

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Інститут матеріалознавства та зварювання ім. Є. О. Патона
Кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії**

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Юрій БОГОМОЛ
« ____ » _____ 2021 р.

Дипломна робота
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо– професійною програмою
«Нанотехнології та комп’ютерний дизайн матеріалів»
спеціальності 132 «Матеріалознавство»
на тему: «Закономірності контролю структури і властивостей матеріалу
трубопроводів в умовах роботи АЕС»

Виконала:

студентка IV курсу, групи ФН– 71

Мосагутова Тетяна Валеріївна _____

Керівник:

Старший викладач Руденький С.О. _____

Консультант з розділу охорони праці:

Доктор технічних наук, професор Левченко О.Г. _____

Консультант з економічного розділу:

Доцент, кандидат економічних наук

Нараєвський С. В. _____

Нормоконтроль:

Доцент, к. т. н., доцент,

Бірюкович Ліна Олегівна _____

Рецензент:

Начальник ЛМ СКМ ВП ЮУАЕС

Мельник П.Є. _____

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає
запозичень з праць інших авторів без відповідних
посилань.

Студентка _____

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

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 132 «Матеріалознавство»

Освітньо– професійна програма «Нанотехнології та комп’ютерний дизайн матеріалів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Юрій БОГОМОЛ

«__» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Мосагутова Тетяна Валеріївна

1. Тема роботи «Закономірності контролю структури і властивостей матеріалу трубопроводів в умовах роботи АЕС», керівник роботи Руденький С.О., старший викладач, затверджені наказом по університету від «27» травня 2021 р. № 1355–с
2. Термін подання студентом роботи: 10.06.2021 р.
3. Вихідні дані до роботи: «Закономірності контролю структури і властивостей матеріалу трубопроводів в умовах роботи АЕС»
4. Зміст роботи: літературний огляд, експериментальна частина, обговорення результатів, організаційно– економічний розділ, розділ охорони праці, висновки, перелік використаної літератури.
5. Перелік ілюстративного матеріалу: тема роботи, мета роботи, основні завдання, методи дослідження, аналіз стану об’єкту дослідження, вихідні матеріали та методики дослідження, результати металографічних досліджень та дослідження механічних властивостей, результати роботи.

6. Консультанти розділів роботи*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Доктор технічних наук, професор Левченко О.Г.		
Організаційно–економічний розділ	Доцент, кандидат економічних наук Нараєвський С. В.		

7. Дата видачі завдання 12.04.2021

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Проходження інструктажів з техніки безпеки та вибір матеріалу для дослідження сталі	12.04.2021 – 18.04.2021	
2	Опрацювання методик дослідження	19.04.2021 – 25.04.2021	
3	Вибір марки сталі та дослідження методик аналізу роботи металу ГЦТ в умовах АЕС при високих температурах	26.04.2021 – 31.04.2021	
4	Проведення експериментальної частини	01.05.2021 – 07.05.2021	
5	Дослідження матеріалів під впливом високих температур методом металографічного аналізу	08.05.2021 – 13.05.2021	
6	Оформлення звіту з переддипломної практики	14.05.2021 – 16.05.2021	
7	Захист дипломної роботи	16.06.2021	

Студент

Тетяна МОСАГУТОВА

Керівник

Сергій РУДЕНЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 100 с., 23 рис., 18 табл., 30 джерела.

КОНСТРУКЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ, ПЕРЛІТНА СТАЛЬ, РЕАКТОР,
РАДІАЦІЙНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ, СТАЛЬ 10ГН2МФА.

Об'єкт дослідження – сталь 10ГН2МФА головних циркуляційних труб реактора АЕС.

Мета роботи – аналіз результатів стану металу трубопроводів, вивчення його структури та властивостей в умовах роботи АЕС.

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

У роботі зосереджена увага на принципах підбору конструкційних матеріалів на основі особливостей їх роботи на атомних електростанціях. Тут описано деякі найважливіші проблеми експлуатаційних характеристик матеріалів в умовах експлуатації АЕС (під впливом високої температури та радіаційного випромінювання). Досліджено структуру, хімічний склад, твердість та механічні властивості сталі 10ГН2МФА .

Для виконання дипломної роботи було поставлено наступні задачі:

- провести вибір і обґрунтування хімічного складу матеріалу з метою отримання необхідних механічних і спеціальних властивостей виробу;
- провести вивчення зразків матеріалу труби (хімічного складу, металографічні дослідження, визначення твердості сталі 10ГН2МФА);
- вивчити механічні властивості труб з сталі 10ГН2МФА;
- визначити структуру, фазовий та хімічний склад матеріалів;
- визначити мікротвердість зразків матеріалу.

ABSTRACT

Thesis report: 100 p., 23 fig., 18 tabl., 30 refer.

CONSTRUCTION MATERIAL, PELLITE STEEL, REACTOR, RADIATION EMISSION, STEEL 10GN2MFA.

The object of research is steel 10GN2MFA of the main circulation pipes of the NPP reactor.

The purpose of the work is to analyze the results of the metal condition of pipelines, to study its structure and properties in the conditions of NPP operation.

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

The paper focuses on the principles of selection of structural materials based on the peculiarities of their work at nuclear power plants. Here are some of the most important problems of the performance of materials in the conditions of NPP operation (under the influence of high temperature and radiation). The structure, chemical composition, hardness and mechanical properties of 10GN2MFA steel were studied.

The following tasks were set for the thesis:

- to make a choice and substantiation of chemical composition of material with the purpose obtaining the necessary mechanical and special properties products;
- to study samples of pipe material (chemical composition, metallographic research, determination of steel hardness 10GN2MFA);
- to study the mechanical properties of pipes made of steel 10GN2MFA;
- determine the structure, phase and chemical composition of materials;
- determine the microhardness of material samples.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....	10
1.1 Матеріали АЕС (атомних електростанцій) і їх застосування	10
1.1.1 Введення	10
1.1.2 Призначення реакторної установки і I контуру в технологічному циклі АЕС	10
1.1.3 Реактор ВВЭР– 1000.....	13
1.1.4 Головні циркуляційні трубопроводи.....	14
1.1.5 Проектування ГЦТ (Головний циркуляційний трубопровід)	17
1.2 Вивчення характеристик сталі 10ГН2МФА.....	20
1.2.1 Застосування сталі 10ГН2МФА. Переваги сталі перлітного класу	20
1.2.2 Склад і структура сталі	20
1.2.3 Механічні властивості сталі та характеристики деформації.....	22
1.2.3 Дослідження пошкоджень та дефектів.....	26
1.1.4 Дослідження методами електронної мікроскопії	31
1.1.5 Експлуатація сталі (100 тис. годин)	34
1.1.6 Експлуатація сталі. Порівняння результатів 100 та 200 тис. годин.....	35
1.1.7 Вимоги до контролю структури металу.....	40
1.1.8 Висновки та постановка задач дослідження	41
2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	43
2.1 Вибір та обґрунтування матеріалу	43
2.1.1 Конструктивні особливості реактора та вибір матеріалу досліджень	43
2.1.2 Вимоги до матеріалу	48
2.1.3 Аналіз фізико– хімічних властивостей	51

2.2	Методи досліджень	52
2.2.1	Вихідні матеріали	52
2.2.2	Металографічний аналіз.....	53
2.2.3	Методика вимірювань твердості	55
2.2.4	Методика хімічного аналізу.....	57
2.2.5	Методика визначення механічних властивостей метала по твердості..	59
3.	РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ.....	61
3.1	Структура сталі 10ГН2МФА	61
3.2	Результати вимірювання твердості матеріалів	63
3.3	Результати визначення механічних властивостей метала по твердості..	64
3.4	Результати хімічного аналізу.....	69
3.5	Результати електронно– мікроскопічного дослідження після експлуатації	71
4.	ОХОРОНА ПРАЦІ	73
4.1	Вступ та постановка мети розділу.....	73
4.2	Правові та організаційні основи охорони праці	73
4.3	Аналіз умов праці, небезпечних та шкідливих факторів	75
4.3.1	Аналіз умов праці.....	75
4.3.2	Аналіз небезпечних та шкідливих факторів	77
4.4	Заходи, що виключають прояв небезпечних і шкідливих виробничих факторів або обмежують їх в межах допустимих норм	82
4.4.1	Електробезпека	82
4.5	Безпека в разі виникнення пожежі	83
4.6	Висновок	85
4.	ОРГАНІЗАЦІЙНО– ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	86

4.1 Техніко – економічне обґрунтування роботи	86
4.1.1 Актуальність теми дослідження	86
4.1.2 Мета і завдання	86
4.1.3 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження	87
4.1.4 Витрати на оплату праці	88
4.1.5 Визначення суми єдиного соціального внеску	91
4.1.6 Витрати на матеріали, необхідні для виконання НДР	91
4.1.7 Витрати на спецобладнання для проведення експериментів	92
4.1.8 Витрати на відрядження	92
4.1.9 Інші прямі витрати по темі	92
4.1.10 Накладні витрати	92
4.1.11 Економічна ефективність	94
4.1.12 Висновки	98
ВИСНОВКИ	99
CONCLUSIONS	100
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	101

ВСТУП

Розвиток ядерної енергетики та інших напрямків ядерної промисловості був би неможливим без одночасного створення нових матеріалів та нових способів їх отримання. Тому ця галузь виникла за короткий час.

Матеріалознавство – це міждисциплінарна галузь науки, яка вивчає зміни властивостей матеріалів у твердому та рідкому станах залежно від певних факторів. Науку про матеріали можна віднести до тих галузей фізики та хімії, які вивчають властивості матеріалів. Крім того, ця наука використовує ряд методів для вивчення структури матеріалів. Знання структури та властивостей матеріалів призводить до створення абсолютно нових виробів і навіть галузей.

Однак для ядерних реакторів, що використовуються на атомній електростанції або в інших галузях промисловості, доводилося вибирати конструкційні матеріали, а в багатьох випадках їх відтворювати.

Так, від матеріалів була потрібна то дуже велика, то дуже мала здатність поглинати нейтрони. Щоб задовольнити ці вимоги, у багатьох випадках доводилося обмежувати вміст будь-якого компонента в сплавах або вводити нові легуючі добавки, а іноді і повністю замінювати звичайні матеріали новими.

Незвичайні умови роботи матеріалів із сильним нейтронним випромінюванням, змінними температурами та напругами, часто під одночасним впливом агресивного середовища, ще більше ускладнюють труднощі у виборі матеріалів.

Тривала безперебійна робота атомних електростанцій багато в чому визначається правильним вибором конструкційних матеріалів. Розвиток нового напрямку енергетики, як у виборі матеріалів, так і в технології виробничого обладнання, в початковий період базувався головним чином на досвіді, накопиченому в більш тривалий період розвитку звичайного тепла.

Умови роботи матеріалів АЕС більш складні. Найбільш очевидним є вплив нейтронного опромінення з флюенсом, здатним істотно змінити властивості матеріалів.

Підвищена складність умов праці матеріалів порівняно з електростанціями на органічному паливі вимагала особливого підходу до розробки матеріалів. Це дозволяє говорити про існування незалежної науково–технічної спрямованості в науці про матеріали для обладнання АЕС.

У даній роботі, спираючись на власні знання з матеріалознавства, а також на літературу, присвячену для тих самих питань, дослідила існуючі в даний час уявлення про вибір матеріалів для головних установок АЕС. Тут розглядаються окремі найбільш важливі питання працездатності матеріалів в умовах роботи АЕС(в умовах впливу високої температури і нейтронного опромінення).

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Матеріали АЕС (атомних електростанцій) і їх застосування

1.1.1 Введення

В наш час більш поширеною в ядерній енергетиці є атомна електростанція (АЕС) з водно–водяним енергетичним реактором (ВВЕР).

Розбудова атомної енергетики привело до створення цілого шару матеріалознавства. Наприклад, атомний реактор, окрім простих проблем міцності при нагріванні, існує радіаційне випромінювання в середині реактора, в яких умовах і працює ядерний реактор.

Для вдоволення усіх потреб знайшли застосування мало чи не всі елементи періодичної системи Д. І. Менделєєва, через велику кількість потрібних матеріалів в атомному будівництві.

Довга безаварійна експлуатація АЕС напряду визначається правильністю відбіру матеріалів. Вибір матеріалу для АЕС початковий час базувався на досвіді набутому у теплоенергетиці.

У сучасному світі основне завдання атомної енергетики є продовження часу експлуатації енергоблоків АЕС. Особливо актуальною ця задача є для України [1], [2].

1.1.2 Призначення реакторної установки і I контуру в технологічному циклі АЕС

Перший контур – це контур (разом з системою компенсації тиску), в ньому теплоносій під робочим тиском поширюється через активну зону. Цей контур розроблений для поширення теплоносія і передачі тепла, яке виходить з активної зони реактора по воді другого контуру в парогенераторах. Його ціль генерація пари в другому контурі для турбогенераторної установки.

Після цього на ТУ здійснюється трансформація теплової енергії пара в електричну енергію. Функцію сповільнювача нейтронів для активної зони виконує теплоносієм водо– водяного ядерного реактора. Він включає у собі розчинену борну кислоту, що виконує функцію відводу тепла від активної зони реактора. Щоб не допустити кипіння теплоносія перший контур робить під великим тиском.

Тиск роботи першого контуру ВВЕР– 1000 сягає $160 \text{ кгс} / \text{см}^2$.

Перший контур ще виконує роль перешкоди(перешкоджає виходу продуктів поділу в навколишнє середовище), тому що є герметичним і суцільним.

Відповідно I контур мусить мати високу швидкість реакції та відповідальність(стійкість) проти аварій.

Склад I контуру стандартизованого ядерного реактора ВВЕР 1000 :

- сам реактор;
- 4 циркуляційні петлі(ГЦТ; ГЦН);
- парогенератор, що в складі теплоносія I контуру;
- система вирівнювання тиску теплоносія;
- трубопроводи систем безпеки.

Реакторна установка (РУ) – сукупність елементів енергоблоку, створених для трансформації ядерної енергії у теплову. РУ складається з систем для його нормальної експлуатації, аварійного захисту та охолодження.

Реакторна установка складається з (рис. 1.1):

- головний циркуляційний контур (1,2,3) (ГЦК);
- система вирівнювання тиску в I контурі (4);
- система захисту I контуру від небезпечних скачків тиску (5);
- систему гідроаккумуляторів (6).

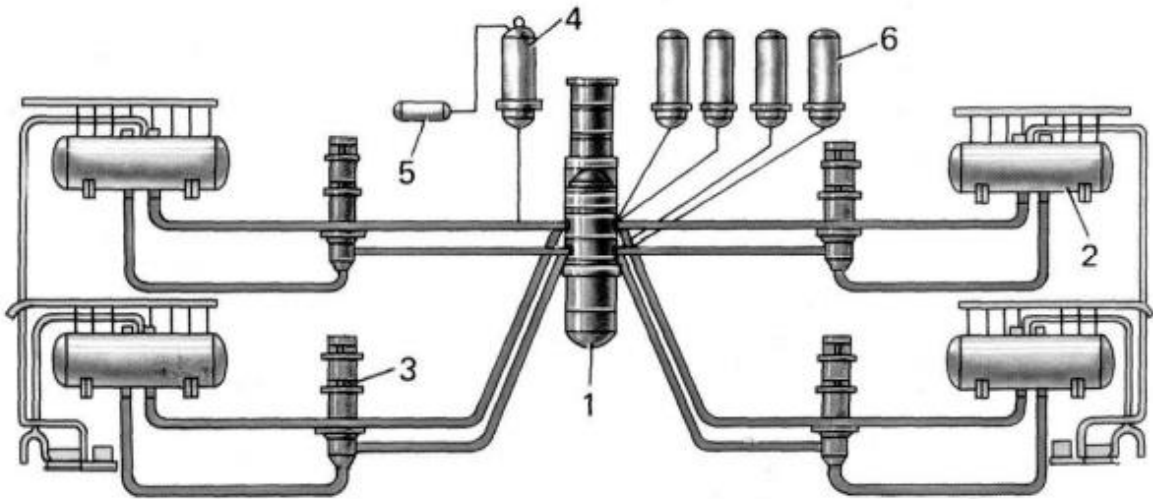


Рисунок 1.1– Реакторна установка

Водо– водяний реактор ВВЕР– 1000 – це циліндрична посудина(з корпусу і знімного верхнього блоку з кришкою), що працює на теплових нейтронах. Активна зона реактора розташовується у корпусі реактора. Параметри РУ в стаціонарному режимі при нормальній експлуатації наведенні у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1– Параметри РУ в стаціонарному режимі при нормальній експлуатації

Найменування параметра	Величина
Потужність реактора, МВт	3000
Тиск в першому контурі(на виході з активної зони), кгс/см ² (МПа)	160±3(15,7±0,29)
Температура теплоносія на виході з реактора, °С	320
Підігрів теплоносія в реакторі, ° С	30,3
Паропроодуктивність, т/год	5880
Тиск генеруючого пара, кгс/см ² (МПа)	64±2(6,27±0,19)
Вологість генеруючого пара, %	0,2

1.1.3 Реактор ВВЭР– 1000

Реактор ВВЭР– 1000 – це водо– водяний енергетичний реактор. Складається з циліндричної посудини з еліптичним дном, з патрубків і кришкою, яка покрита антикорозійним покриттям (рис. 1.2).

Принцип роботи ВВЭР– 1000: гетерогенний ядерний енергетичний реактор, що працює на теплових нейтронах.

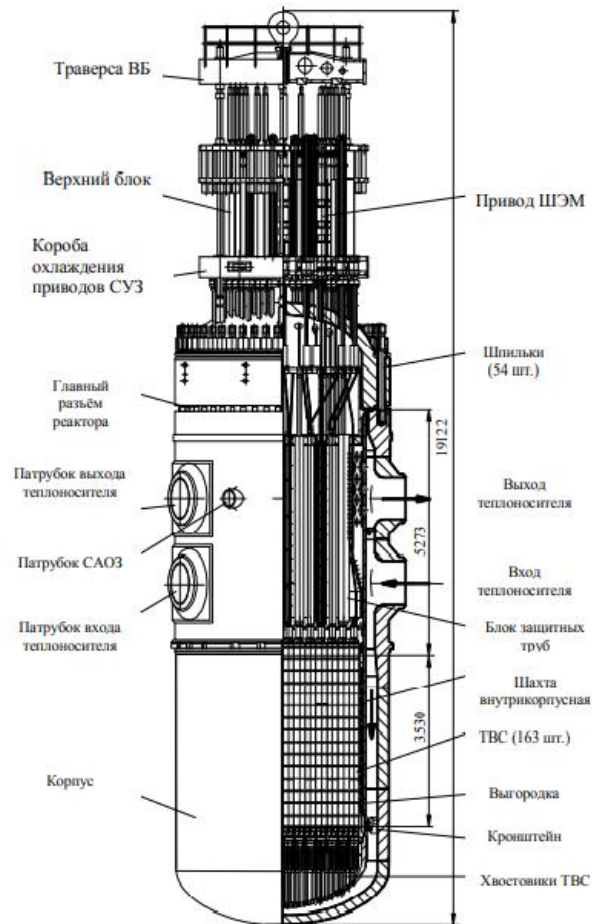


Рисунок 1.2 – Реактор ВВЭР– 1000

Теплоносій і сповільнювач в ВВЭР– 1000 є хімічно обезсолена вода з борною кислотою. В результаті реакції поділу ядерного палива теплоносій нагрівається, коли минає активну зону.

1.1.4 Головні циркуляційні трубопроводи

Головні циркуляційні трубопроводи (ГЦТ) поєднують між собою устаткування головного циркуляційного контуру. Воно створене для циркуляції теплоносія: реактор → парогенератор → ГЦН → реактор. Трасировка ГЦТ в аксонометрії показана на рисунку 1.3. ГЦТ є системою безпечної експлуатації, що належить до 2 класу безпеки за НП 306.2.141–2008.

Установка ГЦТ задовольняє безпечну роботу реакторної установки при впливі навантажень, та розхолодження в результаті навантажень(землетрус).

Основні параметри ГЦТ:

- номінальний робочий тиск – 160 ± 2 кг с / см²
($15,7 \pm 0,2$ МПа);
- розрахунковий робочий тиск – 180 кг с / см²
($17,66$ МПа);
- тиск гідровипробувань – 250 кгс / см²
($24,525$ МПа);
- середня температура теплоносія – $305 \pm 1,5$ ° С;
- розрахункова температура – 350 ° С;
- витрата теплоносія по одній петлі, м³ / год – 21200 ;
- швидкість планового розхолодження, не більше 100 циклів:
нормальне, 70 циклів – не більше 30 ° С / год; прискорене, 30 циклів – не більше 60 ° С / год;
- Термін служби – 30 років.

