших домішок, що присутні у чавуні, та додавання легуючих елементів для отримання бажаних властивостей сталі.

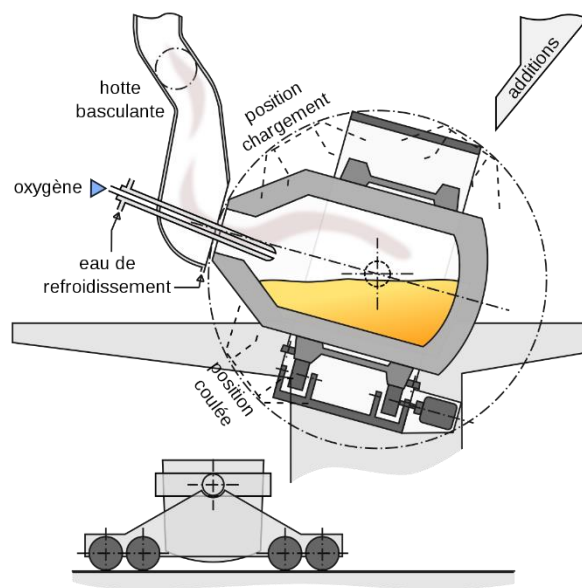
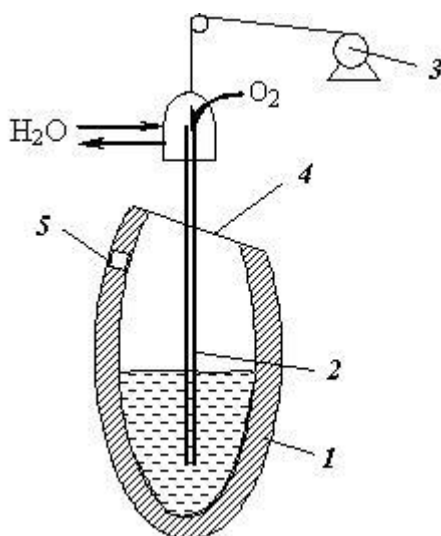


Рисунок 1.1 – Схематичне зображення конвертера

Існує декілька основних типів конвертерів:

1. Кисневий конвертер (блест-конвертер): Цей метод використовує струмені кисню для окислення домішок та зайвого вуглецю у чавуні (рис. 1.2). Це дозволяє видалити брудні елементи та розрахувати вміст вуглецю в сталі, роблячи її більш міцною та даним чином регулюючи її властивості.



1 – конвектор; 2 – фурма; 3 – лебідка; 4 – горловина; 5 – льотка

Рисунок 1.2 – Кисневий конвектор

2. Електродуговий конвертер: Цей метод використовується для переробки як чавуну, так і вторинної сировини (рис. 1.3). Електрична дуга, яка створюється між електродами та сировиною, розігріває її до дуже високих температур і допомагає видалити зайвий вуглець та інші домішки.

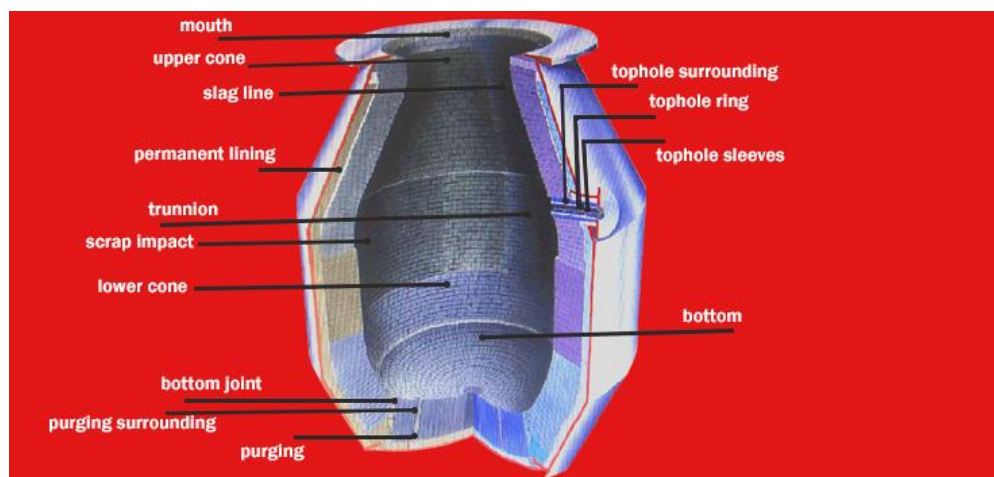


Рисунок 1.3 – Електродуговий конвертер

Конвертерний метод дає змогу контролювати хімічний склад та властивості сталі, що виробляється, роблячи його відмінним варіантом для виготовлення сталі різної міцності та використання у різних галузях промисловості.

1.3 Вакуумно-плавильний метод

Метод вакуумного плавлення використовується для плавлення матеріалів у вакуумі з метою уникнути окислення та забрудненню. Процес полягає у розташуванні матеріалу у спеціальній плавильній печі, яка створює вакуумне середовище, відсутнє повітря та інших газів. Під вакуумом матеріал розігрівається до певної температури, після чого він плавиться або розплавляється (рис. 1.4).

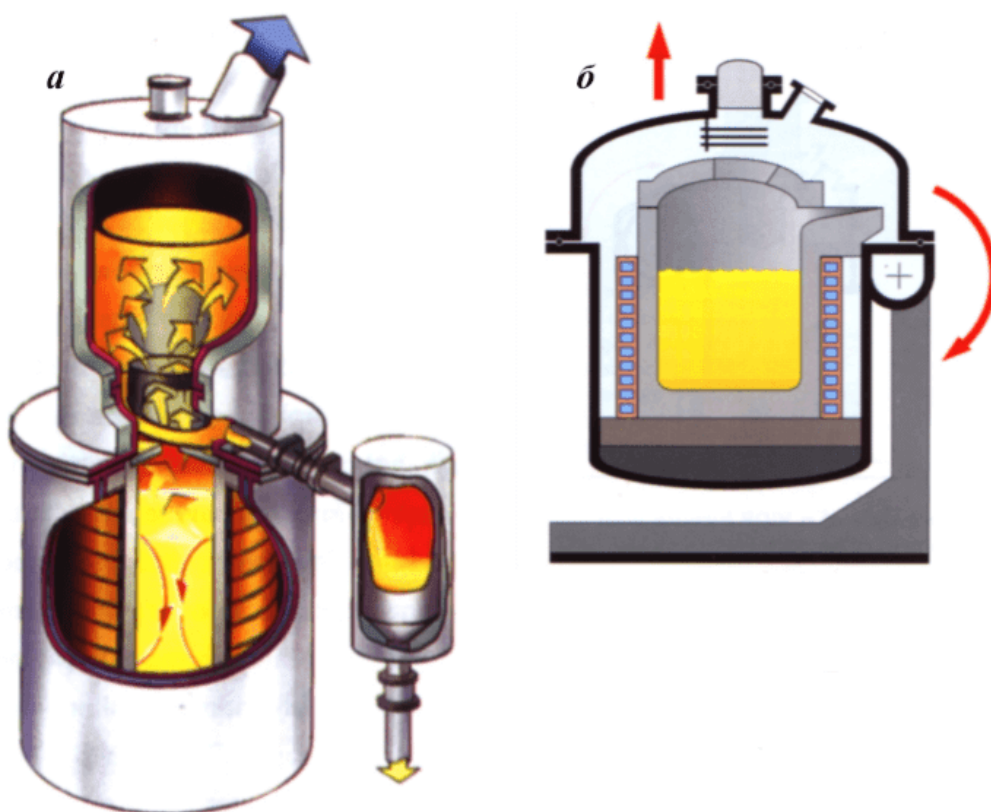


Рисунок 1.4 – Схеми процесів VIDIST – вакуумної індукційної дистиляції (а) та VID – вакуумної індукційної дегазації (б)

Цей метод дозволяє уникнути окислення або реакцій з повітрям, що може змінювати властивості матеріалу. Він широко використовується у виробництві напівпровідників, сплавів, кристалів та інших матеріалів, де важлива чистота та однорідність складу.

1.4 Особливості умов роботи атомних станцій

Умови роботи атомних станцій включають ряд специфічних факторів, які впливають на технічні, безпекові та експлуатаційні аспекти. Ось деякі ключові особливості умов роботи атомних станцій:

1. Високі температури і тиск: Реактори атомних станцій працюють при високих температурах і тиску, що виникають внаслідок ядерних реакцій. Це створює потребу у спеціальних матеріалах, які можуть витримувати ці умови.

2. Радіаційний вплив: Однією з основних особливостей роботи атомних станцій є вплив радіації на оточуючі матеріали та пристрої. Це ставить вимоги до використання спеціальних матеріалів і технологій, а також вимагає заходів з безпеки для захисту персоналу та оточуючого середовища.

3. Системи охолодження: Для контролю температур у реакторі потрібні ефективні системи охолодження. Ці системи забезпечують нормальну температуру у ядерному реакторі, дозволяючи безперебійну роботу станції.

4. Контроль ядерних реакцій: Одним з ключових завдань умов роботи атомних станцій є точний контроль ядерних реакцій для підтримки безпеки та ефективності. Це вимагає використання спеціальних систем контролю та регулювання реакцій.

5. Безпека: Оскільки атомні станції працюють з потенційно небезпечними матеріалами та умовами, безпека є однією з основних пріоритетних завдань. Робота станцій включає в себе строгі протоколи безпеки, системи аварійного відключення, заходи захисту працівників і населення.

6. Управління відходами: Важливим аспектом роботи атомних станцій є управління радіоактивними відходами, які виникають під час експлуатації. Це включає у себе збір, обробку та зберігання відходів у безпечних умовах.

Ці особливості створюють комплексну технічну та безпекову систему, яка вимагає високого рівня експертизи та дотримання найвищих стандартів управління та безпеки для безперебійної та безпечної роботи.

Експлуатація атомної станції – це складний процес, який вимагає

дотримання високих стандартів безпеки, надійності та дотримання ряду специфічних вимог. Ось деякі основні аспекти умов експлуатації атомної станції:

Безпека: Атомні станції повинні дотримуватися високих стандартів безпеки, щоб уникнути аварій, які можуть призвести до викидів радіації чи інших негативних наслідків для навколишнього середовища та людей. Вони мають бути оснащені системами безпеки для мінімізації ризиків аварій та швидкого реагування на будь-які небезпеки.

Строгий контроль процесів: Експлуатація атомної станції потребує постійного моніторингу та контролю параметрів процесів, щоб забезпечити оптимальну ефективність та безпеку. Це включає контроль тиску, температури, рівня радіації, якість охолоджувального середовища та інші параметри.

Обслуговування та технічне обслуговування: Регулярне обслуговування та технічне обслуговування обладнання є критичним для запобігання відмовам та забезпечення надійності роботи атомної станції. Це включає планові перевірки, ремонт та заміну компонентів, а також оновлення технологій для підвищення ефективності.

Управління відходами: Експлуатація атомних станцій пов'язана з управлінням радіоактивними відходами. Важливо мати системи збору, обробки та зберігання радіоактивних матеріалів для мінімізації впливу на довкілля та здоров'я.

Дотримання правил і нормативів: Атомні станції повинні дотримуватися строгих правил і нормативів, які встановлені регулюючими органами для забезпечення безпеки та дотримання стандартів у сфері ядерної енергетики.

Ці умови створюють основу безпечної та ефективної експлуатації атомних станцій, а їх дотримання важливо для забезпечення надійного та безпечного функціонування енергетичних установок експлуатації атомних станцій.

1.4.1 Вимоги до матеріалу в умовах роботи АЕС

Сталь, яка використовується в атомних станціях, повинна відповідати високим стандартам безпеки, міцності і стійкості до радіації, зберігаючи свої властивості в умовах підвищених температур і радіаційного впливу.

Основні вимоги до сталі для атомних станцій включають:

1. Радіаційна стійкість: Сталь повинна залишати свою міцність та структуру під впливом радіації, яка присутня в реакторах. Це означає, що сталь має бути стійкою до радіаційного ураження, щоб уникнути деградації матеріалу та зберегти механічні властивості.

2. Стійкість до високих температур: Матеріали, використовувані для створення реакторів, повинні витримувати високі температури, які виникають внаслідок ядерних реакцій, зберігаючи свою міцність і стабільність.

3. Корозійна стійкість: Умови в атомних станціях часто включають працю в агресивних середовищах, таких як вода або пара. Тому сталь також повинна бути стійкою до корозії для тривалої роботи без пошкоджень.

4. Механічна міцність: Сталь використовується для конструкційних елементів, тому її механічна міцність важлива для забезпечення стабільності та безпеки атомної установки.

У зв'язку з цими вимогами, спеціалізовані види сталі або інші спеціальні матеріали ретельно розробляються та використовуються в атомних станціях для забезпечення оптимальної продуктивності, безпеки та довговічності умов роботи.

1.4.2 Умови експлуатації атомної станції

Експлуатація атомної станції – це складний процес, який вимагає дотримання високих стандартів безпеки, надійності та дотримання ряду специфічних вимог. Ось деякі основні аспекти умов експлуатації атомної станції:

Безпека: Атомні станції повинні дотримуватися високих стандартів

безпеки, щоб уникнути аварій, які можуть призвести до викидів радіації чи інших негативних наслідків для навколишнього середовища та людей. Вони мають бути оснащені системами безпеки для мінімізації ризиків аварій та швидкого реагування на будь-які небезпеки.

Строгий контроль процесів: Експлуатація атомної станції потребує постійного моніторингу та контролю параметрів процесів, щоб забезпечити оптимальну ефективність та безпеку. Це включає контроль тиску, температури, рівня радіації, якість охолоджувального середовища та інші параметри.

Обслуговування та технічне обслуговування: Регулярне обслуговування та технічне обслуговування обладнання є критичним для запобігання відмовам та забезпечення надійності роботи атомної станції. Це включає планові перевірки, ремонт та заміну компонентів, а також оновлення технологій для підвищення ефективності.

Управління відходами: Експлуатація атомних станцій пов'язана з управлінням радіоактивними відходами. Важливо мати системи збору, обробки та зберігання радіоактивних матеріалів для мінімізації впливу на довкілля та здоров'я.

Дотримання правил і нормативів: Атомні станції повинні дотримуватися строгих правил і нормативів, які встановлені регулюючими органами для забезпечення безпеки та дотримання стандартів у сфері ядерної енергетики.

Принцип роботи АЕС: енергія, що виділяється в активній зоні реактора, передається теплоносію першого контуру. Далі теплоносії подається насосами в теплообмінник (парогенератор), де нагрівається кипіння воду другого контуру. Отримана при цьому пара надходить у турбіни, обертаючі електрогенератори. На виході з турбін пара надходить у конденсатор, де охолоджується великою кількістю води, що надходять з водосховища (рис. 1.5).

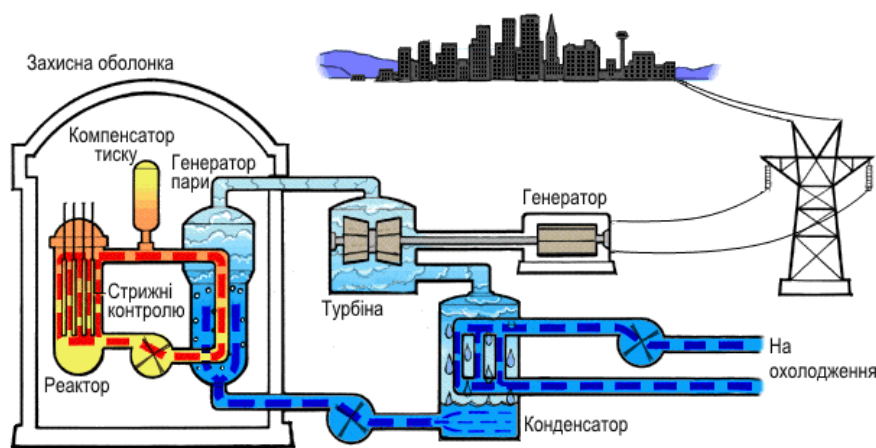


Рисунок 1.5 – Схема роботи атомної електростанції

Ці умови створюють основу безпечної та ефективної експлуатації атомних станцій, а їх дотримання важливо для забезпечення надійного та безпечного функціонування енергетичних установок.

1.4.3 Чинники, що впливають на матеріали в атомних умовах (температура, радіація, корозія)

Умови в атомних станціях дуже специфічні та екстремальні, і матеріали, які використовуються в цих умовах, піддаються впливу різних чинників:

1. Температура: В атомних умовах температури можуть бути дуже високими через ядерні реакції та процеси теплогенерування. Матеріали повинні бути здатні витримувати високі температури без деформацій або втрати міцності. Такі умови можуть призводити до термічного розширення матеріалів, що може бути проблемою для деяких конструкцій.

2. Радіація: У атомних умовах великі дози радіації можуть впливати на матеріали, змінюючи їхню структуру та властивості. Довготривалий вплив радіації може призводити до втоми матеріалу, зміни мікроструктури та зниження міцності.

3. Корозія: Окремі агресивні середовища, які можуть бути присутні в атомних установках, можуть сприяти корозії матеріалів. Важливо

використовувати матеріали, які мають високу стійкість до корозії, особливо у вологих середовищах або в присутності хімічно активних речовин.

4. Іонна бомбардування: У деяких випадках умови в атомних установках можуть призводити до іонного бомбардування поверхні матеріалу, що може впливати на його структуру та властивості.

5. Матеріали, які використовуються в атомних установках, повинні відповідати вимогам щодо стійкості до цих факторів, щоб забезпечити безпечну та надійну роботу установки протягом тривалого періоду. Технічні специфікації матеріалів у таких умовах мають бути суворими та враховувати ці особливості.

1.5 Надійність та безпека

Сталь 16ГНМА, як високоміцний матеріал, може виявляти деякі характеристики, які сприяють його надійності та безпеці в різних умовах. Однак безпека та надійність матеріалу в атомній станції залежать від багатьох факторів, включаючи умови експлуатації, правильність виготовлення, контроль якості та специфікації використання.

Ось деякі аспекти, які можуть впливати на надійність та безпеку сталі 16ГНМА:

Міцність та стійкість: Цей матеріал відомий своєю високою міцністю, що може забезпечувати стійкість конструкцій у різних умовах, включаючи атомні станції. Важливо, щоб сталь могла витримувати тиск, температурні зміни та інші навантаження без втрати стійкості.

Стійкість до корозії та радіації: Якщо ця сталь має покращену стійкість до корозії та радіації, вона може бути ефективним матеріалом для деяких деталей або компонентів атомних станцій, де важлива стійкість до цих факторів.

Технологічні властивості та обробка: Належна обробка та технологічні процеси під час виготовлення та використання цього матеріалу можуть впливати на його надійність. Правильна обробка та контроль якості зменшують ймовірність дефектів.

Стандарти та відповідність: Важливо використовувати цей матеріал відповідно до стандартів і рекомендацій, що визначають його використання в атомних умовах. Відповідність нормативам та вимогам забезпечує його безпеку та надійність у таких умовах.

Надійність та безпека сталі 16ГНМА в атомних умовах залежать від комплексу факторів, включаючи якість матеріалу, його властивості та технологію виготовлення. Ці аспекти повинні враховуватися для забезпечення безпеки та надійності атомних станцій.

1.5.1 Стійкість до екстремальних умов

Сталь 16ГНМА, як високоміцний матеріал, володіє деякою стійкістю до екстремальних умов, але ця стійкість може залежати від конкретних умов та обставин експлуатації.

