Шифр роботи «ГЦН»

Тема роботи: «Комплексна оцінка порівняльної ефективності обробки валу атомного насосу ГЦН-317»

Анотація

Робота присвячена актуальному питанню з дослідження впливу термічної обробки на структуру та властивості вала атомного насосу зі сталі 14Х17Н2. Найбільш простим способом отримання необхідного рівня механічних властивостей в сталі є оптимізація режимів термічної обробки з метою створення температурно-стійкої структури з певним поєднанням структурно-фазових станів.

Мета роботи – підвищення експлуатаційних властивостей валу атомного насосу ГЦН-317, виготовленого з мартенситно-феритної сталі 14Х17Н2, за рахунок реалізації оптимальних режимів термічної обробки.

Об'єкт дослідження – вплив різних режимів термічної обробки на стійкість проти міжкристалічної корозії, на механічні властивості валу атомног насосу з мартенситно–феритної сталі 14Х17Н2.

Предмет дослідження – структура, механічні та експлуатаційні властивості зразків із корозійностійкої, високоякісної, високолегованої сталі 14Х17Н2 після різних режимів термічної обробки.

Методи досліджень – металографічний аналіз, вимірювання показників міцності, пластичності і твердості, випробування на стійкість проти міжкристалічної корозії.

Наукова новизна отриманих результатів. Розроблений новий метод термічної обробки валу атомного насосу ГЦН-317 зі сталі 14Х17Н2 (відпал, гартування та подвійний відпуск), який забезпечує виробу особливий комплекс властивостей та характеристик.

Ключові слова: НАСОС, ВАЛ, СТАЛЬ, 14Х17Н2, КОРРОЗІЙНА СТІЙКИСТЬ, ГАРТУВАННЯ, ВІДПАЛ, ВІДПУСК.

ЗМІСТ

ВСТУП……... 2

РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛІ «ВАЛ НАСОСА»……..……..…….. 3

1.1 Аналіз умов роботи деталі…… 7

1.2 Причини виходу з ладу деталі…….. 8

РОЗДІЛ 2 МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ…….. 8

2.1 Матеріал дослідження……..... 8

2.2 Металографічний аналіз……..…….…..... 11

2.3 Випробування на стійкість проти міжкристалічної корозії …….. 12

2.4 Визначення механічних властивостей…….. 14

РОЗДІЛ 3 ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ…..……..... 16

3.1 Обґрунтування вибору методу термічної обробки…….…… 16

3.2 Металографічний аналіз…… 18

3.3 Результати випробувань на стійкість проти міжкристалічної корозії…… 23

3.4 Результати випробувань механічних властивостей…… 25

ВИСНОВКИ…….. 28

СПИСОК ВИКРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…… 29

ДОДАТОК А

ДОДАТОК Б

ДОДАТОК В

ДОДАТОК Г

ДОДАТОК Д

ВСТУП

Актуальність роботи пов’язана із підвищення корозійної стійкості, пластичних характеристик і ударної в'язкості валу атомного насосу, виготовленого зі сталі 14Х17Н2. Даний матеріал застосовують для виготовлення складно навантажених деталей в судновому, атомному машинобудуванні, які сприймають значні різноспрямовані динамічні навантаження, наприклад, кріплення, вали тощо. В результаті цього підвищується строк експлуатації даного виробу, що значно може скоротити витрати в подальшому на його ремонти або заміну.

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

Задачі досліджень:

– провести термічну обробку зразків мартенситно-феритної сталі 14Х17Н2;

–провести мікро- та макроструктурний аналіз, випробувати зразки на стійкість до міжкристалічної корозії (МКК), визначити механічні властивості та порівняти результати випробувань зразків після проведення термічної обробки за різними режимами;

– визначити оптимальний режим термічної обробки для покращення властивостей валу насосу ГЦН-317, виготовленого із мартенситно-феритної сталі 14Х17Н2;

– зробити висновки про проведену роботу і дати рекомендації.

Об’єкт дослідження – вплив різних режимів термічної обробки на стійкість до МКК, механічні властивості вала атомного насоса.

РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛІ «ВАЛ НАСОСА»

1.1 Аналіз умов роботи деталі

Атомна енергетика – галузь енергетики, що займається одержанням і використанням ядерної енергії [1]. Атомна енергетика відноситься до державної стратегічної галузі тому роботи пов'язані з вдосконаленням, дослідженням і вивченням є актуальними. Для одержання ядерної енергії використовують ланцюгову ядерну реакцію ділення ядер ізотопів урану або плутонію. Ядра діляться при влученні в них нейтрона, при цьому утворюються нові нейтрони та уламки поділу, які мають велику кінетичну енергію. У результаті зіткнень осколків з іншими атомами ця кінетична енергія швидко перетворюється на тепло. До ядерної енергетики відноситься використання керованих реакцій у ядерних реакторах. Ядерна енергія виробляється на атомних електричних станціях, використовується на атомних криголамах, атомних підводних човнах. Розвиток індустріального суспільства спирається на рівень виробництва та споживання різних видів енергії, що постійно зростає. Як відомо, в основі виробництва теплової та електричної енергії лежить процес спалювання викопних енергоресурсів – вугілля, нафти та газу, а в основі ядерної енергетики – поділ ядер атомів урану та плутонію при поглинанні нейтронів [1].

Відомо, що органічні викопні ресурси, навіть якщо взяти до уваги вірогідне уповільнення темпів зростання енергоспоживання, будуть значною мірою витрачені в нашому столітті. Крім того при спалюванні викопного вугілля та нафти, що мають сірчистість близько 2,5 %, щорічно утворюється до 400 млн т сірчистого газу та оксидів азоту, тобто близько 70 кг шкідливих речовин на кожного жителя Землі щороку [2].

Атомна електростанція – електростанція, в якій атомна (ядерна) енергія перетворюється в електричну. Генератором енергії на АЕС є атомний реактор. Тепло, яке виділяється в реакторі внаслідок ланцюгової реакції поділу ядер деяких важких елементів, перетвориться в електроенергію (рис. 1.1). На відміну від теплоелектростанцій, що працюють на органічному паливі, АЕС працює на ядерному пальному [3].