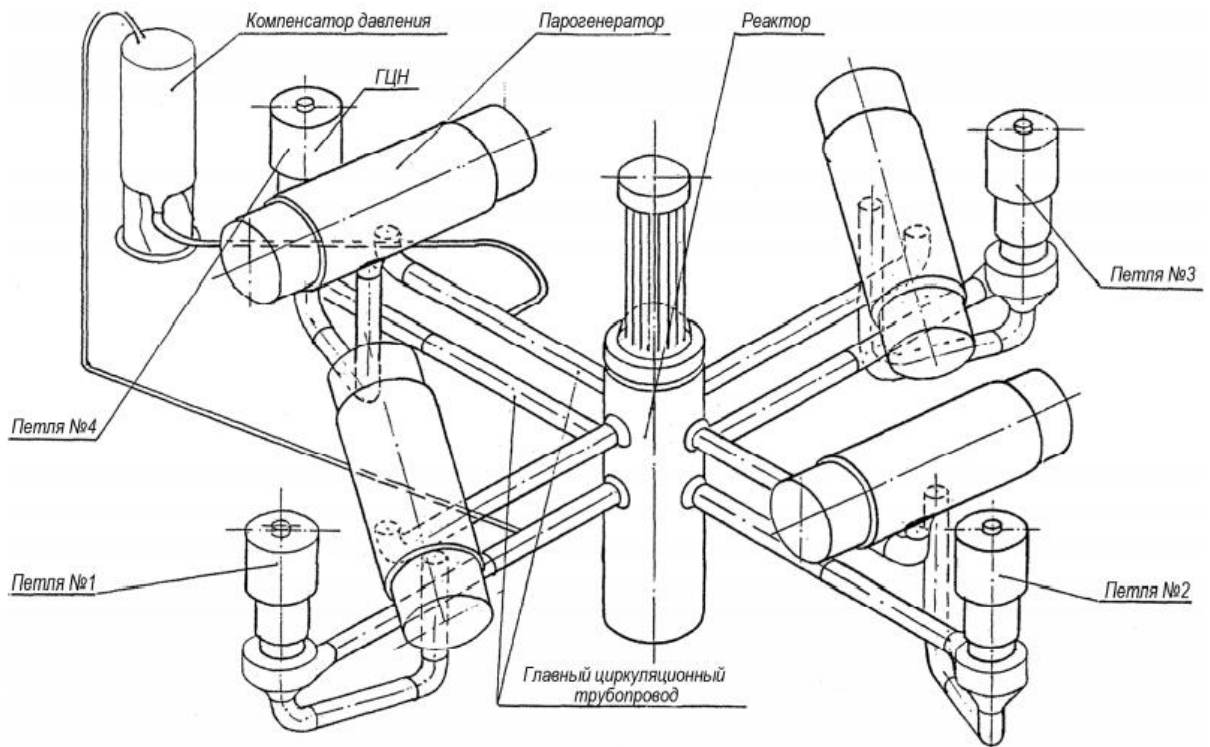


Рисунок 1.3 – Трассировка ГЦТ в аксонометрії

Труби ГЦТ створені з легованої конструкційної сталі 10ГН2МФА. Внутрішня поверхня труб плакованих методом наплавлення зварювальної стрічкою марки СВ– 04Х20Н10Г2Б. Вона володіє корозійною стійкістю та не здатна до міжкристалітної корозії в середі теплоносія. Патрубки ГЦТ створені з легованої конструкційної сталі 10ГН2МФА, з внутрішньої сторони захищені від корозії наплавкою зі сталі 08Х18Н10Т.

Зварювальна стрічка СВ– 04Х20Н10Г2Б і сталь 08Х18Н10Т в середі І контуру не дивлячись на порушеннями водно– хімічного режиму має незмінну корозійну стійкість.

Для тривалої роботи РУ, сталі мають сукупність потрібних властивостей. Сталь 10ГН2МФА має задовільну зварюваність. Механічні властивості сталі зварних з'єднань задовольняють «Трубопроводи Ду 850. Специфікація конструкційних матеріалів. 320.04.00.00.000.Д42, ГКАЕ, ОКБ «Гідропрес», 1985 ».

Вміст кобальту не перевищує 0,025% у металі, що контактує з теплоносієм I контуру.

Товщина труб – 5 мм. Радіус згину на колінах (по осі) – 1340 мм. Прямі місця після згину – 200 мм.

Вибір конструктивних матеріалів ГЦТ виконуються за умов:

- хімічного складу середи;
- нормативної документації ;
- вжиття дезактивуючих розчинів.

Внутрішній діаметр трубопроводів 850 мм. Товщина основного металу стінки – 65 мм, корозійностійкої наплавлення – 5 мм.

Петлі I контуру розділяються на «холодну» і «гарячу» нитки. З «гарячого» теплоносія переходить у парогенератор, далі по «холодній» з парогенератора вертається через ГЦН у сам реактор. Всі петлі виконані однаково, для рівного гідравлічного опору.

Тиск ГЦТ становить 15,7 МПа (160 кгс / см²). Розігрів ГЦТ проводиться зі швидкістю не вище 20 ° С / год., а охолодження ГЦТ не більше 30 ° С / год.

Понадусім, порушенням роботи ГЦТ призводить до порушення цілісності внутрішнього корозійного наплавлення ГЦТ. В результаті корозійне руйнування основного металу, далі можливі появи мікротріщин. Імовірність відмов елементів ГЦТ – 0,00443% за 16000 год.

Міцність трубопроводів першого контуру в стаціонарних і перехідних режимах, перерахованих в розділі, задовольняє вимогам нормативних матеріалів.

Існує дренажування ГЦК в систему організованих протікань, робиться з метою усунення утворення гідрозатворів в аваріях.

1.1.5 Проектування ГЦТ (Головний циркуляційний трубопровід)

Щоб поєднати між собою різні елементи АЕС необхідна велика кількість трубопроводів різних діаметрів і застосувань .

Всеосяжна довжина трубопроводів для атомних електростанцій – це кілька кілометрів. Трубопроводи різняться за основними показниками та середою застосувань – трубопроводи ГЦК, активної пульпи, допоміжні для реакторного контуру, поживні, гострого і добірного пара.

Крім того, по параметрам (температура , тиск) , радіоактивність, середовищі (пар, вода, повітря), періодичності експлуатації (безперервна робота, періодичне включення). Найбільшу відповідальність мають ГЦТ, які безпосередньо пов'язані з функціональністю станції. По цим трубопроводами проходить радіоактивна середа з високими параметрами.

Розробці трубопроводів атомної станції мусить присвячуватись велика увага, через те що вартість їх досягає 10% загальної вартості устаткування станції, також від надійності їх експлуатації безпосередньо залежить надійна експлуатація всієї АЕС.

Отже, вибір марки сталей для труб залежать від температури середовища, по яких проходить корозійно агресивне середовище.

Вуглецеві сталі 10 і 20% – при температурах до 450°C. Сталі перлітного класу, леговані молібденом 0,3– 1%, ванадієм 0,2– 0,4%, хромом 0,52% – у інтервалі температур 450 – 570°C.

Якщо діаметр труби великий і треба зменшити товщину стінок, використовують аналогічні сталі.

Для високих температур, приблизно 620 °C використовують, наприклад, EI– 756 (11% Се, 0,7% Мо) – нержавіючі мартенситно– ферритні сталі з високим вмістом хрому.

Сталь ОХУ8НІОТ – теж популярна у енергетиці сталь аустенітного класу, вони більш жаростійкі і жароміцні. Проте у роботі при високих

температурах є доволі не стабільною через процес старіння. Найбільш високу корозійну стійкість мають аустенітні сталі.

Класи сталей мають значну різницю у вартості. Співвідношення вартості вуглецевих, перлитових та аустенітних сталей дорівнює 1 : 2,5 : 10 (15). Таким чином, подорожчання трубопроводів, це результат підвищення температури, викликаною зміною класу сталей.

Для трубопроводів АЕС використовують сталі перлітного класу, леговані – де протікає насичений і перегрітий пар, вуглецеві для всіх інших площин.

Нержавіючі аустенітні сталі головним чином використовують для труб ГЦК. Як правило, значно піднімає вартість устаткування АЕС. Через те використовують перлітні сталі з наплавкою зсередини нержавіючої аустенітної сталлю для значних розмірів труб, щоб зменшити витрати.

Розміри трубопроводів вказують дробом в міліметрах: в чисельнику – зовнішній діаметр, в знаменнику – товщина стінки.

Для ВВЕР– 1000 використовуються головні трубопроводи реактора з внутрішнім діаметром 850 мм (в зв'язку з укрупненням всього обладнання). Трубопроводи штампозварні з перлітної сталі товщиною 55– 75 мм, плакіровані зсередини нержавіючої аустенітної сталі – 5 мм.

В залежності від швидкості середи визначають внутрішній діаметр труб, а в залежності від результатів на міцність – потрібну товщину стінки.

Значну важливість має швидкість середовища (параметри задані), тому що вона впливає на діаметр, отже і на вагу, товщину стінки і вартість.

Чим більше швидкість, тим дешевше трубопровід. Значить і загальна вартість станції дешевше, проте тоді більші гідравлічні втрати, на подолання яких виникає перепад тиску середовища (паропроводів).

Відповідно вибір швидкості середовищ необхідно робити на основі техніко– економічних розрахунків.

Є можливість орієнтуватися на такі значення: для гострого пара – 45– 50 м / с; для пара низького тиску – 50– 70 м / с; для труб з аустенітних

нержавіючих сталей – 8– 12 м / с; для живильної води 4– 6 м / с (труби з вуглецевих сталей); для газу і повітря – 10– 20 м / с.

Для забезпечення безперешкодної роботи всі трубопроводи кріплять до несучих будівельних конструкцій. Належним чином ці опорні або підвісні конструкції повинні витримувати вагу трубопроводу та захищати від вібрацій.

Через те що трубопроводи працюють в умовах не стабільних температур, також змінюється температура металу, а в результаті і довжина трубопроводів. Відповідно треба забезпечити вільну можливість подовження трубопроводів, а інакше в їх металі можуть сформуватись додаткові напруги, їх величина залежить від температури середи. Це може привести до руйнування труб.

Для того, щоб визначити можливі напруги(від температурних подовжень в трубах), рахують самокомпенсацію всіх головних трубопроводів. Процес розрахунку вимагає завчасне трасування труб. Бажано мати таку трасу, щоб її гнучкість була достатньою для компенсації температурних подовжень. Цим факторам відповідають трубопроводи, у яких довжина взаємно перпендикулярних ділянок майже дорівнює. Якщо ж гнучкості не вистачає, то створюють спеціальні вигнуті ділянки (компенсатори), як правило П– подібної форми, перпендикулярні напрямку найбільшого температурного подовження.

В залежності від коефіцієнта лінійного розширення, відстані між пересувними опорами, температури середи визначають кількість компенсаторів і їх розміри.

Компенсація температурних подовжень може бути досягнута за рахунок зміщення обладнання, до якого приєднується трубопровід [4].

1.2 Вивчення характеристик сталі 10ГН2МФА

1.2.1 Застосування сталі 10ГН2МФА. Переваги сталі перлітного класу

Сталь марки 10ГН2МФА популярна у використанні для виробництва устаткування АЕС, таких як трубопроводи, колектори, корпуси, парогенераторів, компенсаторів тиску. Ця сталь є мало легованою, перлітного класу. Безперечно, перлітні сталі мають як недоліки, так і переваги.

Переваги сталей перлітного класу :

- їх використання в АЕС значно понижує вартість електроенергії, що виробляється (якщо порівняти з аустенітними нержавіючими сталями);
- Продукти корозії даних сталей не мають в складі кобальту.

Недолік сталей: корозійна стійкість цих сталей нижча, в порівнянні з стійкістю аустенітних хромонікелевих сталей, через це потрібно здійснювати контроль умов в яких працює сталь та зменшувати негативний вплив факторів.

Є велика значність проводити протикорозійні заходи в такому випадку. Після глибинного аналізу впливу різних факторів (структури, складу сталі та експлуатаційних характеристик), можна вирішити, які саме заходи треба проводити.[2]

1.2.2 Склад і структура сталі

Виконавши металографічний аналіз методом реплік металу ГЦТ після 200 тисяч годин експлуатації, можна побачити, що основний метал трубопроводів має специфічну для даної марки сталі структуру – перлітна (сорбіт відпустки) .

Оцінювання величини зерен основного металу продемонструвала – величина зерна перебуває в рамках 8– 10 балів. Розмір зерен відповідає 8– 11 мкм. Відношення фаз перлітної до феритної , як 85/15%.

Для ділянок зі звареним з'єднанням зона термічного впливу (околошовна зона) має нерівномірну структуру, з ферито– перлітною складовою (сорбіт) в поєднанні з троститом. Величина зерна – 5– 6 балу. Розмір зерен в рамках 40– 50 мкм. Співвідношення перліту до фериту в інтервалах 95/5 % (нерівномірна структура).

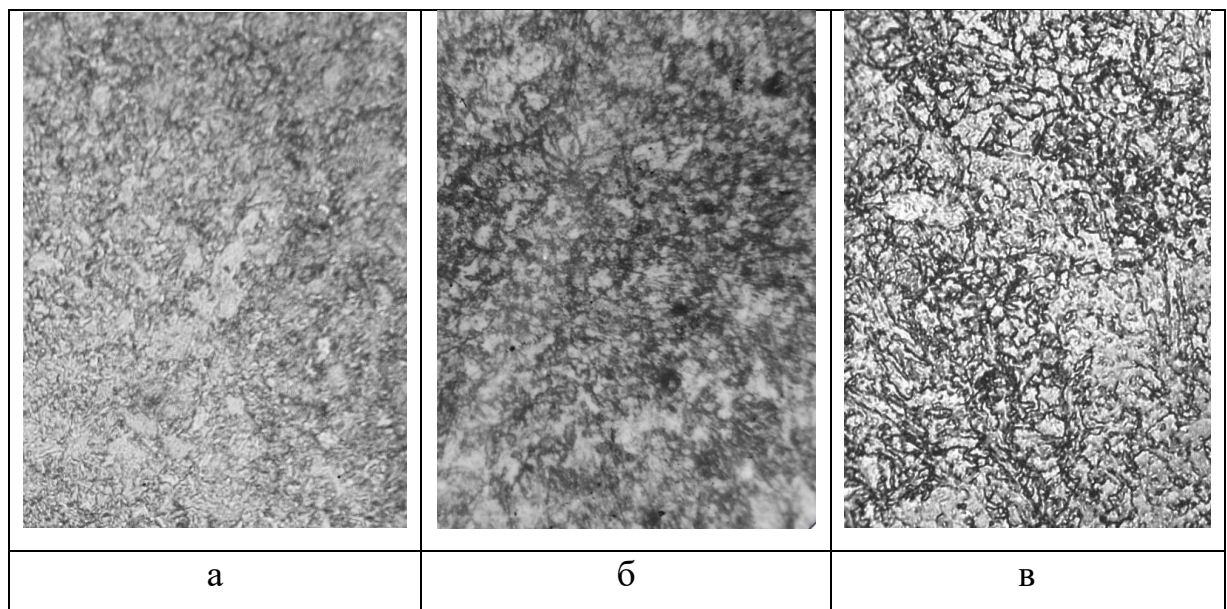
Зварений шов – структура дрібно дисперсна, ферито– перлітна. Зерно відповідає 8– 10 балу. Розмір сягає 15– 20 мкм. Співвідношення перліту до фериту – 95 / 5%.

При проведенні аналізу сталі ГЦТ на неметалеві включення, було показано, що в металі присутні не деформовані силікати – 2,5 балів, сульфідів – 2,5 балів, оксиди – 1,5 балів.

Результати металографічного аналізу відповідають вимогам ТУ 975 Е004511.

Яскраво виявлені структури контрольованих зон (ОМ, ОЗ, ЗШ) трубопроводів наведені на рисунку 1.4.

Хімічний склад сталі наведено у таблиці 1.2.



а – основний метал; б – околошовна зона; в – зварний шов

Рисунок 1.4 – Мікроструктура сталі 10ГН2МФА трубопровода ГЦТ

Таблиця 1.2 – Хімічний склад сталі марки 10ГН2МФА по ТУ 108–766–86[2]

Масовая доля елементів, %											
C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	V	Al	Ti	Cu
0.08– 0.12	0.17– 0.37	0.80– 1.10	≤ 0.02	≤ 0.02	≤ 0.030	1.80– 2.30	0.40– 0.70	0.03– 0.07	0.005– 0.035	≤ 0.015	≤ 0.30

1.2.3 Механічні властивості сталі та характеристики деформації

Щоб випробувати на ударну в'язкість користувались маятниковим копером ПСВ–30 (виробництво Німеччина). Процес випробування проводився при кімнатній температурі, оскільки в паспорті зведено дані тільки при 200°C.

Основним типом зразків для випробувань в атомній енергетиці є зразок Шарпи тип 11(згідно з ПНАЕ Г–7–002–86). Зразок Шарпи тип 11 – це V–образний надріз 10x10x55 мм. Її розмір – 2x8x55 мм з V–подібним надрізом.

У таблиці 1.3 наведені результати випробувань зразків з 1–ГЦТ і 2–ГЦТ на ударний вигин при температурі 20 °С.

Таблиця 1.3 – Ударна в'язкість (Тдосл = 20 °С) основного металу коліна ГЦТ після 100 тис. і 200 тис. годин експлуатації

Енергоблок	Ударна в'язкість KCV, (кгс*м)/см ²			
	ТУ975Е004511.	Паспорт на ГЦТ	100 тис. год експлуатації	200 тис. год. експлуатації
1 – ГЦТ	≥4,8	21,0	21,6	20,8
1 – ГЦТ		28,8	24,2	23,1

На основному металі та зварних з'єднаннях проходили випробування на ударну в'язкість (рис. 1.5– 1.7). Висвячено стабільність високого рівня показників ударної в'язкості в дослідженому діапазоні тривалості термообробки. Показники критичної температури крихкості (T_k) дорівнюють для ОМ – 40°C , для ЗШ і зони термічного впливу від -10° до -20°C .

Отже, для дослідженого періоду часу додаткової відпустки дана сталь 10ГН2МФА реалізована електродами УОПІ– 13/55, і електродами ПТ– 30 автоматичним зварюванням по критичній температурі крихкості. Виконано відповідають вимогам ПН АЕ Г– 7– 002– 86 і ПН АЕ Г– 7– 010– 89.

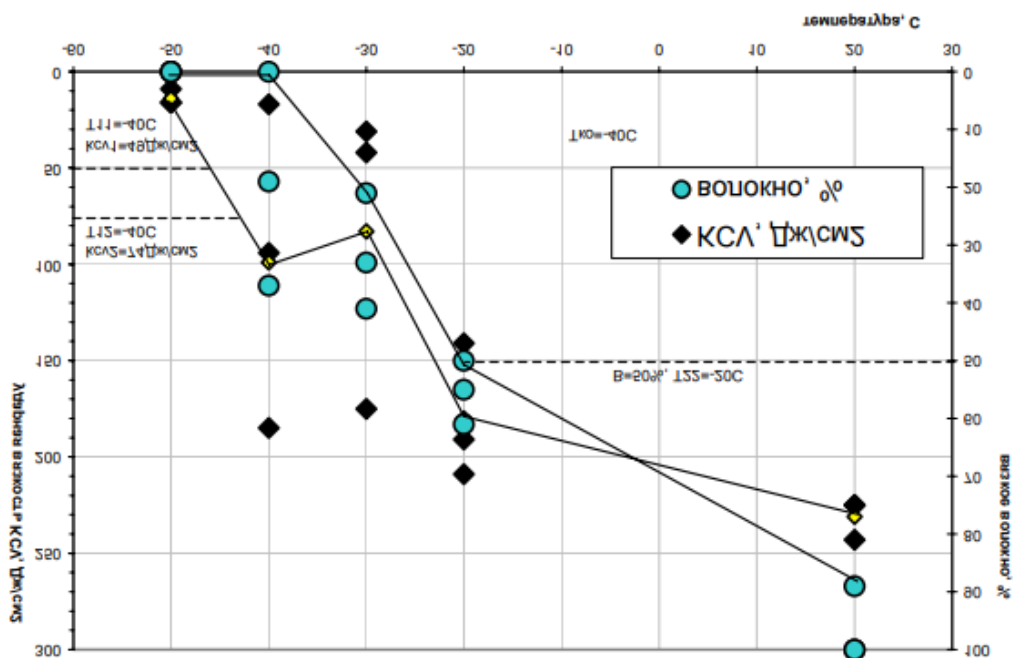


Рисунок 1.5 – Залежність ударної в'язкості основного металу – сталі 10ГН2МФА від температури після відпустки 75 годин при $620\text{--}660^\circ\text{C}$

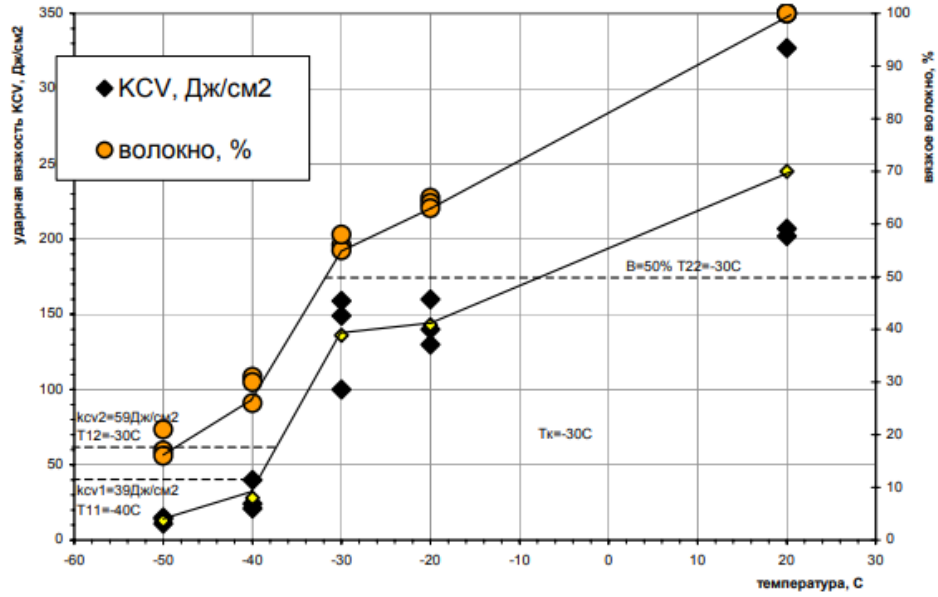


Рисунок 1.6 – Залежність ударної в'язкості метал шва (електроди УОНИ 13/35) від температури після відпустки 75 годин при 620–660 С°

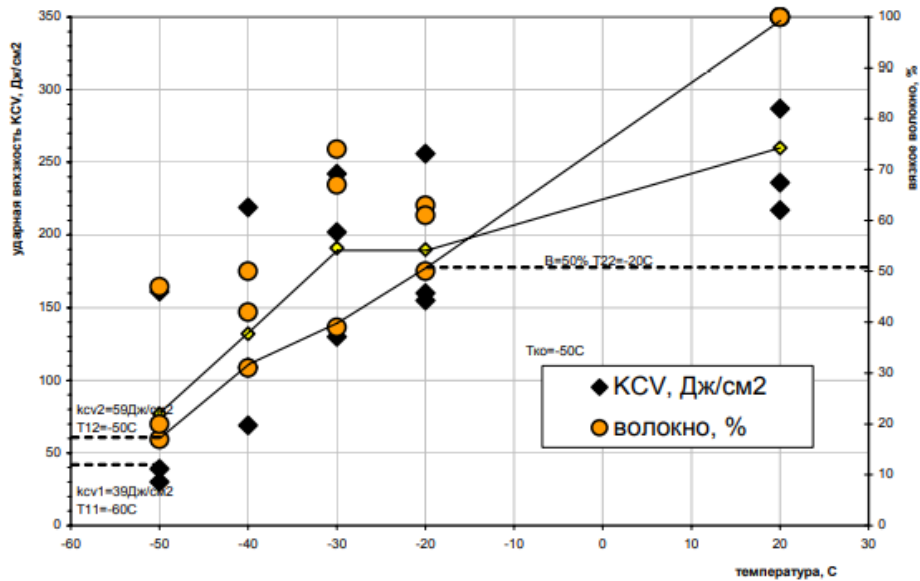


Рисунок 1.7 – Залежність ударної в'язкості зони термічного впливу зварного з'єднання сталі 10ГН2МФА від температури після відпустки 75 годин при 620–660 С°

Користувались металом ЗШ, виконаного електродами УОНИ– 13/55, після додаткової термообробки при температурі 620 ÷ 660°С (75 годин) при проведенні малоциклових випробувань.