Ось деякі аспекти стійкості сталі 16ГНМА до екстремальних умов:

Висока міцність та термічна стійкість: Ця сталь відома своєю високою міцністю, що може робити її стійкою до певних видів навантажень у екстремальних умовах. Також, вона може мати певну термічну стійкість, яка робить її відповідною для використання в умовах зі значними температурними коливаннями.

Стійкість до корозії: Деякі види сталі 16ГНМА можуть мати покращену стійкість до корозії, що робить їх відповідними для застосування в умовах, де присутні агресивні середовища або хімічно активні речовини.

Стійкість до радіації: Деякі матеріали можуть мати певну стійкість до впливу радіації. Це може бути важливим у виробництві та експлуатації ядерних установок або в інших умовах, де присутня іонізуюча радіація.

Управління процесами виготовлення: Спосіб виготовлення та обробки матеріалу може впливати на його стійкість до екстремальних умов. Відповідна обробка та контроль якості можуть підвищити його стійкість.

Необхідно враховувати, що стійкість сталі 16ГНМА до екстремальних

умов може бути різною залежно від конкретних умов експлуатації, відповідно до специфікацій виробника та правильного використання матеріалу. Перед використанням в екстремальних умовах рекомендується провести відповідні тестування та консультації з фахівцями для оцінки сумісності з конкретними умовами.

1.5.2 Области застосування та важливість у промисловості

Сталь 16ГНМА, як високоміцний матеріал, має декілька областей застосування та важливість у промисловості:

Нафтогазова промисловість: Ця сталь широко використовується у виробництві трубопроводів для транспортування нафти, газу та інших хімічних речовин. Її висока міцність та стійкість до корозії роблять її ідеальним матеріалом для умов високого тиску та агресивних середовищ.

Енергетична промисловість: У силовій і теплоенергетичній галузях сталь 16ГНМА використовується для виробництва труб, обладнання для котлів, конструкцій для енергоблоків, оскільки вона може витримувати високі температури та тиск.

Машинобудування: Вона застосовується у виробництві різних деталей та компонентів машин, обладнання для важкого машинобудування, де необхідна висока міцність і довговічність.

Авіаційна та автомобільна промисловість: У виробництві авіаційних та автомобільних компонентів, де вимагається вага зниження та висока міцність, ця сталь може бути використана для виробництва шасі, компонентів двигунів та іншого обладнання.

Ядерна енергетика: Завдяки своїй стійкості до радіації та міцності, сталь 16ГНМА може мати застосування в конструкціях ядерних реакторів та установок.

Важливість цієї сталі полягає в її високій міцності, стійкості до корозії та здатності витримувати екстремальні умови тиску, температури та хімічних

впливів. Вона використовується у галузях, де важлива надійність конструкцій та довговічність матеріалу під час експлуатації в різних умовах.

1.5.3 Методи аналізу сталі 16ГНМА

Сталь 16ГНМА - це легована сталь, яка має свої унікальні властивості. Для аналізу такої сталі можуть застосовуватися різноманітні методи, що допомагають визначити її склад, властивості та якість. Ось деякі з них:

1. Спектральний аналіз: Цей метод використовується для визначення хімічного складу металу шляхом аналізу його спектральних ліній.

2. Металографічний аналіз: Дозволяє вивчити мікроструктуру матеріалу за допомогою мікроскопів та хімічних реактивів.

3. Механічні тести: Виконують тести на міцність, твердість, деформацію тощо для визначення механічних властивостей сталі.

4. Теплоаналіз: Дослідження термічних властивостей, таких як температура плавлення, коефіцієнт теплопровідності тощо.

5. Аналіз магнітних властивостей: Визначення магнітної провідності та інших магнітних властивостей.

Ці методи дозволяють отримати повний обсяг інформації про характеристики та якість сталі 16ГНМА, від хімічного складу до механічних властивостей.

1.6 Проведення випробувань матеріалу 16ГНМА в умовах, що симулюють роботу на атомній станції

Випробування матеріалу 16ГНМА в умовах, що симулюють роботу на атомній станції, важливе для визначення його поведінки та стійкості у реальних умовах експлуатації. Деякі типи випробувань, які можуть бути проведені:

1. Термічна стійкість: Проведення тестів на стійкість матеріалу до різних температурних режимів, включаючи нагрівання та охолодження, для визначення

змін міцності, деформації та тріщиностійкості.

2. Радіаційна стійкість: Випробування на вплив іонізуючого випромінювання на матеріал для оцінки його реакції на радіаційний фактор.

3. Корозійна стійкість: Тести на стійкість до корозії у відповідних хімічних середовищах, що можуть імітувати умови, присутні на атомних станціях.

4. Механічна міцність: Випробування на розтягнення, згин, стискання та ударні випробування для визначення міцності матеріалу під різними умовами.

5. Випробування на втому: Дослідження міцності матеріалу під впливом циклічних навантажень, які можуть моделювати умови реальної експлуатації.

6. Металографічний аналіз: Аналіз мікроструктури матеріалу після випробувань для вивчення змін у структурі та виявлення будь-яких дефектів, включаючи тріщини чи зміни у розмірі зерен.

Ці випробування дозволяють оцінити, як матеріал сталі 16ГНМА поводить себе під умовами, що симулюють роботу на атомній станції, і визначити його придатність та стійкість у таких умовах.

1.6.1 Проблеми створення сталі 16ГНМА

Створення сплавів, таких як сталь 16ГНМА, може зіткнутися з різними проблемами та викликами:

1. Контроль якості сировини: Якість сталі значно залежить від якості вихідних матеріалів, таких як металеві сплави, які використовуються у процесі виробництва.

2. Пристрокованість складових: Навіть маленькі зміни у складі сплаву можуть суттєво впливати на його властивості. Для досягнення сталі 16ГНМА потрібно точно дотримуватися специфікацій складу.

3. Технологічні складнощі: Виготовлення сталі з певними хімічними характеристиками може вимагати складних технологічних процесів, які потребують високого рівня контролю температур, часу та інших факторів.

4. Властивості матеріалу: Підбір правильних властивостей, які

відповідають вимогам технічних характеристик, може бути складною задачею.

5. Стабільність та однорідність: Забезпечення однорідності властивостей по всій масі матеріалу вимагає уваги до процесів змішування та обробки.

Розробка та виробництво сплавів, таких як сталь 16ГНМА, є складними процесами, і вирішення цих проблем потребує великої уваги до деталей та контролю на різних етапах виробництва.

1.7 Методи для випробування радіаційної стійкості

Кілька методів для випробування радіаційної стійкості:

1. Irradiation Test: Зразки сталі 16ГНМА можуть бути піддані опроміненню в іонізуючому випромінювальному джерелі чи у спеціальних установках з джерелами випромінювання, а потім оцінені на зміни у механічних властивостях після опромінення.

2. Позаексплуатаційне опромінення: Метод полягає у викладенні зразків сталі 16ГНМА джерелам випромінювання (наприклад, уранилу чи нейтронним потокам) у спеціальних умовах лабораторії для вивчення змін у властивостях матеріалу після опромінення.

3. Моніторинг мікроструктури: Аналіз мікроструктури матеріалу після опромінення для виявлення змін, таких як дефекти у зернах чи мікроструктурі, що можуть виникнути внаслідок радіації.

4. Випробування в радіаційних умовах експлуатації: Піддача зразків матеріалу радіаційному впливу у вимірних умовах, які можуть бути подібними до тих, що мають місце у реальних умовах експлуатації.

Ці випробування допомагають встановити, як сталь 16ГНМА реагує на радіаційне опромінення, його зміни властивостей та стійкості у відповідь на іонізуюче випромінювання, що може бути важливим для оцінки його застосування в умовах, пов'язаних з радіаційним середовищем.

1.8 Моделювання впливу умов роботи на матеріал

Моделювання впливу умов роботи на сталь 16ГНМА може бути проведене за допомогою різних підходів та програмних засобів. Ось кілька можливих напрямків:

1. Моделювання теплових умов: Використання програмного забезпечення для моделювання теплових умов може допомогти визначити, як сталь реагує на різні рівні температур та теплові процеси. Це може включати в себе розрахунки температурного розширення, тепловий вплив на міцність та інші властивості.

2. Моделювання механічних навантажень: Використання методів скінченних елементів або інших числових методів дозволяє моделювати механічні навантаження на матеріал. Це допомагає визначити напруження, деформації та інші механічні параметри в різних умовах.

3. Моделювання впливу корозії та радіації: Деякі програмні засоби дозволяють моделювати вплив корозії та радіації на матеріал. Це може допомогти прогнозувати зміни структури та властивостей матеріалу в умовах експлуатації

4. Моделювання втоми та тривалості служби: Для оцінки стійкості матеріалу до втоми та передбачення тривалості його служби в різних умовах можна використовувати спеціалізовані програмні пакети для моделювання цих процесів.

Ці підходи до моделювання дозволяють передбачати вплив різних умов роботи на сталь 16ГНМА та визначати її поведінку в різних сценаріях експлуатації. Однак важливо мати на увазі, що моделювання може бути лише апроксимацією реальних умов, і результати можуть відрізнятися від фактичних даних.

1.9 Визначення розміру зерен

Для визначення розміру частинок у матеріалах, таких як сталь 16ГНМА,

застосовуються різні методи. Ось декілька загальних методів для визначення розміру частинок:

1. Мікроскопія: Це один із найпоширеніших методів. Оптичний мікроскоп дозволяє визначити розмір та форму частинок шляхом спостереження через об'єктив. Для більш високих роздільних здатностей можуть використовуватися електронні мікроскопи.

2. Динамічне розсіювання світла (DLS): Цей метод використовується для визначення розміру частинок в розчинах шляхом вимірювання змін розсіяного світла від частинок у рухомому середовищі.

3. Рентгенівська дифракція: Дозволяє визначити розмір частинок за допомогою вимірювання інтенсивності та кута дифракційних максимумів рентгенівського променя, що проходить через матеріал.

4. Метод седиментації: Вимірювання часу, який потрібний частинкам для осідання у рідині певної щільності, дозволяє оцінити їхній розмір.

5. Гравітаційне відстоювання: Цей метод базується на відстоюванні частинок у рідині через гравітаційну силу. Час, який потрібний для відстоювання, може дати оцінку розміру частинок.

Кожен метод має свої переваги та обмеження. Вибір конкретного методу визначення розміру частинок зазвичай залежить від типу матеріалу, його фізичних властивостей та потреб конкретної дослідницької задачі.

Для визначення розміру частинок у матеріалах, таких як сталь 16ГНМА, існують певні методи, але приготування суміші в цьому випадку не є типовим процесом.

Для аналізу розміру частинок у сталі 16ГНМА використовуються методи, такі як мікроскопія (оптична, електронна), дифракція рентгенівських променів, динамічне розсіювання світла та інші. Ці методи дозволяють отримати інформацію про розмір частинок у матеріалі, але не передбачають прямого процесу приготування суміші.

У випадку визначення розміру частинок у сталі 16ГНМА, важливо коректно підготувати зразки для подальшого аналізу з використанням

відповідних методів, зокрема підготовка металографічних зразків, яка включає нарізання, шліфування та полірування зразків перед мікроскопічним аналізом.

1.10 Зміни механічних та фізичних властивостей матеріалу під впливом умов роботи

Механічні та фізичні властивості матеріалу 16ГНМА можуть змінюватися під впливом умов роботи атомної станції, оскільки ці умови можуть екстремально впливати на матеріал. Ось деякі можливі зміни:

1. Міцність та текучість: Під впливом температурних навантажень, радіації або корозії, механічні властивості, такі як міцність та текучість, можуть змінюватися. Термічні навантаження можуть спричинити термічні напруження, що може знизити міцність матеріалу.

2. Жорсткість та пластичність: Зміни у температурі можуть впливати на жорсткість та пластичність матеріалу. При підвищених температурах матеріал може стати менш жорстким та більш пластичним.

3. Корозія: Умови роботи атомної станції можуть містити агресивні середовища, що спричиняють корозію матеріалу. Це може призвести до змін у механічних властивостях та структурі матеріалу.

4. Радіація: Вплив іонізуючого випромінювання на матеріал може призвести до змін у мікроструктурі, що в свою чергу впливає на механічні властивості. Це може призвести до втрати міцності та пластичності матеріалу.

Ці зміни можуть бути досить суттєвими і важливими для оцінки безпеки та тривалості служби структур та компонентів атомних станцій. Точне вивчення цих змін вимагає комплексного дослідження впливу різних факторів на матеріал 16ГНМА в умовах роботи атомної установки.

1.11 Корозійні процеси та їх вплив на матеріал 16ГНМА

Корозія впливає на матеріал 16ГНМА в умовах атомних станцій, де

присутні різні корозійні середовища та умови, що можуть впливати на стійкість матеріалу. Основні корозійні процеси та їх можливий вплив:

1. Ураження розчинами: Робочі середовища в атомних станціях можуть містити хімічно активні розчини, що можуть спричиняти корозію матеріалу. Наприклад, вода у реакторі або пара містять різні хімічні сполуки, які можуть призводити до корозії.

2. Корозія під дією радіації: Висока радіація у реакторі може створювати окремі радикали та хімічні реакції, що сприяють появі корозійних процесів, що впливають на матеріал.

3. Стрес-корозія: Механічні навантаження та напруження можуть спричиняти стрес-корозію матеріалу, особливо в умовах високої температури та впливу хімічних речовин.

4. Мікробіологічна корозія: У водних середовищах атомних станцій може виникати мікробіологічна корозія внаслідок розвитку мікроорганізмів, що також може впливати на матеріал.

5. Зміна хімічного складу матеріалу: Корозія може змінювати хімічний склад поверхні матеріалу, призводячи до втрати маси та змін у структурі, що впливає на механічні властивості.

Сталь 16ГНМА має певну стійкість до корозії, проте умови в атомних станціях можуть бути дуже агресивними, тому необхідно проводити ретельні дослідження щодо корозійних процесів та розробляти заходи для забезпечення стійкості матеріалу у цих умовах.

1.12 Обґрунтування актуальності дослідження

16ГНМА - це матеріал, який використовується для конструкцій або складових атомних станцій. Актуальність дослідження цього матеріалу для атомних станцій може бути обґрунтована кількома ключовими факторами:

Безпека: Матеріали, що використовуються в атомних станціях, мають бути надзвичайно надійними і стійкими до впливу радіації та високих температур.

Дослідження матеріалу 16ГНМА може допомогти визначити його властивості в умовах, що є типовими для роботи атомних станцій.

Ефективність: Оптимізація матеріалів у конструкціях атомних станцій може покращити їхню ефективність. Якщо матеріал 16ГНМА виявиться більш міцним, стійким або має інші корисні властивості порівняно з іншими матеріалами, він може забезпечити покращення ефективності станцій.

Вартість і ресурсозбереження: Якщо матеріал 16ГНМА виявиться менш витратним у виробництві або довший час зберігає свої властивості під впливом радіації, це може призвести до зменшення витрат на експлуатацію та підтримку атомних станцій.

Екологічність: Розвиток матеріалів, які мають менший негативний вплив на навколишнє середовище під час виробництва та після експлуатації, є важливим фактором. Дослідження матеріалу 16ГНМА може виявити його екологічну придатність у порівнянні з іншими варіантами.

Ці фактори демонструють значення дослідження матеріалу 16ГНМА для атомних станцій, оскільки відповідна інформація може допомогти в оптимізації безпеки, ефективності, вартості та екологічного впливу атомних станцій.

1.13 Мета та завдання дослідження

Мета дослідження – визначення хімічного складу та механічних властивостей сталі 16ГНМА, порівняльний аналіз матеріалів, що працюють в умовах роботи атомних станцій.

Завдання дослідження матеріалу 16ГНМА для атомних станцій включає:

- **Аналіз хімічного складу:** Визначення хімічного складу 16ГНМА за допомогою оптичного мікроскопу. Це дозволяє розуміти, які матеріал має властивості.
- **Оцінка міцності та стійкості:** Визначення міцності матеріалу 16ГНМА при високих температурах та умовах впливу радіації, що є характерними для роботи атомних станцій. Це дозволяє зрозуміти, як матеріал

зберігає свої властивості під час експлуатації.

- Аналіз корозійної стійкості: Вивчення та оцінка впливу радіації та хімічних факторів на корозійну стійкість матеріалу 16ГНМА для підтримки його довговічності у робочих умовах атомних станцій.
- Порівняльний аналіз: Оцінка подібних в експлуатації матеріалів, наведення недоліків та переваг для вибору кращої сталі.
- Оптимізація використання: Вивчення можливостей покращення та оптимізації використання матеріалу 16ГНМА у конструкціях атомних станцій для підвищення їхньої ефективності та безпеки.

Ця мета та завдання дослідження 16ГНМА для атомних станцій мають спрямовуватися на покращення безпеки, ефективності та довговічності елементів, які використовуються конструкційних елементах атомних станцій, для забезпечення стабільної та безпечної роботи ядерного енергетичного сектору.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Вибір вихідних компонентів та обґрунтування обраного складу легованої вуглецевої сталі

Для дослідження обрано легована вуглецева сталь, а саме, 16ГНМА. Додавання Fe в склад зазвичай надає матеріалу загальну міцність і структурну стійкість. Додавання Mn додає міцності та допомагає покращити оброблювальні властивості сплаву. Нікель також присутній у складі для підвищення корозійної стійкості та міцності. Вуглець надає сталі твердість і міцність. Крім основних компонентів, сплав може містити інші домішки, такі як кремній (Si), фосфор (P) та сірка (S), які можуть впливати на властивості матеріалу.

Вміст кожного елементу в сплаві складає 20 %. Вміст кожного елементу в мас.% наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад досліджуваного 16ГНМА сплаву, мас. %.

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Cu
0,12	0,20	0,8	1	0,04	0,04	0,3	0,55	0,25

Визначення хімічного складу проводилось рентгенівським методом. Хімічний склад відповідає нормам ОСТ 108.030.113-87.

2.1.1 Умови формування сталі

Сталь 16ГНМА формується через спеціальний процес обробки сталі з використанням певних вмістів хімічних компонентів. Основні складники такої сталі - це вуглець, кремній, марганець, хром, нікель, молібден і алюміній, які мають свої впливи на властивості матеріалу.

Умови формування сталі 16ГНМА у магістерській роботі:

1. Вибір сировини: Високоякісні метали та сплави використовуються як вихідні матеріали. Це можуть бути вуглецеві сталі, сплави з марганцю, хрому,

нікелю тощо.

2. Плавлення і легування: Сировинні матеріали плавлять разом у спеціальних печах. У цьому процесі додаються легуючі елементи (хром, нікель, молібден, алюміній тощо) для отримання потрібних властивостей.

3. Литво та формування заготовок: Розплавлений метал ливиться у форми для отримання певних заготовок.

4. Термообробка: Включає нагрівання і охолодження матеріалу при певних температурах, що змінює його внутрішню структуру та властивості.

5. Механічна обробка: Обробка заготовок для досягнення точних розмірів та форми.

6. Тестування та контроль якості: Виконання різноманітних тестів на міцність, твердість, стійкість до корозії та інших властивостей для перевірки відповідності стандартам.

Кожен етап у процесі формування сталі 16ГНМА вимагає точності, контролю та дотримання специфікацій, щоб отримати матеріал із потрібними характеристиками.

2.1.2 Аналіз структури та властивостей матеріалу

Аналіз структури та властивостей сталі 16ГНМА включає ряд методів, які дозволили оцінити його механічні, фізичні та металографічні характеристики. Ось методи аналізу, які використовуються у роботі:

Металографічний аналіз: Використання металографічних методів, таких як оптична мікроскопія, дозволяє вивчати мікроструктуру сталі, розмір та форму зерен, наявність включень та дефектів (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Сучасний оптичний люмінесцентний мікроскоп

Металографічний аналіз сталі 16ГНМА включає дослідження мікроструктури цього матеріалу за допомогою оптичних мікроскопів після підготовки спеціальних зразків. Основні кроки металографічного аналізу:

1. Підготовка зразків: Відбираються зразки сталі 16ГНМА, які потім шліфуються та поліруються для отримання гладкої поверхні.