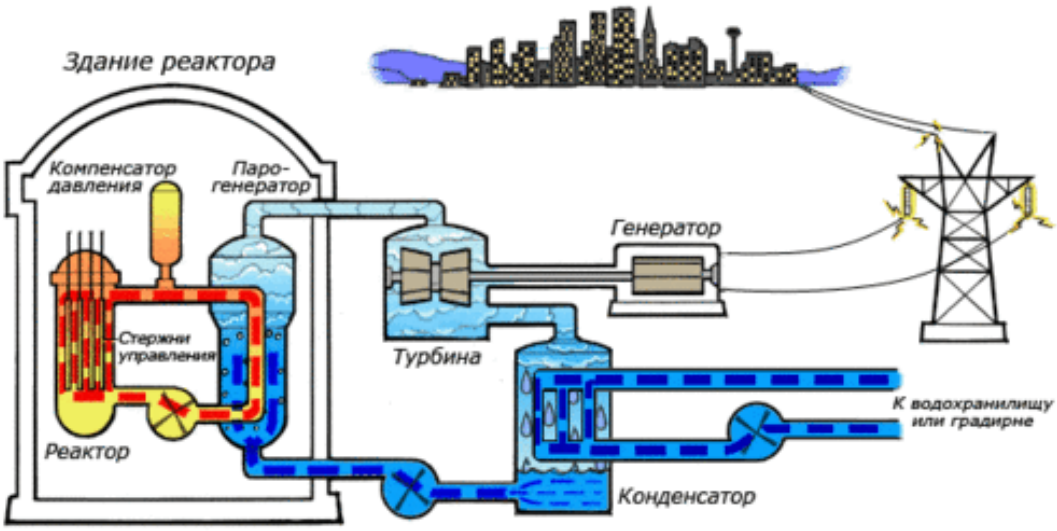


Рисунок 1.1 – Схема роботи атомної електростанції [3]

Атомні електростанції є перспективними і їх дослідження та вдосконалення є перспективним. В даній роботі ми дослідимо деталь «вал», яка є відповідальною деталлю насоса, який є частиною реакторної установки атомної електростанції.

Реакторна установка (РУ) – комплекс систем і елементів енергоблоку, призначених для перетворення ядерної енергії в теплову. РУ включає в себе безпосередньо пов'язані з нею системи, необхідні для його нормальної експлуатації, аварійного охолодження, аварійного захисту і підтримки в безпечному стані, за умови виконання необхідних допоміжних і забезпечувальних функцій іншими системами.

Реакторна установка включає в себе наступні основні системи першого контуру (рис.1.1) [4]:

• головний циркуляційний контур (1,2,3) (ГЦК);

• систему підтримки тиску в першому контурі (4);

• систему захисту першого контуру від перевищення тиску (5);

• пасивну частину системи аварійного охолодження зони (6) (систему гідроакумуляторів).

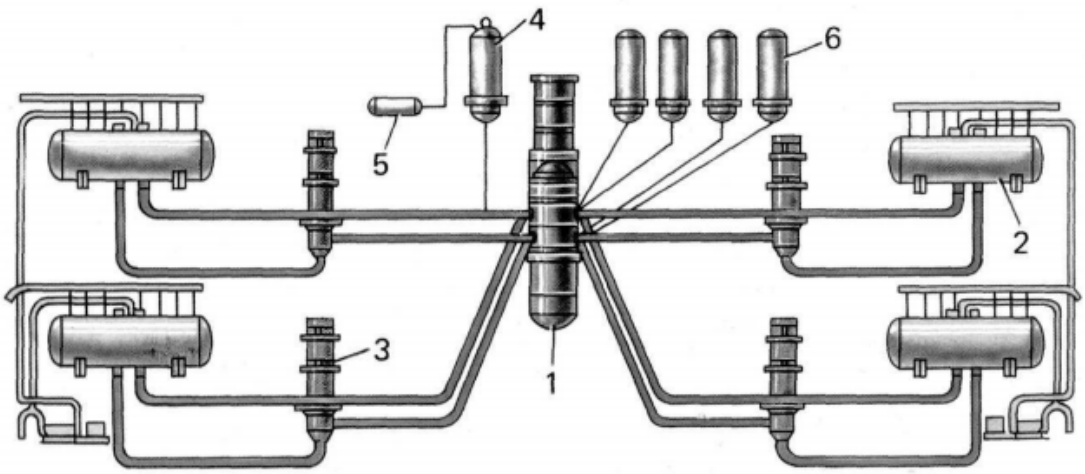


Рисунок 1.2 – Реакторна установка [4]

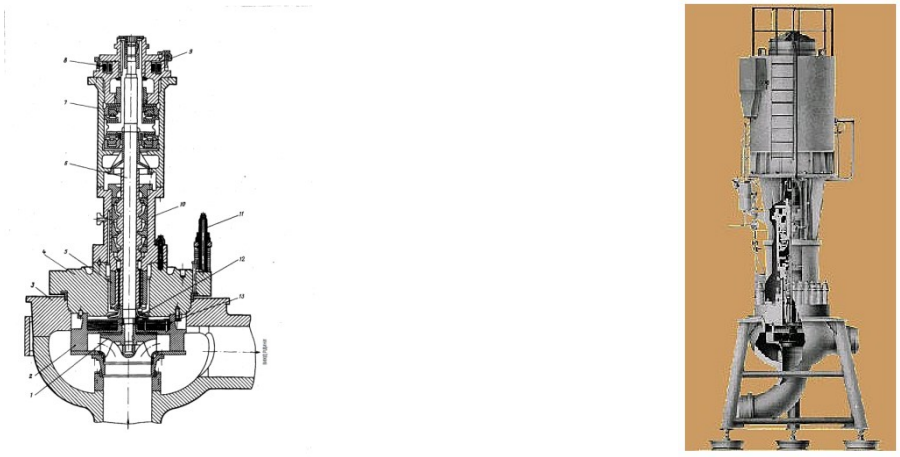
До складу ГЦК входять: ядерний енергетичний реактор ВВЕР 1000 (1) корпусного типу з водою під тиском; чотири циркуляційні петлі, кожна з яких складається з: парогенератора (2) ПГВ 1000М; головного циркуляційного насоса (3) ГЦН-317; головних циркуляційних трубопроводів умовним діаметром 850 мм (ДУ 850), що з'єднують обладнання петель з реактором [4].

Головний циркуляційний насос ГЦН-317 призначений для:

• створення циркуляції теплоносія першого контуру через активну зону реактора в режимах роботи РУ на потужності, в режимах розігріву і розхолоджування;

• розігрів обладнання і трубопроводів першого контуру для пуску і проведення гідро-випробувань за рахунок перетворення кінетичної енергії робочого колеса в теплову енергію теплоносія. Крім того, ГЦН несе додаткову захисну функцію: при аваріях пов'язаних із знеструмленням секцій нормальної експлуатації вибіг дозволяє здійснювати плавний вихід на режим природної циркуляції. Ця функція дозволяє не отримати перегрів палива до початку тепловідведення за рахунок природної циркуляції [4].