Щоб порівняти, проводився аналіз: взято два сварні з'єднання металу 10ГН2МФА(електродами ПТ– 30) – основний метал пройшов додатковий відпуск, а інший додаткову відпустку при $620 \div 660^{\circ} \text{C}$ (60 год).

Вищенаведені показники про вплив додаткової відпуски на механічні властивості сталі 10ГН2МФА показує – при збільшенні тривалості відпустки до 75 годин показники розтягіння ОМ і металу шва в основному не змінюються, відповідно це демонструє стабільність опору малоциклової втоми ЗШ і ОМ.

Аналіз результатів демонструє, що результати випробувань ОМ після додаткової термообробки протягом 8, 60 і 75 годин не значно відрізняються та знаходяться в межах смуги розкиду експериментальних значень.

До того ж, властивості зварних з'єднань (ПТ– 30) сталі 10ГН2МФА після відпустки протягом 60 годин наближаються до властивостей ОМ.

Крива I, наведена на рисунку 1.5 і 1.6 є нормативної кривої малоциклової втоми. З даних витікає – точки в дослідженій області температур знаходяться суттєво вище нормативної кривої.

За результатом даних можна зробити висновок, що основний метал і зварні з'єднання сталі 10ГН2МФА, виконуються за різними технологіями при додатковій термообробці мають достатній рівень опору малоциклової втоми.

В процесі формування і експлуатації ПГ АЕС в конструкційних матеріалах перетворюється структура і механічні властивості та примножуються мікро– макропошкодження.

При температурі 250– 300 °С сталь 10ГН2МФА, в результаті процесу деформаційного старіння здійснюється значне зниження довговічності.

Відповідно, при $T = 280^{\circ} \text{C}$ в ХК охрупчується наклепаний ферит (інтенсивний процес деформаційного старіння). Всі величини, представлені в таблиці 1.4, є характеристиками деформації металу.

Таблиця 1.4 – Механічні властивості сталі 10ГН2МФА при $T = 293K$

Тимчасовий опір, σ_B , МПа	Межа текучості, $\sigma_{0,2}$, МПа	Модуль пружності, $E \times 10^5$, МПа	Відносне подовження, δ , %	Відносне звуження, ψ , %
539	343	2.13	16	55

1.2.3 Дослідження пошкоджень та дефектів

Корозійні тріщини – це самі небезпечні дефекти, що утворюються в теперішніх сталевих конструкціях. У багатьох випадках такі дефекти важко з'ясувати.

Отож, в залежності від несуттєвих змін певних умов, тривалість створення корозійних тріщин може істотно змінюються з часом.

Через те дуже важливо виявляти утворення корозійних тріщин. Також важливим є формування кінетики її зростання з часом під час експлуатації конструкції АЕС.

Останній фактор є обов'язковим та потребує узагальнення необхідних даних.

На рисунку 1.8 показано зварене з'єднання 111 у парогенераторах ПГ–1000 сьогodenних енергоблоків реактора ВВЕР–1000.

На рисунку 1.9 показана діаграма статичної корозійної стійкості до тріщин (SCCRD), вивчення цієї діаграми формують дані прогнози. Діаграма статичної корозійної стійкості до тріщин (рис. 1.9) формується з трьох зон [24].

У зоні I ($0 < K_I < K_{ISCC}$) – корозія зростання базується на механізмі анодного розчинення, роль силового фактора не висока.

У зоні II ($K_{ISCC} < K_I < K_{IC}$) – швидкість росту корозійної тріщини значно вище (зона водневої крихкості).

Зона III – верхня межа цієї зони, $K_I = K_{IC}$, де тріщина зростає спонтанно.

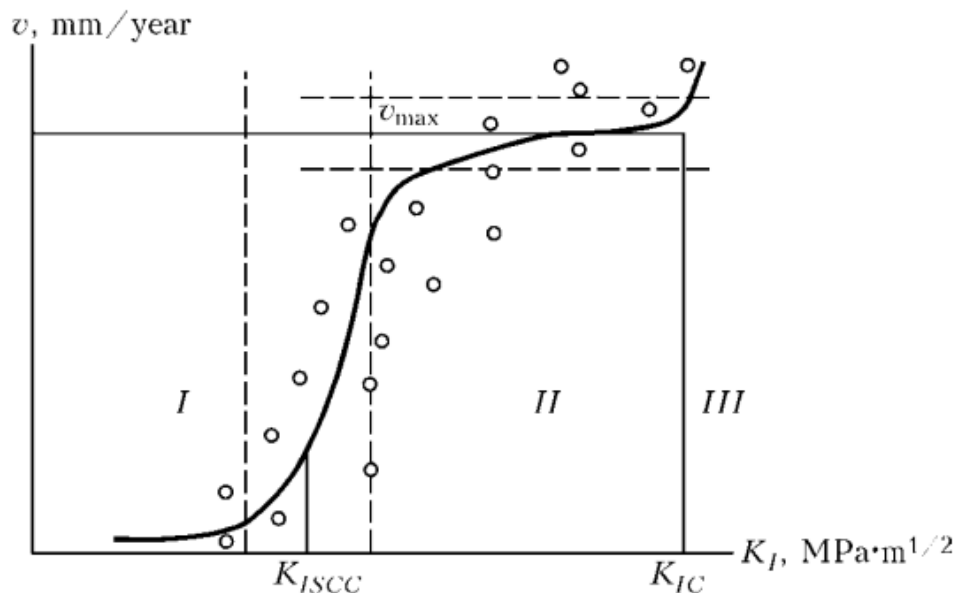


Рисунок 1.9 – Діаграма статичної корозійної стійкості до тріщин (див. позначення в тексті)

Досі відсутні стабільні SCCRД, що показують швидкість росту $v = f(K_I)$ для зварних з'єднань 111 з високоміцної низьколегованої сталі 10ГН2МФА.

На першому етапі експлуатації подача води відбувається при температурі десь 300 °С та тиск дорівнює 6,4 МПа. Корпус парогенератора 1, холодні та гарячі колектори 2 і патрубков 3 (рис. 1.8) зі сталі 10Г2НМФА

виготовлено саме в такому середовищі та не сприйнятливий до корозійного розтріскування.

Втім композиції середовища, що контактує з поверхнею односторонніх зварних з'єднань змінюється, в результаті застійних явищ в кармані 5. Так утворюються умови для проникнення багатоцентрової поверхневої корозії, який згодом трансформується на стадію I утворення корозійної тріщини (рис. 1.9).

Можливо, що безконтрольний стан поверхні в кармані в зоні одностороннього зварного шва дає значний вплив на час переходу від пітингової корозії до утворення корозійної тріщини. Крім того, можливо, що проміжним станом є утворення дефекту корозії канавки упродовж зварного шва, з якого потім утворюється окружна тріщина.

Прогнози сформовані з використанням літературних даних для подібної корпусної сталі та подібної умови експлуатації [25], з якими вони добре узгоджувались, через дефіцит необхідних SCCRD.

Розраховані норми $v = f(K_I)$, отримані при розв'язуванні оберненої задачі за результатами вимірювань на Південно–Українській АЕС у 2003 р., згідно з якою [22] $v = 0$ при $K_I < K_{ISCC}$, $v \cong 44$ мм / рік при $K_I > K_{ISCC}$, $K_{ISCC} \approx 10\text{—}20$ МПа·м^{1/2}.

Це наближення для SCCRD забезпечує достатньо хороший опис етапу II (рис. 1.9) при глибинах дефектів понад 30—40 мм.

На рисунку 1.10 зображено зовнішній вигляд випробувальної машини для визначення параметрів SCCRD.



Рисунок 1.10 – Зовнішній вигляд випробувальної машини для визначення параметрів SCCRD

Виявлення пошкоджень на ПГ Запорізької АЕС і Южноукраїнська АЕС, продемонстрували:

- всі виявлені тріщини зароджувалися в щелевом зазорі, утвореному недовальцованою трубкою і стінкою колектора, а їх походження носило корозійно– механічний характер;
- значна більшість виявлених дефектів знаходились по обидва боки «Клину», що вирізняються високою неоднорідністю поля напружень в стінці колектора.[2]

Накопичення водню в металі може привести до максимального корозійного пошкодження. Розтріскування відбувається через звільнення водню під час анодного розчинення. Це припущення не було підтверджено до сьогодні.

Сталь 10ГН2МФА досліджена на чутливість до водневого охрупчення. Відповідно, фіксовано, що вміст водню в металі росте при контакті з водою при певних температурі і тиску. В залежності від величини рН визначається

ступінь зростання вмісту водню. Наприклад, при $pH=4.5$ і витримці 1000 годин, вміст водню зростає в залежності від часу витримки.

Зростання концентрації водню не виявляється при $pH=9.0$. Відносне звуження (випробування на розтягнення) падає з 51% до 9.3% при зростанні вмісту водню з 0.34 см/100г до 3.53 см/100г, що показали випробування зразків. Таким чином, випробування демонструють, що розтріскування колектора залежить від водно– хімічного режиму.

Відповідно, прийняті адміністративні та технічні вирішення з проблеми водно– хімічного режиму.

Виявлено , що при низьких швидкостях деформування опір корозійного розтріскування сталі 10ГН2МФА, виплавленої в відкритій печі, значно залежить від pH , вмісту хлоридів і кисню. Зменшення величини pH (перехід в кислу область), і збільшення вмісту хлориду і кисню знижує опір до корозійного розтріскування сталі 10ГН2МФА.

Доведено, що водно – хімічний режим вносить значний вклад в зародження і поширення тріщин в колекторах. Корозійне пошкодження сильно залежить від вмісту хлоридів, сульфатів, кисню, міді та інших домішок у воді. Величина pH повинна бути в межах 8.5– 9.2. [6]

1.1.4 Дослідження методами електронної мікроскопії

Електронним мікроскопом користуються для вивчення деталей мікроструктури об'єктів, що знаходяться поза межами роздільної здатності мікроскопа (тобто дрібніше 0,1 мк). Мікроскопи просвічуючого типу, що кращі – мають роздільну здатність до 5А.

Будь– який електронний мікроскоп може бути використаний як електроннограф. В теперішніх мікроскопах перехід від спостереження мікроскопічної картини до спостереження дифракційної картини відбувається шляхом зміни режиму роботи проекційної системи приладу.

При цьому можна отримати картину дифракції з ділянки об'єкта розміром близько 1 мк^2 . Один з істотно важливих засобів структурного аналізу матеріалів є отримання дифракційної картини, необхідної ділянки мікроскопічної картини об'єкта (електронна мікродифракція).

У просвічуваному електронному мікроскопі можна досліджувати об'єкти досить малої товщини (зазвичай менше 1000 \AA). Через це користується популярністю застосування методів відбитків (реплік), тобто тонких плівок, вони більш– менш докладно відтворюють рельєф металографічного шліфа.

Дозвіл мікроскопа реалізується, якщо користуються відбитками з фіксованими частинками досліджуваних фаз при дослідженні гетерогенних сплавів.

Можливість повного вивчення структури металу електронним мікроскопом, якщо приготовлені сплави у вигляді тонкої фольги ($\sim 0,1 \text{ мк}$).

При вивченні кристалічних об'єктів дифракція електронів визначає контрасти електронномікроскопічного зображення. В результаті появляється можливість виявлення різноманітних порушень кристалічної структури (субзерен, дефектів укладки, дислокацій).

Відтак, з допомогою електронного мікроскопа можна проаналізувати не тільки мікроструктуру (розмірів ,форми, розташування фаз, структурних складових), але дослідити електроннодифракційний структурний і фазовий аналіз, а до того ж аналіз дислокацій та різноманітних дефектів кристалічної будови.

Об'єкти дослідження в електронному мікроскопі :

- а) окисні плівки;
- б) відбитки (репліки) поверхні металографічних шліфів;
- в) дисперсні порошки;
- г) тонкі плівки;
- д) тонкі шари речовини, що утворені осадженням з пари, розчину[21].

Дослідження металу методами електронної мікроскопії розкрили і підтвердили ті ж особливості в структурі металу, що і раніше : присутність

неметалічних включень у вигляді глобулярних частинок розмірами 5 ... 10 мкм і карбідних виділень по межах зерен. Глобулярні включення в металі виявлені після випробувань зразків на ударний вигин. Включення добре видно на деяких фрактограмах зразків в растровому електронному мікроскопі (РЕМ). На фрактограмі (рис. 1.11) показана група типових включень на тлі в'язкого руйнування металу. В ямках зламу видно відшарування включень від ОМ, що було виявлено також і при дослідженнях металу ГЦТ.

За допомогою мікрорентгеноспектрального аналізу виявлений елементний склад, для більшості помітних включень, а також помічаються іноді включення, що містять алюміній, показано нижче (рис. 1.11).

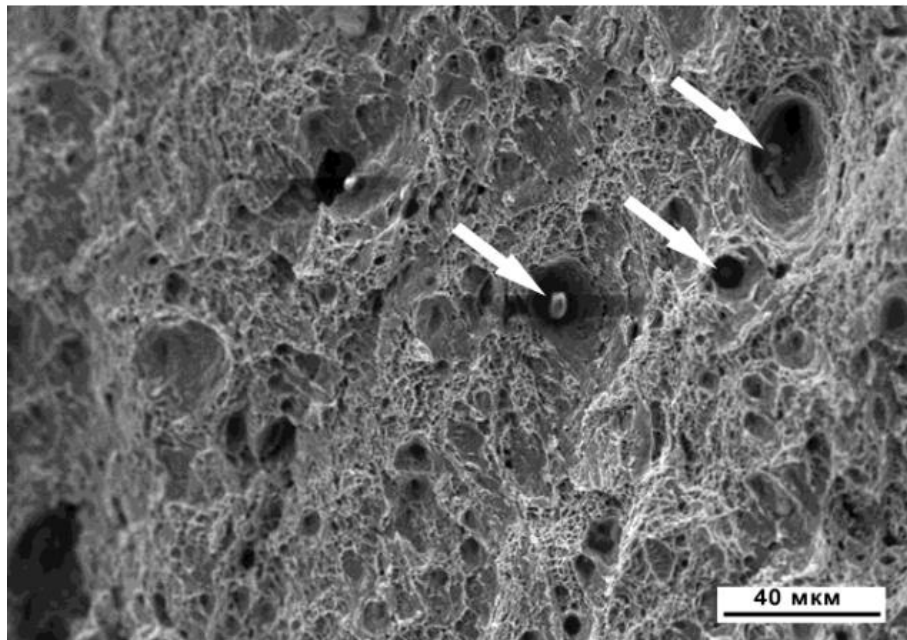


Рисунок 1.11 – Включення на в'язкому зламі зразка сталі 10ГН2МФА (показані стрілками). Елементний склад включень, вага. %: 5 ... 8 O; 33 ... 37 S; 51 ... 54 Mn; 5 ... 9 Fe; 4 ... 5 Al

1.1.5 Експлуатація сталі (100 тис. годин)

Для досягнення цілей і завдань, встановлених методом мікрообразців, потрібно виконати наступну програму досліджень основного металу ГЦТ 1–го блоку ЮУ АЕС після 100 годин експлуатації:

- визначити механічні властивості (межа міцності, межа плинності, відносне подовження, відносне звуження) на розтягнення прямими методами при температурах 20 і 3500°С (Вимоги ТУ 975Е 004511);
- визначити ударну в'язкість при температурі 200°С (вимоги ТУ 975Е 004511);
- провести порівняльний аналіз механічних властивостей, отриманих прямими методами з даними механічних властивостей, отриманим по заходам твердості;
- виконати комплекс структурно– фазових і металофізичних досліджень для оцінки еволюції мікроструктури в процесі експлуатації.

Темплет був прошліфований на плоскошліфувальному верстаті з водяним охолодженням до товщині 2 мм.

Металографічні дослідження показали, що мікроструктура архівного металу і мікроструктура металу після 100 годин експлуатації не значно відрізняються і визначаються зміною процентного змісту зернистого перліту в структурі. Мікроструктура наведена на рисунку 1.12.



Рисунок 1.12 – Мікроструктура металу ГЦТ після 100 год експлуатації, збільшення 500

В результаті наведених металографічних досліджень можна зробити висновок, що тривала експлуатація металу 10ГН2МФА в умовах ГЦТ привела до незначних змін в мікроструктурі, вираженої в збільшенні процентного змісту пластинчастої складової перліту.

Однак ці зміни не повинні призводити до значних змін механічних властивостей [7].

1.1.6 Експлуатація сталі. Порівняння результатів 100 та 200 тис. годин

Порівняння результатів досліджень сталевих циркуляційних труб 10ГН2МФА після тривалої експлуатації значною мірою відповідало основному питанню даної роботи.

Це те, що зміни мікроструктури сталі та її механічних властивостей за 200 000 годин експлуатації не перевищували вимог технічних умов, і це призвело до безпечного продовження роботи ГЦТ. Характер структури перліту та розмір зерен сталей 1– ГЦТ і 2– ГЦТ відповідають вимогам

нормативної документації. Однак існують суттєві відмінності у мікроструктурі сталей ГЦТ, які, як було встановлено, впливають на процес старіння [13].

Ця різниця в середньому розмірі зерна в металі (в межах вимог ТУ) може пояснюватися деякими відмінностями в технологічних режимах виробництва вигинів ГЦТ. Для ГЦТ першого блоку (запуск першого енергоблоку ЮУ АЕС в 1982 р) виготовлялися компанією Ishikawajima–Harima Heavy (Японія), а для другого блоку (запуск другого енергоблоку ЮУ АЕС в 1983 р) – на «Іжорском заводі» (Росія). Швидкість охолодження також може змінюватися. Загальновідомий факт, що сталі однієї марки для труб, що випускаються на різних заводах, можуть відрізнятися один від одного у своєму початковому стані, навіть більше після тривалої експлуатації [14].

У цій роботі є можливість оцінити вплив розміру зерен сталі 10ГН2МФА на термін служби експлуатації ГЦТ. Зменшення середніх розмірів зерен згодом експлуатації, помічене на 1– ГЦТ, показало і на 2– ГЦТ. Мікроструктура сталі 10ГН2МФА ГЦТ на 1м та 2м блоках ЮУ АЕС до та після експлуатації 100 та 200 тис. годин показана на рисунку 1.13.

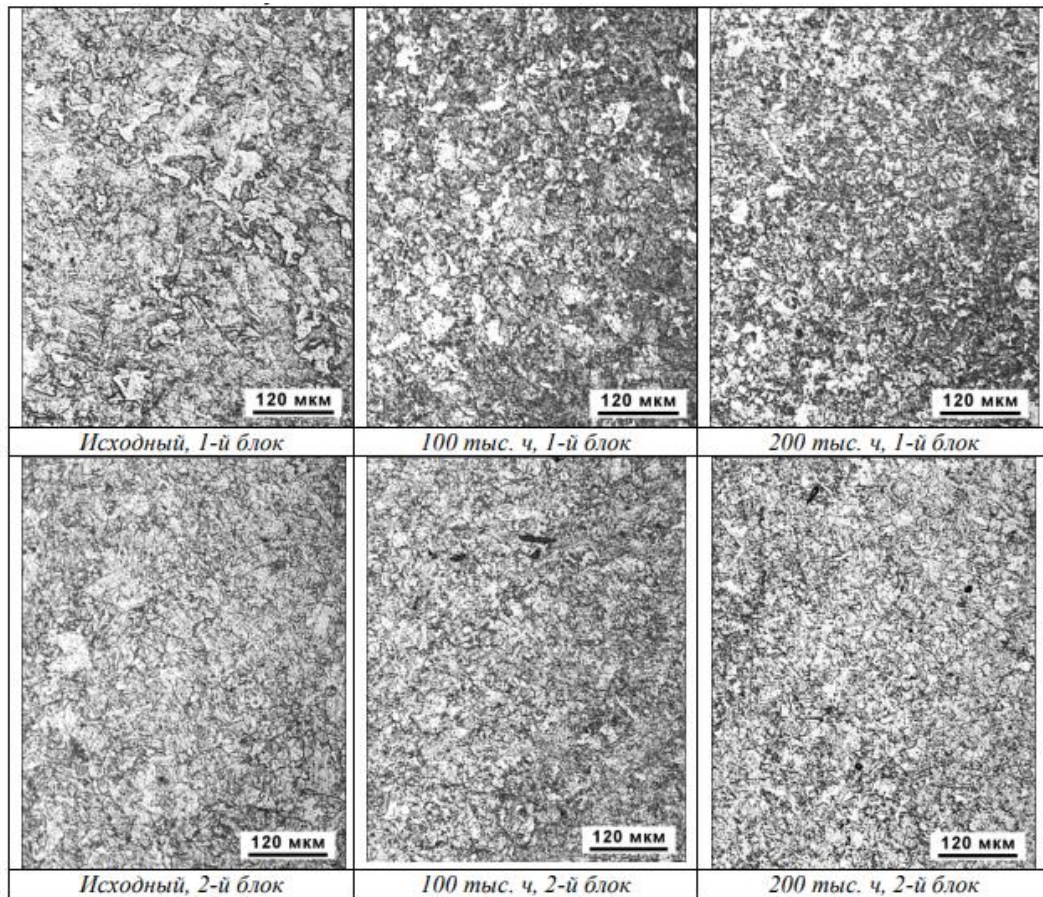


Рисунок 1.13 – Мікроструктура сталі 10ГН2МФА ГЦТ на 1м та 2м блоках ЮУ АЕС до/після експлуатації 100 та 200 тис. год.