2. Атака розчинами: Хімічні розчини (атаки) використовуються для виділення фаз, підвищення контрасту між компонентами мікроструктури та виявлення дефектів.

3. Вивчення під мікроскопом: Підготовлені зразки сталі 16ГНМА ретельно розглядаються під оптичним мікроскопом для вивчення розмірів зерен, форми границь зерен, наявності включень, дефектів та інших мікроструктурних особливостей.

Цей аналіз дозволяє отримати детальне уявлення про мікроструктуру сталі 16ГНМА, що є важливим для розуміння її властивостей та поведінки в різних умовах експлуатації.

Випробування на міцність: Вимірювання міцності сталі під час розтягнення, стискання або згину дозволяє визначити її механічні властивості, такі як межа текучості, межа міцності та показники ударостійкості.

Випробування на міцність сталі 16ГНМА можуть включати різні методи, які дозволяють визначити його механічні властивості. Основні тести, що застосовуються:

1. Випробування на розтягнення: Зразки сталі 16ГНМА піддаються розтягненню до руйнування, і вимірюється напруга та деформація для визначення межі міцності, межі текучості та ударної в'язкості.

2. Випробування на згин: Зразки загинаються, щоб визначити їхню здатність стійкості до згину та межі пружності матеріалу.

3. Випробування на ударну в'язкість: Це тестування спрямоване на визначення здатності матеріалу поглинати енергію удару при низьких температурах.

4. Твердість: Вимірювання твердості сталі за допомогою методів, таких як метод Бринеля чи Віккерса, може бути індикатором міцності матеріалу.

Ці випробування дозволяють визначити рівень міцності та деформаційні характеристики сталі 16ГНМА в різних умовах. Результати цих тестів важливі для оцінки, наскільки матеріал витримає навантаження та його можливості працювати в різних умовах.

Тепловий аналіз: Визначення коефіцієнта теплопровідності та розширення матеріалу при зміні температури.

Тепловий аналіз сталі 16ГНМА може включати різні методи для визначення теплових властивостей цього матеріалу. Декілька методів випробування теплового аналізу включають:

1. Диференційна скануюча калориметрія (DSC): Цей метод дозволяє вимірювати теплові ефекти, що супроводжують фазові та структурні зміни в матеріалі під час нагрівання чи охолодження. Він допомагає визначити температури фазових переходів та ідентифікувати теплові реакції.

2. Термогравіметрія (TGA): Цей метод вимірює зміну маси матеріалу під час нагрівання або охолодження, що дозволяє виявити температурні зміни у фазах, оксидування та інші теплові характеристики.

3. Термічний аналіз (ТА): Включає в себе методи, такі як диференційна

термічна аналіз (DTA) та диференційна термогравіметрія (DTG), для визначення температурних змін у матеріалі.

Ці методи теплового аналізу дозволяють отримати важливі дані про термічні властивості сталі 16ГНМА, такі як температури фазових переходів, теплові потоки під час нагріву та охолодження, а також зміни маси в залежності від температури.

Сталь 16ГНМА є легованою високоміцною конструкційною сталлю з підвищеними механічними властивостями, і термічна обробка впливає на її структуру та властивості. Зазвичай, термічна обробка включає в себе:

1. Нагрівання: Спочатку матеріал нагрівають до відповідної температури, яка зазвичай перебуває в діапазоні 850-1100°C, залежно від специфікацій і вимог для певного застосування.

2. Охолодження: Після нагрівання сталь може бути охолоджена повільно або швидко, залежно від потрібної структури та властивостей. Швидке охолодження, наприклад, закалка у воді чи олії, може призводити до значного підвищення твердості та міцності.

3. Отжиг (відпуск): Це етап послаблення напруг та відновлення пластичності і деформованості матеріалу. Сталь нагрівають на певну температуру і утримують при цій температурі протягом певного часу, після чого повільно охолоджують.

Щодо термічної обробки, вона може включати різні етапи, такі як нагрів, утримання при певній температурі та охолодження з метою зміни структури та властивостей матеріалу для досягнення бажаних результатів. Наприклад, закалювання та відпуск можуть використовуватися для досягнення певних механічних характеристик сталі.

Деталі термічної обробки та хімічного складу можуть бути визначені відповідно до конкретних вимог застосування сталі 16ГНМА в конкретних умовах експлуатації.

Термічна обробка та хімічний склад сталі 16ГНМА грають важливу роль у визначенні її механічних та фізичних властивостей.

Випробування на втомну міцність: Визначення стійкості матеріалу до циклічних навантажень та втоми.

Ці методи дозволяють здійснити комплексний аналіз властивостей та структури сталі 16ГНМА, що допомагає зрозуміти її характеристики та визначити її застосування у різних умовах експлуатації.

2.2 Хімічний аналіз сталі

За складом: дана сталь за вмістом легуючих елементів відноситься до низьколегованої (3% легуючих елементів), за вмістом вуглецю: до низьковуглецевої (<0,18% вуглецю). Класифікація: сталь конструкційна вуглецева жароміцна високоякісна. [46]

Хімічний аналіз сталі 16ГНМА включає визначення вмісту різних хімічних компонентів у сплаві. Основні складові, які визначають характеристики цієї сталі, зазвичай включають вуглець, кремній, марганець, хром, нікель, молібден і алюміній.

Точний хімічний склад сталі 16ГНМА може варіювати залежно від виробника та специфікацій, але приблизний склад може бути наступним:

- Вуглець (C): 0,14-0,20%;
- Кремній (Si): до 0,40%;
- Марганець (Mn): до 0,90%;
- Хром (Cr): 0,90-1,20%;
- Нікель (Ni): до 0,30%;
- Молібден (Mo): до 0,30%;
- Алюміній (Al): до 0,05%.

Це лише приблизні значення існуючі для цієї сталі. Хімічний аналіз проводять, використовуючи спектральний аналіз або інші методи, що дозволяють точно визначити вміст різних елементів у сплаві, що впливає на його властивості та якість.

Цей хімічний склад допомагає встановити основні компоненти матеріалу,

які визначають його механічні властивості та стійкість у різних умовах обробки та експлуатації.

В таблиці 2.2 вказані норми хімічного складу за ОСТ 108.030.113-87.

Таблиця 2.2 [46] - Хімічний склад в % сталі 16ГНМА

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Cu
0,12- 0,18	0,17- 0,37	0,8-1,1	1-1,3	До 0,04	До 0,04	До 0,3	0,4- 0,55	0,15- 0,25

2.3 Лабораторні випробування матеріалу 16ГНМА

Дані лабораторні випробування матеріалу 16ГНМА були проведені, вони можуть включати різноманітні методи для визначення його властивостей та характеристик. Ось деякі з них:

Механічні властивості: Випробування на розтягнення, згин, стискання та ударні випробування можуть допомогти визначити міцність, пластичність, жорсткість та ударні властивості матеріалу.

Дослідження механічних властивостей матеріалу, такого як сталь 16ГНМА, включає ряд методів для визначення його міцності, пластичності та інших механічних параметрів. Ось деякі з них:

1. Випробування на розтягнення (тягові випробування): Це один з основних методів визначення механічних властивостей матеріалу. Він полягає у застосуванні навантаження для розтягнення зразка матеріалу до руйнування. Це дозволяє виміряти параметри, такі як межа текучості, межа міцності, деформація при максимальній міцності та деформація при руйнуванні.

2. Випробування на стиснення: Зразок матеріалу піддається стисненню для вимірювання його стійкості до компресії. Це дозволяє оцінити міцність матеріалу при дії стискаючих сил.

3. Випробування на згин: Згинання зразків допомагає визначити його

механічні властивості при дії згинаючих сил, включаючи модуль пружності та межу текучості.

4. Жорсткість та мікротвердість: Вимірювання жорсткості та мікротвердості дозволяє оцінити стійкість матеріалу до деформації під дією навантаження.

5. Випробування на втому: Оцінює міцність матеріалу під дією циклічного навантаження, яке може бути важливим для матеріалів, що працюють у циклічних умовах.

Ці дослідження допомагають визначити механічні властивості матеріалу і визначити його придатність для конкретних застосувань та умов експлуатації.

Металографічні випробування: Дослідження мікроструктури матеріалу за допомогою металографічних методів, таких як мікроскопія, допомагає визначити фазовий склад, розмір зерен та особливості структури.

Випробування на радіаційну стійкість: Випробування на вплив радіації допомагають визначити, як матеріал реагує на іонізуюче випромінювання.

Ці випробування допомагають з'ясувати властивості та поведінку матеріалу в різних умовах, що є важливим для визначення його придатності для конкретних застосувань, включаючи використання у складних середовищах, наприклад, в атомних станціях.

Випробування на радіаційну стійкість визначає здатність матеріалу (у цьому випадку – сталі 16ГНМА) витримувати вплив іонізуючого випромінювання без істотного погіршення механічних та фізичних властивостей.

2.4 Механічні та фізичні тести

Механічні та фізичні тести сталі 16ГНМА допомагають визначити різні характеристики та властивості матеріалу. Ось деякі з них:

Випробування на розтягнення: Це випробування дозволяє визначити міцність матеріалу при розтягуванні, його межу текучості та межу міцності.

Випробування на згин: Тестування на згин дозволяє визначити жорсткість та міцність матеріалу при згині.

Випробування на стискання: Визначення міцності матеріалу при стисканні допомагає оцінити його стійкість до стискувальних навантажень.

Ударні випробування: Ці тести використовуються для визначення ударної міцності та жорсткості матеріалу.

Металографічні випробування: Дослідження мікроструктури за допомогою металографічних методів, таких як мікроскопія, допомагає вивчити зернову структуру, наявність включень та дефектів.

Термічні властивості: Аналіз теплових властивостей, таких як коефіцієнт теплопровідності та розширення матеріалу, важливий для оцінки поведінки сталі при зміні температур.

Випробування на корозію: Тести на корозію визначають стійкість матеріалу до впливу різних корозійних середовищ.

Випробування на втомну міцність: Тести на втомну міцність допомагають визначити стійкість матеріалу до циклічних навантажень.

Визначення твердості: Важлива металургійна характеристика, яка визначає її стійкість до зношування, властивості обробки та використання в різних умовах. Отже, визначення твердості сталі є важливим етапом в процесі виробництва, контролю якості та визначення її придатності для конкретних застосувань.

У данній роботі визначення твердості проводилось за допомогою твердоміра металів за Брінеллем, Роквеллем та Віккерсом (рис. 2.2).

HV=150 МПа, що відповідає нормам ОСТ 108.030.113 – 87. [46]



Рисунок 2.2 – Твердомір NOVOTEST TC-БРВ.

Ці випробування допомагають вивчити широкий спектр властивостей та поведінки сталі 16ГНМА в різних умовах експлуатації, що є важливим для визначення її придатності для конкретних застосувань (табл 2.3).

Таблиця 2.3 – Механічні властивості сталі 16ГНМА при $T=20^{\circ}\text{C}$

$\sigma_{\text{в}}$ (МПа)	$\sigma_{\text{т}}$ (МПа)	δ (%)	Ψ (%)	КСУ (кДж/м ²)
560	400	21	60	1200

- $\sigma_{\text{в}}$ - границя міцності (МПа);
- $\sigma_{\text{т}}$ - границя текучості для залишкової деформації (МПа);
- δ - відносне видовження при розриві (%);
- Ψ - відносне звуження (%);
- КСУ - ударна в'язкість (кДж/м²).

Таблиця 2.4 – Фізичні властивості сталі 16ГНМА

Т (Град)	$E \cdot 10^{-5}$ (МПа)	$\alpha \cdot 10^6$ 1/Град	λ Вт (м· град)	ρ Кг/м ³	C Дж (кг· град)
500	-	14	36	7700	487

2.5 Аналіз структури та властивостей матеріалу. Вплив умов роботи на матеріал

Умови експлуатації атомної станції можуть суттєво впливати на сталь 16ГНМА, що використовується у конструкціях або деталях реактора та інфраструктури. Оскільки атомні станції працюють у складних умовах, вплив може бути різноманітним:

Термічні умови: Висока температура реактора та теплові навантаження можуть спричиняти термічні напруження у матеріалі. Це може впливати на його структуру, міцність та механічні властивості.

Радіаційне вплив: Радіація, що випромінюється в реакторі, може впливати на структуру матеріалу, змінюючи його мікроструктуру та властивості.

Корозійний вплив: Хімічно активні речовини у середовищі атомної станції можуть сприяти корозії матеріалу, зокрема, у водному середовищі реактора.

Механічне навантаження: Умови роботи можуть включати механічне навантаження, що може викликати деформації та зміни механічних властивостей.

Вплив іонізуючого випромінювання: Умови роботи атомної станції можуть включати вплив іонізуючого випромінювання, яке може викликати зміни у структурі та властивостях матеріалу.

Ці фактори можуть взаємодіяти та впливати на матеріал сталі 16ГНМА у складних та екстремальних умовах атомної станції. Для забезпечення безпеки та тривалої експлуатації важливо ретельно досліджувати та контролювати ці параметри у процесі роботи атомної установки.

Аналіз впливу окремих легувальних елементів та домішок на технологічну зварність:

Вуглець (С) – підвищення вмісту вуглецю полегшує перехід сталі в крихкий стан, кожна 0,1% С підвищує поріг холодноламкості на 20°C і розширює перехідний інтервал від в'язкого до крихкого стану, при цьому знижується густина сталі, зростає електроопір і коерцитивна сила, знижується теплопровідність, залишкова індукція та магнітна проникність.

Марганець (Mn) сприяє підвищенню меж міцності і текучості сталі. Марганець – активний розкислювач і десульфуратор сталі. Останнє проявляється в очищенні сталі і металу шва при зварюванні від шкідливої домішки - сірки шляхом утворення нерозчинних з'єднань сірчистого марганцю, що легко видаляються з металу. При звичайному його змісті в вуглецевих сталях (0,3-0,8%) марганець сприятливо впливає на технологічність сталі і, крім того, зменшує розбрикування металу при зварюванні. Однак при більш високому вмісті, наприклад 1,8-2,5%, він істотно підвищує прогартованість сталі, в результаті чого з'являється небезпека появи тріщин в навколошовній зоні. [66]

Молибден (Mo). Легування молибденом поширено при виготовленні різального інструмента в деталей, що експлуатуються при високих температурах. Звужує область γ -фази в металі, сприяючи розпаду аустеніту. При розплавлюванні сталі входить в твердий розчин, посилюючи енергію внутрішньокристалічних зв'язків. Володіючи високою температурою рекристалізації, підвищує її для всього сплаву в цілому. Молибден є найактивнішим зміцнювачем сталей і найкращим чином впливає на їх жароміцність. Підвищує пластичність сталі при тривалому нагріванні і знижує її схильність до теплової крихкості. При нагріванні сталі молибден дифундує з твердого розчину і утворює менш цінну структуру карбиду молибдену Mo_2C , що призводить до знеміцнення молибденових сталей при тривалому нагріванні. Ці карбіди коагулюють потім у великі утворення, які можуть розпастися згодом на складові частини (у тому числі на графіт). Остання обставина змушує вважати чистий молибден графітизатором сталі.

Нікель (Ni). Це сильний розширювач γ -фази в сталі. Нікель є активним стабілізатором аустеніту (у чому й полягає його основне призначення як легуючого елементу), зберігаючи в сталі аустеніт до найнижчих температур.

При легуванні аустенітна структура в сталі забезпечується при вмісті Ni 25%; при одночасному легуванні іншими елементами (наприклад, хромом) витрата нікелю може скоротитися в 2 рази. На жароміцність нікель впливає лише опосередковано, створюючи в сталі структуру найбільш жароміцного аустеніту. Нікель є також графітізатором, підвищує в'язкість сталі і поліпшує її зварюваність, схильний до окислення, а в комбінації з хромом сприяє розвитку в сталі теплової крихкості.

Кремній (Si). Звужує область γ -фази в металі, сприяючи розпаду аустеніту. Карбідів не утворює. Жароміцності сталі не підвищує, проте сприятливо впливає на окаліноостійкість, не поступаючись в цьому відношенні впливу хрому і алюмінію. Кремній – дуже ефективний розкислювач сталі при виплавці, а також активний стабілізатор властивостей сталі проти окаліноутворення. У кількостях до 0,3% кремній не впливає на якість зварювання сталі, у великих кількостях сприяє утворенню в зварному стику тугоплавкого в'язкого оксиду, забруднюючи метал шва неметалевими включеннями і знижує міцність зварювання.

Хром (Cr). Звужує область γ -фази в металі, сприяючи розпаду в ній аустеніту. Володіючи високою температурою рекристалізації, підвищує як таку для всього сплаву в цілому, що (при вмісті хрому до 1,5%) дещо підвищує жароміцність сталей. Утворює ряд карбідів, однак останні схильні до розчинення в ферит, після чого зміцнюючу дію згаданих карбідів хрому не може бути використано. Будучи надзвичайно активним розкислювачем, хром пов'язує в окис практично весь вільний кисень, забезпечуючи високі антикорозійні властивості сталі як при низьких, так і при високих температурах, а також жаростійкість сталі (окаліноостійкість), що містить хром. При вмісті Cr (13%) сталь стає нержавіючою. Утворюючи на поверхні металу міцну оксидну плівку, що захищає сталь від подальшого окислення (іржавіння), хром ускладнює зварювання сталі, що змушує застосовувати попередній і супутній підігрів і

особливо ретельну термічну обробку зварних стиків. У великих кількостях (і в присутності молібдену) хром є також антиграфітизатором.

Сірка (S), фосфор (P). Потрапляють в сталь з руди і є дуже шкідливими домішками для сталей, які зумовлюють їх холодноламкість (фосфор) і червонламкість (сірка), а також ускладнюють їх лиття і механічну обробку. [67]

2.6 Порівняльний аналіз матеріалів

Сталь 10ГН2МФА і сталь 16ГНМА є високоміцними конструкційними матеріалами, які мають свої унікальні характеристики і застосування. Ось порівняльний аналіз цих матеріалів:

1. Хімічний склад:

– Сталь 10ГН2МФА: Містить вуглець, кремній, марганець, хром, молібден та фосфор. Має підвищену міцність та витривалість при підвищених температурах;

– Сталь 16ГНМА: Має схожий хімічний склад із додаванням нікелю та бору, що робить її більш стійкою до корозії та впливу радіації.

2. Механічні властивості:

– Сталь 10ГН2МФА: Має високу міцність, добру зварюваність та стійкість до втоми;

– Сталь 16ГНМА: Також характеризується високою міцністю та деякою стійкістю до впливу корозії та радіації.

3. Застосування:

– Сталь 10ГН2МФА: Використовується у виробництві труб, обладнання для нафтогазової промисловості, турбін та конструкцій високотемпературних установок;

– Сталь 16ГНМА: Застосовується у виробництві деталей ядерних реакторів, компонентів атомних станцій та інших об'єктів, де важлива стійкість до корозії та радіаційного впливу.

4. Особливості:

- Сталь 10ГН2МФА: Зазвичай має високу твердість і міцність при підвищених температурах;
- Сталь 16ГНМА: Покращена стійкість до корозії та впливу радіації, що робить її відмінним вибором для ядерних застосувань.

Обидві сталі мають важливі властивості для своїх конкретних застосувань. Вибір між ними може залежати від конкретних умов експлуатації, вимог до міцності, корозійної стійкості та впливу температурних чи радіаційних умов на матеріал.