Основна вимога, що пред'являлася до ГЦН на початку розвитку атомної енергетики, зводилася до повної відсутності протікань, що істотно ускладнювало і здорожувало конструкцію насоса. Робоче колесо, електродвигун і вал були герметизовані в загальному корпусі, що сполучається з трубопроводами контуру. Для зменшення таких протікань розроблені механічні ущільнення валу насоса і відносно нескладні допоміжні контури ущільнюючої води [4, 5].



а б

Рисунок 1.3 – ГЦН – 317 [6]:

а: 1 - робоче колесо; 2 – направляючий апарат; 3 – корпус; 4 – фланець; 5 – підшипник; 6 – вал; 7 – радіально-осьовий підшипник; 8 – електромагнітний розвантажувальний пристрій; 9 – прокладка; 10 – блок ущільнення; 11 – шпилька

Вал насоса є базовою деталлю ротора, на який при роботі насоса діють

знакозмінні навантаження. Максимальний діаметр його зазвичай вибирають в місці посадки робочих коліс, далі до обох кінців поступово зменшуються для установки втулок та других деталей ротора. Вал є одним з найважливіших елементів пристрою насоса. Уступ для упору робочих коліс повинен бути виконаний строго перпендикулярно осі насоса. Осі пазів шпон повинні лежати в площині та проходити через вісь вала [6].

1.2 Причини виходу з ладу деталі

Відомо, що до найбільш розповсюджених виходів з ладу відносяться циклічна втома і механічний знос.

- циклічна втома - процес поступового накопичення ушкоджень матеріалу під дією змінної напруги, що призводить до зміни властивостей, утворення тріщин, їх розвитку і руйнування матеріалу. Втома ГЦН може виникнути в результаті циклів напруги/деформацій, викликаних коливаннями навантажень і температур, що повторюються;

- механічний знос - зазвичай характеризується механічними діями. Коливання ГЦН є вимушеними і обумовлені, в основному, коливаннями, витікаючими від обертання валу.

Таблиця 1.1

Причини виходу з ладу [6]

Механізми старіння	Ефект старіння	Параметри, що визначають старіння	Методи контролю ефекту старіння
Циклічна втома	Зміна фізико-механічних якостей	Межа міцності, межа плинності, відносне подовження, відносне звуження	Неруйнівні методи контролю механічних властивостей
	Тріскання	Відсутність/наявність дефектів, їх геометричні параметри, координати	Періодичний неруйнівний контроль стану металу
	Руйнування	Значення накопичений втомний ушкодження	Розрахунки на циклічну міцність. Контроль кількості циклів вантаження
Механічний знос	Тріскання	Відсутність/наявність дефектів (ушкоджень)	Періодичний контроль стану металу

РОЗДІЛ 2 МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Проаналізувавши умови роботи вала насоса ГЦН-317, вимоги, які висуваються до даного виробу приймаємо рішення щодо вибору матеріалу деталі «вал» - сталь 14Х17Н2. Сталь марки 14Х17Н2 широко застосовується для виготовлення обладнання для атомних електростанцій. Виходячи з рекомендацій довідникової літератури сталь марки 14Х17Н2 містить значну кількість хрому та нікелю, не схильна до МКК, відрізняється високою корозійною стійкістю. В ході виконання роботи доведемо, або спростуємо дану тезу.

2.1 Матеріал дослідження

Сталь 14Х17Н2 (раніше відома як ЭИ268) по ГОСТ 5632-72 «Сталі високолеговані і сплави корозійностійкі, жаростійкі та жароміцні мартенситно-феритного класу, відноситься до групи корозійностійких (нержавіючих) сталей і сплавів, що володіють стійкістю проти електрохімічної та хімічної корозії (атмосферної, грунтової, лужної, кислотної, сольовий), міжкристалічної корозії, корозії під напругою і т.д. Після термічної обробки по раціональним режимам володіє високою міцністю і пластичними властивостями в поєднанні з досить високою ударною в'язкістю. У таблиці 1.1 наведено її хімічний склад.

Основним призначенням сталі 14Х17Н2 є виготовлення робочих лопаток, дисків, втулок та інших кріпильних деталей, що працюють в умовах невисоких температур. Найбільш широке застосування отримала в атомній, хімічній, авіаційній, суднобудівельній та інших галузях промисловості. Згідно ГОСТ 5632-72 в сталях даного класу передбачається присутність в структурі після охолодження на повітрі з високотемпературного стану крім мартенситу не менше 10% фериту. Структурно вільний ферит виділяється у вигляді смуг.

Сталь 14Х17Н2 відрізняє:

– відмінна стійкість до підвищених температур (понад +500°С), причому при +400°С ця сталь працює в звичайному режимі;

– видима ефективність роботи при коливаннях температури і її значному зниженні;

– підвищена стійкість до різного роду механічних впливів і пошкоджень;

– хороша стійкість до корозійного впливу і згубного впливу з боку агресивних середовищ (кислот, вологості і навіть лугів).

Дослідження проводили на кількох зразках зі сталі 14Х17Н2 мартенситно-феритного класу, хімічний склад та механічні властивості наведені в таблиці 2.1 і 2.2.

Таблиця 2.1

Хімічний склад зразків сталі 14Х17Н2 (ГОСТ 5632-72)

Сталь, марка	Вміст елементів, % по масі											
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	W	V	Mo	Cu	Ti
14Х17Н2	0,11	0,4	0,38	0,004	0,028	17,16	1,61	0,02	0,04	0,07	0,13	0,005

Таблиця 2.2

Механічні властивості мартенситно-феритних сталей (ГОСТ 5949-75)

Сталь, марка	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B, МПа	δ_5, %	ψ, %	KCU, Дж/см^2
	не менше				
14Х17Н2	903	1148	20	58	59

Структура металу сталі визначаю по діаграмі Шеффлера (рисунок 2.1). Для визначення структури металу необхідно за відомим хімічним складом підрахувати еквіваленти хрому і нікелю і з відповідних точок на координатних осях провести прямі. Точка перетину прямих вказує на структуру металу.

$$Ni_E = Ni + 30C + 0{,}5Mn + 30N + 10B$$

$$Ni_E = 1{,}61 + 30 \cdot 0{,}11 + 0{,}5 \cdot 0{,}38 + 30 \cdot 0 + 10 \cdot 0 = 5{,}1$$

$$Cr_E = Cr + 1{,}25Mo + 1{,}5Si + 0{,}5Nb + 3{,}5Ti + 2Al + W + V$$

$$Cr_E = 17{,}16 + 1{,}25 \cdot 0{,}07 + 1{,}5 \cdot 0{,}4 + 0{,}5 \cdot 0 + 3{,}5 \cdot 0{,}005 + 2 \cdot 0 +$$

$$+0{,}02 + 0{,}04 = 17{,}93$$

Встановлено, що дана сталь відноситься до мартенситно-феритного структурного класу.