Також було підтверджено зниження в'язкості сталі. Обидва ознаки можуть свідчити про стадію старіння. Після 200 тис. годин експлуатації в обох ГЦТ відбулися структурні зміни, тоді як механічні властивості металу залишались у межах нормативних вимог. Експлуатація протягом 100 тис. та 200 тис. годин при досліджуваних температурах також свідчить про перехід процесу старіння. Згідно [13, 14] саме межа плинності є найбільш чутливим фактором при старінні. Межа плинності відноситься до характеристик міцності, і на нього значною мірою впливає мікроструктура.

Виділення карбідів на кордонах зерен, яке спостерігалось в результатах досліджень електронним мікроскопом, відповідає механізму старіння, розглянутому в [13,14]. Відповідно до цього механізму, граничні карбіди утворюються внаслідок переходу вуглецю з перенасиченого твердого розчину

у фериті на межу зерна, що призводить до утворення нових меж. Гранульований перліт перетворюється на пластинчастий, середній розмір зерна зменшується. Ці процеси добре ілюструє рисунок 1.14.

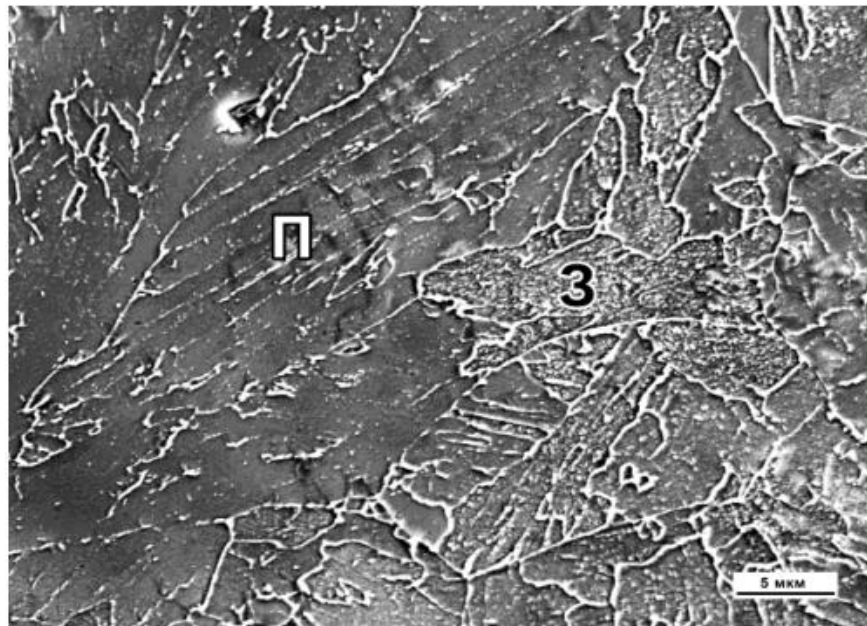
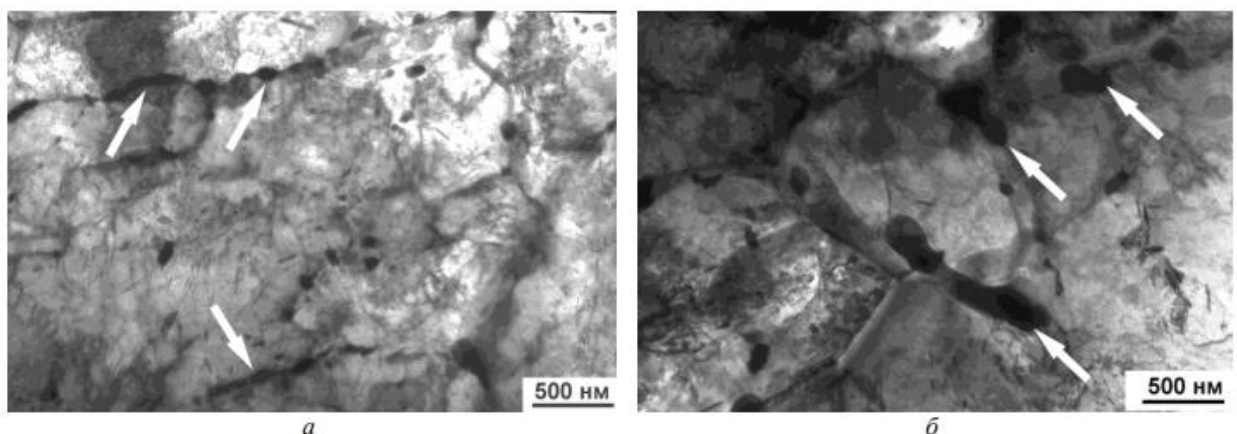


Рисунок 1.14 – Пластинчастий та зернистий перліт(П та З) в сталі 10ГН2МФА після 100 тис. годин експлуатації

На наведеному рисунку 1.14 показаний характер виділень карбідів в сталі 10ГН2МФА для металу 2– ГЦТ. Отримані на підставі статистичних вимірювань середні діаметри виділень для 2– ГЦТ крупніше, ніж для 1– ГЦТ (табл. 1.5). Спостерігається злиття декількох виділень (рис. 1.14, б).



а – 100 тис. годин ; б – 200 тис. год. (показано стрілками)

Рисунок 1.14 – Виділення карбідів на границях структури в сталі 10ГН2МФА після експлуатації 2 –ГЦТ

Таблиця 1.5 – Середні розміри виділень та їх розподіл у металі 1 –ГЦТ та 2 – ГЦТ

Энергоблок	$D_{\text{ср}}, \text{ нм}$ (100 тыс. ч)	$D_{\text{ср}}, \text{ нм}$ (200 тыс. ч)	$N/\text{м}^3$ (100 тыс. ч)	$N/\text{м}^3$ (200 тыс. ч)
1-ГЦТ	83	74	$23 \cdot 10^{18}$	$26 \cdot 10^{18}$
2-ГЦТ	97	142	$45 \cdot 10^{18}$	$36 \cdot 10^{18}$

Більші виділення, як і їх часте розміщення, зумовлений різницею розміру зерен у металевій ГЦТ. У роботах [13, 14] було показано, що для сталей одного сорту з однаковим насиченням вуглецем феритом, чим дрібніше зерно, тим швидше відбувається процес старіння. Це пов'язано з різною відстанню, яку атоми вуглецю повинні подолати і які розходяться в об'ємі зерна. Це висновок, зроблений автором [14], він пояснює, чому іноді трубні сталі з дрібнозернистою структурою виявляються схильними до старіння швидше, ніж такі ж сталі з більшим зерном.

Це саме той випадок з матеріалами 1– ГЦТ і 2– ГЦТ. Згідно з експериментальними даними є всі ознаки більш швидкого старіння сталі в енергоблоці 2– ГЦТ в порівнянні з 1– ГЦТ. Це може бути пов'язано з невеликою структурою. Цьому також може сприяти більша перенасиченість сталі 2– ГЦТ. Це можна припустити на підставі результатів хімічного аналізу вихідних сталей, згідно з якими вміст вуглецю в металі 2– ГЦТ дещо вищий (в межах вимог ТУ). Результати випробувань зразків на вигин забезпечують більш чітку відповідь про старіння сталей в ГЦТ. Звичайно, вищі робочі температури можуть бути основною причиною прискореного старіння сталі 2– ГЦТ.

Автори [15] підрахували, що для трубопроводів магістральних газопроводів підвищення робочої температури від 20 до 40 °С призводить до зменшення характерного часу старіння через 10– кратну експоненціальну залежність від температури ефективного коефіцієнта дифузії вуглецю у

фериті. Дослідження показують, що мікроструктура сталі 10ГН2МФА з незначними викидами карбїду може бути ознакою старіння металів.

Згадані під час досліджень включення, що містять марганець та алюміній, є термодинамічно стабільними та не виявляли жодних змін під час експлуатації, які можуть вплинути на властивості металу та термін служби ГЦТ. Можна також стверджувати, що маломасштабні вирізки, виготовлені з поверхні труб, є достатньо інформативними для визначення ступеня старіння металу шляхом вивчення структури та властивостей мікропроцесорів, особливо у випадках, коли великомасштабне виробництво вирізок неможливе.

1.1.7 Вимоги до контролю структури металу

При контролі структури виконується макро– і мікроаналіз (при збільшенні 100x і 500x) відповідно до ГОСТ 6995– 77.

Вимоги до підготовленої для контролю поверхні:

1. В поверхневому шарі не повинно бути наклепу і обезуглероженого шару;
2. Поверхня не повинна мати ризок, нерівностей і забруднень;
3. Поверхню шліфа для мікроаналізу повинна бути плоскою до такої міри, щоб не була потрібна коригування фокуса при великих збільшеннях;
4. Чистота поверхні повинна відповідати:
 - а) для макроаналізу після шліфування – Ra20 по ГОСТ 2789– 73;
 - б) для мікроаналізу після полірування або електрополірування поверхню шліфа під мікроскопом не повинна мати ризики і подряпини.

При мікроаналізі виконується:

1. Визначення фазового складу металу, дисперсності структурних складаючих, надлишкових фаз і стану кордонів зерен;
2. Оцінка ступеня забрудненості металу неметалевими включеннями методом Ш1 по ГОСТ 1778– 70;

3. Оцінка полосчастості ферито– перлітною структури по ГОСТ 5640– 68;

4. Оцінка орієнтованості і розміру зерна по ГОСТ 5639– 82;

При контролі основного металу вигинів труб мікроаналіз виконується при першому контролі для розтягнутої і нейтральної зон вигину.

Контроль структури металу зварних з'єднань проводився під час першого огляду макро– та мікроаналізом згідно з ГОСТ 6995– 77 щонайменше в одній зоні труб в межах вимог розділу 5.2, при цьому аналізу підлягає метал шва, зона сплаву основного металу з наплавленим і зона термічного впливу.

При макроаналізі зварних з'єднань визначається:

- a) загальна будова металу;
- b) наявність дефектів;
- c) стан зони сплаву основного металу з наплавленим;
- d) стан металу після проведених технологічних операцій (зварювання, термообробка).

При контролі мікроструктури (мікроаналізі) основного металу і зварних з'єднань при збільшенні 100x і 500x виконується:

- a) визначення фазового складу металу, надлишкових фаз і стану кордонів зерен;
- b) оцінка ступеня забрудненості металу неметалевими включеннями;
- c) оцінка полосчастості ферито– перлітною структури по ГОСТ 5640– 68;
- d) оцінка орієнтованості і розміру зерна по ГОСТ 5639– 82;
- e) визначення наявності мікродефектів;

1.1.8 Висновки та постановка задач дослідження

Специфічні умови роботи матеріалів за наявності сильного нейтронного опромінення, змінних температур і напруг, часто під одночасним впливом агресивного середовища, ще більше ускладнюють проблеми вибору матеріалу.

Тривала безаварійна експлуатація АЕС багато в чому визначається правильним вибором конструкційних матеріалів.

У цьому літературному огляді розглянуто проблемні питання і їх вирішення щодо вибору матеріалів для атомних електростанцій, які були сформовані на основі знань з матеріалознавства для атомних електростанцій, а також великої вітчизняної та зарубіжної літератури з тих самих питань. Представлено на даний час уявлення про вибір матеріалів для енергетичних установок в умовах роботи АЕС.

Основна увага приділена викладу принципів вибору конструкційних матеріалів, виходячи з особливостей їх роботи в атомних енергетичних установках. В зв'язку з цим розглядаються окремі найбільш важливі питання працездатності матеріалів при дії навантажень, в тому числі в умовах впливу теплоносіїв.

Метою роботи є вивчення закономірностей впливу технологічних факторів реактора на властивості металу трубопроводу при контролі структури металу в умовах роботи АЕС.

Такі дослідницькі роботи сприяють тривалій безаварійній експлуатації АЕС і підвищують довговічність та надійність матеріалів.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати завдання:

- а) Провести вибір і обґрунтування хімічного складу матеріалу з метою отримання необхідних механічних і спеціальних властивостей виробу;
- б) Провести вивчення зразків матеріалу труби (хімічного складу, металографічні дослідження, визначення твердості сталі 10ГН2МФА);
- в) Вивчити механічні властивості труб з сталі 10ГН2МФА;
- г) Визначити структуру, фазовий та хімічний склад матеріалів;
- д) Визначити мікротвердість зразків матеріалу.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Вибір та обґрунтування матеріалу

2.1.1 Конструктивні особливості реактора та вибір матеріалу досліджень

Вибір матеріалу для деталей – не є легким процесом. В багатьох випадків деталь можна створити з різних матеріалів або з складних сумішей.

Успішна запорука правильного вибору матеріалу є аналіз функціонального призначення деталі, її умов експлуатації та технологічних показників з урахуванням різних факторів.

В усі часи важливими характеристиками деталі є її довговічність та надійність.

Вибір марки матеріалу для відповідних деталей потрібно проводити так, щоб технічні параметри цього матеріалу(електричні, механічні та ін.) були узгоджені з вимогами до розроблюваної конструкції.

Задовольнити в повній мірі всім експлуатаційним і виробничо–технологічними вимогами не завжди представляється можливим. Ці вимоги часто вступають в протиріччя і призводять до різних конструктивних рішень. Завдання конструктора полягає у виборі найбільш правильного компромісного рішення, при якому найбільш повно задовольняються головні вимоги до конструкції.

Існує кілька різновидів реакторів з водяним теплоносієм. Великого поширення знайшли АЕС з реакторами корпусного типу, в яких вода відіграє одночасно і роль сповільнювача.

У АЕС двоконтурного типу активна зона реактора охолоджується водою під тиском. У другому контурі проводиться пар. Ці реактори за типом теплоносія і сповільнювача називаються водо– водяними енергетичними реакторами ВВЕР. Реактори цього типу знайшли широке поширення за кордоном: в США, Японії та інших країнах. Використовується кипляча вода у ролі теплоносія і сповільнювача.

Характерною особливістю водо– водяних реакторів є наявність міцного металевого корпусу, зазвичай великих розмірів, з розташованої в ній активною зоною.

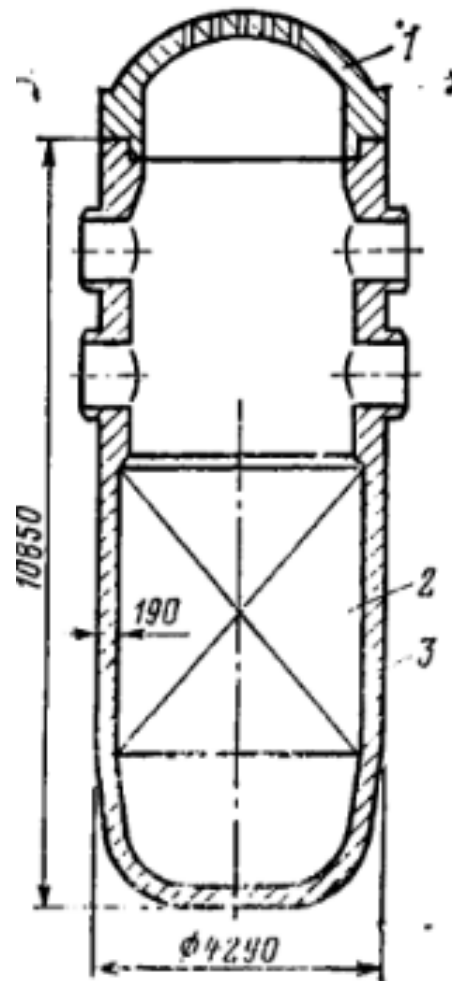
Досліджувана конструкція, для якої вибір матеріалу є відповідальною складовою – реактор ВВЕР– 1000.

Надійність та безпечна робота реакторного обладнання АЕС повністю залежить від конструкційних матеріалів, з яких воно виробляється.

Отже , при виборі матеріалів треба схилитись до таких умов:

- упевненістю в забезпеченні характеристик металу, включаючи зварні з'єднання, прийнятих при розрахунках міцності конструктивних вузлів;
- упевненістю в відсутності дефектів, великих розмірів;
- упевненістю в достатньому консерватизмі прийнятих розрахункових методів оцінки міцності конструктивних вузлів за заданими характеристиками металу.

Принцип роботи реактора є гетерогенним ядерним енергетичним реактором корпусного типу на теплових нейронах. Нижче, на малюнку 2.1 зображено конструкцію реактора.



1– сферична кришка; 2 – активна зона; 3 – корпус реактора

Рисунок 2.1 – Загальний вид реактора ВВЭР– 1000

Для безпечної роботи реактора призначені головні циркуляційні трубопроводи. Конструкція забезпечує нормальну експлуатацію реакторної установки при впливі навантажень, викликаних землетрусом, а також забезпечує безпечне розхолодження при навантаженнях, викликаних максимальним розрахунковим землетрусом.

Головні циркуляційні трубопроводи (ГЦТ), що з'єднують між собою обладнання головного циркуляційного контуру, працюють по 4– м петлям по контуру: реактор → парогенератор → ГЦН → реактор. Трасировка ГЦТ в аксонометрії показана на рисунку 2.2

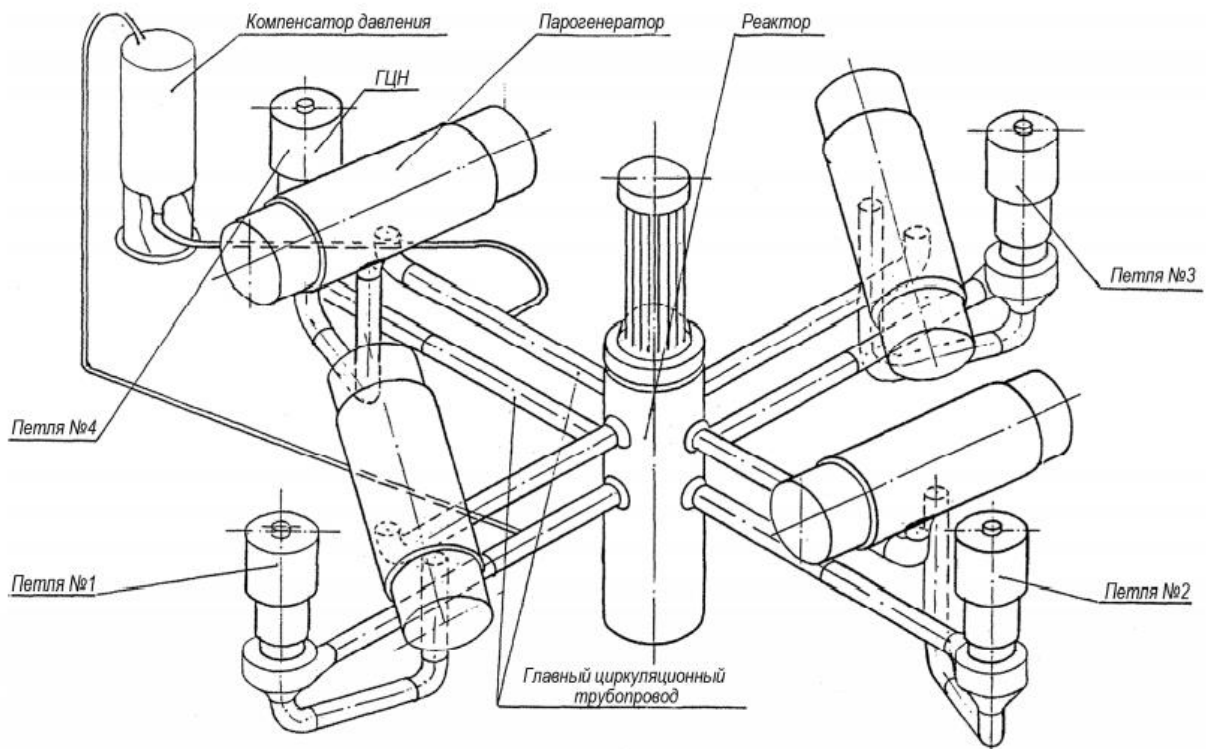


Рисунок 2.2 – Трассировка ГЦТ в аксонометрії

Основні параметри ГЦТ:

- номінальний робочий тиск – 160 ± 2 кгс / см²
(15,7 ± 0,2 МПа);
- розрахунковий робочий тиск – 180 кгс / см²
(17,66 МПа);
- тиск гідровипробувань – 250 кгс / см²
(24,525 МПа);
- середня температура теплоносія – $305 \pm 1,5$ °С;
- розрахункова температура – 350 °С;
- витрата теплоносія по одній петлі – 21200 м³ / год;
- швидкість планового розхолодження, не більше 100 циклів:
нормальне, 70 циклів – не більше 30 °С / год;
прискорене, 30 циклів – не більше 60 °С / год;
- Термін служби – 30 років.

ГЦТ є системою нормальної експлуатації важливою для безпеки і відноситься до 2 класу безпеки за НП 306.2.141– 2008.

Труби ГЦТ виготовлені з легованої конструкційної сталі 10ГН2МФА. Внутрішня поверхня труб плакована методом наплавлення зварювальної стрічкою марки СВ– 04Х20Н10Г2Б, яка володіє корозійною стійкістю, вона не схильна до міжкристалітної корозії в середовищі теплоносія.

Сталі, застосовані в складі ГЦТ, мають комплекс властивостей, необхідних для тривалої роботи РУ. Сталь 10ГН2МФА володіє задовільною зварюваністю.

Механічні властивості зварювальних матеріалів обрані з умов рівномірності з основним металом. Механічні властивості сталі зварних з'єднань задовольняють «Трубопроводи Ду 850. Специфікація конструкційних матеріалів. 320.04.00.00.000.Д42, ГКАЕ, ОКБ «Гідропрес», 1985 ».

Вибір конструкційних матеріалів (основних і зварювальних) обладнання та трубопроводів виконаний виходячи з таких умов:

- вимог нормативних документів;
- хімічного складу середовища, що перекачується;
- застосування дезактивуючих розчинів.

ГЦТ номінальний тиск стаціонарного режиму становить 15,7 МПа (160 кгс / см²). Плановий розігрів ГЦТ проводиться зі швидкістю 20° С / год. Планове розхолодження ГЦТ проводиться зі швидкістю не більше 30° / год.

Крім того, порушенням функціонування ГЦТ є порушення цілісності внутрішнього корозійного наплавлення і відшарування антикорозійного наплавлення на внутрішній поверхні ГЦТ. Це в подальшому може привести до корозійного руйнування основного металу трубопроводів і їх розриву, зокрема, в поєднанні з появою мікротріщин в основному металі трубопроводів.

З метою запобігання утворенню гідрозатворів в аварійних ситуаціях, передбачено дренавання ГЦК в систему організованих протікань.[3]

Для проведення досліджень у даній дипломній роботі обрана марка сталі 10ГН2МФА.