2.7 Розрахунок фазового складу металу зварного шва

На основі експериментальних даних, показано діаграму для визначення фазового складу металу зварних швів. [50]

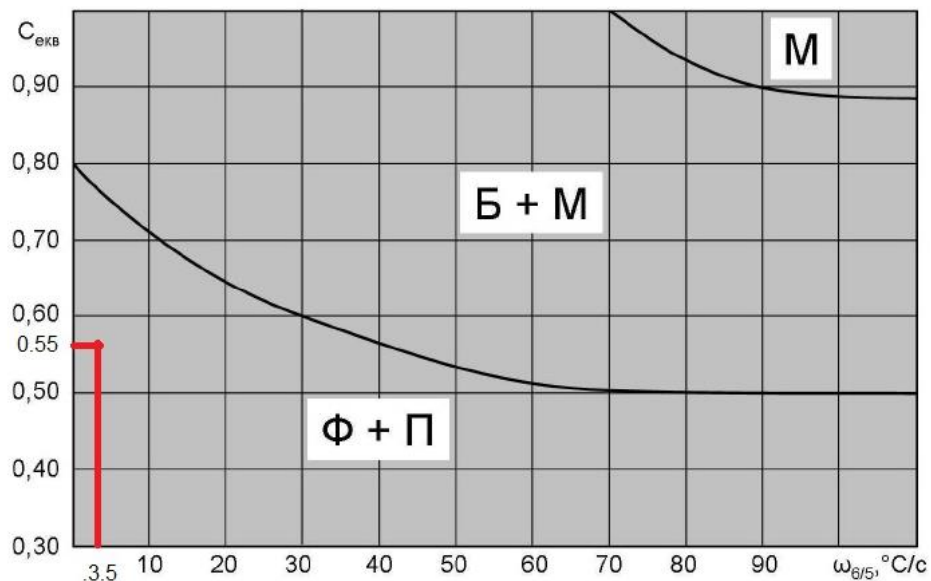


Рисунок 2.3 – Діаграма визначення фазового складу металу зварних швів

Треба знайти спочатку середню швидкість охолодження металу шва $\omega_{6/5}$:
 $\rho=7700 \text{ Кг/м}^3$; $T=550 \text{ }^\circ\text{C}$; $T_0=20^\circ\text{C}$ $g=I \cdot U \cdot \eta=8400$; $V=0,005 \text{ м/с}$; $s=0,008 \text{ м}$;
 $\lambda=36 \text{ Вт (м. град)}$; $c=487 \text{ Дж (кг/град)}$

Оскільки ПШЛД швидкість охолодження буде виглядати наступним

ЧИНОМ:

$$\omega = 2 \pi \lambda c \rho \cdot \frac{(T-T_0)^2}{\left(\frac{q}{\sqrt{3B}}\right)^2} \cdot s^2$$

$$\omega = 2 \cdot 3,14 \cdot 36 \cdot 487 \cdot 7700 \cdot \frac{(550-20)^2}{\left(\frac{8400}{0,005}\right)^2} \cdot 0,008^2 = 3,5^\circ\text{C}/\text{c}$$

$$\omega = 3,5$$

Знаходимо вуглецевий еквівалент:

$$C_{\text{екв}} = C + \text{Si}/7 + \text{Mn}/8 + \text{Cr}/9 + \text{Cu}/10 + \text{Ni}/13 + \text{P}/1,5$$

$$C_{\text{екв}} = 0,18 + 0,37/7 + 1,1/8 + 0,3/9 + 0,25/10 + 1,3/13 + 0,035/1,5 = 0,552$$

З рисунку 2.3 можемо визначити, що метал зварного шва має структуру Ф+П.

2.8 Розрахунки кількості структурних елементів металу навколошовної ділянки

Можна розрахувати вміст мартенситу, так як відсотковий вміст вуглецю входить в межі від $C=0,18-0,35$. [50]

Розрахунок вуглецевого еквіваленту:

$$C_{\text{екв.}} = C + \frac{\text{Si}}{24} + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Ni}}{10} + \frac{\text{Cr}}{5} + \frac{\text{Mo}}{4} + \frac{\text{Cu}}{15} + \frac{\text{V}}{14} + 5\text{B}$$

$$C=0,18 \quad \text{Si}=0,37 \quad \text{Mn}=1,1 \quad \text{Cr}=0,3 \quad \text{Ni}=1,3 \quad \text{Mo}=0,55 \quad \text{Cu}=0,25 \quad \text{V}=0 \quad \text{B}=0$$

$$C_{\text{екв.}} = 0,18 + \frac{0,18}{24} + \frac{1,1}{6} + \frac{1,3}{10} + \frac{0,3}{5} + \frac{0,55}{4} + \frac{0,25}{15} = 0,723$$

Визначення кількості мартенситу в навколошовній ділянці ЗТВ за такою формулою:

$$M = 100[0,95 - \exp(-k_m \cdot \omega_{6/5}^{n_M})]$$

де ω_T - середня швидкість охолодження металу в інтервалі температур 600-500°C в нашому випадку.

Ми отримуємо повне проплавлення пластини, так як товщина металу $\delta=8$ мм, а зварювальний струм $I_{\text{зв}}=300$ А, через це маємо потужне швидкодіюче лінійне джерело (ПШЛД).

Визначемо середню швидкість охолодження в інтервалі 600...500°C, за даною формулою:

$$\omega_T = 2\pi\lambda c\delta \frac{(T - T_0)^3}{\left(\frac{g}{\sqrt{V_{3B}}}\right)^2} S^2$$

$$g = IU\eta$$

$$g = 300 \cdot 28 \cdot 1 = 8400 \text{ Вт}$$

Швидкість охолодження навколошовної ділянки: $\omega_{6/5} = 3,5 \text{ } ^\circ\text{C/c}$

Визначемо розрахункові коефіцієнти (k_M, n_M) за формулами:

$$n_M = \frac{3,3475}{\ln(\omega_{M2}/\omega_{M1})} = 1,558$$

$$k_M = \frac{0,1054}{(\omega_{M1})^{n_M}} = 0,07$$

ω_{M1}, ω_{M2} - критичні швидкості охолодження, які провокують утворенню 90 % мартенситу.

$$\omega_{M1} = 0,343 \cdot C_{\text{ЕКВ}}^{-4,116} = 1,304$$

$$\omega_{M2} = 3,217 \cdot C_{\text{ЕКВ}}^{-3,838} = 11,176$$

Відповідно, кількість мартенситу в навколошовній зоні М=34% і В=61%

2.9 Розрахунок фазового складу навколошовної ділянки

Діаграма узагальненого характеру (Рис.2.4) використаємо для розрахунку фазового складу навколошовної ділянки [50].

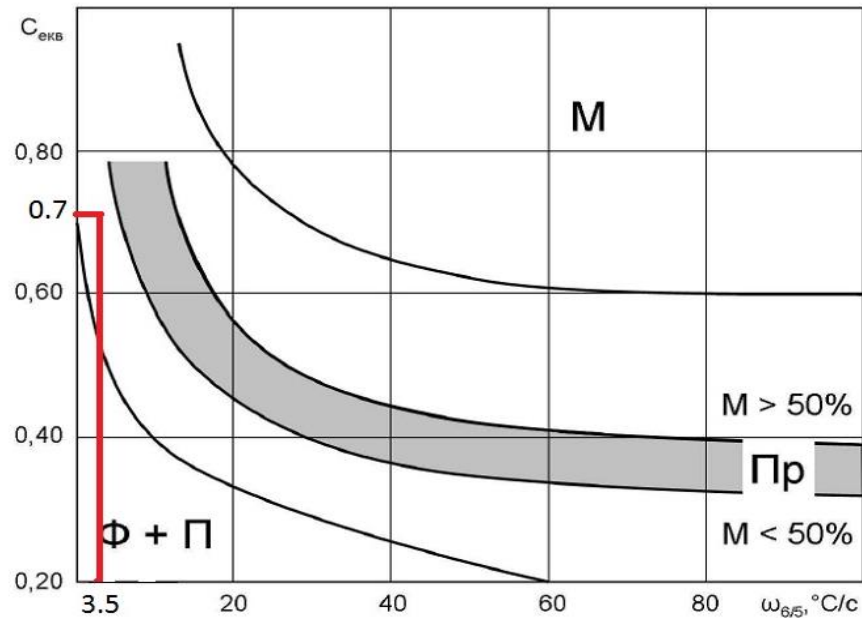


Рисунок 2.4 – Діаграма визначення фазового складу навколошовної ділянки ЗТВ

Визначення вуглецевого еквіваленту:

$$C_{\text{екв.}} = C + \frac{\text{Si}}{24} + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Ni}}{10} + \frac{\text{Cr}}{5} + \frac{\text{Mo}}{4} + \frac{\text{V}}{14}$$

$$C=0,18 \quad \text{Si}=0,37 \quad \text{Mn}=1,1 \quad \text{Cr}=0,3 \quad \text{Ni}=1,3 \quad \text{Mo}=0,55 \quad \text{Cu}=0,25 \quad \text{V}=0$$

$$C_{\text{екв.}} = C * \frac{\text{Si}}{24} * \frac{\text{Mn}}{6} * \frac{\text{Ni}}{10} * \frac{\text{Cr}}{5} * \frac{\text{Mo}}{4} * \frac{\text{Cu}}{15} * \frac{\text{V}}{14} = 0.723$$

Швидкість охолодження металу шва: $\omega=3,5$.

На діаграмі видно, що на перетині ліній є мартенситна структура, з вмістом мартенситу менше 50%.

Використавши два методи, отримали мартенситну структуру менше 50%. Тому можемо зробити висновок, що розрахунки вірні.

2.10 Аналіз схильності даного матеріалу до утворення тріщин під час зварювання

Низьковуглецеві, низьколеговані сталі мають склад C, Ni, Si та P.

Таким чином, якщо дотримуватись режимів зварювання та правильно використовувати присадковий метал, досягнення швів без тріщин може бути дуже успішним.

Найбільш поширеними і небезпечними дефектами зварних з'єднань є холодні тріщини в термоактивній зоні і металі шва, які виникають в загартованих матеріалах під дією водню і зварювальних напружень.

При зварюванні багат шарових швів часто виникають поперечні тріщини, що пронизують метал шва і частину металу в навколишній області шва, а також внутрішні поздовжні тріщини в металі кореневого шва.

Пластинчасті тріщини можуть виникати на кутах і торцях листового прокату сталі товщиною понад 12 мм.

Вони розташовані в основному металі та орієнтовані паралельно межі сплавлення та можуть спричинити руйнування.

Висока стійкість до розтріскування зварних з'єднань цієї сталі забезпечується, якщо вміст дифузійного водню в наплавленому металі не перевищує 3,5-4,0 мл/100 г. Вищі концентрації водню знижують стійкість шва до утворення холодних тріщин. Для запобігання утворенню холодних тріщин при зварюванні з'єднань необхідно проводити попередній підігрів. Схильність до корозійного розтріскування зварних сталевих з'єднань визначається наявністю пружних або пластичних деформацій в металі, викликаних зовнішніми або внутрішніми напруженнями. Зовнішні напруження можна змінити, регулюючи навантаження на виріб, а внутрішні напруження можна змінити за допомогою техніки зварювання та обов'язкового відпустки або нормалізації, відпустка локалізована, а нормалізація застосовується до всього звареного виробу [51].

2.11 Розрахункова оцінка стійкості до розтріскування металу зварних з'єднань під час зварювання

Найчастіше використовують для вуглецевих і низьколегованих сталей – розрахункові показники схильності до горячого розтріскування (Hot Cracking Susceptibility – HCS)

$$HCS = \frac{C \cdot (S + P + 0,04Si + 0,01Ni) \cdot 10^3}{3Mn + Cr + Mo + V} = 4,459$$

де HCS – параметр, що дозволяє оцінювати схильність зварних швів з низьколегованих сталей до утворення кристалізаційних тріщин у балах. Сталі з границею міцності $\sigma_B < 700$ МПа вважаються потенційно схильними до виникнення гарячих тріщин, якщо $HCS > 4$. Виходячи з того, що $\sigma_B = 560$ МПа, а $HCS = 4,459$ – наша сталь схильна до виникнення гарячих тріщин. [50]

2.12 Розрахункова оцінка стійкості до розтріскування металу зварних з'єднань під час зварювання до утворення холодних тріщин

У більшості випадків вуглецевий еквівалент використовують як розрахунковий показник стійкості вуглецевих і низьколегованих сталей до утворення холодних тріщин.

Розрахунки проводяться за радянською формулою, згідно з рекомендаціями державного стандарту ГОСТ 27772-88:

$$C_{\text{екв}} = C + \frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cu}{13} + \frac{V}{14} + \frac{P}{2} = 0,645$$

При використанні сталі: а) вважається менш сприятливою до утворення холодних тріщин, якщо $C_{\text{екв}} < 0,35$ %; б) утворюються холодні тріщини за деяких конструкторсько-технологічних умов зварювання, якщо $C_{\text{екв}} = 0,35 \dots 0,6$ %; в) існує висока схильність до появи холодних тріщин, якщо $C_{\text{екв}} > 0,6$ %.

Зі знайденого вуглецевого еквіваленту можна зробити висновок, що сталь має високу схильність до холодного розтріскування [50].

2.13 Рекомендації, на рахунок теплового режиму зварювання та розрахунок температури попереднього підігріву

Так як сталь 16ГНМА схильна до утворення холодних тріщин, тому для запобігання під час зварювання необхідний попередній підігрів. Розрахунок проведений за методикою Д. Сефиріана. Обчислимо вуглецевий еквівалент:

$$C_{\text{екв}} = C + \frac{\text{Mn} + \text{Cr}}{9} + \frac{\text{Ni}}{18} + \frac{7}{90} \cdot \text{Mo}$$

$$C_{\text{екв}} = 0,18 + \frac{1,1 + 0,3}{9} + \frac{1,3}{18} + \frac{7}{90} \cdot 0,55 = 0,451$$

В розраховані значення вносимо правки на товщину з'єднуваного металу, мм:

$$C'_{\text{екв}} = 0,0058 C_{\text{екв}}$$

$$C'_{\text{екв}} = 0,005 \cdot 8 \cdot 0,451 = 0,018$$

Розрахуємо загальний вуглецевий еквівалент:

$$C''_{\text{екв}} = C_{\text{екв}} + C'_{\text{екв}} = C_{\text{екв}}(1 + 0,0058)$$

$$C''_{\text{екв}} = 0,451(1 + 0,005 \cdot 8) = 0,469$$

Визначемо температура попереднього підігрівання:

$$T_{\text{п}} = 350 \sqrt{C''_{\text{екв}} - 0,25}$$

$$T_{\text{п}} = 350 \sqrt{0,469 - 0,25} = 164^{\circ}\text{C} [50]$$

Визначення часу підігріву: 1,5-2 хв. на 1мм. товщини з'єднання.

Вибір способу зварювання цієї сталі, що забезпечує необхідні технічні властивості для зварних з'єднань, можливий, якщо хімічний склад і товщина основного металу, параметри способу зварювання і температура нагріву з'єднання, а також хімічна склад підходить. Вид матеріалу, вміст водню в наплавленому металі, тип формування кромки і з'єднання.

Критеріями визначення робочого діапазону зварювання є максимально та мінімально допустимі швидкості охолодження зони зварювання. Мінімальна

швидкість охолодження повинна бути обмежена, щоб запобігти негативному впливу на тканину і знизити ударну в'язкість металу в зоні перегріву. Надмірна погонна енергія зварювання призводить до утворення крупнозернистої структури з низьким індексом ударної в'язкості поблизу лінії плавлення. Крім того, тривалий вплив на окремі зони основного металу температур, що перевищують температуру відпуску сталі, може послабити метал. Рекомендується регулювати швидкість охолодження, змінюючи як енергію приводу, так і температури попереднього та післяпідігріву з'єднання. Нагрівання уповільнює швидкість охолодження при температурах нижче 300 °С, що сприяє більш повному видаленню водню з осадженого металу. При цьому підвищується стійкість стику до утворення холодних тріщин. Значне збільшення робочої енергії збільшує час перебування металу в області високих температур і погіршує механічні властивості. Таким чином, використовуючи оптимальний режим зварювання і температуру нагріву до і після зварювання, досягається оптимальне співвідношення механічних властивостей. При зварюванні з'єднання певної товщини швидкість охолодження навколошовної зони шва повинна регулюватися головним чином шляхом зміни погонної енергії зварювання [51].

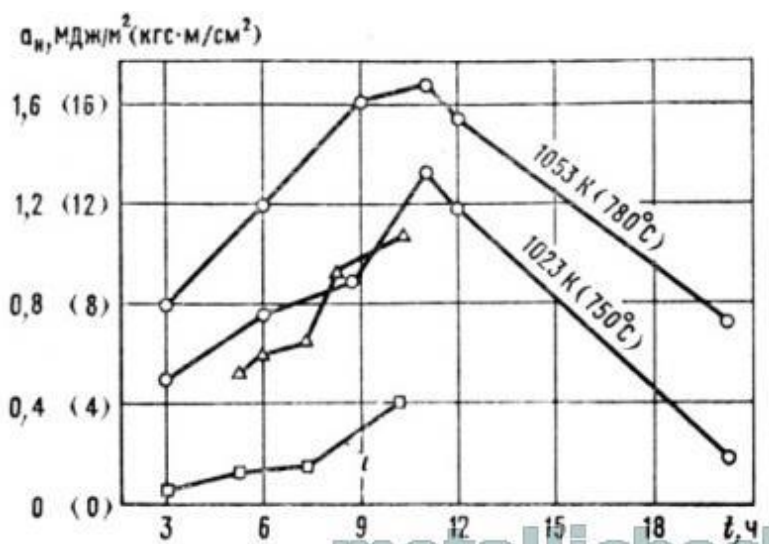
2.14 Характеристики зварювання та термічної обробки сталі 16ГНМ (і схожих)

У процесі термообробки в інтервалі температур A_{c1} - A_{c3} відбувається часткова перекристалізація металу шва та навколошовної зони. При температурах цього інтервалу співіснують два тверді розчини: аустеніт з евтектоїдним вмістом вуглецю і ферит з малою його кількістю. Система термодинамічно нестійка, і вуглець дифундує з аустеніту до фериту. Результатом дифузії є місцеве збагачення аустеніту вуглецем та збільшення кількості аустенітизованих (збагачених вуглецем) ділянок. При подальшому охолодженні в них відбувається евтектоїдне або проміжне перетворення, а феритно-перлітна або феритно-бейнітна структура, що утворюється, подрібнюється.

Пластинчастий перліт при цьому частково або повністю перетворюється на більш сприятливий зернистий. Зі збільшенням тривалості перебування металу за температур міжкритичного інтервалу дисперсність структури зростає.

Оптимальний режим термообробки визначається хімічним складом сталі. Найбільшої її ефективності очікується для порівняно низьковуглецевих сталей (менше 0,25% С). Чим більше сталь легована елементами, що стабілізують цементит (наприклад, марганцем, хромом, молібденом), тим вища температура та більше часу знадобиться для подрібнення структури у шві та зоні термічного впливу. У сталях, що містять активні нітридоутворюючі елементи (алюміній, ванадій та ін.), у процесі термообробки вільний азот, що розчинився в зоні термічного впливу при перегріві, зв'язується в нітриди. В результаті підвищується пластичність та стійкість металу проти крихкого руйнування.

Збільшення температури нагрівання при термообробці дозволяє отримати високу ударну в'язкість металу ділянки перегріву за меншої тривалості нагрівання (рис. 2.5).