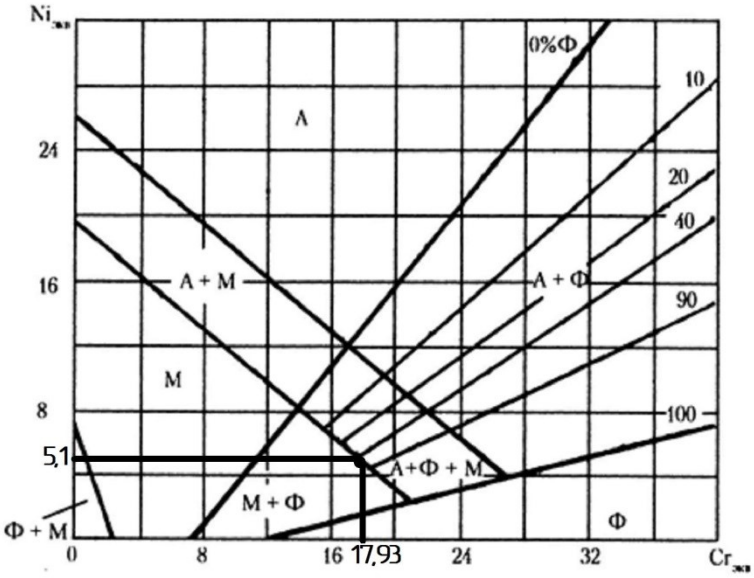


Рисунок 2.1 – Визначення структурі сталі за діаграмою Шеффлера

На підставі діаграми Шефлера проводжу розрахунок кількості фериту виходячи з значень Ni_E і Cr_E:

$$\Phi = 1{,}05Cr_E + 5{,}31 - \sqrt{1{,}1Cr_E^2 - 35{,}4Cr_E + 45{,}7Ni_E + 284}, \% \qquad (2.1)$$

$$\Phi = 1{,}05 \cdot 19{,}04 + 5{,}31 - \sqrt{1{,}1 \cdot 19{,}04^2 - 35{,}4 \cdot 19{,}04 + 45{,}7 \cdot 5{,}1 + 284} =$$

$$= 19{,}99 + 5{,}31 - \sqrt{398{,}77 - 674{,}02 + 233{,}07 + 284} = 9{,}75\%$$

Встановлено, що сталь 14Х17Н2 має структуру перехідного класу (ферито-мартенситного). Як видно з діаграми, зміна кількості основних елементів суттєво змінить положення визначеної точки на діаграмі, що буде означати, що сталь стала мати інший структурний клас. Даний факт буде суттєво впливати на властивості виробу. Крім того було встановлено кількість фериту в структурі, яка становить 9,75%.

В ході роботи, для отримання оптимальних режимів термічної обробки, було проведена термічна обробка за шістьма різними режимами (таблиця 2.3):

Таблиця 2.3

Технологічні параметри термічної обробки сталі 14Х17Н2

№ режиму	Вид ТО	Температура, °С	Час, годин.	Охолоджуюче середовище
1	Відпал	800	10-20	з піччю
	Гартування	1020-1050	0,5	повітря
	Відпуск	600	5	повітря
2	Відпал	800	10-20	з піччю
	Гартування	980-1020	0,5	масло
	Відпуск	680-700	5	повітря
3	Відпал	800	10-20	з піччю
	Гартування	1040-1050	0,5	масло
	І-ий відпуск	600-610	4,5-5	вода
	ІІ-ий відпуск	620-650	3,5-4,5	вода
4	Відпал	800	10-20	з піччю
	Гартування	950-1040	0,5	масло
	Відпуск	580-600	5	повітря
5	Відпал	800	10-20	з піччю
	Гартування	950-1040	0,5	масло
	Відпуск	580-600	5	вода
6	Відпал	800	10-20	з піччю
	Гартування	1040-1050	0,5	масло
	І-ий відпуск	600-610	4,5-5	повітря
	ІІ-ий відпуск	620-650	3,5-4,5	повітря

2.2 Металографічний аналіз

Металографічний аналіз сплавів – це метод дослідження металів і сплавів, що дозволяє візуально вивчити такі деталі внутрішньої будови сплаву, як раковини, пори, текстуру, зернову будову полікристалів і тонкі деталі будови зерна (стан кордонів, наявність дисперсних включень і т.д.).

Дослідження структури металів і сплавів зазвичай проводяться за допомогою металографічного мікроскопа, але іноді, коли можна обійтися меншими збільшенням – за допомогою лупи і навіть неозброєним оком. Залежно від цього розрізняють металографічний мікро- і макроаналіз [7].

Макроаналіз дозволяє визначити в металі величину, форму і розташування зерен, дендритність або волокнистість будови, ліквацію, усадкову рихлість, газові пори, раковини, тріщини і т.д.

Мікроаналіз – дослідження структури металу за допомогою мікроскопа, тобто при великих збільшеннях. Для виявлення мікроструктури шліфи піддають травленню. Для цього частіше застосовують слабкі спиртові або водні розчини кислот або лугів, а також суміші різних кислот. Таким чином, за допомогою травлення вдається виділити окремі структурні складові та межі зерен.

2.3 Випробування на стійкість проти міжкристалічної корозії

Міжкристалічною корозією (МКК) називається такий вид корозії, при якому руйнування піддаються переважно кордони зерен металу. Внаслідок цього процесу слабшають зв'язки між зернами, виникають тріщини, що призводять до крихкого руйнування металу.

Міжкристалічна корозія характерна для нержавіючої сталі, особливо на ділянках зварювання, і характеризується відносно рівномірним розподілом множинних тріщин на великих ділянках поверхні конструкцій. Глибина тріщин зазвичай менше, ніж їх розміри на поверхні.

Метод АМУ (А – літерне найменування методів, М – присутність в розчині для випробувань металевої міді, У – прискорені випробування) полягає в тому, що зразки сталей витримують в киплячому водному розчині сірчанокислої міді і сірчаної кислоти в присутності металічної міді (стружка) (рисунок 2.2) [8].