Ця марка відноситься до перлітного класу сталей. Досліджено мікроструктуру та механічні властивості сталі 10ГН2МФА головного циркуляційного трубопроводу (ГЦТ) АЕС .

Для вивчення властивостей сталі проводився контроль даного металу.

Саме 10ГН2МФА використовуються для трубопроводів у реакторі – ця сталь сама відповідальна ,тому обирається для серйозних деталей та механізмів. Відповідно, трубопровод головного циркуляційного контуру реактора створюються з сталі 10ГН2МФА.

Призначення: виготовлення парогенераторів, компенсаторів тиску, колекторів та іншого обладнання АЕС.

До матеріалів , з яких створюється трубопроводи реактора в умовах АЕС є такі вимоги: термостійкість, висока міцність, крихостійкість, корозійностійкості, жаростійкість, жароміцність. Всім цим умовам відповідає сталь 10ГН2МФА.

Метою цієї роботи є визначення прямими методами механічних властивостей основного металу головного циркуляційного трубопроводу і вивчення мікроструктури сталі 10ГН2МФА в умовах роботи АЕС.

2.1.2 Вимоги до матеріалу

При розгляді властивостей матеріалів, використовуваних в ядерних реакторах, можна виділити:

- 1) властивості та основні характеристики;
- 2) особливі властивості(характеристики) матеріалів.

Основні характеристики – звичайні властивості матеріалів, що необхідні для більшості інженерних конструкцій(корозійна стійкість,

механічна міцність, конструкційна міцність, пластичність, термічна стабільність), а також доступність матеріалу і низька вартість.

Особливі властивості – радіаційна стабільність, радіоактивність, нейтронні характеристики. Такі властивості повинні мати реактори(ядерні), так як вони працюють в особливих умовах роботи – наявністю ядерного випромінювання. Під впливом випромінювання властивості матеріалів реакторів можуть змінюватися.

Користуючись засобами дослідження устаткування(металографічні методи, макроаналіз, електронна мікроскопія) проведений контроль металу. Засоби контролю використовується для механічних випробувань, вимірювань твердості, металографічного аналізу.

Сталь 10ГН2МФА застосовується в термообробленому стані. Термообробка складається з основної термообробки (гартування з відпуском або нормалізація з відпуском). Докладніше умови термообробки сталі 10ГН2МФА наведені у таблиці 2.1.

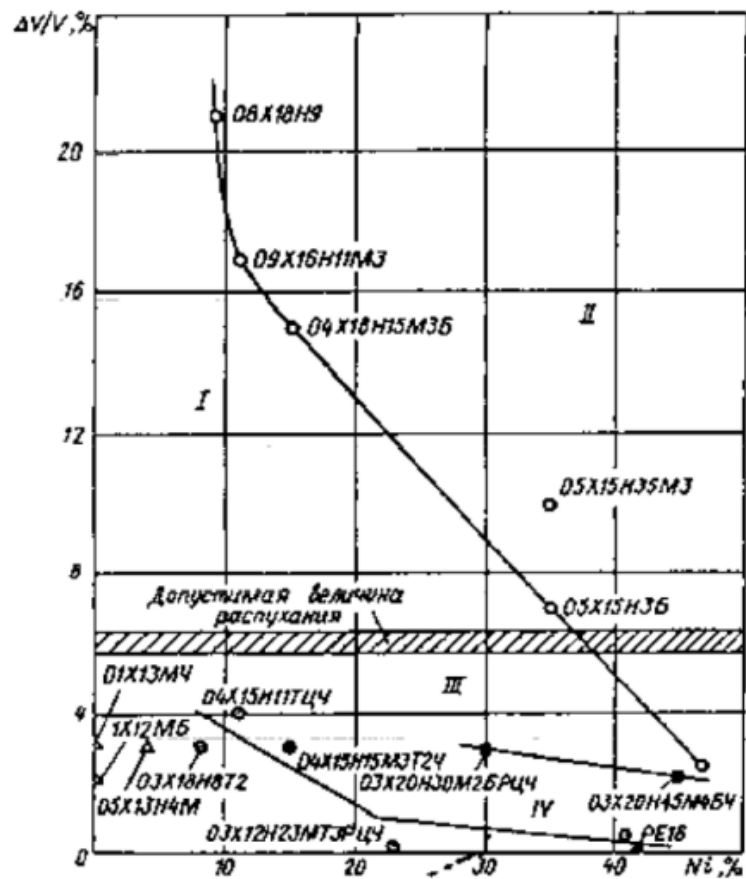
Таблиця 2.1 – Умови термообробки сталі 10ГН2МФА за ТУ

Ту	Режим термообработки		
	Операція	t, °C	Охолоджуюча середа
ТУ 108.766 –86	Поковки і листи зі сталі 10ГН2МФА Загартування відпуску	890–960 630–680	Вода Повітря

Після термічної обробки фізико–механічні властивості металу товстостінних труб неоднорідні по товщині. Це результат неоднорідності прогартуваністі деталі.

Однією з важливих характеристик є радіаційна стійкість. Доречним прикладом є істотна зміна радіаційної стійкості реакторної сталі при заміні змісту деяких домішкових елементів.

Дуже небезпечний результат опромінення – це радіаційне розпухання. На малюнку 2.3 показані характеристики радіаційного розпухання ряду марок сталей. Щоб це уникнути потрібно структурно– примусова рекомбінація металів за рахунок безупинного розпаду твердого розчину з створенням вторинної фази. При розпаді утворюються сильні поля структурних напружень. Вони слугують рекомбінації радіаційних дефектів, так, суттєво знижують показники розпухання.



I – область феритних, ферито– мартенситних і мартенсито– аустенітних сталей (ОЦК решітка); II – область аустенітних твердодозчинних– незміцнюючих сталей і сплавів (ГЦК грати); III – область аустенітних дисперсно– твердіючих сталей і сплавів; IV – область високонікелевих аустенітних сплавів, легованих РЗМ

Рисунок 2.3 – Опірність радіаційному розпухання сталей і сплавів з ОЦК і ГЦК гратками в залежності від принципу легування

Також, підвищення змісту нікелю зменшує показники розпухання. При його концентрації близько 40% може повністю бути знищеним.

Майже повністю придушити розпухання дає змогу легування титаном і алюмінієм. Цей процес слугує переходу сталей в групу дисперсно–твердіючих матеріалів.

2.1.3 Аналіз фізико– хімічних властивостей

Основні властивості матеріалу, розглянуті при виборі:

1. В'язкість, пластичність, механічна міцність. Механічна міцність– це спроможність елементів конструкції витримувати напруги, через дією зовнішніх навантажень. Механічна міцність елементів конструкції мусить задовольнятися за будь– яких умов експлуатації ядерного реактора.

Пластичність це характеристика здатності матеріалу відчувати постійну деформацію при розтягуванні. Показники пластичності – відносне звуження і відносне подовження. Чим вищі показники, тим пластичній матеріал. Пластичність протилежність крихкості, але для більшості матеріалів ядерних реакторів нема різкої межі між властивостями.

В'язкість це здатність матеріалу витримувати не руйнуючись ударні навантаження(механічні чи термічні). Інколи в'язкістю розуміється, як висока механічна міцність разом з великою пластичністю матеріалу.

Деталь реактора збереже свою конструкційну міцність, якщо має достатню механічну міцність, в'язкість, пластичність, щоб витримати складні умови роботи.

Велика увага приділяється хімічній властивості – корозійна стійкість. При виборі матеріалів особливо важлива корозія до якої можуть бути схильні різні металеві конструкції. Зварні з'єднання систем трубопроводів та інших конструкцій реакторів дуже чутливі до корозії в водяному теплоносії.

Можна визначити такі умови корозійної стійкості:

- чистота твердих поверхонь;
- попередження відкладень хімічних сполук на поверхнях;
- попередження утворенню течі в трубопроводах;
- якщо корозію не уникнути – забезпечити потрібні механічні, термічні та інших характеристики матеріалу;
- посилене опромінення може прискорити корозію ядерного матеріалу.

Сталь 10ГН2МФА має високу корозійну стійкість. Технологічні властивості сплаву проходять випробування кування при високих температурах від 850 до 1220° С.

Сталь 10ГН2МФА є обмежена зварюваною, при зварюванні необхідні додаткові технологічні заходи, такі як: попередній підігрів до 250° С. Цей метод термообробки необхідний для виключення вірогідності появ тріщин и дефектів з виготовлених виробів.

Сталь є низьковуглецевою і має підвищену гнучкість. Сталь має не високу твердість поверхні й знижені значення крихкості. Сплав не піддається руйнуванню й пластичної деформації при високих температурних режимах роботи.

2.2 Методи досліджень

2.2.1 Вихідні матеріали

Для дослідження обрана сталь 10ГН2МФА. Розмір задовольняє вимогам нормативної документації [4], згідно з якими величина зерна не повинна перевищувати 90 мкм. Мікроструктура складається з зернистого перліту. Відмічено закономірність зростання пластинчатого перліту після експлуатації. Спостерігається зниження мікротвердості через деякий час експлуатації. Це

відбувається через те, що зернистий перліт має вищу твердість, на відмінну від пластинчатого перліту.

2.2.2 Металографічний аналіз

Металографічні дослідження у даній роботі проводились за допомогою мікроскопу МІМ– 10.

Металографічний дослідницький мікроскоп МІМ– 10 призначений для візуального спостереження та фотографування мікроструктури металів із збільшенням від 20 до 2000 р., а також для кількісного аналізу фазового та структурного об'ємного складу сплавів за допомогою напівавтоматичного пристрою інтеграції. .

Мікроскопічні дослідження можна проводити в яскравому полі з прямим і косим освітленням, у темному полі, в поляризованому світлі, методом фазового контрасту та інтерференції.

Комплект оптики для мікроскопа забезпечує стандартне збільшення для візуального спостереження, фотографування на фотопластинах та перегляду зображень на екрані. Можливо знімати об'єкти на фотоплівку за допомогою мікроскопа.

Мікроскоп можна використовувати в металографічних лабораторіях науково– дослідних інститутів і заводів.

Мікроскоп виготовляється для роботи в умовах УНД 4.2 згідно з ГОСТ 15150– 69.

У приміщенні, в якому встановлений мікроскоп, не повинно бути парів кислот та лугів, а також верстатів або іншого обладнання, що викликає вібрацію.

Метод дає можливість провести повний металографічний аналіз в лабораторії: визначити розмір зерна, структуру зерна та його межі, наявність карбідів, графіту. Розмір зерен металевої основи суттєво впливає на фізико– механічні властивості сплавів. Із зменшенням розміру зерен міцність

1. На трубопроводах із застосуванням переносних металографічних мікроскопів ;
2. Методом "реплік" ;
3. На темплеті(з вирізок ділянок і елементів ГЦТ) ;
4. На темплеті(із зразків вирізаних з поверхні ГЦТ).

Контроль виконується відповідно до розділу Типової програми методом аналізу макро– і мікроструктури металу.

2.2.3 Методика вимірювань твердості

Досконалість виготовлення деталей напряду залежить від властивостей матеріалів. Отже, точність гнутих виробів залежить від еластичних властивостей матеріалу: після зняття деталі зі штампу вона пружинить, тому деталь із м'якої сталі, з усіма іншими тими ж властивостями, виробляється з більшою точністю, ніж та ж менш пружинна сталева деталь.

Твердість – це властивість верхнього шару матеріалу опиратися проникненню до іншого ,твердішого матеріалу. Величину твердості вимірюють за глибиною чи діаметром відбитка. Виміри твердості – найпопулярніший спосіб ,тому що він найпростіший та дозволяє виміряти великий об'єм потрібного контролю.

У даній роботі виміри твердості проводились за допомогою переносного твердоміра МІС – 10DL .Оцінка відпечатка проводиться електронним шляхом на основі резонансно – імпедансного методу(UCI– метод Ultrasonic Contact Impedance).

Принцип ультразвукового контактної– імпедансного метода:

Метод UCI (метод ультразвукового контактної імпедансу) застосовує алмазну піраміду, що твердомер по Віккерсу. Але, різниця у тому, не потрібна візуальна оцінка відбитка. Це дає велику перевагу, через продуктивність та мобільність пристрою.

Метода ґрунтується на контролі коливань стержня, на якому закріплений індентор. Навантаження передається пружиною та знаходиться в діапазоні від 1 до 10 кгс. Електронний блок встановлює зміну частоти, перетворює її в показник твердості. Далі результати відображаються на екрані. На рисунку 2.5 показана ілюстрація процесу роботи твердоміра.

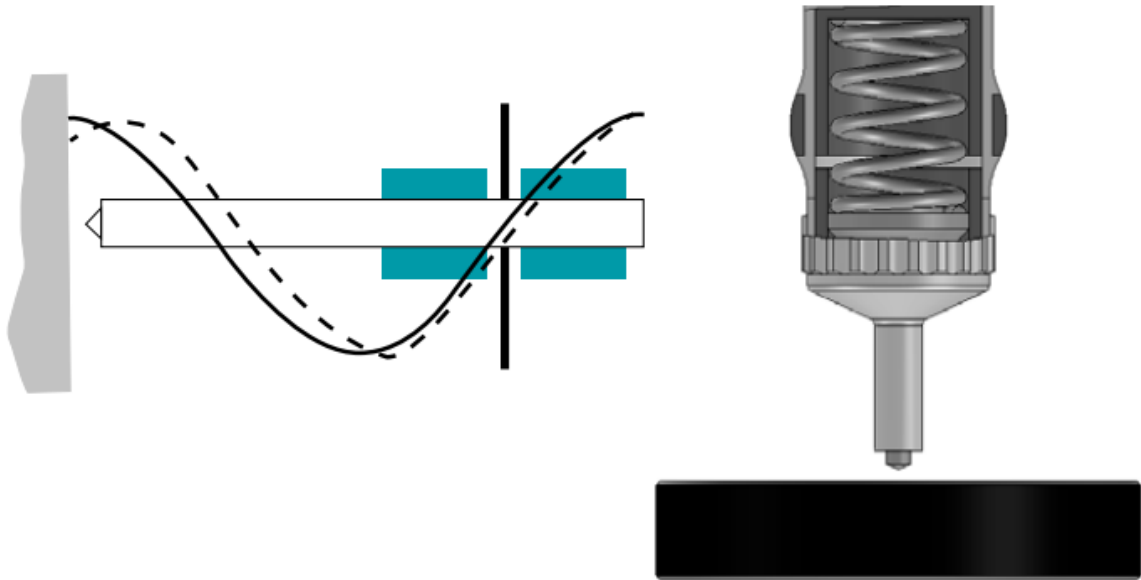


Рисунок 2.5 – Процес роботи переносного твердоміра МІС – 10DL

Переваги саме цього методу:

- широкі можливості програмного забезпечення;
- висока точність;
- економічність (зниження витрат);
- швидкість вимірювань.

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Об'єкт: ГЦТ

Марка матеріала : сталь 10ГН2МФА

Метод вимірювань: по Брінелю

Методика визначення механічних властивостей(кореляція): Типова програма періодичного контролю механічних властивостей металу трубопровода АЕС

Обладнання для вимірювання: твердомір МІС – 10DL

2.2.4 Методика хімічного аналізу

Для проведення мікроаналізу готується шліф, який вирізається з обраного місця трубопроводу. Для вирізання шліфу користувались «Мікрорізом– 5» . Він вирізає проби без порушення цілісності матеріалу. Для різання використовується іскровий імпульсний розряд в діелектричній робочій рідині.

Розміри вирізаної проби металу склали: ширина 54 мм, довжина 54 мм, товщина 1,9 ... 3,9 мм.

Процес підготовки шліфа складається з таких етапів:

1. Шліфування та вирівнювання поверхні шліфа;
2. Полірування шліфа для отримання дзеркальної поверхні.

Для дослідження мікроструктури сталі використовують оптичні (від $\times 50$ до $\times 2000$) мікроскопи. Мікроаналіз проводився на металографічному мікроскопі МІМ – 10. На рисунку 2.6 показан вигляд установки МІМ– 10.

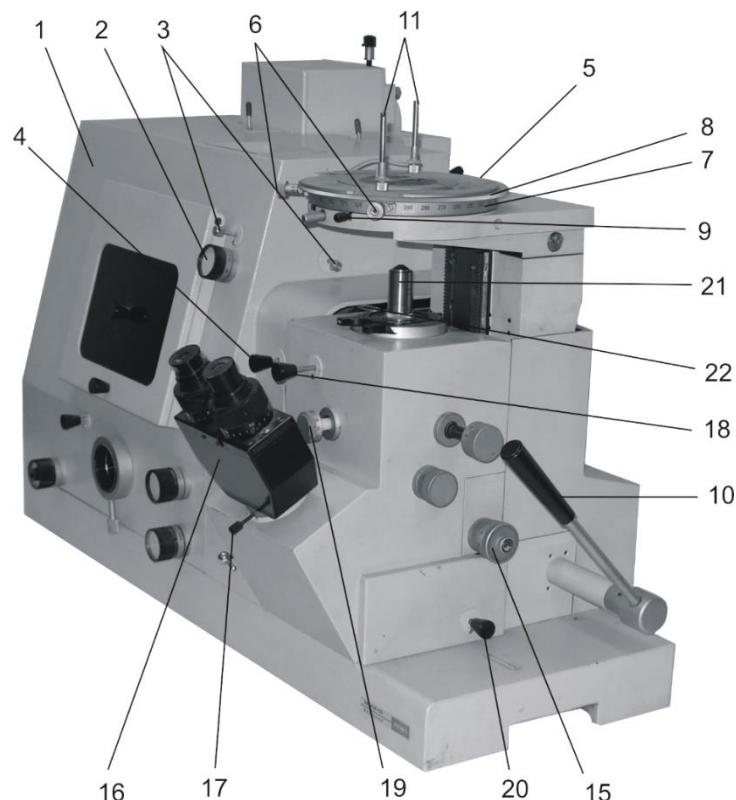


Рисунок 2.6 – Загальний вигляд мікроскопа МІМ – 10

Вимоги при підготовки шліфа

При підготовці поверхні металу необхідно дотримуватися таких вимог:

- a) поверхня не повинна мати окалини, полон, розшарувань і дефектів, що впливають на достовірність вимірювань;
- b) шорсткість поверхні зони вимірювань повинна відповідати ГОСТ 2789–73 і становити не менше $R_a 0,025–0,40\text{мкм}$;
- c) наклепаного, знеуглецьована або пошкоджений корозією поверхневий шар металу необхідно видалити механічним способом;
- d) вжити заходів обережності проти можливої зміни твердості металу внаслідок нагрівання або наклепу поверхні в результаті порушення технології механічної зачистки поверхні.

Механічна зачистка поверхні проводиться в такому порядку:

- a) видалення дефектів поверхні з товщиною шару, що знімається від 0,2 до 1,5 мм в залежності від глибини дефектів. Видалення шару металу проводиться шліфмашинкой з грубозернистим потім дрібнозернистим абразивним кругом або дрібнозернистим пелюстковим кругом. Ручна зачистка;
- b) шліфування з товщиною шару, що знімається від 0,1 до 0,25 мм. Необхідний параметр шорсткості $R_a 0,15–3,2\text{мкм}$. Шліфування проводиться шліфмашинкой з вулканитовим кругом. Ручна зачистка виробляється дрібноабразивною шліфувальною шкуркою.

Рекомендована глибина шару, що знімається металу при підготовці поверхні:

- a) кувати–штампованих елементів не більше 2 мм;
- b) литих деталей не більше 4 мм;
- c) труб в межах 4 ... 5% від товщини стінки, але не більше 2 мм.

Глибина знятого шару металу визначається із застосуванням:

- a) штангенциркуля, що має глибиномір і ноніус з ціною поділки 0,05 мм, і с використанням металевої лінійки;

б) мікрометричного індикатора годинникового типу з опорою (пристосування) і с використанням металевої лінійки;

с) номограми Додатки БРДЕО 0027– 94, яка встановлює залежність глибини знятого шару від ширини зачищеною майданчики і діаметра труби.

Фактична товщина стінки після зачистки не повинна виходити за допуски по мінімальній товщині, встановлені ТУ на виготовлення.

В окремих випадках, допустимий для вимірювань твердості стан поверхності визначається вимогами інструкції по експлуатації твердоміра.

До виконання робіт по вимірюванню твердості допускається персонал, що пройшов теоретичне навчання, перевірку практичних навичок і знань методики визначення механічних властивостей по твердості і інструкцій по експлуатації твердомерів.

Вимірювання твердості виконуються відповідно до вимог інструкцій по експлуатації твердомірів, ГОСТ 18661– 73 [12] (динамічний метод) і ГОСТ 22761– 77 [13] (статичний метод).

2.2.5 Методика визначення механічних властивостей метала по твердості

Вимірювання твердості – найдоступніший і розповсюджений метод контролю металу, через свою просту вимірювань, і результаті високу продуктивність(дозволяє виконати великий обсяг контролю).

Метод є неруйнівним методом випробувань. Вимірювання твердості при вдавливанні в випробуваний метал більш твердого індентора отримало найбільш широке поширення (вимірювання твердості по Бринелю, Роквеллу або по Вікерсу).

Освічено безліч спроб встановити кореляцію між твердістю і механічними властивостями при розтягуванні. Більш надійні є ті в яких визначається зв'язок між твердістю і характеристиками опору великим пластичних деформацій, наприклад межею міцності при випробуванні на розтяг. Емпіричні формули виду: $R_m = aH + B$, де

R_m – межа міцності;

H – твердість;

а та B – коефіцієнти, що залежать від природи і структурного стану металу.

При користуванні такими емпіричними залежностями, приблизно можна оцінювати механічні властивості за результатами вимірювання твердості, але потрібно знати про їх умовності.

Характеристики механічних властивостей металу відповідно до вимірними значеннями твердості визначаються по кореляційним співвідношенням зазначеним у таблиці 2.2.

При визначенні механічних характеристик по твердості треба враховувати, що в інтервалі 100 ... 250 одиниць твердість по Брінеллю і Вікерсом збігається; при твердості більш 250 одиниць механічні властивості визначаються за твердістю HB і HV за формулами Таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Формули для розрахунків

Марка сталі	Характеристики механічних властивостей			
	Тимчасовий опір, R_m , кг/мм ²	Межа текучості, $R_{p 0.2}$, кг/мм ²	Відносне звуження, Z , %	Відносне подовження A , %
10ГН2МФ А,	При $HB < 300$ $0,46HB - 22$	при $HB < 300$ – $4,28 + 0,238HB +$ $+ 0,00022 \times HB^2$	$96 - 0,175HB$	$A = [3k / (2R_m + R_{p0.2})] \times 100\%$

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

3.1 Структура сталі 10ГН2МФА

Сталь 10ГН2МФА – високолегована, жаростійка.