(○) – сталь 09Г2С; (Δ) – сталь 16ГС, 1053 К(780°C); (□) – сталь 12ХМ, 1023 К(750°C)

Рисунок 2.5 – Вплив температури та тривалості витримки в процесі термообробки в інтервалі температур A_c-A_{c3} на ударну в'язкість металу у ділянці перегріву при 243 К (-30°C).[63]

З подовженням до певних меж часу витримки опір металу ділянки перегріву крихкому руйнуванню значно зростає. Вплив тривалості витримки при температурах міжкритичного інтервалу є неоднозначним для сталей різних систем легування. В ділянці перегріву на сталі 09Г2С, наприклад, відбувається помітне зниження ударної в'язкості в результаті збільшення тривалості витримки до 20 год. без сильних карбідоутворюючих елементів.

Як приклад вкажемо, що необхідна ударна в'язкість металу ділянки перегріву при 233 К (-40° С) може бути отримана після нагрівання при 1053 К (780° С) з'єднань зі сталі 09Г2С і 16ГНМ протягом 5-6 год, зі сталі 16ГС - 8 год, із сталі 12ХМ-10 год (рис. 2.6). [63]

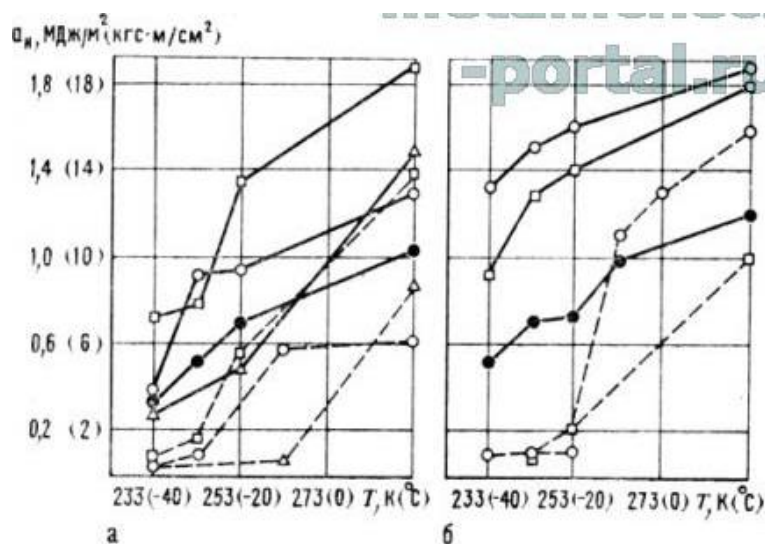


Рисунок 2.6 – Ударна в'язкість металу ділянки перегріву (а) та шва (б) різних низколегованих сталей після високого відпуску при 923 К (650°С) та віджигу при 1053 К (780°С) з охолодженням у печі. Тривалість віджигу для сталей 09Г2С (□) та 16ГНМА (●)-5-6 год, для сталі 16ГС (○)- 8 год, для сталі 12ХМ (Δ) – 10 год. [63]

Лита крупнозерниста структура металу шва у багатьох випадках ускладнює підвищення його в'язкості. Тільки після дуже тривалої витримки (до 20 год) у міжкритичному інтервалі температур спостерігається значне подрібнення внутрішньозеренної структури та зниження критичної температури

крихкості металу шва в область температур нижче 233 К (-40 ° С). Тому підвищення ударної в'язкості шва необхідно оптимальне легування поєднувати з поліпшенням первинної структури, підвищенням чистоти металу шва за домішками і газів тощо. (рис. 2.6,б).

Термообробка з'єднань з багатьох низьколегованих сталей допускається із уповільненим охолодженням (у печі) без подальшої високої відпустки для зняття напруги. Міцні властивості зварних сполук при цьому змінюються незначно. [63]

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

В даній магістерській дисертації я дослідила матеріал 16ГНМА, провела металографічний аналіз сталі за допомогою оптичного мікроскопу, визначила його механічні та фізичні властивості, порівняла з конкурентною сталлю 10ГН2МФА (яка працює у тих же умовах роботи АЕС), вивчила та проаналізувала особливості сварки та термообробки сталі 16ГНМА (та схожих).

У таблиці 3.1 представлено результати хімічного аналізу визначені рентгеновським методом.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад в % сталі 16ГНМА

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Cu
0,12	0,20	0,8	1	0,04	0,04	0,3	0,55	0,25

Хімічний склад сталі 16ГНМА повністю відповідає нормам ОСТ 108.030.113-87.

Сталь 16ГНМА – конструкційна жароміцна низьколегована високоякісна, добре зварюється.

Провівши металографічний контроль, на фрактограммі добре видно основний метал, він має структуру – бейніт з феритною складовою. Відношення фаз бейніт к фериту– 80/20%. Мікроструктура задовольняє вимоги ТУ.

Контроль металу на неметалічні включення показав, що в сталі 16ГНМА присутні сульфіді, не деформуючі силікати та оксиди. Їх вміст не перевищує норму.

Мікроструктура сталі 16ГНМА та навколошовної ділянки ЗТВ наведена на рисунку 3.1 та 3.2.

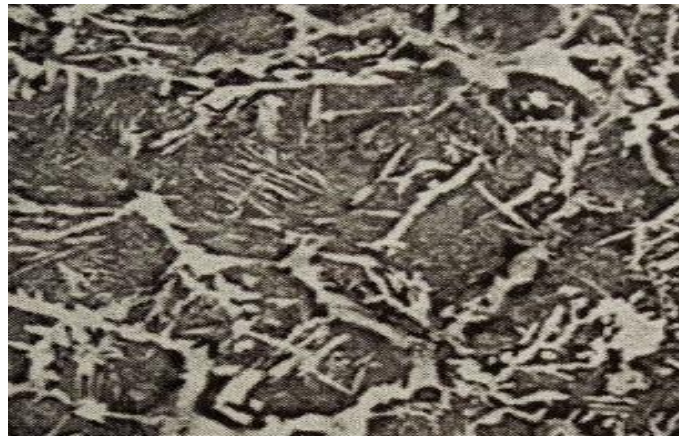


Рисунок 3.1 – Мікроструктура сталі 16ГНМА x 200



Рисунок 3.2 – Мікроструктура навколошовної ділянки зварного шва
(сталь 16ГНМА) x 200

З метою підвищення безпеки експлуатації барабана парового котла було проведено дослідження структури металу барабана, а також аналіз напруженого стану та температурної ситуації. Дослідження структури і властивостей показали, що сталь 16ГНМА є досить надійним матеріалом для барабана котлів високого тиску. Сталь 16ГНМА має меншу деформативність і підвищений опір релаксації, що призводить до меншої короткочасної втомної довговічності при 340–350°C.

Перевірка металу барабана після тривалої експлуатації показала, що сталь 16ГНМА не показала структурних змін, видимих під оптичним мікроскопом, але субструктурні зміни відбулися. Карбіди розміром менше 0,1 мкм виділяються на

межах зерен і дислокаціях, що призводить до зниження пластичності сталі. Проте крихкість, пов'язана зі старінням не відбувається. Сульфід заліза знижує довговічність у водному середовищі. Вони є концентраторами мікронапруги і утворюють мікрогальванічні елементи. Довговічність сталі 16ГНМА приблизно в 20 разів перевищує міцність 16ГНМ при низьких теплових навантаженнях. Використовуючи замість сталі 16ГНММ сталь 16ГНМА, вдалося підвищити експлуатаційну надійність барабана котла високого тиску.

За допомогою твердоміра визначено твердість сталі $HV=150$ МПа, що відповідає нормам ОСТ 108.030.113 – 87 [46].

При проведенні механічних випробувань визначено границю міцності, границю текучості, відносне видовження, відносне звуження і ударна в'язкість сталі: можна побачити у таблиці 3.2. Результати відповідають нормам ОСТ 108.030.113 – 87 [46].

Таблиця 3.2 – Механічні властивості сталі 16ГНМА при $T=20^{\circ}\text{C}$

σ_B (МПа)	σ_T (МПа)	δ (%)	Ψ (%)	КСУ (кДж/м ²)
560	400	21	60	1200

Результати фізичних властивостей вказані в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Фізичні властивості сталі 16ГНМА

T (Град)	$E \cdot 10^{-5}$ (МПа)	$\alpha \cdot 10^6$ 1/Град	λ Вт (м· град)	ρ Кг/м ³	C Дж (кг· град)
500	-	14	36	7700	487

При виборі методу та розрахунку фазового складу металу зварного шва використовували діаграму для визначення фазового складу металу зварних швів, яка побудована на основі експериментальних даних (рис. 3.1) [50].

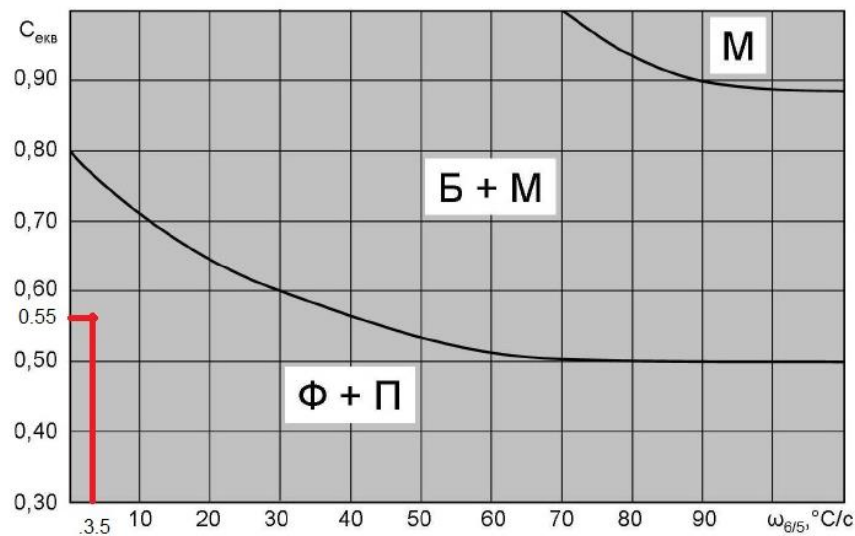


Рисунок 3.1 – Діаграма визначення фазового складу металу зварних швів

Знайдена середня швидкість охолодження металу шва $\omega_{6/5}$: $\omega=3,5 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{c}$

Знайден вуглецевий еквівалент:

$$\text{Секв.} = 0,18 + 0,37/7 + 1,1/8 + 0,3/9 + 0,25/10 + 1,3/13 + 0,035/1,5 = 0,552$$

З рисунку 3.1 визначили, що метал зварного шва має структуру Ф+П.

При розрахунку кількості структурних елементів металу навколошовної ділянки, розраховували вміст мартенситу, так як відсотковий вміст вуглецю входить в межі від $C=0,18-0,35$. [50]

Розрахунок вуглецевого еквіваленту:

$$\text{Секв.} = 0,18 + \frac{0,18}{24} + \frac{1,1}{6} + \frac{1,3}{10} + \frac{0,3}{5} + \frac{0,55}{4} + \frac{0,25}{15} = 0,723$$

Визначення кількості мартенситу в навколошовній ділянці ЗТВ за такою формулою:

$$M = 100[0,95 - \exp(-k_m \cdot \omega_{6/5}^{n_M})]$$

Ми отримали повне проплавлення пластини, так як товщина металу $\delta=8$ мм, а зварювальний струм $I_{зв}=300$ А, через це маємо потужне швидкодіюче лінійне джерело (ПШЛД).

Визначили середню швидкість охолодження в інтервалі 600...500°C:

$$g=300 \cdot 28 \cdot 1=8400 \text{ Вт}$$

Швидкість охолодження навколошовної ділянки: $\omega_{6/5}=3,5 \text{ } ^\circ\text{C/c}$

Визначили розрахункові коефіцієнти (k_M, n_M):

$$n_M = \frac{3,3475}{\ln(\omega_{M2}/\omega_{M1})} = 1,558$$

$$k_M = \frac{0,1054}{(\omega_{M1})^{n_M}} = 0,07$$

ω_{M1}, ω_{M2} - критичні швидкості охолодження, які провокують утворенню 90 % мартенситу.

$$\omega_{M1} = 0,343 \cdot C_{\text{екв}}^{-4,116} = 1,304$$

$$\omega_{M2} = 3,217 \cdot C_{\text{екв}}^{-3,838} = 11,176$$

Відповідно, кількість мартенситу в навколошовній зоні М=34% і В=61%

При вибір методики та розрахунку фазового складу навколошовної ділянки використована діаграма узагальненого характеру (Рис.3.2) в для розрахунку фазового складу навколошовної ділянки [50].

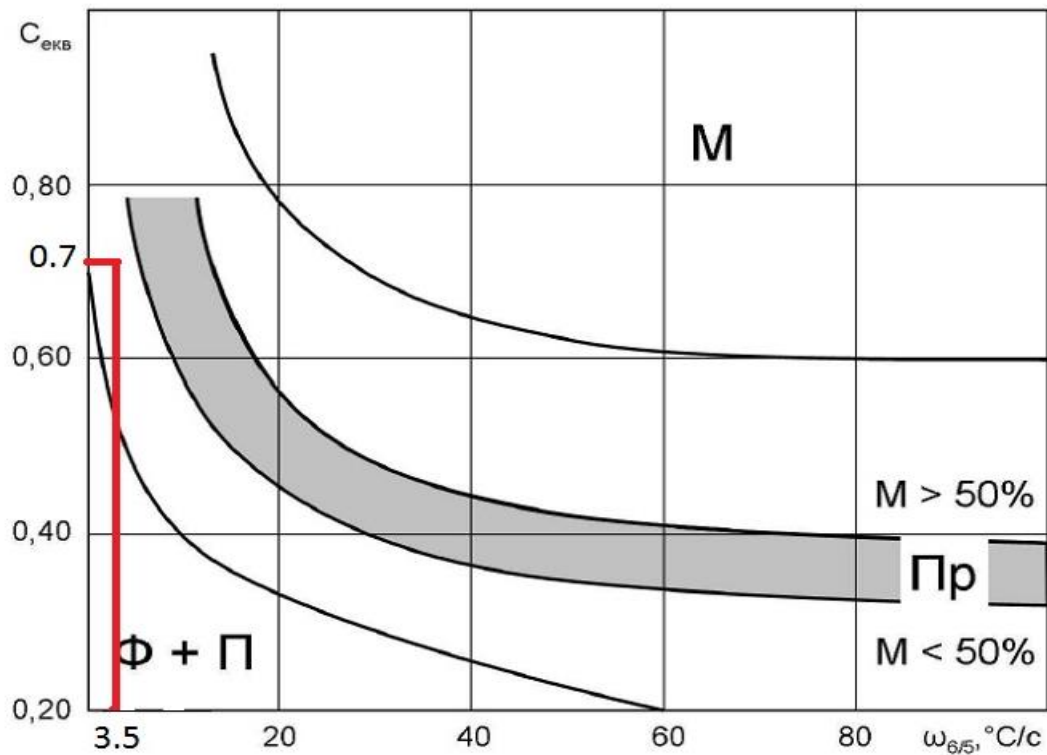


Рисунок 3.2 – Діаграма визначення фазового складу навколошовної ділянки ЗТВ

Визначено вуглецевого еквіваленту:

$$C_{\text{екв}} = C * \frac{\text{Si}}{24} * \frac{\text{Mn}}{6} * \frac{\text{Ni}}{10} * \frac{\text{Cr}}{5} * \frac{\text{Mo}}{4} * \frac{\text{Cu}}{15} * \frac{\text{V}}{14} = 0,723$$

Швидкість охолодження металу шва: $\omega = 3,5^{\circ}\text{C}/\text{c}$.

На діаграмі видно, що на перетині ліній є мартенситна структура, з вмістом мартенситу менше 50%.

Використано два методи, отримали мартенситну структуру менше 50%. Тому можемо зробити висновок, що розрахунки вірні.

При аналізі схильності даного матеріалу до утворення тріщин під час зварювання: визначено низьколеговані сталі мають склад C, Ni, Si та P.

Таким чином, якщо дотримуватись режимів зварювання та правильно використовувати присадковий метал, досягнення швів без тріщин може бути дуже успішним.

Для вуглецевих і низьколегованих сталей використовують розрахункові показники схильності до горячого розтріскування (Hot Cracking Susceptibility - HCS)

$$HCS = \frac{C \cdot (S + P + 0,04Si + 0,01Ni) \cdot 10^3}{3Mn + Cr + Mo + V} = 4,459$$

При розрахунку оцінки стійкості до розтріскування металу зварних з'єднань під час зварювання до утворення холодних тріщин користувались радянською формулою, згідно з рекомендаціями державного стандарту ГОСТ 27772-88:

$$C_{\text{екв}} = C + \frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cu}{13} + \frac{V}{14} + \frac{P}{2} = 0,645$$

При використанні сталь:

а) вважається менш сприятливою до утворення холодних тріщин, якщо $C_{\text{екв}} < 0,35 \%$;

б) утворюються холодні тріщини за деяких конструкторсько-технологічних умов зварювання, якщо $C_{\text{екв}} = 0,35 \dots 0,6 \%$;

в) існує висока схильність до появи холодних тріщин, якщо $C_{\text{екв}} > 0,6 \%$.

Зі знайденого вуглецевого еквіваленту можна зробити висновок, що сталь має високу схильність до холодного розтріскування [50].

Виділено рекомендації, на рахунок теплового режиму зварювання та розрахунок температури попереднього підігріву. Так як сталь 16ГНМА схильна до утворення холодних тріщин, тому для запобігання під час зварювання необхідний попередній підігрів. Розрахунок проведений за методикою Д. Сефіріана.

Вуглецевий еквівалент:

$$C_{\text{екв}} = 0,18 + \frac{1,1+0,3}{9} + \frac{1,3}{18} + \frac{7}{90} \cdot 0,55 = 0,451$$

$$C'_{\text{екв}} = 0,005 \cdot 8 \cdot 0,451 = 0,018$$

Загальний вуглецевий еквівалент:

$$C''_{\text{екв}} = C_{\text{екв}} + C'_{\text{екв}} = C_{\text{екв}}(1 + 0,0058)$$

$$C''_{\text{екв}} = 0,451(1 + 0,005 \cdot 8) = 0,469$$

Температура попереднього підігрівання:

$$T_{п} = 350\sqrt{C''_{екв} - 0,25} = 164^{\circ}\text{C} [50]$$

Визначення часу підігріву: 1,5-2 хв. на 1мм. товщини з'єднання.

Вибір способу зварювання цієї сталі, що забезпечує необхідні технічні властивості для зварних з'єднань, можливий, якщо хімічний склад і товщина основного металу, параметри способу зварювання і температура нагріву з'єднання, а також хімічна склад підходить. Вид матеріалу, вміст водню в наплавленому металі, тип формування кромки і з'єднання.

Критеріями визначення робочого діапазону зварювання є максимально та мінімально допустимі швидкості охолодження зони зварювання. Мінімальна швидкість охолодження повинна бути обмежена, щоб запобігти негативному впливу на тканину і знизити ударну в'язкість металу в зоні перегріву. Надмірна погонна енергія зварювання призводить до утворення крупнозернистої структури з низьким індексом ударної в'язкості поблизу лінії плавлення. Крім того, тривалий вплив на окремі зони основного металу температур, що перевищують температуру відпуску сталі, може послабити метал. Рекомендується регулювати швидкість охолодження, змінюючи як енергію приводу, так і температури попереднього та післяпідігріву з'єднання. Нагрівання уповільнює швидкість охолодження при температурах нижче 300 °С, що сприяє більш повному видаленню водню з осадженого металу. При цьому підвищується стійкість стику до утворення холодних тріщин. Значне збільшення робочої енергії збільшує час перебування металу в області високих температур і погіршує механічні властивості. Таким чином, використовуючи оптимальний режим зварювання і температуру нагріву до і після зварювання, досягається оптимальне співвідношення механічних властивостей. При зварюванні з'єднання певної товщини швидкість охолодження навколошовної зони шва повинна регулюватися головним чином шляхом зміни погонної енергії зварювання [51].