Для проведення випробувань застосовують такі реактиви:

– мідь сірчанокислу ($CuSO_4$-$5H_2O$) по ГОСТ 4165 або мідний купорос по ГОСТ 19347;

– кислоту сірчану по ГОСТ 4204 щільністю 1,83 г/см^3;

– воду дистильовану за ГОСТ 6709;

– мідь у вигляді стружки по ГОСТ 859;

– кислоту соляну за ГОСТ 3118 щільністю 1,19 г/см^3;

– кислоту азотну по ГОСТ 4461 щільністю 1,40 г/см^3 [8].

Зразки для проведення випробувань мають розміри L = 80 мм, B = 20, s = 3-5 мм (рисунок 2.3).

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

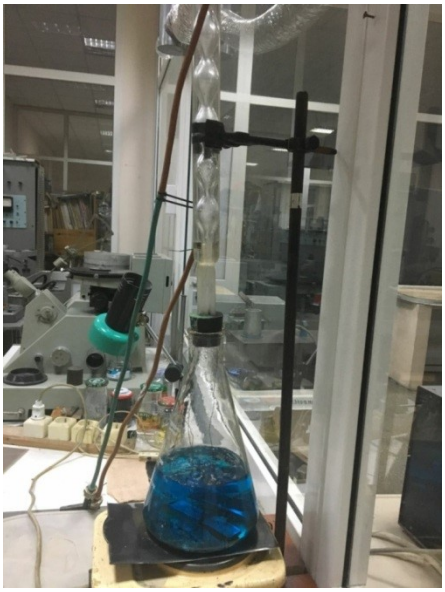


Рисунок 2.2 – Проведення випробування на схильність проти МКК.

Рисунок 2.3 – Зразки зі сталі 14Х17Н2 для випробування на схильність проти МКК.

Випробування проводять в скляній колбі зі зворотним холодильником. Допускається завантаження зразків однієї і тієї ж марки сталі в кілька рядів за умови, що ряди зразків, між якими повинна знаходитися мідна стружка, не будуть стикатися один з одним. Завантаження зразків різних марок сталей в одну і ту ж колбу не допускається. Потім колбу заповнюють розчином для випробувань близько 4-8 см^3 на 1 см^3 поверхні зразка, при цьому рівень розчину повинен бути на 1,0-1,5 см вище поверхні зразків або шару стружки. Реакційний посудину з розчином і зразками для випробування нагрівають і безперервно кип'ятять, не допускаючи нагрівання холодильника. Тривалість

витримки в киплячому розчині (2,0 ± 0,25) год. Після витримки в розчині зразки промивають водою і просушують. При відкладенні на зразках шару міді, незмивним струменем води, його видаляють, промиваючи зразки в 20%, 30%-ому розчині азотної кислоти при температурі від 20°С до 25°С [8].

Після закінчення випробувань на схильність проти МКК зразки згинають на кут 90°±5°.

2.4 Визначення механічних властивостей

Для визначення механічних властивостей зразків сталі 14Х17Н2 використовую наступні методи:

– статичні, коли навантаження зростає повільно і плавно (випробування на розтяг, твердість);

– динамічні, коли навантаження зростає з великою швидкістю (випробування на ударний вигин).

При випробуванні на розтяг визначаю межу міцності (σ_B), межу плинності (σ_T), відносне подовження (δ) і відносне звуження (ψ). Випробування проводжу на розривних машинах МР-200 (рисунок 2.4) з використанням стандартних зразків (тип III за ГОСТ 1497-84) з площею поперечного перерізу F_o і робочої (розрахункової) довжиною l_o.

Рисунок 2.4 – Розривна машина МР-200

Деталі машин і елементи сталевих конструкцій часто сприймають ударні навантаження. Міцність матеріалу, визначена при плавному навантаженні, не може дати уявлення про працездатність матеріалу при динамічних навантаженнях. Метал може бути дуже міцним при статичних навантаженнях і в той же час легко розколюватися від ударів [9].

Твердість – властивість металів чинити опір проникненню в них інших, більш твердих тіл. Твердість визначає багато експлуатаційні властивості металу, опір стиранню, ріжучі властивості інструменту для обробки металів, ерозійну стійкість і т.д. По твердості іноді можна непрямим шляхом визначити межу міцності і текучості металу, не вирізаючи зразків. Більшість методів визначення твердості засноване на принципі вдавлення в випробуваний метал більш твердого кульки, конуса або піраміди [9].

Для випробування твердості металів і сплавів застосовую твердомір Брінеллю типу 5004 ТБ (рисунок 2.5).

Рисунок 2.5 – Твердомір Брінеллю типу 5004 ТБ

Випробування на твердість по Брінеллю проводять вдавленням у випробуваний метал загартованого сталевого кульки силою Р. Після зняття навантаження на поверхні деталі або зразка залишається відбиток від кульки у вигляді кульового сегмента. Твердість по Бринелю позначається НВ. Вона дорівнює відношенню навантаження на кульку, вираженої в кГ, до площі відбитка в мм.

РОЗДІЛ 3 ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Обґрунтування вибору методу термічної обробки

Перший етап проведених досліджень полягав у пошуку оптимальної термічної обробки як важливого технологічного фактора, що обумовлює структурно-механічну поведінку сталі, і був спрямований на визначення видів застосовуваних операцій, їх послідовності і параметрів для кожної стадії (температури, часу витримки, швидкості охолодження, середовища нагріву і охолодження). Були проаналізовані структура, стійкість сталі проти міжкристалічної корозії і відповідні механічні властивості трьох типів – межі плинності і міцності, відносне звуження і подовження, твердість.

Першою частиною варіювання параметрів термічної обробки було визначення оптимальної температури витримки зразків досліджуваних сталей при проведенні гартування та швидкості охолодження зразків досліджуваних сталей в різних умовах (масло, вода, повітря).

В роботі було випробувано 6 режимів термічної обробки (рисунки 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6) в різних умовах, наведених у таблиці 2.3. Поділ по виду охолодження зроблений відповідно до загальноприйнятої класифікації видів термічної обробки.