Провівши металографічний контроль, на фрактограммі добре видно основний метал, він має структуру – дрібнодисперсний перліт з феритною складовою (сорбіт відпуски). Відношення фаз перліт к фериту – 85/15%. Оцінювання величини зерен основного металу продемонструвала – величина зерна перебуває в рамках 8– 10 балів. Мікроструктура металу досить однорідна і характеризується як перліт. Мікроструктура задовольняє вимоги ТУ.

Для ділянок зі звареним з'єднанням зона термічного впливу (околошовна зона) має нерівномірну структуру з ферито– перлітною складовою (сорбіт) в поєднанні з троститом. Величина зерна – 5– 6 балу. Розмір зерен в рамках 40– 50 мкм. Співвідношення перліту до фериту в інтервалах 95/5% (нерівномірна структура).

Зварний шов – структура дрібно дисперсна, ферито– перлітна. Зерно відповідає 8– 10 балу. Розмір сягає 15– 20 мкм. Співвідношення перліту до фериту – 95/5%.

Контроль металу на неметалічні включення показав ,що в сталі 10ГН2МФА присутні сульфідні ,не деформуючі силікати та оксиди. Їх вміст не перевищує норму.

Мікроструктура основного металу та зварного шву наведена на рисунку 3.1 та 3.2.

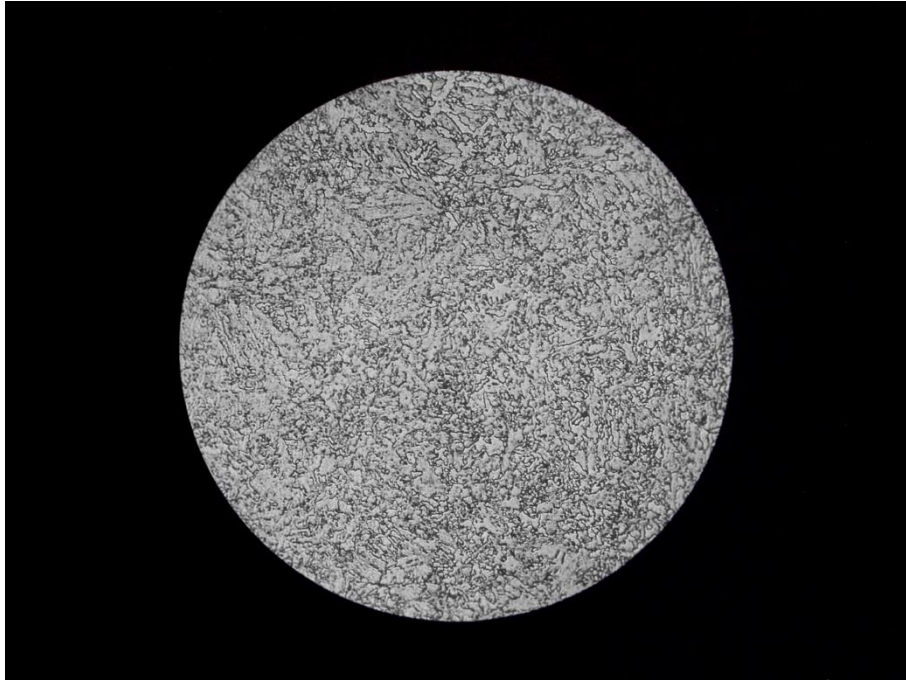


Рисунок 3.1 – Мікроструктура основного металу ГЦТ(сталь 10ГН2МФА)

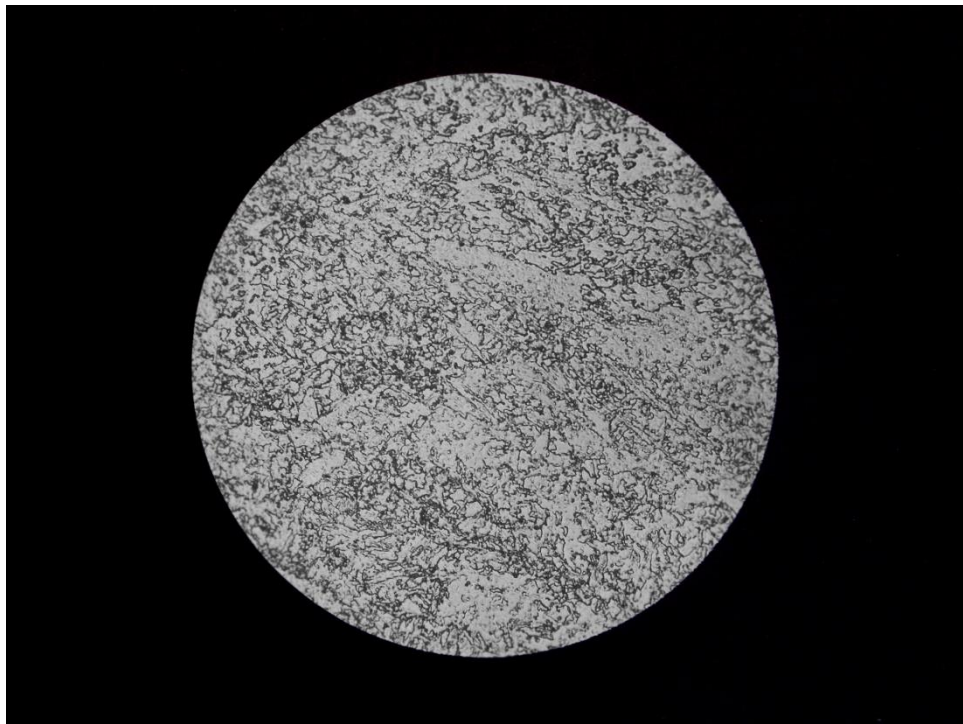


Рисунок 3.2 – Мікроструктура зварного шву ГЦТ(сталь 10ГН2МФА)

3.2 Результати вимірювання твердості матеріалів

На деталях проведені вимірювання твердості та металографічні дослідження.

Досконалість виготовлення деталей напряму залежить від властивостей матеріалів. Отже, точність гнутих виробів залежить від еластичних властивостей матеріалу: після зняття деталі зі штампу вона пружинить, тому деталь із м'якої сталі, з усіма іншими тими ж властивостями виробляється з більшою точністю, ніж та ж менш пружинна сталева деталь.

Твердість – це властивість верхнього шару матеріалу опиратися проникненню до іншого, твердішого матеріалу. Величину твердості вимірюють за глибиною чи діаметром відбитка. Виміри твердості – найпопулярніший спосіб, тому що він найпростіший та дозволяє виміряти великий об'єм потрібного контролю. Результати дослідження твердості наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1– Результати вимірів твердості

Марка сталі	Зона контролю	Метод вимірювання	Твердість НВ
10ГН2МФА	Нейтральна частина	по Брінеллю	178
10ГН2МФА	Стиснута частина	по Брінеллю	177
10ГН2МФА	Розтягнута частина	по Брінеллю	175

3.3 Результати визначення механічних властивостей метала по твердості

При контролі механічних властивостей визначали:

1. Тимчасовий опір розриву (R_m) (межа міцності);
2. Межа плинності ($R_{p 0.2}$);
3. Відносне звуження (Z);
4. Відносне подовження (A);
5. Ударну в'язкість ;
6. Твердість по Брінеллю (НВ);

Ударна в'язкість визначаються на простих зразках з поверхні трубопроводів;

Механічні властивості зварних з'єднань визначаються за твердістю не менше, ніж в трьох зонах по колу зварних з'єднань на металі шва (наплавленого металу) і біля шовної зони (ЗТВ).

Для розрахування механічних властивостей користувалась формулами з таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Формули для розрахунків

Марка сталі	Характеристики механічних властивостей			
	Тимчасовий опір, R_m , кг/мм ²	Межа текучості, $R_{p 0.2}$, кг/мм ²	Відносне звуження, Z , %	Відносне подовження A , %
10ГН2МФ А,	При НВ <300 0,46НВ– 22	при НВ <300 – 4,28+0,238НВ+ +0,00022xНВ ²	96– 0,175НВ	$A=[3k/(2R_m+R_{p0.2}) \times 100\%$

Примітка: Коефіцієнт k: для перлитових сталей 14.0, для аустенітних 28.0.

Для нейтральної частини: твердість=178 НВ

$$R_m = 0.46 * 178 - 22 = 59,88$$

$$R_{p0.2} = (-4,28) + 0,238 * 178 + 0,00022 * 178^2 = 38,084 + 6,97 = 44,81$$

$$Z = 96 - 0,175 * 178 = 64,85$$

$$A = 3 * 14,0 / (2 * 59,88 + 44,81) * 100\% = 42 / 164,57 = 25,5$$

Для зжатої частини: твердість=177 НВ

$$R_m = 0.46 * 177 - 22 = 59,42$$

$$R_{p0.2} = (-4,28) + 0,238 * 177 + 0,00022 * 177^2 = 37,846 + 6,89 = 44,73$$

$$Z = 96 - 0,175 * 177 = 65,02$$

$$A = 3 * 14,0 / (2 * 59,42 + 44,73) * 100\% = 42 / 163,57 = 25,6$$

Для розтягнутої частини: твердість=177 НВ

$$R_m = 0.46 * 175 - 22 = 58,5$$

$$R_{p0.2} = (-4,28) + 0,238 * 175 + 0,00022 * 175^2 = 44,1$$

$$Z = 96 - 0,175 * 175 = 65,4$$

$$A = 3 * 14,0 / (2 * 58,5 + 44,1) * 100\% = 26,1$$

Отримані розрахунки внесені до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати розрахунків даних

Марка сталі	Характеристики механічних властивостей					Твердість НВ
	Зона контролю	Тимчасовий опір, R_m , кг/мм ²	Межа текучості, $R_{p0.2}$, кг/мм ²	Відносне звуження, Z , %	Відносне подовження, A , %	
10ГН2МФА	Нейтральна частина	60,3	45,4	64,7	25,3	178
10ГН2МФА	Стиснута частина	59,9	45,1	64,9	25,5	177
10ГН2МФА	Розтягнута частина	58,5	44,1	65,4	26,1	175

Механічні властивості основного металу (10ГН2МФА), згідно з вимогами ПНАЕ Г– 7– 002– 86 [і ПНАЕ Г– 7– 010– 89 [26], повинні бути не нижче значень, зазначених в таблиці 3.4.

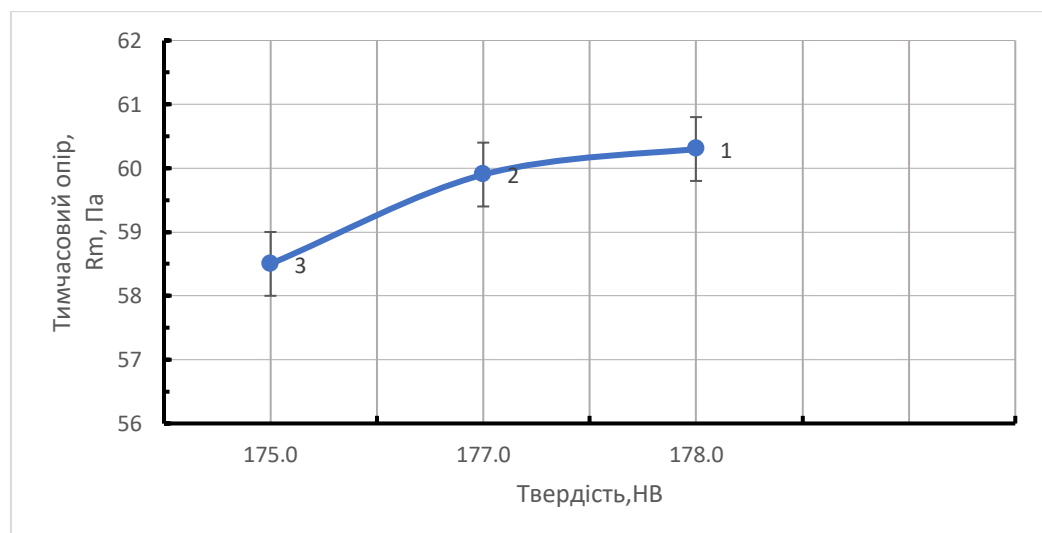
Таблиця 3.4 – Нормативні значення механічних властивостей металу трубопроводу ГЦК Ду850

Назва трубопроводу	Марка сталі	Випробування на розтяг., 20 ⁰ С				Випроб. на розтяг 350 ⁰ С				Ударн. згиб, +20 ⁰ С/– 20 ⁰ С	
		R_m , кгс/м ²	$R_{p0.2}$, кгс/м ²	A_5 , %	Z , %	R_m , кгс/м ²	$R_{p0.2}$, кгс/м ²	A_5 , %	Z , %	α_n (тип 1) кгс*м/с ²	α_n (тип 11) кгс*м/с ²
Основний метал (Ду850)	10ГН2МФА, ТУ975Е0045 11,	55 – 65	35– 45	не менше 16	не менше 55	не менше 50	не менше 30	не менше 14	не менше 50	8.0/4.0	4.8/2.0

Визначення механічних властивостей металу по твердості проводиться відповідно до вимог інструкції "Визначення характеристик механічних властивостей металу, обладнання АЕС без Образцовими методами за характеристиками твердості" РД ЕО 0027– 94.

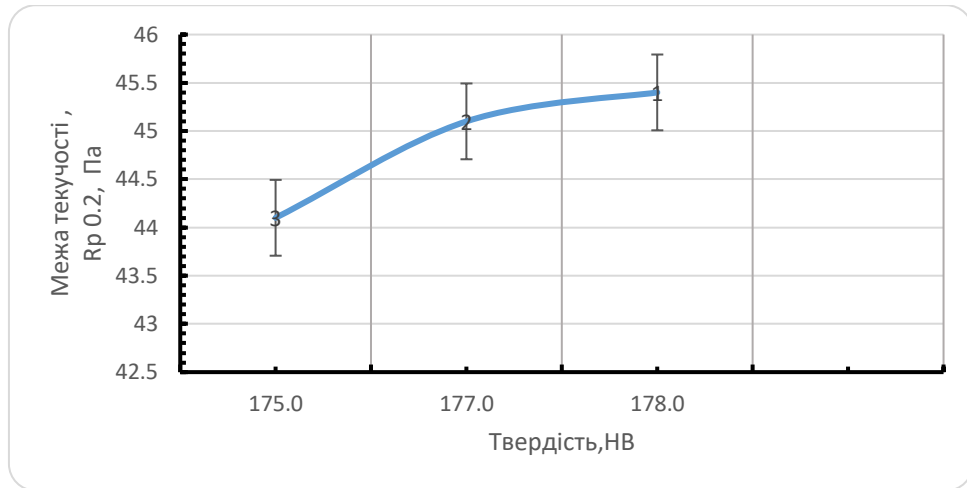
Розрахувавши необхідні значення, побудували графіки, які показали наглядну картину залежностей твердості від механічних властивостей сталі.

Власне нижче продемонстровано розраховані залежності тимчасового опору, межі текучості, відносного звуження, відносного подовження від твердості(рис. 3.3– 3.6)



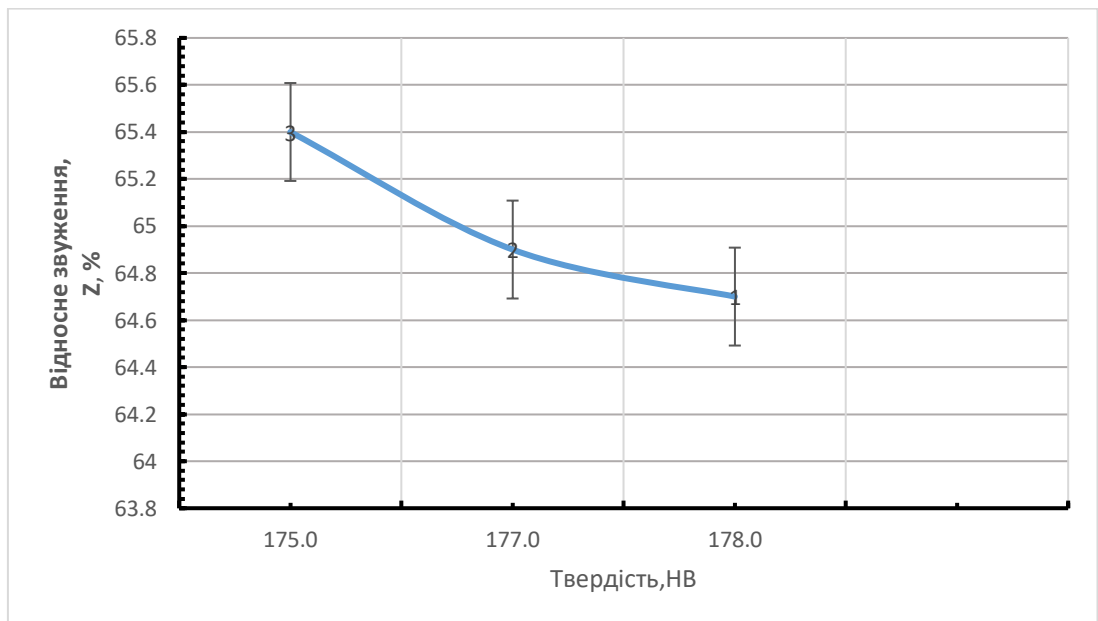
1- нейтральна частина, 2- стиснута частина, 3- розтягнута частину

Рисунок 3.3 –Графік залежності тимчасового опору від твердості матеріала



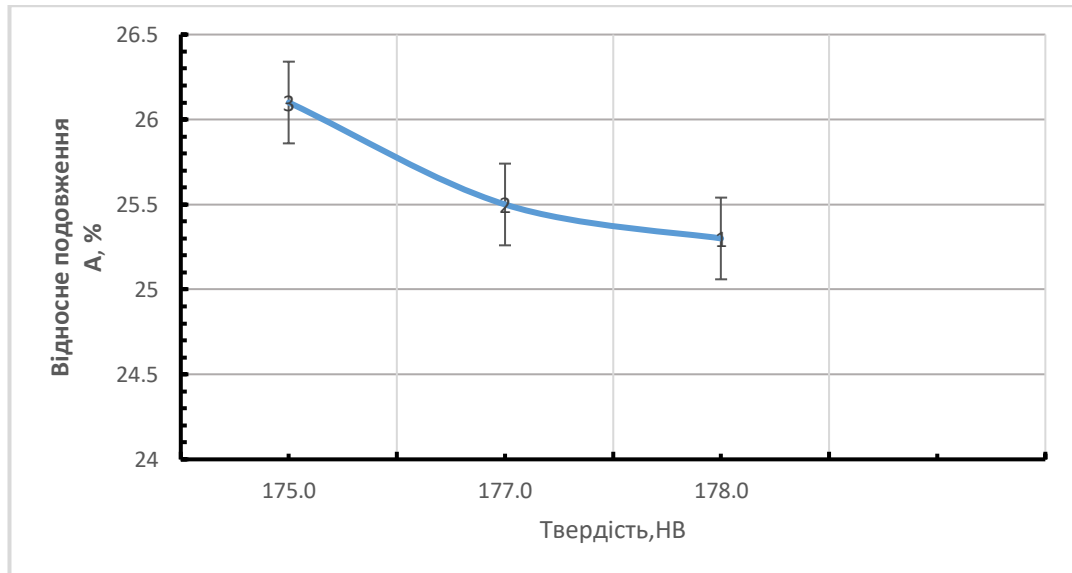
1- нейтральна частина, 2- стиснута частина, 3- розтягнута частина

Рисунок 3.4 – Графік залежності межі текучості від твердості матеріалу



1- нейтральна частина, 2- стиснута частина, 3- розтягнута частина

Рисунок 3.5– Графік залежності відносного звуження від твердості матеріалу



1- нейтральна частина, 2– стиснута частина, 3– розтягнута частина

Рисунок 3.6 – Графік залежності відносного подовження від твердості матеріалу

З наведених даних видно, що твердість сталі по товщині ГЦТ практично не відрізняється (в таблиці наведені середні значення з 7– 9 вимірювань). Механічні властивості на розтягнення також практично однакові по товщині ГЦТ.

3.4 Результати хімічного аналізу

Контроль металу ГЦТ на предмет змісту неметалічних включень показав, що в металі присутні сульфідів – не більше 2.5 балів, силікатів – не більше 2 балів, оксидів – не більше 1.5 балів по шкалам ГОСТ 1778– 70.

Результати хімічного аналізу наведені у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5– Хімічний склад сталі 10ГН2МФА

Назва трубопроводу	Марка сталі ТУ	Хімічний склад, %														
		<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>W</i>	<i>Ni</i>	<i>Mo</i>	<i>Cr</i>	<i>V</i>	<i>Ti</i>	<i>Cu</i>	<i>S</i>	<i>P</i>	<i>N</i>	<i>As</i>	
Труба	10ГН2МФА, ТУ975Е004511	0,09	0,33	0,75	–	1,90	0,49	0,20	0,03	–	0,4		0,015	0,011	–	–

Таблиця 3.6 – Нормативні значення хімічного складу металу трубопроводу ГЦК

Назва трубопроводу	Марка сталі ТУ	Хімічний склад, %													
		<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>W</i>	<i>Ni</i>	<i>Mo</i>	<i>Cr</i>	<i>V</i>	<i>Ti</i>	<i>Cu</i>	<i>S</i>	<i>P</i>	<i>N</i>	<i>As</i>
Труба	10ГН2МФА, ТУ975Е004511	0,08–0,12	0,17–0,37	0,70–0,90	–	1,70–2,00	0,40–0,60	до 0,30	до 0,040	–	не більше 0,30	не більше 0,020	не більше 0,020	–	–

Хімічний склад сталі 10ГН2МФА за вимогами ТУ975Е004511 показано у таблиці 2.7.

Результати металографічного контролю структури задовольняють вимоги ТУ 975 Е004511.

Основний метал трубопровода сталь 10ГН2МФА ,складається з однорідної структури з фазовим складом ферит + перліт (дрібнодисперсний сорбіт відпуску) з кількісним відношенням перліту до фериту – 85/15%,та величиною зерна в межах 6– 8 баллах.