У даній роботі визначено розрахункові оцінки зварюваності сталі 16ГНМА. Вимірювали склад, марку та інші показники сталі. Ця марка сталі відноситься до високоякісної конструкційної сталі. Крім того, проаналізувавши

вплив окремих легуючих елементів на технічну зварюваність (легуючі елементи забезпечують задовільні механічні властивості матеріалу. При аналізі потенційної схильності до тріщиноутворення зроблено висновок, що виникнення холодних тріщин у зміцнених конструкціях під дією водневих і зварювальних напружень є небезпечним для матеріалу.

При формуванні рекомендацій по тепловому режиму враховують, що перед зварюванням необхідний попередній нагрів, щоб уникнути розтріскування. Однак, залежно від товщини цього матеріалу, попередній нагрів не потрібен.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Основним завданням охорони праці є забезпечення та контроль за дотриманням умов праці з метою запобігання негативному впливу на здоров'я людини та захисту працівників від травматизму.

Охорона праці включає організаційно-технічні заходи, спрямовані на виявлення та усунення можливих причин захворювань і травматизму працівників. Параметри моніторингу гігієни праці, такі як освітлення, вологість, якість повітря на робочому місці та температура на робочому місці [44].

Тому метою розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» даної магістерської роботи є виявлення, попередження та усунення небезпечних факторів, які впливають на здоров'я працівників, викликають травматизм та погіршують умови праці під час проведення лабораторних досліджень. Порівняння фактичних і допустимих значень цих факторів.

4.1 Характеристика об'єкту та умови його експлуатації

Більша частина магістерської роботи проводилася в 9-му корпусі, в лабораторії №017. Параметри лабораторії та план-схема наведені в таблиці 4.1 та на рисунку 4.1 відповідно.

Таблиця 4.1 – Параметри лабораторії №017 в 9 корпусі

Параметр	Одиниці виміру	Значення
Висота	м	3,5
Довжина	м	6
Ширина	м	6
Площа	м ²	36
Об'єм	м ³	126

Продовження таблиці 4.1

Параметр	Одиниці виміру	Значення
Висота	м	3,5
Довжина	м	10
Ширина	м	5
Площа	м ²	50
Об'єм	м ³	175

Таблиця 4.2 – Специфікація оснащення та обладнання лабораторії №017

№ п.п.	Устаткування	Розміри Д/Ш/В	Негативний вплив	Кількість
1	ПМ-20	1000/500/1700	Шум та вібрації	1
2	УВТ ПММ-125	2490/1100/2600	Надлишковий тиск	1
3	МНВ-1000	430/250/490	Недостатня освітленість	1

Вимоги до будівель в яких розміщуються виробничі приміщення за ДБН А.1.1-1:2009 [45] вимагають в мінімальному допустимому значенні площу – 4,5 м² та об'єм – 15 м³ простору на кожного співробітника, при висоті приміщення 3,2 м.

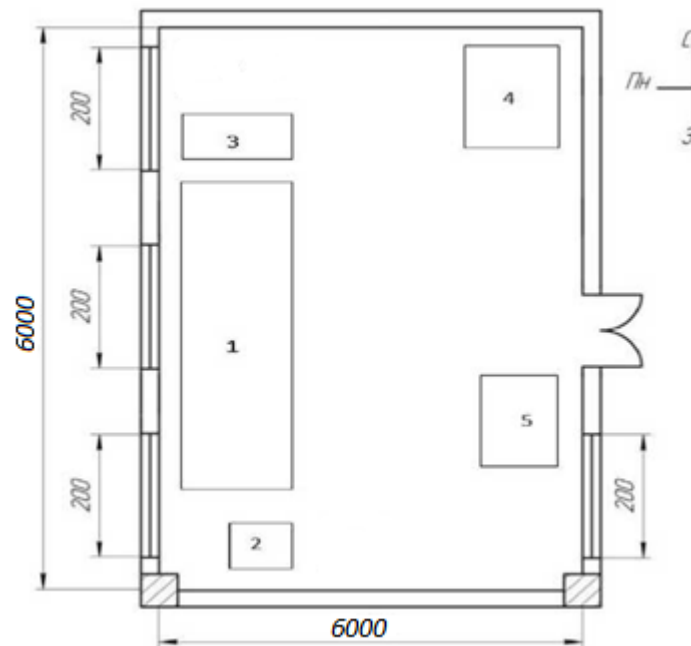
Враховуючи, що на постійній основі роботу в лабораторії №017 проводять 3 співробітники, відповідно площа на 1 особу буде дорівнювати:

$$S = 36 \text{ м}^2 * 0,333 = 16,666 \text{ м}^2/\text{особ.}$$

а об'єм:

$$V = 126 \text{ м}^3 * 0,333 = 41,999 \text{ м}^3/\text{особ.}$$

Отже, можна дійти висновку, що параметри лабораторії №017 згідно з ДСН 3.3.6.042-99 відповідають нормам [46].



1 – робочий стіл; 2 – стіл з оптичним мікроскопом; 3 – твердомір;
4 – установка для механічних випробувань; 5 – шафа для інструменту.

Рисунок 4.1 – План-схема лабораторії

Оскільки технологічні операції не пов'язані з переміщенням важких предметів, більшу частину дослідницькі роботи працівник знаходиться в вільному положенні сидячи або стоячи. Дослідження, проведені в лабораторії №017, потребують незначного фізичного навантаження та відносять до категорії середньої важкості Па. Енерговитрати організму знаходяться в діапазоні 150–200 ккал/год.

Показники відносної вологості, температури та швидкості руху повітря будемо перевіряти згідно нормативним вимогам для категорії середньої важкості Па, як для холодної, так і для теплої пори року. Результати викладені в таблиці 4.3.

Мікроклімат приміщення був проаналізований при значеннях середньодобової температури: у теплий період року температура має значення +10 °С та вище, а у холодний період року значення температури були не вище +10 °С.

Таблиця 4.3 – Параметри мікроклімату лабораторії

Фактор мікроклімату	Оптимальне	Допустиме	Фактичне	Висновки
Холодний період року				
Температура повітря, °С	17–19	13–23	10–12	Нижче допустимої
Відносна вологість повітря, %	40–60	75	55–60	В межах оптимальної
Швидкість руху повітря, м/с	0,2	0,1–0,5	0,2–0,4	В межах допустимої
Теплий період року				
Температура повітря, °С	20–22	15–30	18–20	В межах допустимої
Відносна вологість повітря, %	40–60	70	65–70	В межах допустимої
Швидкість руху повітря, м/с	0,3	0,2–0,5	0,2–0,4	В межах допустимої

У холодний період року температура у приміщенні є нижчою ніж допустимий рівень, тому для підвищення температури необхідно вмикати додаткове опалення або розміщувати обігрівачі [45].

4.2 Оцінка ключових небезпечних та шкідливих виробничих факторів і розроблення заходів щодо поліпшення умов праці

Шкідливі виробничі фактори, які можуть мати місце в даному приміщенні:

- системи високого тиску;
- недостатнє освітлення;
- шум і вібрація;

– потенційна небезпека ураження електричним струмом.

4.2.1 Системи підвищеного тиску

У лабораторії знаходиться твердомір NOVOTEST ТС-БРВ. Під час дослідження випробувальні навантаження = 60-150 кг.

При роботі з твердоміром Бринелля кульковий индентор не можна розташовувати біля краю зразка щоб уникнути вильоту його при навантаженні. Відстань між центром відбитка і краєм зразка має бути не менше 2,5 діаметрів відбитка d .

4.2.2 Аналіз освітленості приміщення

Освітлення поділяється на природне (бічне освітлення, верхнє освітлення та комбіноване освітлення) і штучне освітлення (аварійне освітлення, робоче освітлення, чергове освітлення, освітлення безпеки та евакуаційне освітлення). Бічне освітлення (одне або двостороннє) здійснюється через вікна в стіні, верхнє - через дах, а комбіноване - поєднанням обох видів освітлення.

У лабораторії №017 використовується поєднання горизонтального природного освітлення та верхнього штучного освітлення. Природне освітлення збоку забезпечується трьома вікнами, що виходять на північ. Штучне освітлення, необхідне для освітлення місць, куди не потрапляє природне світло, створюється шістьма люмінесцентними лампами, розташованими в два ряди на стелі. Це дозволяє співробітникам у цій кімнаті бачити дрібні деталі без напруги очей і без необхідності додаткового освітлення.

Нормативні значення природного освітлення, штучного освітлення та комбінованого освітлення визначені в ДБН В.2.5-28-2006. Робота в цій лабораторії вимагає високої гостроти зору і допускає значення освітленості 400 люкс. Його джерелом світла є 10 ламп, розташованих у 2 ряди (по 5 ламп у кожному), оснащених лампами ЛД-40. Таким чином ми маємо рівномірне

освітлення по всій кімнаті. Коефіцієнт використання світла комбінованого освітлення становить 3,0 % [47]. Оскільки робота, яка проводиться в цій лабораторії, не вимагає високоточної візуальної роботи, отримані значення є задовільними, оскільки допускається можливе відхилення в 10%. Зір працівників не напружується, дрібні деталі видно без використання додаткового освітлення.

4.2.3 Аналіз рівня шуму та вібрації

Шум - це шкідливий звук, який може завдати шкоди здоров'ю людини. Тривалий вплив шуму може призвести до зниження працездатності, втоми та головного болю. Шум також може бути викликаний механічними коливаннями обладнання та конструкцій, який називається механічним шумом, тому що це коливання хвиль у пружному середовищі, а швидкість поширення в цьому середовищі постійна. Цей тип шуму може виникати в дослідницьких лабораторіях.

В даній лабораторії нормальне значення рівня шуму, яке повинно відповідати вимогам ДСН 3.3.6.037-99, становить 60 дБА [48].

Рівень шуму в лабораторії вважається постійним, оскільки він не змінюється більш ніж на 5 дБА протягом дня, коли обладнання працює.

Джерелом шуму в лабораторії є твердомір. На нього не впливає високочастотний (низькочастотний) звук або низькочастотний (ультразвуковий) звук. Вплив шуму на працівників можна зменшити, якщо забезпечити працівників берушами та встановити на них звукопоглинальні панелі, які поглинають хвилі.

Вібрація відноситься до механічних коливань в пружних тілах або механічних системах. Вібрація діє на людину як подразник периферичних нервових закінчень, а тривалий вплив вібрації викликає значні зміни в кістково-суглобовій системі, що проявляється в перебудові кісткової тканини та викликає такі захворювання, як остеомалаяція та некроз [49].

Це джерело вібрації є механічним випробувальним пристроєм для

працівників, які не мають інших джерел вібрації. Присутні вібрації настільки малі та короточасні, що їх вплив незначний.

Виробничі випромінювання: Джерела випромінювання в цій лабораторії відсутні.

4.2.4 Аналіз електробезпеки приміщення

Електробезпека – це система організаційних і технічних заходів, спрямованих на захист людей від ураження електричним струмом, електричної дуги та дії поля. Електрообладнання в лабораторії, де проводилося дослідження, включає твердомір (220 В), оптичний мікроскоп (380 В). У лабораторії також є дві розетки на 380 В і одна розетки на 220 В.

Це приміщення класифікується як приміщення з низькою небезпекою, оскільки в ньому немає електропровідного пилу (металевого пилу).

У цій лабораторії можна отримати ураження електричним струмом, якщо торкнутися неізолюваних частин електрообладнання або неізолюваних, пошкоджених проводів.

Незважаючи на те, що в цій лабораторії здійснюється як прямий, так і непрямий контакт, під час проходження електричного струму через людину може виникнути термічний шок або опіки через нагрівання тканин. що призводить до зміни фізико-хімічних і біохімічних властивостей [44].

Для запобігання ураженню електричним струмом у лабораторії всі відкриті кабелі ізолювані, корпуси електрообладнання ізолювані, встановлені реле для автоматичного відключення живлення у разі відключення електроенергії.

Працівники, які працюють з обладнанням, яке може спричинити ураження електричним струмом, повинні носити гумові рукавички. Існує три групи факторів, які впливають на тяжкість ураження електричним струмом: електричні фактори, неелектричні фактори та виробничі фактори.

Таблиця 4.4 – Фактори, що впливають на тяжкість ураження струмом

Чинник	Характер впливу
Електричного характеру	
Величина струму	Цей параметр найбільше впливає на силу ураження.
Величина напруги	Зі збільшенням напруги збільшується струм та зменшується опір тіла, через що відбувається збільшення
Електричний опір тіла людини	Чим менше значення напруги, тим більше значення опору людини і тим менші травми отримує організм.
Частота і рід струму	Тяжкість ураження зростає зі збільшенням частоти струму. Постійний струм завдає найбільшої шкоди під час замикання та розмикання, а змінний струм завдає сильніші
Неелектричного характеру	
Шлях струму	Найбільшого ураження завдає струм, який проходить через життєво важливі органи.
Індивідуальні особливості і стан	Більш чутливими до дії електричного струму є холерики і меланхоліки.
Збільшення часу дії струму	Збільшення дії часу струму на людину веде до зменшення опору тіла та підвищення напруження, що завдає
Раптовість дії струму	Якщо людина готова до удару струмом, то пороговий струм буде на 50% вищий, що знизить рівень ушкодження
Виробничого середовища	
Умови оточуючого середовища	Підвищують небезпеку ураження електричним струмом такі фактори, як: підвищена вологість (>75%), підвищена температура (+35°C), струмопровідна підлога та

4.2.5 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях

Типи небезпек, які можуть виникнути на робочому місці, включають пожежу, вибух (в обладнанні, у будівлях або на прилеглих територіях), вихід з ладу або руйнування обладнання, викид небезпечних речовин і комбінації вищезазначених типів небезпек.

З метою запобігання та ліквідації надзвичайних ситуацій (аварій) підприємства повинні розробляти плани виявлення та ліквідації надзвичайних ситуацій та аварій відповідно до нормативно-правових актів та законів [56].

Щоб уникнути вищевказаної ситуації, необхідно дотримуватися правил безпеки та інструкції з експлуатації приладу.

4.2.5.1 Аналіз пожежної безпеки приміщення

Пожежа – це неконтрольоване горіння, що поширюється в просторі, а не в спеціальному вогнищі.

Згідно з класифікацією приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою (ДСТУ Б В.1.1-36:2016), лабораторія належить до категорії Д - негорючі матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища [57].

Пожежа в цьому приміщенні може виникнути з наступних причин: Коротке замикання електропроводки електроприладів.

Щоб уникнути вищевказаних ситуацій, обладнання, яке використовується в експериментах, необхідно регулярно перевіряти та правильно експлуатувати відповідно до правил пожежної безпеки.

Для запобігання пожежі в коридорах встановлені пожежні крани з пожежними рукавами. Основним засобом гасіння локальних пожеж є вогнегасник ОУ-2 [56].

План евакуації зображено нижче (рис. 4.2).

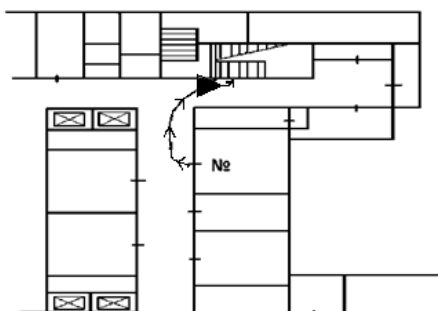


Рисунок 4.2 – План евакуації з приміщення

4.2.5.2 Безпека в аварійних ситуаціях

Якщо будь-яка частина тіла працівника стиснута механічним пресом, необхідно негайно послабити тиск, щоб звільнити стиснуту частину та викликати швидку допомогу за номером 103. При сильній кровотечі на рану слід накласти джгут. У разі ураження електричним струмом вимкніть прилад із розетки, покладіть його на дерев'яну підлогу, підкладіть під голову вату, зателефонуйте до лікаря за номером 103, за потреби зробіть штучне дихання.

Якщо на об'єкті виникла пожежа, необхідно спрацювати рубильником і загасити пожежу вогнегасником. Робітник або службовець, якому стало відомо про пожежу, повинен:

- викликати пожежну охорону заводу за телефоном 101;
- погасити пожежу наявними в лабораторії засобами пожежогасіння (вогнегасником, піском, гідрантом тощо);
- викликати відповідальну особу (завідувача лабораторії).

4.3 Висновки

Після оцінки факторів, що впливають на роботу працівників лабораторії № 017 (мікроклімат, рівень шуму та вібрації, електро- та пожежна безпека), чи відповідає дане приміщення вимогам законодавства, чи, якщо застосовно, можна оцінити його як допустиме. Не становить небезпеки для здоров'я співробітників.

5 ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

При виконанні магістерської роботи на тему «Вплив умов роботи АЕС на структуру та властивості матеріалу трубопроводів» застосовували таке електричне обладнання як оптичний мікроскоп.

У цьому розділі ми розрахуємо потужність, необхідну для забезпечення працездатності лабораторії.

Рівень енергоспоживання визначається виходячи з вибору та розрахунку кількості технічного обладнання та використання його встановленої потужності в запланованому режимі роботи:

$$\mathcal{E} = M \times \Phi \times \eta_{зв} \times K_1 \times K_2, \quad (5.1)$$

де M – встановлена потужність₀ обладнання, кВт;

Φ_0 – річний фонд часу роботи обладнання, год.;

$\eta_{зв}$ – коефіцієнт завантаження обладнання;

K_1 – коефіцієнт одночасності роботи (приймається рівним: для електричних печей – 0,6; для електродвигунів – 0,3; для генераторів високочастотного нагріву – 0,8);

K_2 – коефіцієнт використання потужності (приймається рівним 0,7).

В умовах малотоннажного виробництва разом з основним обладнанням вибирається транспортне обладнання, характеристики якого включаються в інформацію основного обладнання.

Енергоємність санітарно-технічного обладнання (вентиляція, опалення) визначається згідно з вимогами безпеки праці.

Енергоспоживання компресійно-вакуумних систем розраховується виходячи з потужності встановленого на робочому місці обладнання та режиму його роботи.

Розрахунок енерговитрат на освітлення в кожному приміщенні

здійснюється на основі загального плану цеху.

Вихідні дані для розрахунків: площа приміщення, необхідне освітлення та можливості освітлювальних приладів.

Енергоспоживання освітлення розраховується наступним чином:

$$Q = \frac{S \times q \times \tau \times f}{1000} \quad (5.2)$$

де S – освітлювальна площа, м²;

q – поверхнева густина теплового потоку, Вт/м²;

τ – число годин горіння на рік;

f – коефіцієнт одночасного горіння.

Як правило, величину q використовують: для промислових установ – від 11 Вт/м² до 15 Вт/м², для житлових і службових установ – 10 Вт/м².

Залежно від тривалості часу освітлення значення τ дорівнює – 2500 год. за 2 зміни і 4700 год. за 3 зміни.

Прийняті коефіцієнти, що враховують одночасне ввімкнення ламп - 0,8 для виробництва, для домів і службових приміщень - 0,7, для підвалів - 0,9.

Енергоспоживання обладнання та освітлення виробничих приміщень розраховано згідно формул 5.1 та 5.2. Результати розрахунків витрат електроенергії показані в таблиці 5.1 та 5.2.