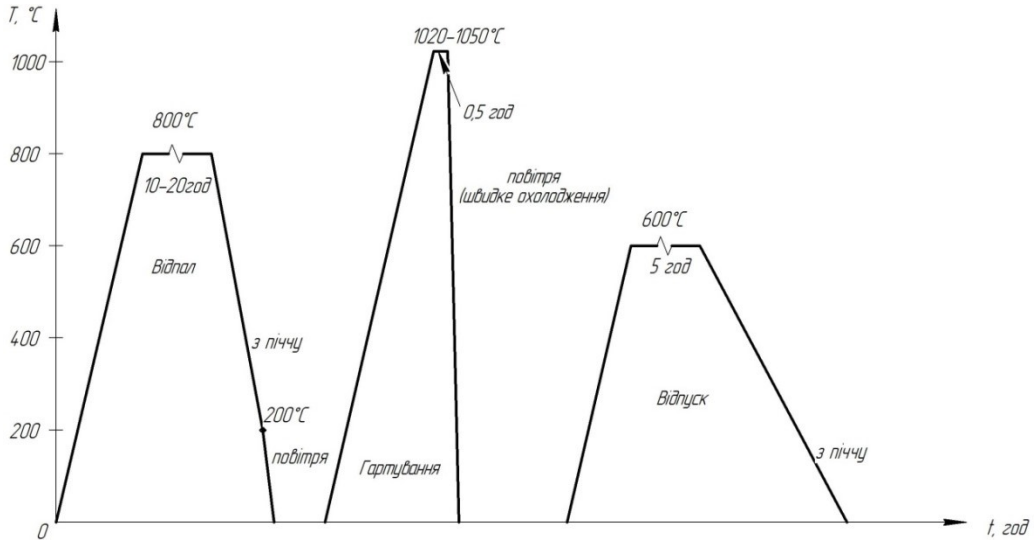


Рисунок 3.1 – Термічна обробка зразків сталі 14Х17Н2 (режим №1)

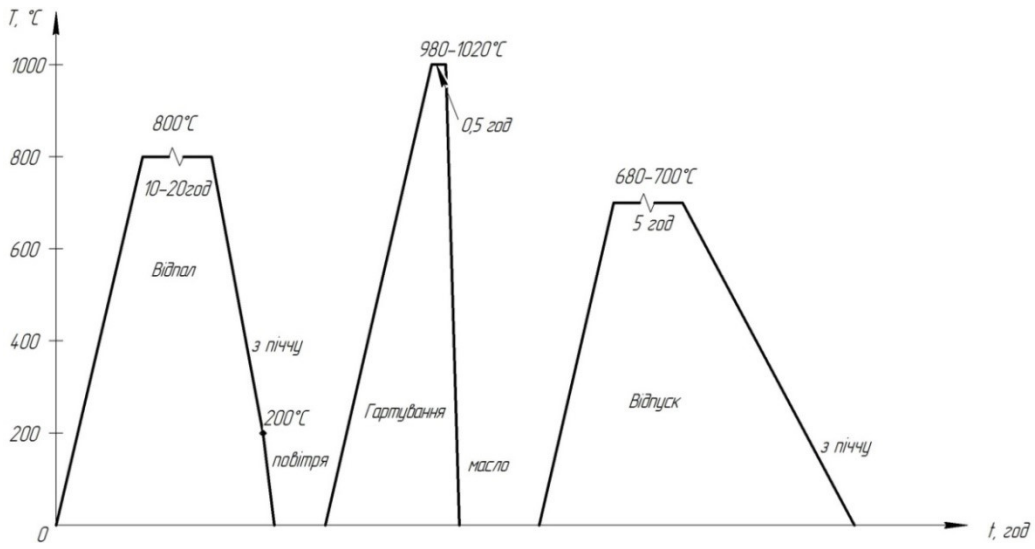


Рисунок 3.2 – Термічна обробка зразків сталі 14Х17Н2 (режим №2)

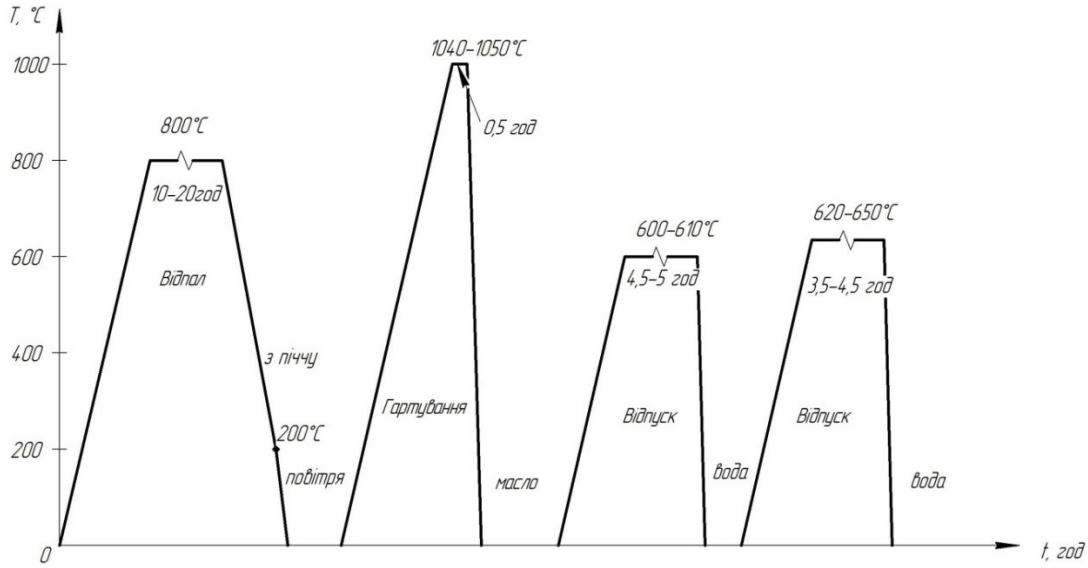


Рисунок 3.3 – Термічна обробка зразків сталі 14Х17Н2 (режим №3)

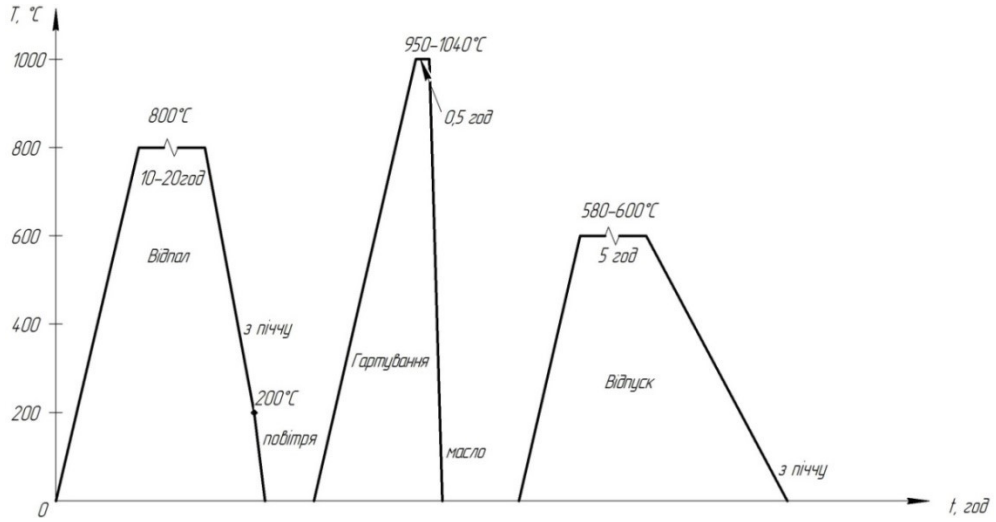


Рисунок 3.4 – Термічна обробка зразків сталі 14Х17Н2 (режим №4)