3.5 Результати електронно– мікроскопічного дослідження після експлуатації

Ідентифікація виділень другої фази і кристалографічних напрямків решітки проводилася в режимі мікродифракції. Вихідний матеріал в результаті заводської термообробки мав структуру фериту з виділеннями зернистого і пластинчастого цементиту (Fe_3C). Середній розмір зерен фериту дорівнює 10 ... 15 мкм. У середині зерен спостерігаються субзерна розмірами близько 3 мкм. У тілі феритного зерна присутні дрібнодисперсні пластинчасті виділення, ідентифіковані як Fe_3C . Середня щільність подібних виділень дорівнює $1,1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$.

Електронно– мікроскопічні дослідження підтвердили збільшення кількості пластинчастого перліту в структурі металу після експлуатації ГЦТ. Слід зазначити, що структура зразків щодо змісту пластинчастого перліту досить неоднорідна. На рисунку 3.7 показано ділянку структури сталі 10ГН2МФА після 100 тис. годин експлуатації з великим вмістом пластинчастого перліту, який у вигляді паралельних пластинок проглядається разом з ділянками зернистого перліту.

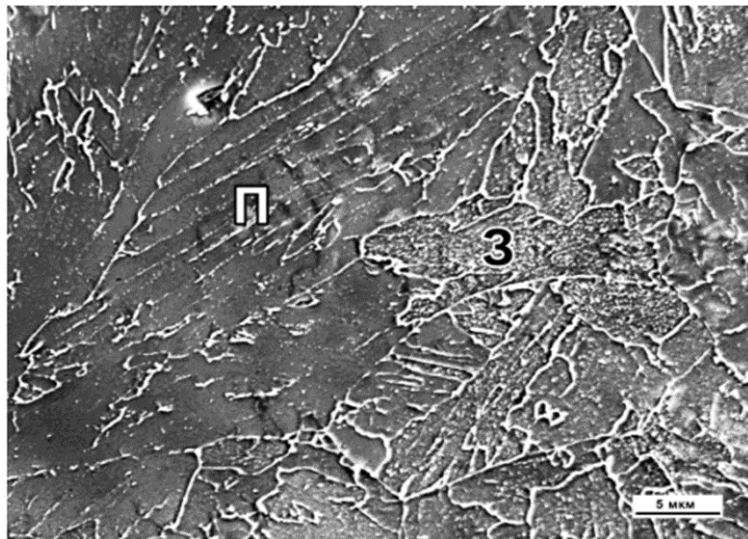


Рисунок 3.7 – Пластинчатий та зернистий перліт (П та З) в сталі 10ГН2МФА після 100 тис. годин експлуатації

На даній дипломній роботі досліджується марка сталі 10ГН2МФА. Досліджено мікроструктуру та механічні властивості сталі 10ГН2МФА головного циркуляційного трубопроводу (ГЦТ) АЕС .

Для вивчення властивостей сталі проводився контроль даного металу. Для проведення контролю металу користувалась засобами контролю й устаткування (металографічні методи, електронна мікроскопія, проведені механічні випробування, мікро рентгено– спектральний аналіз) ,що використовується для механічних випробувань ,вимірювань твердості, металографічного аналізу. Механічні випробування виконувалися з дотриманням вимог державних стандартів.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Вступ та постановка мети розділу

У цій частині описуються правові та організаційні питання та аналізуються параметри дослідницької лабораторії, такі як освітлення, мікроклімат, електробезпека та пожежна безпека в приміщенні. Розроблений план лабораторії, в якій проходила більшість технологічних операцій. Основна мета цього розділу – виявити шкідливі фактори, що виникають при впровадженні методу металографічного аналізу та хімічного аналізу сталі на території АЕС. Також метою є розробити заходи щодо часткового або повного усунення негативного впливу на здоров'я людини. Робота проходила в лабораторії цеху СКМ на атомній станції, де проводився металографічний та хімічний аналіз .

4.2 Правові та організаційні основи охорони праці

В Україні функціонує багаторівнева система державного управління охороною праці (СУОП), функціональними компонентами якої є відповідні структури державної законодавчої та виконавчої влади всіх рівнів, керівні структури об'єднань, виробництв, а також окремих підприємств, установ і організацій.

Метою функціонування СУОП є підготовка, прийняття і реалізація рішень з здійснення правових, соціально– економічних, організаційно– технічних, санітарно– гігієнічних і лікувально– профілактичних заходів щодо забезпечення безпеки, збереження життя, здоров'я і працездатності людини під час роботи.

Відповідно до ст. 13 Закону України «Про охорону праці» роботодавець зобов'язаний створити на робочому місці в кожному структурному підрозділі

умови праці відповідно до нормативно– правових актів, а також забезпечити дотримання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці. З цією метою роботодавець забезпечує функціонування системи управління охороною праці.

Відповідно до статті 13 Закону в ВП ЮУАЕС функціонує система управління охороною праці. Відділом охорони праці розроблено «Положення про систему управління охороною праці у ВП ЮУАЕС» відповідно до вимог ДСТУ ОHSAS 18001: 2010.

Загальна модель СУОП ВП ЮУАЕС згідно ДСТУ ОHSAS 18001: 2010 побудована на основі методології, відомої як "Плануй – Виконуй – Перевірй – Дій".

Цю методологію можна коротко описати так:

Плануй: встановлюй цілі і визначай процеси, необхідні для отримання результатів, які відповідають політиці підприємства в сфері охорони праці;

Виконуй: впроваджуй процеси;

Перевірй: виконуй моніторинг і міряй процеси, враховуючи політику в сфері охорони праці, цілі, нормативні вимоги, а також звітуй про результати;

Дій приймай заходи для постійного поліпшення показників в сфері охорони праці.

При виконанні посадових обов'язків, працівник повинен:

- знати і виконувати вимоги нормативно– правових актів з охорони праці, правил користування машинами, механізмами, обладнанням та іншими засобами виробництва, застосовувати засоби колективного та індивідуального захисту;

- дотримуватися обов'язків з охорони праці, передбачених колективним договором (трудовим договором, контрактом) та правилами внутрішнього трудового розпорядку ВП ЮУАЕС;

- своєчасно проходити перевірку знань з охорони праці;

- проходити у встановлений час періодичний медичний огляд;

– дбати про особисту безпеку і здоров'я, а також про безпеку оточуючих людей (в процесі виконання роботи або під час перебування на території підприємства).

– повідомляти про виявлену небезпеку свого безпосереднього керівника або іншу посадову особу;

– повідомляти про кожний нещасний випадок безпосередньо керівнику робіт і надавати долікарську допомогу потерпілому;

– безпосередньо відповідати за порушення зазначених вимог.

Так як на ВП «Южно– Українська АЕС» кількість працюючих більше 7 000 осіб, відповідно до ст.15 Закону України «Про охорону праці», створена служба охорони праці. Відповідно до цього в ВП «Южно– Українська АЕС» створено Відділ охорони праці.

4.3 Аналіз умов праці, небезпечних та шкідливих факторів

4.3.1 Аналіз умов праці

Робота проводиться в лабораторії у цеху СКМ ЮАЕС, характеристики приміщення наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 — Геометричні параметри лабораторії

Геометричний параметр	Величина
Довжина, м	6
Ширина, м	6
Висота, м	3,85
Площа, м ²	36
Об'єм, м ³	138,6

Порівнюючи отримані значення з нормативними вимогами [55], можна прийти до висновку, що геометричні параметри дослідної лабораторії, в якій проводився експеримент, повністю відповідають нормі.

Під час досліджень в лабораторії працює 3 людини, звідки ми отримуємо, що площа на одну людину складає $S_{ч} = 36/3 = 12 \text{ м}^2/\text{люд.}$, а об'єм – $V_{ч} = 138,6/3 = 46,2 \text{ м}^3/\text{люд.}$

Отже, згідно СНиП 31– 03– 2001, приміщення за геометричними параметрами відповідає вимогам до будівель виробничого призначення.

План приміщення представлений на рисунку 4.1.

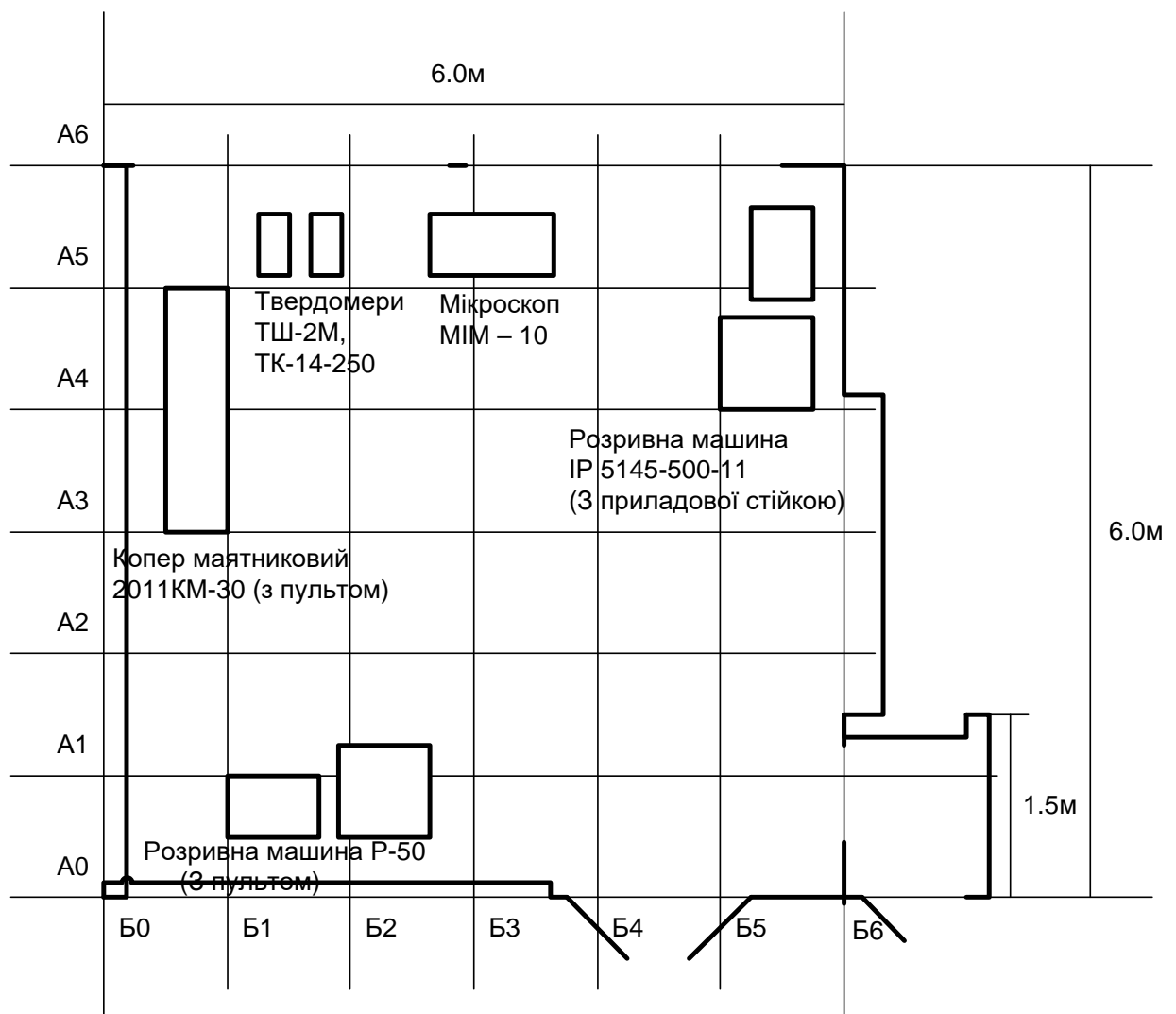


Рисунок 4.1 – План лабораторії

Суттєвий вплив на стан організму працівника здійснює мікроклімат у виробничих приміщеннях. Постійне робоче місце – місце, на якому люди – на працює 50% робочого часу або дві години безперервно. Відповідно до ДСН

3.3.6.042– 99[18] виділяють два періоди року: теплий – температура вище +10°C та холодний – температура середовища не перевищує +10°C.

Робота, яка виконується у лабораторії, відноситься до категорії Легка Іб. Робота переважно розумової праці, проводиться здебільшого у положенні сидячи або стоячи, потребує незначного фізичного напруження. Енерговитрати організму становлять 100– 150 ккал/год. Значення показників температури, відносної вологості та швидкості руху повітря для категорії робіт Легка Іб у лабораторії відповідають допустимим вимогам встановлених для постійного робочого місця в холодний та теплий період року. Дані умови мікроклімату виконуються завдяки встановленому водяному опаленню у холодний період року та штучній припливно– витяжній вентиляції у теплий період року. При роботі обладнання відбувається деяке відхилення параметрів мікроклімату від оптимальних, зазначених у таблиці 4.2, однак вони знаходяться у допустимих межах, встановлених ДСН 3.3.6.042– 99.

При виконанні даної роботи не виявлено небезпечні та шкідливі фактори.

4.3.2 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів

Радіаційна безпека – це стан радіаційно– ядерних об'єктів та навколишнього середовища, який забезпечує неперевищення меж доз, виключення будь– якого необґрунтованого опромінення і зменшення доз опромінення персоналу і населення нижче встановлених лімітів доз настільки, наскільки це може бути досягнуто і економічно обґрунтовано.

На атомній станції радіаційна безпека забезпечується шляхом здійснення комплексу технічних і організаційних заходів, що включають в себе контроль за станом захисних бар'єрів і навколишнього середовища, а також за рівнем індивідуальних і колективних дозових навантажень персоналу.

Радіаційний контроль ведеться на території промислового майданчика АЕС, в санітарно– захисній зоні (радіус 2,5 км) і в зоні спостереження (радіус 30 км). При здійсненні моніторингу навколишнього природного середовища радіаційний (гамма) фон відстежується на 44 постах в 30– кілометровій зоні спостереження і на контрольному посту в с. Рябоконеве (33,5 км від ЮУАЕС).

Ведеться безперервний контроль викидів і скидів радіоактивних речовин в навколишнє середовище з ЮУАЕС. Вимірюється концентрація радіонуклідів у воді, в донних відкладеннях, в гідробіонтах (організми, постійно мешкають у водному середовищі водойм), в ґрунті, в рослинності, сільгосп. продуктах, в атмосферному повітрі і в атмосферних опадах.

Багаторічні спостереження показують, що за весь період експлуатації ЮУАЕС допустимий рівень газо– аерозольних викидів в атмосферу і рідких скидів у водойми жодного разу не був перевищений. Реальні показники значно нижче встановлених норм. Результати радіаційного контролю свідчать, що радіаційний фон на промисловому майданчику, санітарно– захисній зоні та зоні спостереження Южно– Української АЕС знаходиться на рівні природних фонових значень, виміряних в пуску атомної станції. Викиди в навколишнє середовище НЕ перевищують 1% від встановлених допустимих величин.

4.3.2.1 Аналіз освітленості приміщення

Природне освітлення характеризується коефіцієнтом природного освітлення КПО – це відношення природного освітлення, яке створюється в деякій точці заданої площини в середині приміщення світлом неба до значення зовнішнього горизонтального освітлення, яке створюється світлом повністю відкритого неба.

Природне освітлення — це освітлення приміщень світлом неба, яке проникає через світлові отвори. Природне за своїм спектральним складом є найбільш сприятливим. За конструктивними властивостями природне

освітлення поділяється на бічне, верхнє та комбіноване. В даній лабораторії світлові отвори розташовані з однієї сторони зовнішньої стіни.

Нормоване значення $e = 2\%$ (виробниче приміщення розташоване у 3-му світловому поясі, при боковому освітленні та зоровій роботі високої точності). Природне світло проникає через бокові вікна, забезпечуючи коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5 %.

Таким чином, для забезпечення КПО (2%) у приміщенні передбачено два вікна розмірами $6 \cdot 3,8$ м, загальною площею 23 м.

В лабораторії СКМ загальна освітленість складає 300лк, причому природне освітлення $e = 2\%$ – відповідає вимогам СНІП 31– 03– 2001. Природне освітлення, в даній лабораторії, одностороннє бокове, як видно на рисунку 4.1

Таблиця 4.2 – Параметри мікроклімату

Категорія роботи	Параметр мікроклімату	Період року	Нормовані значення мікроклімату ДСН 3.3.6.042– 99		Данні вимірювань	Висновки
			Оптимальні	Допустимі		
Легка Іб	Температура, °С	Холодний	18 – 20	17 – 24	22	допустимі
		Теплий	21 – 23	20 – 25	23	оптимальні
	Відносна вологість повітря, %	Холодний	40 – 60	75	45	оптимальні
		Теплий	40 – 60	65	40	оптимальні
	Швидкість руху повітря, м/с	Холодний	0,1	Не більше ніж 0,2	0,1	оптимальні
		Теплий	0,1	0,1 – 0,3	0,2	допустимі

Штучне освітлення передбачається використовувати у всіх виробничих та побутових приміщеннях, де недостатньо природного світла, і також для освітлення приміщень в темний період року. При утворенні

штучного освітлення необхідно забезпечити комфортні гігієнічні умови для зорової роботи.

Штучне освітлення поділяється на робоче, аварійне, охоронне, чергове. Робоче освітлення слід передбачати для всіх приміщень будинків, а також ділянок відкритих просторів, призначених для роботи, проходу людей та руху транспорту [16].

В існуючих нормах освітлення ДБНВ.2.5.– 28– 2006 "Природне і штучне освітлення" освітлення у виробничих приміщеннях задаються як кількісні характеристики (мінімальна освітленість, допустима яскравість у полі зору), так і якісні (показник осліплення, глибина пульсації освітлення), які важливі для створення нормальних умов праці.

Параметри приміщення 6м×6м×3,85м, розряд зорових робіт високої точності, нормоване значення освітленості на робочому місці $E_n = 250$ лк. Є можливість використання додаткового штучного освітлення при не достачі світла і роботі з малими за габаритами деталями.

4.3.2.2 Аналіз наявності шкідливих речовин

При проектуванні виробничих будівель, технологічних процесів, устаткування необхідно ставити вимоги до санітарного обмеження вмісту шкідливих речовин у повітрі робочої зони.

Вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони регламентується значенням гранично допустимих концентрацій (ГДК), мг/м³.

За ступенем дії на організм шкідливі речовини відповідно до ГОСТу 12.1.007– 88 [31] поділяються на 4 класи небезпеки:

- I клас – надзвичайно небезпечні;
- II клас – високонебезпечні;
- III клас – помірно небезпечні;
- IV клас – малонебезпечні.

Гігієнічне нормування шкідливих речовин проводять по граничнодопустимих концентраціях (ГДК, мг/м³) у відповідності з нормативними документами. Для робочих місць визначається гранично допустима концентрація в робочій зоні – ГДК_{рз} (ГОСТ 12.1.005– 88).

З матеріалів, які використовуються в твердому стані, шкідливих речовин немає.

Концентрація шкідливих речовин у лабораторії не виявлено.

4.3.2.3 Аналіз шуму

Шум – це хаотична сукупність різних за силою і частотою звуків, що заважають сприйняттю корисних сигналів.

Шум буває: механічного походження, який виникає внаслідок вібрації при роботі механізмів та устаткування, а також поодиноких чи періодичних ударів у з'єднаннях деталей та конструкцій; аеродинамічного походження, який виникає при подачі газу чи повітря по трубопроводах, вентиляційних системах, або їх стравлюванні в атмосферу; гідродинамічного походження, який виникає внаслідок процесів, що відбуваються у рідинах (гідравлічні удари, кавітація, турбулентність потоку); електромагнітного походження, який виникає внаслідок коливання елементів електромеханічних пристроїв під впливом змінних магнітних полів.

Шум у приміщенні є механічного походження, який виникає при роботі випробувальної машини. Шум не є постійним, він виникає при роботі устаткування.

Нормою виробничого шуму є рівень звуку до 85 дБ. При роботі випробувальної машини шум у приміщенні досягає 81 дБ, що не перевищує норму.

4.4 Заходи, що виключають прояв небезпечних і шкідливих виробничих факторів або обмежують їх в межах допустимих норм

4.4.1 Електробезпека

У лабораторії СКМ використовується струм напругою 220В для живлення мікроскопів та твердомірів. Опір ізоляції силових та освітлювальних електропроводів повинен бути не менше 0,5 МОм.

Електробезпека – це система організаційних і технічних заходів і засобів, які забезпечують захист людей від шкідливого і небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики.

Особливості електротравматизму:

- людина не в змозі дистанційно, без спеціальних приладів, визначити наявність електричного струму, а тому його дія раптовою і захисна реакція організму проявляється лише після впливу струму;
- струм діє на органи не лише в місцях контакту зі струмопровідними частинами, але як надзвичайно сильний подразник, впливає на весь організм, що призводить до порушення функціонування життєво важливих систем організму: нервової, дихальної, серцево– судинної;
- електротравми можливі без дотику людини до струмопровідних частин (внаслідок утворення електричної дуги під час пробую повітряного проміжку між струмопровідними частинами і людиною чи землею).

До чинників підвищеної небезпеки належать: температура в приміщенні, що впродовж доби перевищує 35°C; відносна вологість більше 75%, але менше повного насичення (100%); струмопровідна підлога — металева, бетонна, цегляна, земляна тощо; струмопровідний пил; можливість одночасного доторкання людини до неструмопровідних частин електроустановки і до металоконструкцій, що мають контакт із землею.

Лабораторія СКМ належить до приміщення з підвищеним ризиком ураження електричним струмом, оскільки в лабораторії існує можливість

одночасного контакту людини з непровідними частинами електроустановки та металевими конструкціями, що контактують із землею. Можливі випадки ураження електричним струмом у цій лабораторії – пошкодження проводки, пошкодження розетки та недостатнє заземлення електрообладнання, оскільки лабораторія має металеві поверхні, а заземлення зменшує різницю потенціалів між напругою та напругою заземлене обладнання до безпечного значення.

4.5 Безпека в разі виникнення пожежі

У лабораторії можлива надзвичайна ситуація – пожежа.

Пожежа – це неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, що поширюється в часі та просторі. Слід зазначити, що пожеж безпечних не буває. Якщо вони і не створюють прямої загрози життю та здоров'ю людини (наприклад, лісові пожежі), то завдають збитків довкіллю, призводять до значних матеріальних втрат.