Таблиця 5.1 – Витрати електроенергії на роботу технологічного обладнання

Найменування споживача струму	Кількість споживачів	Потужність, кВт	Фонд робочого часу на рік, год	Коефіцієнт завантаженості	Коефіцієнт одночасності	Коефіцієнт використання потужності	Річні витрати електроенергії, кВт·год
Опт. мікроскоп	1	30 кВт	1000	0,3	0,3	0,4	1080
Усього витрат, кВт×год							1080

Таблиця 5.2 – Витрати електроенергії на освітлення

Найменування споживача	Освітлювальна площа, м ²	Поверхнева щільність теплового потоку, Вт/м ²	Кількість годин горіння на рік, год	Коефіцієнт одночасності нагоріння	Річні витрати електроенергії, кВт·год
Виробнича лабораторі	36	11	2000	0,8	633,6
Усього витрат, кВт×год					633,6

6 ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

6.1 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження

Можна визначити приблизну кошторисну вартість виконання цієї роботи з даної теми. Планування гарантує зниження трудових і матеріальних витрат, що призводить до найкращих результатів при найменших витратах [64].

Планові витрати визначаються за такими статтями витрат:

- заробітна плата наукового персоналу;
- одноразовий соціальний внесок;
- вартість спеціального обладнання для виконання МД;
- вартість матеріалів для проведення МД;
- витрати на службові відрядження;
- інші прями витрати, пов'язані з темою;
- накладні витрати.

6.1.1 Витрати на оплату праці

Витрати за цією статтею включають оплату праці всіх категорій працівників, залучених до відповідної роботи.

Посадові оклади нараховуються на основі даних про трудомісткість окремих видів діяльності та заробітну плату осіб, які виконують ці види діяльності. Розрахунок ведеться в людино-днях.

До виконання магістерської роботи залучаються наступні трудові ресурси: відповідальний керівник, старший науковий співробітник, який бере участь і безпосередньо керує всіма етапами дослідження, інженер-дослідник, який відповідає за проведення експериментів, обробки та аналізу результатів. В їх обов'язки входить забезпечення технічної бази для дослідження, супровід налаштування та експлуатації обладнання, а також попередній аналіз і консультування. Перелік робіт та їх трудомісткість наведено у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Розрахунок трудомісткості виконання магістерської дисертації

Етапи ДР	Трудомісткість людино-днів			
	Відповідальний виконавець, старший науковий співробітник	Технік	Інженер-дослідник	Лаборант
Підготовчий етап	4	3	5	2
Проведення експерименту	19	13	28	28
Написання записки	3	-	3	-
Оформлення, перевірка та захист	5	-	5	-
Разом	31	16	41	30

Денна оплата праці визначається як відношення місячного окладу до умовного місяця (21,2 дні для магістерської роботи з двома вихідними).

Плановий фонд оплати праці для всіх виконавців розраховується шляхом множення середньоденної заробітної плати для всіх виконавців на відповідну планову трудомісткість.

У таблиці 6.2 наведено результати розрахунку фонду заробітної плати з теми для кожного виконавця.

Таблиця 6.2 – Розрахунок фонду заробітної плати виконавців теми

Посада	Трудомісткість людино-днів	Місячний оклад, грн.	Денна заробітна плата, грн.	Сумарна заробітна плата за виконавцями, грн.
Відповідальний виконавець теми, старший науковий співробітник	31	11 900	561,3	17400,3
Інженер- дослідник	41	8375	395,0	16195
Лаборант	30	6766	319,2	9576
Технік	16	6688	315,5	5048
Разом				48219,3

6.1.2 Єдиний соціальний внесок

Сума єдиного соціального (ВС) визначаються у відсотках у відсотках від загального фонду заробітної плати виконавців з теми. Норматив відрахувань необхідно брати в розмірі 22% загального фонду заробітної плати.

Таким чином, єдиний соціальний внесок складе:

$$V_C = 48219,3 * 0,22 = 10608,2 \text{ грн.}$$

6.2 Витрати на матеріали, що використовуються в роботі

Вартість матеріалів, необхідних для цієї магістерської роботи, розраховується з ціни одиниці і загальної кількості використаних матеріалів. Результати розрахунків наведені в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Вартість матеріалів, необхідних для виконання ДР

Найменування матеріалів	Стандарт	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.
Матеріал 16ГНМА	ОСТ 108.030.113 - 87	Кг	0,1	100	100
Разом					100

Транспортно-заготівельні витрати складають 10% від планової вартості використаних матеріалів, тоді загальні витрати по цій статті становлять:

$$V_{\text{м(заг)}} = 100 * 1,1 = 110 \text{ грн.}$$

6.3 Витрати на спеціальне обладнання та прилади

В роботі використовуються вже існуюче обладнання, яке знаходиться у лабораторії кафедри високотемпературних матеріалів та порошкової металургії і центру колективного користування науковим обладнанням «Матеріалознавство тугоплавких сполук та композитів»: оптичний люмінесцентний мікроскоп, твердомір NOVOTEST ТС-БРВ. Додаткові прилади для виконання магістерської роботи не закупалися.

6.4 Витрати на службові відрядження

Всі роботи проводились у лабораторії кафедри високотемпературних матеріалів та порошкової металургії. Витрати на наукові відрядження не передбачаються.

6.5 Інші прямі невраховані витрати

Цей розділ охоплює всі витрати, пов'язані з виконанням магістерської

роботи, які не були включені в попередніх розділах: оплата спеціалістів з інших організацій, оплата за консультації, використання обладнання від інших організацій тощо. При виконанні даної роботи інші прямі невраховані витрати складають 10% від суми врахованих витрат на МД.

$$I_B = (48219,3 + 10608,2 + 110) * 0,1 = 5893,75 \text{ грн.}$$

6.6 Накладні витрати

До накладних витрат (H_B) відносять:

а) заробітна плата адміністративна – управлінського, господарського та обслуговуючого персоналу з єдиним соціальним внеском;

б) витрати на придбання експериментального спеціального обладнання та приладів;

в) витрати по охороні праці та на техніку безпеки;

г) утримання та експлуатація виробничих площ, приладів, устаткування та установок;

д) витрати на воєнізовану охорону;

ж) інші загальногосподарські та дослідницькі витрати.

За нормативами для НТУУ «КПІ» величина накладних витрат складає 20% від суми всіх прямих витрат по темі.

$$H_B = (48219,3 + 10608,2 + 110 + 5893,75) * 0,20 = 12966,25 \text{ грн.}$$

6.7 Планова кошторисна вартість магістерської дисертації

Виконані розрахунки дають визначити загальну планову кошторисну вартість виконання даної роботи. Плановий кошторис витрат по темі досліджень наведено в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Планова кошторисна вартість магістерської роботи

Назва статей	Умовне позначення	Сума, грн.	Сума, %	Обґрунтування
Заробітна плата виконавців Теми	ЗП	48219,3	61,9	За розрахунками
Єдиний соціальний внесок	Вс	10608,2	13,63	22% від ЗП
Вартість основних матеріалів	Вм	110	0,14	За розрахунками
Вартість спец. обладнання	ВОб	-	-	Не планується
Витрати на послуги сторонніх організацій	ВСО	-	-	Не планується
Інші прямі невраховані витрати	Ів	5893,75	7,66	10% від суми врахованих прямих Витрат
Накладні витрати	Нв	12966,25	16,67	20% від усіх прямих витрат по темі
Разом	ВДР	77797,5	100	Сума всіх попередніх статей

7 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

7.1 Науково-технічна актуальність магістерської роботи

Сталь 16ГНМА – це конструкційна вуглецева сталь з додаванням марганцю та нікелю, яка має свої особливості та застосування в різних галузях промисловості. Науково-технічна актуальність дослідження цієї сталі може мати кілька аспектів:

1. **Покращення властивостей матеріалу:** Дослідження може спрямовуватися на поліпшення механічних властивостей, таких як міцність, твердість, стійкість до зношування тощо. Це може бути корисним у виробництві інструментів, деталей машин та обладнання, де вимагаються особливі характеристики матеріалу.

2. **Оптимізація технологічних процесів:** Дослідження може спрямовуватися на вдосконалення технологій обробки сталі 16ГНМА, зменшення витрат енергії, підвищення продуктивності та якості виробництва.

3. **Створення нових застосувань:** Вивчення властивостей цієї сталі може допомогти знайти нові сфери використання, де її унікальні характеристики можуть бути корисними.

4. **Стійкість до корозії та впливу навколишнього середовища:** Дослідження може стосуватися покращення стійкості цієї сталі до корозії або впливу агресивних середовищ, що може бути важливим для застосування в різних умовах експлуатації.

У цілому, дослідження сталі 16ГНМА може мати великий практичний вигляд, оскільки відкриває шляхи для вдосконалення виробництва, розробки нових матеріалів та застосування в різних галузях промисловості.

7.2 Мета і завдання магістерської роботи

Мета дослідження сталі 16ГНМА може бути різноманітною залежно від

контексту та потреби, але основні цілі даної роботи включають:

1. Оцінка властивостей матеріалу: Вивчення механічних, теплових, магнітних та інших властивостей сталі 16ГНМА для розуміння її поведінки в різних умовах експлуатації.

2. Оптимізація складу і технології виготовлення: Дослідження може метувати вдосконалити процес виготовлення цієї сталі для покращення її властивостей або зниження витрат виробництва.

3. Визначення областей застосування: Розуміння меж щодо використання цієї сталі в різних галузях (автомобільна, машинобудування, енергетика тощо) для забезпечення оптимального використання її властивостей.

4. Оцінка стійкості до впливу середовища: Вивчення стійкості сталі 16ГНМА до корозії, високих/низьких температур, агресивних рідин або газів для визначення її придатності у різних умовах.

5. Покращення характеристик для конкретних застосувань: Наприклад, збільшення міцності для використання в конструкціях, підвищення стійкості до втоми для інтенсивних навантажень тощо.

Завдання дослідження включають, але не обмежуються:

1. Проведення лабораторних експериментів: Тестування на механічні властивості, визначення мікроструктури та хімічного складу.

2. Аналіз результатів: Опрацювання даних, встановлення відповідності властивостей сталі 16ГНМА до вимог певних стандартів або потреб в конкретних сферах застосування.

3. Розробка рекомендацій: Виноситься пропозиція щодо оптимального використання цієї сталі з урахуванням її властивостей.

Ці цілі та завдання можуть бути частиною більшої стратегії досліджень з метою вдосконалення матеріалів та їх використання у різних галузях промисловості.

7.3 Економічна ефективність магістерської роботи

Щоб визначити доцільність виконання даної роботи, необхідно розрахувати очікуваний економічний ефект від магістерської роботи.

Але економічний ефект можна розрахувати лише для магістерських робіт, безпосередньою метою яких є створення нових матеріалів, покращення параметрів і якості продукту або створення нових конструкцій.

Науково-технічна ефективність використовується як основний показник ефективності фундаментальних досліджень.

Науково-технічна ефективність $E_{нт}$ фундаментальних і прикладних досліджень кількісно оцінюється узагальнюючими показниками, що враховують рівень таких субпоказників, як новизна, перспективність, ступінь реалізації результатів роботи.

Узагальнений показник можна визначити за допомогою оцінок, виражених у балах:

$$E_{НМ} = \sum R_i * Q_i,$$

де R_j – коефіцієнт вагомості новизни (0.4), перспективності (0.2) та реалізованості наслідків НР (0.4);

Q - новизна, перспективність та реалізованість, балів.

Оцінка науково технічного ефекту наведена у таблиці 7.1

Таблиця 7.1 – Оцінка науково-технічного ефекту роботи

Показник ДР	Характеристика результатів	Бали
Новизна	Техніко-економічні показники нової технології на галузевому рівні.	6
Перспективність	Технологія може бути впроваджена у порошковій металургії.	9
Реалізованість	Термін впровадження нової технології - до трьох років	7

Узагальнений показник:

$$E_{HT} = 6 * 0,4 + 9 * 0,2 + 7 * 0,4 = 7 \text{ балів.}$$

Розраховані показники дають інформацію про доцільність написання магістерської роботи з даної теми.

7.4 Висновки

Дослідження на цю тему мають хорошу науково-технічну актуальність.

Планово-розрахункові витрати на впровадження магістерської роботи розраховано з урахуванням вартості всіх видів ресурсів.

Розраховано показник умовної економічної ефективності даної роботи.

8 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЄКТУ

8.1 Актуальність

Стартап – це нова компанія (проект), що має обмежений набір матеріальних, але значний потенціал інтелектуальних ресурсів, яка будує бізнес на основі інноваційної ідеї або інноваційних технологій і перебуває у фазі виходу на ринок. Стартапи стали визначальною ознакою сучасного бізнес-середовища. Їх без перебільшення можна назвати драйверами економічного розвитку країн.

Вони передбачають наявність певної амбітної інноваційної бізнес ідеї, яка поки не знайшла шляхів своєї реалізації та потребує організаційного оформлення, фінансування, розвитку та ринкової апробації.

Основним документом, що характеризує стартап, є бізнес-план – обов'язковий письмовий документ, що визначає ділові можливості та перспективи подальшого розвитку, а також роз'яснює, як ці можливості можуть бути реалізовані наявною командою.

Актуальність теми даного стартапу визначається потребою в інноваційних матеріалах та технологіях у сучасному виробництві. Розроблена технологія та використаний матеріал відзначаються високою ефективністю та унікальними властивостями, що забезпечують значні переваги у порівнянні з конкурентами та аналогами.

Наша технологія дозволяє створювати високоякісні вироби з унікальними характеристиками, які перевершують можливості інших матеріалів на ринку. Основні переваги включають, але не обмежуються, покращену експлуатаційну тривалість, екологічну безпеку та більш широкий спектр застосування. Це створює конкурентну перевагу на ринку та відповідає вимогам сучасного виробництва, забезпечуючи високий інтерес та попит на продукцію нашого стартапу.

8.2 Мета і завдання стартап проекту

Метою розділу є вивчення та оптимізація матеріалів, щодо їхнього використання в умовах роботи атомних електростанцій (АЕС) у вигляді

розроблення концепції стартап-проєкту в умовах висококонкурентної ринкової економіки глобалізаційних процесів.

Завдання розділу полягає в маркетинговому аналізі технічних властивостей матеріалу. Пошук та вивчення нових сфер застосування матеріалу, що може призвести до розширення ринку та створення нових продуктів чи технологій. Дослідження та вдосконалення міцності, стійкості до корозії, теплопровідності та інших характеристик матеріалу.

8.3 Опис ідеї проєкту

Таблиця 8.1 – Опис ідеї стартап-проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка та використання хромомолібденової сталі з покращеними механічними властивостями, стійкістю до корозії та іншими агресивними середовищами.	1) Виготовлення промислових деталей та механізмів; 2) Застосування у сфері енергетики 3) Використання у виробництві летальних апаратів	1) Міцність та довговічність ; 2) Ефективність у високих температурах; 3) Стійкість до корозії та зносу;
	4) Виготовлення конструкцій та складних деталей у будівництві 5) Використання у виробництві машин та морських суден тощо	

8.3.1 Технологічний аудит ідеї проєкту

Таблиця 8.2 – Технологічна здійсненність ідеї проєкту

Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Створення нового покоління теплостійких і міцних деталей для енергетичної та інших промислових галузей	1.Ливарний та обробний процес 2.Лазерне оброблення	Технологія наявна	Технологія доступна

За проведеними дослідженнями можна зробити висновок, що технологічна здійсненність ідеї теплостійких та міцних деталей для різних галузей промисловості, є перспективним і інноваційним. Використання цього матеріалу дозволяє отримати високі міцність та стійкість до корозії, що робить його ефективним у вимогливих умовах роботи.

8.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

Аналіз ринкових можливостей підтверджує високий потенціал запуску стартап-проєкту на основі матеріалу. Його властивості відповідають вимогам різних промислових галузей, а стратегії заходження на ринок та партнерські можливості можуть сприяти успіху та розвитку бізнесу. Важливо систематично взаємодіяти з ринком, адаптувати стратегії та швидко реагувати на зміни для досягнення стабільного успіху.

Сегмент споживачів включає:

1) Компанії, що виробляють обладнання для електростанцій та інфраструктуру АЕС.

2)Виробники літальних апаратів апаратів та компонентів для авіаційних систем.

3)Підприємства, які виготовляють промислове обладнання та машини.

Ринок споживачів для продукції включає широкий спектр галузей та

компаній, де високоміцні та теплостійкі матеріали визначають конкурентоспроможність та якість виробів. Різноманіття сегментів дозволяє розглядати різні варіанти використання матеріалу та пристосовувати його до конкретних вимог різних галузей.

Канали збуту: використовують різноманітні канали збуту, орієнтовані на різні сегменти споживачів.

Ось кілька потенційних каналів збуту:

- Взаємодія з прямими клієнтами через внутрішні відділи збуту та продажу, де представники компанії активно ведуть переговори та укладають угоди.
- Співпраця з дистриб'юторами, які постачають продукцію до різних регіонів, забезпечуючи широкий охоплення ринку.
- Реалізація через електронні комерційні платформи, які можуть включати B2B та B2C маркетплейси, спрощуючи процес замовлення та постачання.
- Співпраця з оптовими та роздрібними мережами, які продають продукцію напряму споживачам або іншим компаніям.
- Участь у виставках та конференціях, де можна продемонструвати продукцію та встановити контакти з потенційними клієнтами та партнерами.

Взаємодія зі споживачами: клієнтська підтримка та зв'язок через соціальні мережі, по телефону та електронній пошті. Пропозиція персоналізованих рішень та консультацій, враховуючи конкретні потреби та вимоги клієнтів. Участь в онлайн-форумах та спільнотах, де споживачі можуть обговорювати свої досвіди та висловлювати свої побажання.

Розгляд можливостей співпраці на рівні проєктів з ключовими клієнтами або партнерами для створення індивідуальних рішень.

Ці стратегії спрямовані на активну взаємодію з клієнтами, забезпечення їхнього задоволення та вірності бренду, а також створення позитивного досвіду використання продукції.

Рентабельність ринку є важливим етапом при прийнятті рішень щодо впровадження, це свідчить про те, що даний проєкт є привабливим для інвестування.

Таблиця 8.3 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

№	Потреба що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Застосування інноваційних матеріалів для різних промислових галузей	1. Компанії, що виробляють обладнання для електростанцій 2. Виробники літаків 3. Транспортні компанії	- Новітня техніка , акцент на технічних характеристиках і надійності ; - Гарантія якості; - Ефективність для інженерних рішень; - Надійність;	● висока міцність; ● допустима собівартість; ● термостійкість; ● швидкість виконання;

Таблиця 8.4 – Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Конкуренція	Поява нових технологій та конкурентів із більш ефективними рішеннями.	Активний моніторинг ринку, посилення досліджень та інновацій для підтримки конкурентоспроможності.
2	Зміни в законодавстві	Нові закони або регуляції, які можуть вплинути на виробництво чи реалізацію продукції.	Співпраця зі спеціалістами з правового супроводу, адаптація до нових стандартів та впровадження вимог.
3	Економічні зміни	Зміни в економіці, такі як рецесія, можуть вплинути на купівельну спроможність та попит на продукцію	Розробка гнучких стратегій ціноутворення, пошук нових ринків та диверсифікація продукції

Продовження таблиці 8.4

4	Сировинні витрати	Зростання цін на сировинні матеріали може вплинути на витрати виробництва.	Пошук альтернативних постачальників, оптимізація процесів виробництва та переговори щодо умов постачання.
5	Ризик зменшення попиту	Зміни в суспільних уподобаннях або технологічних тенденціях можуть зменшити попит на існуючі продукти.	Активна маркетингова стратегія, розробка нових функцій чи моделей для відповіді на змінені потреби споживачів.