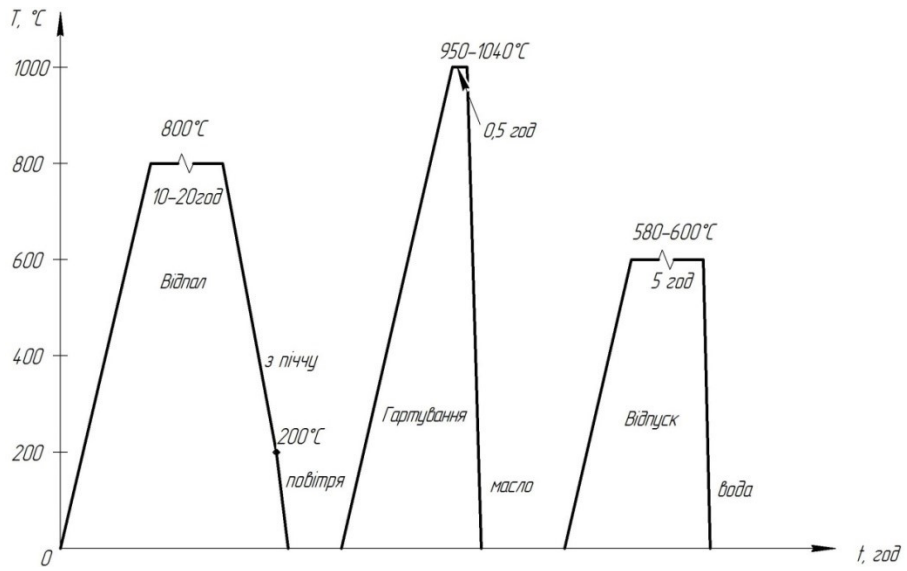


Рисунок 3.5 – Термічна обробка зразків сталі 14Х17Н2 (режим №5)

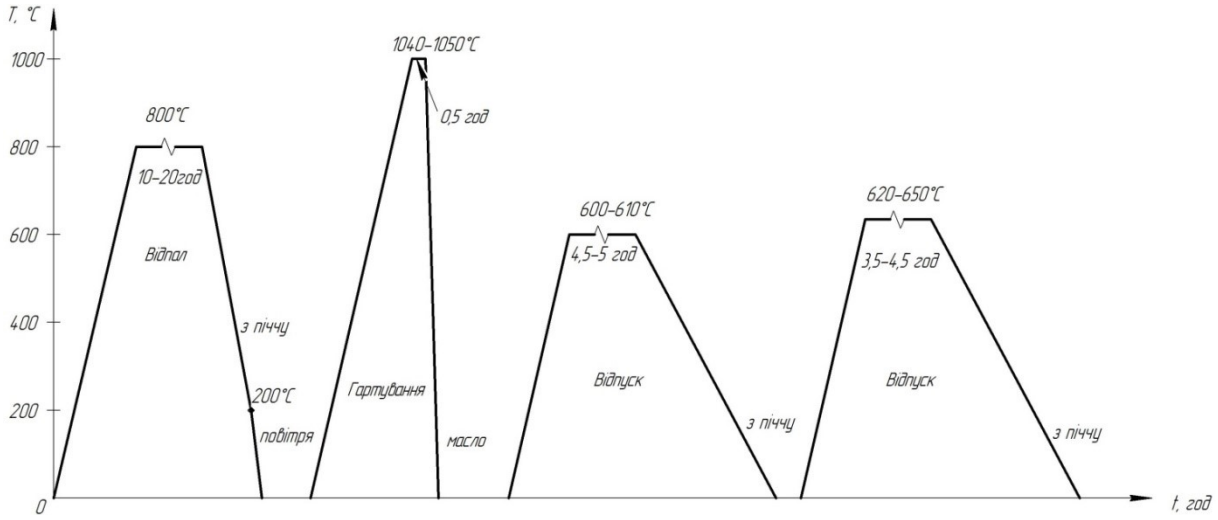
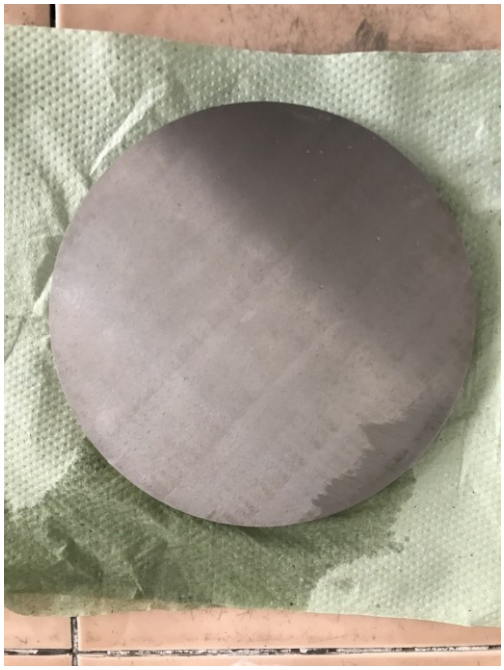


Рисунок 3.6 – Термічна обробка зразків сталі 14Х17Н2 (режим №6)

3.2 Металографічний аналіз

На першому етапі проводими макроструктурний аналіз (рис.3.7). Результати макроструктурного аналізу були отримані за допомогою лупи, без застосування мікроскопів.

а



б

в

Рисунок 3.7 – Макроструктурний аналіз сталі 14Х17Н2 (а), темплет зі сталі 14Х17Н2 для випробування: б- до випробування, в- після випробування

Таким чином була встановлена наявність чотирьох типів дефектів: точкова неоднорідність, центральна пористість, загальна п’ятниста ліквація і світла смужка (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1

Оцінка дефектів сталі 14Х17Н2

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

Виявлені дефекти і розміри їх практично не впливають на функціонування деталі і є допустимими для відповідальних високоякісних сталей з яких виготовляють відповідальні деталі, в тому числі і для валів атомних насосів.