Відповідно до міжнародного стандарту ISO № 3941– 77 [32], залежно від характеристики горючих речовин та матеріалів або об'єкта, що горить, пожежі підрозділяються на п'ять класів: А, В, С, D, Е.

У даній лабораторії можливі пожежі класу А – горіння твердих речовин(деревини, папір).

Відповідно до ДСТУ Б В.1.1– 36:2016 [33] приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою відноситься до категорії Д. Категорія Д – речовини і/або матеріали, що зазначені вище для категорій приміщень А, Б і В (крім горючих газів, горючих пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) зазначені вище речовини і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В.).

Як видно на рисунку 4.1, в лабораторії знаходяться столи зроблені з деревини, які можуть горіти за наступних умов: порушення правил пожежної

безпеки при використанні побутових електронагрівальних приладів; коротке замикання в електричних ланцюгах. На рисунку 4.2 показано план евакуації з приміщення.

У споруді передбачені технічні, організаційні, режимні заходи щодо забезпечення пожежної безпеки. У приміщенні передбачено пожежний кран – комплект, переносний вогнегасник, ручний пожежний оповісник.

У приміщенні лабораторії встановлено 4 пожежні сигналізатори ИП–105. ИП–105 спрацьовує при підвищенні температури до $t=72\text{ }^{\circ}\text{C}$.

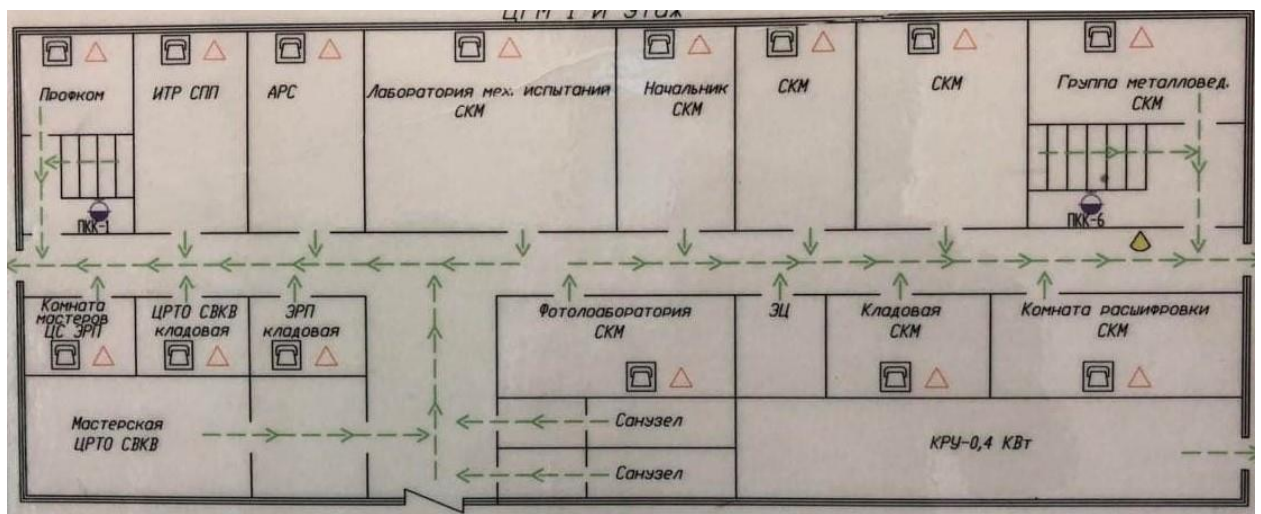


Рисунок 4.2 – План евакуації з приміщення

Ступінь вогнестійкості будинку визначається межами вогнестійкості його будівельних конструкцій і межами поширення вогню по цих конструкціях відповідно до ДБН В.1.1–7–2002[34]. Отже, будівля відноситься до I ступеня вогнестійкості – будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів.

4.6 Висновок

Лабораторія СКМ ДП «НАЕК «Енергоатом», ВП «Южно– Українська АЕС» повністю відповідає основним вимогам до будівель виробничого призначення. Показники температури, відносної вологості та швидкості руху повітря відповідають категорії робіт легка Іб. Значення відповідають допустимим вимогам встановлених для постійного робочого місця в холодний та теплий період року.

Освітлення в лабораторії є задовільним – кількість ламп в лабораторії дозволяє забезпечувати нормовані умови для роботи. Шум у лабораторії відповідає нормі. Шкідливі речовини у лабораторії СКМ не виявлені.

4. ОРГАНІЗАЦІЙНО– ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Техніко – економічне обґрунтування роботи

4.1.1 Актуальність теми дослідження

В усі часи важливими характеристиками конструкцій є їх довговічність та надійність.

Успішна запорука правильного вибору матеріалу є аналіз функціонального призначення деталі, її умов експлуатації та технологічних показників з урахуванням різних факторів.

Тривала безаварійна експлуатація АЕС в значній мірі визначається правильністю вибору конструкційних матеріалів.

На ряду з основними характеристиками матеріалу стоїть доступність матеріалу і вартість його виробництва. Різноманітні сталі значно різняться по вартості. Співвідношення вартостей вуглецевих, перлитових легованих і аустенітних сталей складають приблизно 1 : 2,5 : 10 (15), тому підвищення температури, що викликає зміна класу сталей, призводить до значного подорожчання трубопроводів. Для трубопроводів АЕС, за винятком головного циркуляційного контуру реактора, застосовують сталі перлітного класу – леговані для ділянок насиченого і перегрітого пара і вуглецеві для інших ділянок.

Отже, вибір матеріалу напряду впливає на вартість.

4.1.2 Мета і завдання

Метою цієї роботи є аналіз отриманих результатів стану металу, вивчення його структури і властивостей. В результаті проведених досліджень були визначені характер мікроструктури металу, мікротвердість, забрудненість неметалевими включеннями, механічні властивості і ударна в'язкість.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- а) вибір і обґрунтування хімічного складу матеріалу з метою отримання необхідних механічних і спеціальних властивостей ;
- б) Вивчення зразків матеріалу (хімічного складу, металографічні дослідження, визначення твердості сталі 10ГН2МФА);
- в) Вивчення механічних властивостей труб з сталі 10ГН2МФА;
- г) Визначення структури, фазового та хімічного складу;
- д) Визначення мікротвердості.

Тривала безаварійна експлуатація АЕС і довговічна надійність матеріалів – основна мета роботи .

Отже, це дослідження присвячене особливо цьому питанню.

4.1.3 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження

Розрахунок усіх витрат на науково– дослідну роботу, пов'язаних з виконанням даної теми, дає можливість встановити планову кошторисну вартість даної теми. Планування забезпечує зниження трудових і матеріальних витрат з метою отримання найкращих результатів за найменших витрат.

Планова собівартість визначається за наступними статтями витрат:

- заробітна плата науково– дослідницького персоналу;
- єдиний соціальний внесок;
- вартість спеціального обладнання для виконання МД;
- вартість матеріалів, необхідних для проведення МД;56
- витрати на службові відрядження;
- інші прямі невраховані витрати по темі;
- накладні витрати.

4.1.4 Витрати на оплату праці

Підприємства самостійно розробляють і затверджують форми і системи оплати праці тарифні ставки і оклади на підприємствах можуть використовуватися як орієнтири для диференціації оплати праці залежно від професії, кваліфікації працівників, складності умов виконуваних ними робіт.

Система оплати – це певний взаємозв'язок між показниками, що характеризують міру (норму) праці та міру його оплати в межах і понад норми праці, що гарантує отримання працівником заробітної плати відповідно до фактично досягнутими результатами праці (щодо норми) і погодженої між працівником і роботодавцем ціною його робочої сили.

Форми і системи заробітної плати є необхідним елементом організації оплати праці. Винагорода за працю або компенсація працівникам витрачаються розумових, фізичних чи підприємницьких зусиль грає істотну роль в залученні трудових ресурсів на підприємство, в мотивуванні, використанні та збереженні необхідних фахівців в організації або фірмі.

При розробці систем оплати праці на підприємстві доводиться вирішувати одночасно два завдання. По– перше, кожна система повинна спрямовувати зусилля працівника на досягнення таких показників трудової діяльності, які забезпечать отримання необхідного роботодавцеві виробничого результату: випуску потрібної кількості конкурентоспроможної продукції з найменшими витратами. По– друге, кожна система оплати праці повинна надавати працівникові можливість для реалізації наявних у нього розумових і фізичних здібностей, дозволити йому домагатися в робочому процесі повної самореалізації як особистості.

Основою оплати праці є тарифна система, яка являє собою сукупність нормативів, за допомогою яких здійснюється диференціація і регулювання заробітної плати в залежності від складності виконуваної роботи; умов праці (нормальні, важкі, шкідливі, особливо важкі і особливо шкідливі); природно– кліматичних умов виконання роботи; інтенсивності і характеру праці.

Відповідно Закону України “Про оплату праці” заробітна плата складається з:

Стаття 1. Заробітна плата

Заробітна плата – це винагорода, обчислена, як правило, у грошовому виразі, яку за трудовим договором роботодавець виплачує працівникові за виконану ним роботу.

Розмір заробітної плати залежить від складності та умов виконуваної роботи, професійно– ділових якостей працівника, результатів його праці та господарської діяльності підприємства.

Стаття 2. Структура заробітної плати

Основна заробітна плата. Це – винагорода за виконану роботу відповідно до встановлених норм праці (норми часу, виробітку, обслуговування, посадові обов'язки). Вона встановлюється у вигляді тарифних ставок (окладів) і відрядних розцінок для робітників та посадових окладів для службовців.

Додаткова заробітна плата. Це – винагорода за працю понад установлені норми, за трудові успіхи та винахідливість і за особливі умови праці. Вона включає доплати, надбавки, гарантійні і компенсаційні виплати, передбачені чинним законодавством; премії, пов'язані з виконанням виробничих завдань і функцій.

Інші заохочувальні та компенсаційні виплати. До них належать виплати у формі винагород за підсумками роботи за рік, премії за спеціальними системами і положеннями, виплати в рамках грантів, компенсаційні та інші грошові і матеріальні виплати, які не передбачені актами чинного законодавства або які провадяться понад встановлені зазначеними актами норми.

Витрати за цією статтею включають заробітну плату працівників усіх категорій, зайнятих виконанням робіт з даної теми.

Заробітна плата розраховується на основі даних про трудомісткість окремих робіт і посадових окладів виконавців цих робіт. Розрахунок ведеться в людино– днях.

Перелік робіт та їх трудомісткість зведено в таблицю 4.1. Денні зарплати визначаються як відношення місячного окладу до умовного місяця (для НДР з п'ятиденним робочим тижнем складає 21,2 дня).

Перемножуючи середньоденну заробітну плату за кожною категорією виконавців на відповідну планову трудомісткість робіт, розраховується плановий фонд заробітної плати всіх виконавців.

Таблиця 4.1 – Розрахунок трудомісткості виконання НДР

Етапи НДР	Трудомісткість, людино– днів			
	Відповідальний виконавець, старший лаборант	Лаборант – Металограф	Інженер – технолог	Лаборант
Підготовчий етап	4	5	6	5
Проведення експерименту	16	5	30	30
Написання записки	10	–	4	–
Оформлення, перевірка та захист	4	–	5	–
Разом	34	10	45	35

Таблиця 4.2 – Фонд Заробітної плати

Посада	Трудомісткість, людино– днів	Місячний оклад, грн.	Денна заробітна плата, грн.	Сумарна заробітна плата за виконавцями, грн.
Відповідальний виконавець, старший лаборант	34	35 000	2 329,85	49 392,83
Лаборант – Металограф	10	20 000	1 230,37	25 837,79
Інженер– технолог	45	24 576	1 671,53	35 436,53
Лаборант	35	13 000	921,54	19 536,69
Разом				130 203,84

4.1.5 Визначення суми єдиного соціального внеску

Відрахування органам соціального страхування визначаються у відсотках від заробітної плати виконавців з теми. Норматив відрахувань необхідно брати в розмірі 22% заробітної плати.

$$V_C = 130\,203,84 \cdot 0,22 = 28\,644,84 \text{ грн.}$$

4.1.6 Витрати на матеріали, необхідні для виконання НДР

Додаткові матеріали для проведення дослідження не закуповувалися. Дослідження проводилося з використанням наявних матеріалів та на наявному обладнанні в цеху СКМ ВП «Южно– Українська АЕС».

4.1.7 Витрати на спецобладнання для проведення експериментів

В роботі використовуються вже існуюче обладнання: переносні металографічних мікроскопи, твердомер МІС – 10DL, мікроскоп електронний просвічуючий JEM– 100CX, універсальна випробувальна машина 1246P2 / 2300 (виробництво НІКІМП).

Спеціальне устаткування для виконання НДР не закуповувалось.

4.1.8 Витрати на відрядження

Всі роботи проводились безпосередньо в лабораторіях в цеху СКМ ОП «Южно– Українська АЕС», тому витрати на виробничо– наукові відрядження не передбачені.

4.1.9 Інші прямі витрати по темі

Ця стаття поєднує в собі всі витрати на проведення НДР, що не увійшли до попередніх статей (оплата спеціалістів з інших організацій, оплата консультацій, використання обладнання інших організацій та інше). При проведенні роботи інші прямі витрати приймаємо на рівні 10 % від суми врахованих витрати на виконання НДР.

$$I_B = (130\,203,84 + 28\,644,84) \cdot 0,1 = 15\,884,86$$

4.1.10 Накладні витрати

Ця стаття включає витрати, пов'язані з управлінням організацією– виконавцем теми, витрати на винахідництво і раціоналізацію; витрати на амортизацію основних засобів; витрати на науково– технічну інформацію; витрати на забезпечення нормальних умов праці і техніки безпеки; витрати на

оплату послуг банків; податки, збори та інші обов'язкові платежі і витрати тощо.

$$H_B = (130\,203,84 + 28\,644,84 + 15\,884,86) \cdot 0,2 = 34\,946,7$$

Розрахунок за всіма статтями витрат зведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Плановий кошторис витрат на виконання НДР

Назва статей	Умовне позначення	Сума, грн.	Сума, %	Обґрунтування
Заробітна плата виконавців теми	ЗП	130 203,84	81	За розрахунками
Єдиний соціальний внесок	В _С	28 644,84	18	22% від ЗП
Вартість основних матеріалів	В _М	–	–	Не планується
Вартість спецобладнання	В _{ОБ}	–	–	Не планується
Витрати на послуги сторонніх організацій	В _{СО}	–	–	Не планується
Інші прямі витрати	І _В	15 884,86	–	Не планується
Накладні витрати	Н _В	34 946,7	–	Не планується
Разом	В _{ДР}	209 680,24	100	Сума всіх попередніх статей

4.1.11 Економічна ефективність

Дослідження, що проводились в даній роботі, є складовою частиною комплексної задачі, яка вирішується декількома організаціями. У зв'язку з цим визначення річного економічного ефекту за допомогою прямих методів розрахунку не виконується. В цьому випадку використовується бальна система оцінки економічної ефективності, за наступними показниками:

- а) важливість розробки (К1);
- б) можливість використання результатів розробки (К2);
- в) теоретичне значення та рівень новизни (К3);
- г) складність розробки (К4).

Шкала для оцінки важливості розробки К1:

- а) ініціативна робота, що не є ані частиною комплексної програми, ані завданням директивних органів – 1 бал;
- б) робота, що виконується за договором про науково–технічні допомоги – 3 бали;
- в) робота представляє собою частину відомчої програми – 5 балів;
- г) робота представляє собою частину відомчої комплексної програми – 7 балів;
- д) робота виконується як частина міжнародної комплексної програми – 8 балів.

Шкала для оцінки можливості використання результатів розробки К2:

- а) результати розробок можуть бути використані в даному підрозділі – 1 бал;
- б) результати розробки можуть бути використані в даній організації – 3 бали;
- в) результати розробки можуть бути використані в багатьох організаціях – 5 балів;
- г) результати розробки можуть бути використані в масштабах галузі – 8

балів;

д) результати розробки можуть бути використані в багатьох різноманітних галузях – 10 балів.

Шкала для оцінки теоретичної значимості і рівня нововведення К3:

а) аналіз узагальнення і класифікація відомої інформації, подібні результати були відомі в досліджуваній області – 2 бали;

б) одержання нової інформації, що доповнить подання про суттєвість досліджуваних процесів, не відомої в дослідницькій області – 3 бали;63

в) одержання нової інформації, яка частково міняє уявлення про суттєвість дослідження процесів, не відомих раніше – 5 балів;

г) створення нових теорій, методик і т. п. – 6 балів;

д) одержання інформації, що служить формуванню напрямків, не відомих раніше – 6 балів.

Шкала для оцінки показників складності дослідження К4:

а) робота виконується одним підрозділом, затрати менше 20 тис.грн. – 1;

б) робота виконується одним підрозділом, затрати від 20 до 100 тис.грн. – 3;

в) робота виконується одним підрозділом, затрати від 100 до 200 тис.грн.– 5;

г) робота виконується з урахуванням багатьох підрозділів, затрати від 200 тис.грн. до 1 млн.грн. – 7;

д) робота виконується декількома організаціями, затрати понад 1млн.грн.– 9.

Бальна оцінка ефективності, згідно даної роботи, наведена в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Бальна оцінка ефективності НДР

Показник оцінки ефективності НДР	Умовне позначення показника	Характеристики даної роботи	Кількість балів
1.Важливість розробки	К1	робота виконується як частина міжнародної комплексної програми	8
2. Можливість використання результатів розробки	К2	результати розробки можуть бути використані в масштабах галузі	8
3.Теоретична значимість та рівень новизни розробки	К3	одержання нової інформації, яка частково міняє уявлення про суттєвість дослідження процесів, не відомих раніше	5
4.Складність дослідження	К4	робота виконується декількома організаціями, затрати понад 1млн.грн.	7

Загальна оцінка вираховується перемноженням коефіцієнтів. Умовний ефект на кожен бал становить 500 грн.

$$E_{O}^{y} = 500 * K_{1} * K_{2} * K_{3} * K_{4},$$

де К1 – коефіцієнт важливості розробки;

К2 – коефіцієнт можливості використання результатів розробки;

К3 – коефіцієнт теоретичного значення та рівня новизни;

К4 – коефіцієнт складності розробки.

$$E_O^y = 500 * 8 * 8 * 5 * 7 = 1\,120\,000 \text{ грн}$$

Умовний ефект НДР:

$$E_{ндр}^y = E_O^y - E_H * Z_{ндр},$$

де E_O^y – умовний оціночний ефект;

E_H – коефіцієнт ефективності;

$Z_{ндр}$ – сумарні витрати на дослідницьку роботу.

$$E_{ндр}^y = 1\,120\,000 - 0,25 * 209\,680,24 = 1\,067\,579,94 \text{ грн.}$$

Тоді коефіцієнт умовної економічної ефективності:

$$E = \frac{E_{ндр}^y}{Z_{ндр}}$$

де $E_{ндр}^y$ – умовний ефект НДР;

$Z_{ндр}$ – сумарні затрати на НДР.

$$E = \frac{1\,067\,579,94}{209\,680,24} = 5,09$$

Коефіцієнт умовної ефективності нашої роботи дорівнює 5,09 , що свідчить про доцільність її виконання.

4.1.12 Висновки

Описана науково–технічна актуальність виконання досліджень по даній темі. Висвітлено мету та завдання НДР. Розраховано планово–кошторисну собівартість проведення НДР з урахуванням витрат всіх видів ресурсів.

Розраховано показник умовної економічної ефективності НДР.

ВИСНОВКИ

В дипломній роботі досліджено мікроструктуру та механічні властивості сталі 10ГН2МФА головного циркуляційного трубопроводу (ГЦТ) АЕС. Для вивчення властивостей сталі проводився контроль даного металу.

Для проведення контролю металу застосовували засоби контролю й устаткування (металографічні методи, електронна мікроскопія, проведені механічні випробування), що використовується для механічних випробувань, вимірювань твердості, металографічного аналізу.

Розглянута актуальність використання обладнання та встановлено, що це обладнання широко використовується для швидкого та точного контролю якості металу.

Основна увага приділена викладу принципів вибору конструкційних матеріалів, виходячи з особливостей їх роботи в атомних енергетичних установках. В зв'язку з цим розглядаються окремі найбільш важливі питання працездатності матеріалів при дії навантажень, в тому числі в умовах впливу теплоносіїв. Проаналізована науково–технічна актуальність виконання досліджень по даній темі. Визначено планово–кошторисну собівартість та економічну ефективність проведення НДР з урахуванням витрат всіх видів ресурсів. Аналіз даної науково–дослідної роботи показав, що дане дослідження є доцільним з економічної точки зору.

При проведенні аналізу вибору матеріалу обрано сталь марки 10ГН2МФА, що найкраще підходить для роботи в умовах АЕС.

В роботі проаналізовані виробничі умови та сформульовані основні вимоги до охорони праці під час виконання НДР за заданою тематикою. Аналіз умов праці у лабораторії СКМ повністю відповідає вимогам санітарних норм, а рівень шуму не перевищує встановлених допустимих норм.

CONCLUSIONS

In the thesis the microstructure and mechanical properties of steel 10GN2MFA of the main circulation pipeline (GCT) of the NPP are investigated. To study the properties of steel, the control of this metal was performed.

Controls and equipment (metallographic methods, electron microscopy, mechanical tests) used for mechanical tests, hardness measurements, and metallographic analysis were used to control the metal.

The relevance of the use of equipment is considered and it is established that this equipment is widely used for fast and accurate quality control of metal.

The main attention is paid to the statement of principles of a choice of constructional materials, proceeding from features of their work in nuclear power plants. In this regard, some of the most important issues of performance of materials under load, including under the influence of coolants. The scientific and technical relevance of research on this topic is analyzed. The planned and estimated cost and economic efficiency of research, taking into account the cost of all types of resources. The analysis of this research work showed that this study is expedient from an economic point of view.

During the analysis of the choice of material, 10GN2MFA steel was selected, which is best suited for operation in NPP conditions.

The paper analyzes the production conditions and formulates the basic requirements for labor protection during the implementation of research on a given topic. The analysis of working conditions in the SCM laboratory fully meets the requirements of sanitary norms, and the noise level does not exceed the established permissible norms.

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 АЭС 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 АЭС 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 АЭС 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 [Електронний 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.