Таблиця 8.5 – Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Технологічний прогрес	Впровадження нових технологій та інновацій, які можуть покращити ефективність виробництва та якість продукції.	Активна участь у дослідженнях та розробках, інвестиції у сучасне обладнання та технології.
2	Зростання ринку	Розширення ринку або підвищення попиту на продукцію внаслідок змін в споживчих уподобаннях чи зростання населення.	Розширення виробництва, входження на нові ринки, адаптація стратегій маркетингу.
3	Співпраця та партнерство	Можливість співпраці та партнерств з іншими компаніями для спільного розвитку та об'єднання ресурсів.	Активний пошук потенційних партнерів, ведення переговорів та встановлення стратегічних альянсів.

Для проєкту були встановлені основні фактори загроз і можливостей. Більшість загроз пов'язані з появою нових або розвитком старих технологій, що сприяє появі нових конкурентів і змушує проєкт адаптуватися. Проте, було встановлено, що загрози не є критичними, а шанси їх виникнення є доволі низькими. Можливості, які сприяють ринковому впровадженні, призводять до зростання попиту і відповідно масштабування проєкту. Позитивні можливості загалом переважають ризики загроз. Таким чином, проєкт має гідний потенціал розвитку в ринковому середовищі.

Таблиця 8.6 – SWOT-аналіз стартап-проєкту (Слабкі та сильні сторони)

Сильні сторони (S):	Слабкі сторони (W):
<ol style="list-style-type: none"> 1. Висока міцність 2. Здатність матеріалу витримувати високі температури 3. Стійкість до агресивних середовищ 4. Легкість і доступність 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Матеріал вразливий до корозії 2. Висока міцність та термостійкість можуть призвести до підвищених витрат на виробництво, зробивши продукцію менш конкурентоспроможною за ціною 3. Залежність від джерела постачання .

Таблиця 8.7 – SWOT-аналіз стартап-проєкту (Можливості та загрози)

Можливості (O):	Загрози (T):
<ol style="list-style-type: none"> 1.Зростання попиту на високоміцні та термостійкі матеріали у різних галузях, таких як енергетика, авіація та будівництво. 2.Впровадження нових технологій обробки та виробництва для покращення якості та ефективності. 3. Розширення до міжнародних ринків та встановлення партнерств для збільшення обсягів продажів. 4.Співпраця з іншими галузями, що може призвести до створення нових інноваційних продуктів. 5.Збільшення попиту на екологічно чисті та сталкерамічні матеріали. 	<ol style="list-style-type: none"> 1.Зростання конкуренції від інших виробників та матеріалів може вплинути на частку ринку. 2.Зростання цін на сировинні матеріали може підвищити витрати виробництва. 3.Можливість технічних проблем у виробництві чи якості матеріалу. 4.Ризик залежності від обмеженого постачання матеріалу та можливість витрат на збільшення його доступності 5.Зміни в уподобаннях споживачів або технологічні зрушення можуть вплинути на попит на продукцію.

Таблиця 8.8 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Може розглядатися як першопрохідець	Вибір між пошуком нових споживачів та конкурентною боротьбою залежить від ринкових умов та потреб споживачів. Компанія буде шукати нових споживачів, тому що потенціал для залучення нових клієнтів є ефективною стратегією.	Компанія буде спиратися лише на власні розробки орієнтуватися на інновації та вдосконалення .	Стратегія спеціалізації, встановлення стратегічних партнерств з іншими компаніями для взаємовигідного обміну ресурсами та ринковими можливостями.

Таблиця 8.9 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Високоміцний та термостійкий матеріал для використання в енергетиці, авіації та інших вимогливих галузях.	Забезпечення надзвичайно міцних та термостійких властивостей для забезпечення довговічності та ефективності у важких умовах експлуатації.	Висока міцність, термостійкість, стійкість до корозії, легкість та швидкість.

8.5 Висновки

Незважаючи на всі за і проти, розробка даного проєкту є досить перспективною, оскільки сучасний ринок потребує використання більш довговічних та якісних деталей.

В розробці стартап-проєкту з використанням матеріалу виявлено значний потенціал для успішного впровадження на ринку. Матеріал демонструє високу міцність, термостійкість та стійкість до корозії, що робить його привабливим для вимогливих галузей, таких як енергетика, авіація та будівництво. Стратегія проєкту спрямована на диференціацію продукції, інновації та акцент на екологічній дружності. Зазначені ключові переваги над конкурентами, включаючи високу міцність, термостійкість та інноваційність, роблять проєкт конкурентоспроможним. Компанія також має стратегії розширення на нові ринки, встановлення партнерств та взаємодії зі споживачами. Акцент на дослідженнях та розвитку гарантує постійне удосконалення матеріалу та його властивостей.

Враховуючи вищенаведене, можна зробити висновок, що стартап-проєкт на основі матеріалу є перспективним та може принести успіх, забезпечуючи ринкові конкурентні переваги та задовольняючи потреби високотехнологічних галузей.

ВИСНОВКИ

У даній магістерській дисертації було досліджено вплив умов роботи АЕС на матеріал 16ГНМА.

На атомних станціях матеріали використовуються у дуже специфічних та екстремальних умовах.

У роботі було використано металографічний аналіз за допомогою оптичного мікроскопу, проведено порівняльний аналіз матеріалів, які працюють у екстремальних умовах АЕС. За сукупністю усіх характеристик найкращими показниками володіє матеріал 16ГНМА. Проаналізувавши результати досліджень можна зробити такі висновки:

1. Проведено металографічний аналіз та аналіз механічних властивостей, обрано серед розглянутих, матеріал 16ГНМА з високими показниками для обраних умов роботи цього матеріалу.

2. Вказані переваги матеріалу стверджують, що сталь 16ГНМА повністю задовольняє умови для роботи під впливом радіації.

3. Встановлено, що матеріал 16ГНМА відповідає вимогам ОСТ 108.030.113 - 87.

4. Розроблений матеріал підтверджує, що застосування у ньому легованих елементів є достатньо перспективною альтернативою, що використовуються для реакторного устаткування атомних станцій.

CONCLUSIONS

In this master's thesis, the influence of NPP operating conditions on the material was investigated.

The conclusion was drawn: at nuclear plants, materials are used in very specific and extreme conditions.

Metallographic analysis using an optical microscope was used in the work, and a comparative analysis of materials that work in extreme conditions of nuclear power plants was carried out. According to the totality of all characteristics, the material 16GNMA has the best indicators. After analyzing the research results, the following conclusions can be drawn:

1. A metallographic analysis and an analysis of mechanical properties were carried out, the material 16ГНМА with high indicators for the selected operating conditions of this material was selected among those considered.
2. The indicated advantages of the material claim that 16GNMA steel fully meets the conditions for work under the influence of radiation.
3. It was established that the material 16GNMA meets the requirements of OST 108.030.113 - 87.
4. The developed material confirms that the use of doped elements in it is a sufficiently promising alternative to those used for reactor equipment of nuclear plants.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Эволюция основного металла ГЦТ «горячей» и «холодной» ниток энергоблоков Южно– Украинской АЭС в процессе эксплуатации на протяжении 200 тысяч часов / В. Н. Воеводин [и др.] // Вопросы атомной науки и техники. – 2018. – № 5. – С. 55– 61.
2. Горбатов В. П. Экспериментально–теоретическое моделирование развития трещин в конструкционных сплавах оборудования АЭС : диссертация: спец. 05.14.03 «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации» / Горбатов Валерий Павлович – Москва, 2016 – 117 с. : ил., табл. — Библиогр.: с. 115– 117.
3. Ривненская АЭС в энергетике Украины / С. И. Басанец [та ін.] // Ривненская АЕС. – 2014. – № 2. – С. 251–253. – Библиогр.: с. 253.
4. Атомные электрические станции: [Электронный ресурс] : [учебник для вузов] / Маргулова Т.Х. // Высшая школа. – 1978. – № 3 – С. 360.
5. Целостность парогенераторов АЭС с реакторами типа ВВЭР– 1000 [Электронный ресурс] : [публикация внебюджетной программы по безопасности АЕС с реакторами ВВЭР] / Ю. Г. Драгунов, О. Я. Зинченко, А. Ф. Гетман // Международное агентство по атомной энергии. – 1998. – № 3. – С. 50
6. Использование микрообразцов для контроля механических свойств и эволюции микроструктуры основного металла главного циркуляционного трубопровода (сталь 10ГН2МФА) энергоблока №1 ОП ЮУ АЭС после 100 тыс. часов эксплуатации / В.Ф. Зеленский [и др.] // Вопросы атомной науки и техники. – 1999. – № 45. – С. 75.
7. Результаты исследований механических свойств металла трубопроводов энергоблока № 2 ОП ЮУ АЕС после 100 тыс. часов эксплуатации / И.М. Неклюдов [и др.] // Вопросы атомной науки и техники. – 2004. – № 3. – С. 58.
8. Результаты исследований механических свойств металла трубопроводов энергоблока № 3 Южно– украинской АЕС после 100 тыс. часов

эксплуатации / И.М. Неклюдов [и др.] // Вопросы атомной науки и техники. – 2007. – №2. – С. 106.

9. Старение сталей труб магистральных газопроводов /А.В. Нохрин [и др.] // Вестник Нижегородского университета. – 2010. – №5. – С. 180.

10. Старение металлических сплавов Ю.А. Скаков [и др.] // Металловедение. – 1971. – №3. – С. 132.

11. Сталі и сплавы — ГОСТ 5639– 82. — [Действующий 1983– 01– 01]. – Москва : «ИПК Издательство стандартов», 1983. – 21 с. табл. – (Национальный стандарт СССР)

12. Общие положения безопасности атомных станций / Е. А. Миколайчук [и др.] // Государственный комитет ядерного регулирования Украины. – 2008. – НП 306.2.141 – С. 62.

13. Конструкционные Материалы АЭС / Ю. Ф.Баландин [и др.] // Энергоатамиздат – 1984. – С. 280.

14. Агапова Н. П. Радянська атомна наука і техніка [Электронный ресурс] : [зб. статей] / А. А. Бочвара, А. С. Займовского. – Електр. даные. – Москва: Атомиздат, – 1967. – С. 391.

15. А.Н.Степанчук, И.И.Билык, П.А.Бойко. Технология порошковой металлургии. – Киев : Выща школа. Головное изд., 1989. – С. 415.

16. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения: Справочник / И.М. Федорченко, И.Н. Францевич, И.Д. Радомисельский и др. – Киев : Наук.думка, 1985. – 624с.

17. Makhnenko V.I. Safe service life of welded joints and assemblies of current structures : Naukova Dumka, – Kiev – 2006. P.59.

18. Magdovski R., Kraus A., Speidel O. Environmental degradation assessment and life prediction of nuclear pressure vessels and piping steels. In: proc. of int. symp. on plant aging and life prediction of corrodable structures. – 1995. – P. 902.

19. Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварные соединения и наплавки. Правила контроля [Текст] : ПНАЭГ–7–010–89.

– [Действующий 1990-06-01]. – Москва : Энергоатомиздат, 1991. – 320 с.

20. Левчук В. И. Расчетно–экспериментальный анализ влияния термосиловых воздействий на повреждение узла приварки коллектора теплоносителя к корпусу парогенератора ПГВ– 1000М: дис. канд. физ.– мат. наук: 05.14.03 / Левчук Василий Иванович – Москва, 2015. – 136 с.

21. Баландин Ю. Ф., Малыгин А. Ф. Физико–химическая механика материалов. – Москва : Главное изд., 1972. – С. 59.

22. Трубы бесшовные плакированные [Текст] : ТУ 975Е 004511. – [Действующий 1976-06-01]. – Москва : «ИПК Издательство стандартов», 1976. – 27 с.

23. Стали и сплавы. [Текст] : ГОСТ 5639– 82. – [Действующий 1983– 01– 01]. – Москва : «ИПК Издательство стандартов», 1983. – 21 с.

24. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Класифікація [Текст] : ДСТУ EN 133:2005. – [Чинний від 2005-06-14] – Київ : Національний стандарт України, 2006. – 14 с.

25. Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація [Текст] : ДСТУ 7239:2011. – [Чинний від 2011-08-01] – Київ : Національний стандарт України, 2011. – 11 с.

26. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку [Текст] : ДСН 3.3.6.037-99. – [Чинний від 1999-12-01]. – Київ : Міністерство охорони здоров'я України. Головне санітарно-епідеміологічне управління, 1999. – 34 с.

27. Правила улаштування електроустановок [Текст] : ПУЕ-2017. – [Чинний від 2017-07-21] – Київ : Міненерговугілля України, 2017. – 617 с.

28. Правила експлуатації та типові норми належності вогнегасників [Текст] : НАПБ Б.01.008-2018. – [Чинний від 2018-03-30] – Київ : Міністерство внутрішніх справ України, 2018. – 24 с.

29. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою [Текст] : ДСТУ Б В.1.1-36:2016. – [Чинний від 2017-01-01] – Київ : Національний стандарт України, 2016. – 34 с.

30. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів [Текст] : НПАОП 40.1-1.21-98. – [Чинний від 1998-09-01] – Київ : Міністерство юстиції України, – 1998. – 89 с.
31. Левченко О. Г. Охорона праці та цивільний захист: навч. посіб. для студ. спеціальностей 132 «Матеріалознавство» та 136 «Металургія». – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 337 с. – [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/31215>.
32. Система стандартизації та нормування в будівництві [Текст] : ДБН А.1.1-1:2009. – Чинний з 1999-12-01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 19 с.
33. Конституція України : Закон України Про охорону праці [Текст] // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 1992. – № 49. – С. 668.
34. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Текст] : ДСН 3.3.6.042-99. – Чинний з 1999-12-01. – К.: Міністерство охорони здоров'я, 1999. – 10 с.
35. Державні будівельні норми України. Природне і штучне освітлення [Текст] : ДБН В.2.5.-28-2006. – Чинний з 2006-05-15. – К. : Мінбуд України, 2006. – 76 с.
36. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку [Текст] : ДСН 3.3.6.037-99. – Чинний з 1999-12-01. – К.: Міністерство охорони здоров'я, 1999. – 34 с.
37. Повітря робочої зони. Загальні вимоги до характеристик методик вимірювання вмісту хімічних речовин [Текст] : ДСТУ EN 482:2016. – Чинний з 2016. – К.: ДП “УкрНДНЦ”, 2016. – 22 с.
38. Маски хірургічні. Вимоги та методи пвипробування [Текст] : ДСТУ EN 14683:2014. – Чинний з 2015. – К.: Мінекономрозвитку України, 2015. – 12 с.
39. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації [Текст] : ДСН 3.3.6.039-99. – Чинний з 1999-12-01. – К.: Міністерство охорони здоров'я, 1999. – 30 с.
40. Средства защиты сварщиков: Каталог / О. Г. Левченко, В. Д.

Воробьев, Ю. И. Шульга, А. О. Левченко, А. О. Лукьяненко // Под ред. О. Г. Левченко. – К.: Экотехнология, 2012. – 136 с.

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

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

43. ДСТУ 3273-95. Безпечність промислових підприємств. Загальні положення та вимоги.

44. Правила улаштування електроустановок [Текст]: ПУЕ-2017. – Чинний з 2017-08-21. – К.: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2017. – 617 с.

45. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою [Текст]: ДСТУ Б В.1.1-36:2016. – Чинний з 2017-01-01. – К.: – Мінрегіонбуд України, 2016. – 59 с.

46. ОСТ 108.030.113-87 Поковки из углеродистой и легированной стали для оборудования и трубопроводов тепловых и атомных станций.

47. Сливінський О. А. Здатність до зварювання конструкційних матеріалів : навч. посіб. / О. А. Сливінський. – Київ : НТУУ «КПІ», 260. – 2010 с.

48. Лебедев Б. Д. Диаграмма для определения структуры металла швов при сварке низколегированных сталей / Б. Д. Лебедев // Сварочное производство. – 1968. – № 1. – С. 2–3.

49. Лебедев Б. Д. О характере выделений избыточной фазы в перлитно-ферритных сварных швах / Б. Д. Лебедев // Сварочное производство. – 1974. – № 1. – С. 11–12.

50. Шоршоров М. Х. Фазовые превращения и изменение свойств стали при сварке / М. Х. Шоршоров, В. В. Белов. – Москва : Наука, 1972. – 220 с.

51. Лебедев Б. Д. Диаграмма для определения структуры околошовной зоны углеродистых и низколегированных сталей / Б. Д. Лебедев // Сварочное

производство. – 1974. – № 7. – С. 55–56.

52. Макаров Э. Л. Экспериментально-расчетная методика определения структуры в околошовной зоне легированных сталей / Э. Л. Макаров, С. Н. Глазунов // Сварочное производство. – 1986. – № 8. – С. 34–36.

53. Задорожная Л. К. Оценка свариваемости стали ВСтЗсп / Л. К. Задорожная, В. А. Савченков, В. Л. Кострыкин и др. // Сварочное производство. – 1981. – № 4. – С. 29–30.

54. Bailey N. Weldability of Ferritic Steels / N. Bailey. – Cambridge : Abington Publishing, 1994. – 286 p.

55. Morishige N. Effects of Chemical Compositions of Base Metal on Susceptibility to Hot Cracking in Austenitic Stainless Steel Welds / N. Morishige, M. Kuribayashi, H. Okabayashi // IIW Doc. IX-1114-1979.

56. Kujanpaa V. Correlation Between Solidification Cracking and Microstructure in Austenitic-Ferritic Stainless Steel Welds / V. Kujanpaa, N. Suutala, T. Takalo, T. Moisio // Welding Research International. – 1979. – № 9. – P. 55–76.

57. Ito Y. Weldability Formula of High Strength Steels / Y. Ito, K. Bessyo // IIW Doc. IX-576- 1968.

58. Лебедев Б. Д. Расчетные методы в сварке плавлением / Б. Д. Лебедев, В. В. Перемитько. – Днепродзержинск : ДГТУ, 1998. – 285 с.

59. Сефериан Д. Металлургия сварки / Д. Сефериан ; пер. с фр. И. Н. Вороновицкого и В. Д. Тарлинского. – Москва : Машгиз, 1963. – 347 с. 30

60. Ehrenberg H. Gedanken zum Vorwärmen beim Schweißen von Stahl / H. Ehrenberg // Schweißtechnik. – 1981. – Nr. 6. – S. 39–50.

61. Lippold J. C. Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels / J. C. Lippold, D. J. Kotecki. – Hoboken, New Jersey : Wiley-Interscience, 2005. – 358 p.

62. Потак Я. М. Структурная диаграмма низкоуглеродистых нержавеющей сталей применительно к литому и наплавленному при сварке металлу / Я. М. Потак, Е. А. Сагалевиц // Автомат. сварка. – 1972. – № 5. – С. 10–13.

63. Сталь жаропрочная 16ГНМ. Центральный металлический портал.

URL: https://metallischekiy-portal.ru/marki_metallov/stj/16GHM (дата звернення: 06.01.2024).

64. Современное состояние и развитие стартапов / Л.Т. Безрукова, Ю. Н. Степанова, И. И. Шанин, Ю. В. Дуракова // Успехи современного естествознания. Экономические науки. – 2015. – №1. – С. 95 – 97.

65. Электронный марочник сталей (http://www.splav.kharkov.com/mat_start.php?name_id=991).

66. <http://moodle.udec.ntu-kpi.kiev.ua/moodle/mod/resource/view.php?id=8686> "Металознавство і термічна обробка зварних з'єднань".

67. <http://trans-sdt.ru/>Влияние легирующих элементов на свойства сталей и вредные примеси.

68. "Здатність до зварювання конструкційних матеріалів": Метод. Вказівки до практичних з дисципліни для студ. Напрямку 050504 "Зварювання" / Уклад.: О.А. Слівінський, Н.М. Стреленко. - К. НТУУ "КПІ", 2010.

69. "Сварка и сариваемые материалы": Справочник в 3-х томах/ под общей редакцией докт. техн. наук В.Н. Волченка, Э.Л. Макарова-М.: Металлургия, 1991, с 528.