В роботі були отримані та дослідженні мікроструктури структури після відповідних режимів термічної обробкии. Досліджували на мікроскопі МИМ-7. Порівняльний аналіз отриманий після різних режимів термічної обробки (рис.3.1-3.6) дозволяє прогнозувати деякі властивость та характеристики виробів.

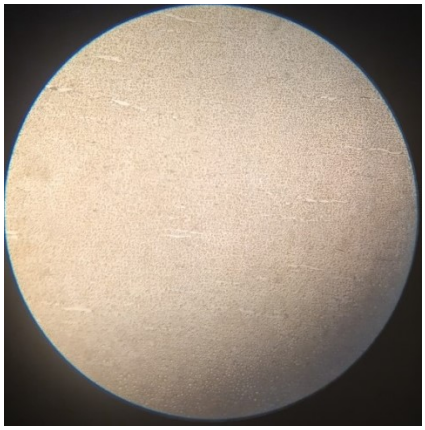
Оскільки досліджувана сталь по структурі належить до мартенситно-феритного класу, домогтися перетворення всієї феритної фази в аустеніт

неможливо ні за яких температур нагріву – в структурі завжди присутній δ-ферит [10]. В результаті структура після охолодження являє собою комбінацію з двох складових – мартенситу і δ-фериту.

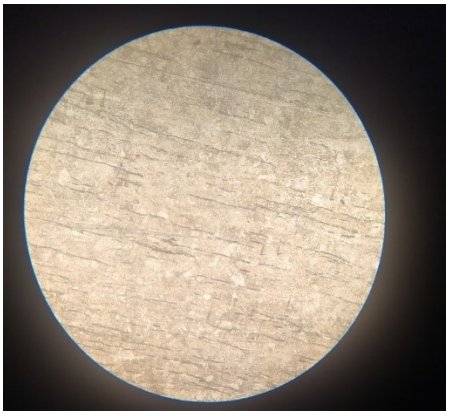
Результати розрахунків (розділ 2) знайшли практичне підтвердження під час проведення металографічного аналізу. А саме, встановлено, що сталь 14Х17Н2 відноситься до мартенситно - феритного класу, при чому кількість δ-фериту становить близько 10 %. Даний результат співпадає з результатами розрахунків (розділ 2) виходячи зі значень Ni_E і Cr_E – 9,75 % фериту.

Структура δ-заліза така ж, як і α-заліза – об'ємно-центрована кубічна. δ-ферит надає суттєвий вплив на будову деяких марок сталей мартенситно-феритного класу і їх подальшу термічну обробку. Ферит (позначають Ф або α-фаза) є твердим розчином впровадження вуглецю в α-Fe з ОЦК-гратами. Оскільки ОЦК-решітка існує в двох температурних областях, в сплавах Fe-C розрізняють низькотемпературний (α-) і високотемпературний (δ) ферит. δ-залізо (δ-ферит) – це один з твердих розчинів в системі залізо-вуглець, високотемпературна модифікація фериту. δ-ферит є алотропічною модифікацій заліза, яка існує при температурі вище 1390°С. Гранична концентрація вуглецю в α-фериті становить 0,025%, а в δ-фериті – приблизно 0,1%. Настільки низька розчинність вуглецю в α-Fe обумовлена малими розмірами пор в кристалічній решітці ОЦК, так що значна частка атомів вуглецю змушена розміщуватися на дефектах (вакансіях, дислокаціях, кордонах зерен). Властивості фериту близькі до властивостей заліза. Тому він є м'якою фазою з відносно низькою твердістю НВ = 80-130, пластичний і має межу міцності $\sigma_в$ = 300 МПа і відносне подовження δ - 30%, він магнітів до 768°С.

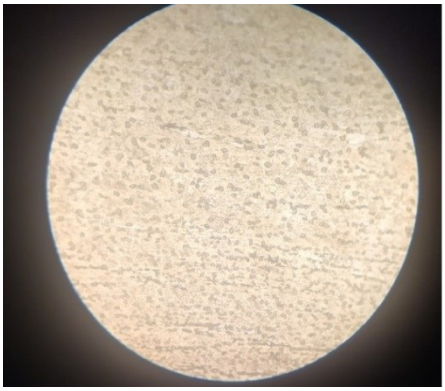
Порівняльний аналіз мікроструктур сталі 14Х17Н2 (рис. 3.8) після різних режимів термічної обробки (таблиця 2.1) надасть можливість зробити висновки та рекомендації щодо оптимального режиму термічної обробки.



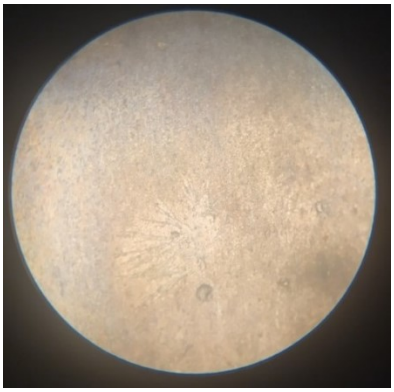
а



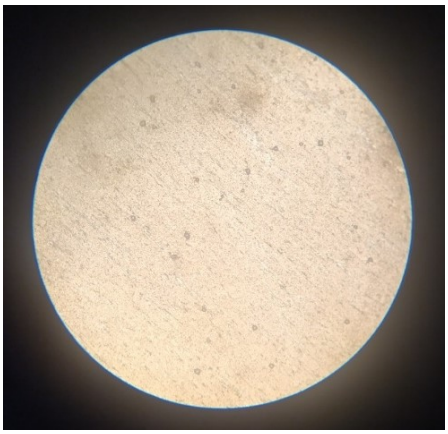
б



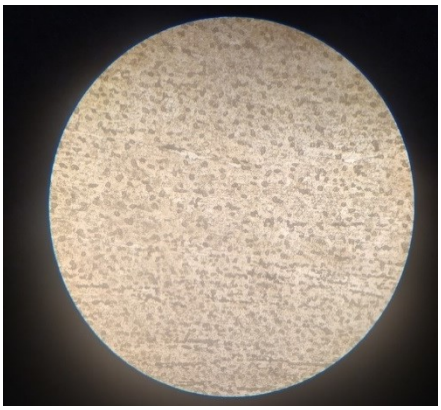
в



г



д



е

Рисунок 3.8 – Структура сталі 14Х17Н2 після різних режимів термічної обробки: а- режим №1; б- режим №2; в- режим №3; г- режим №4; д- режим №5; е-режим №6.

Режим №1 Рівномірне розподілення ділянок ферита.

Режим №2 δ-ферит округлої форми, є карбіди.

Режим №3 Сорбіт відпуска. Рівномірне розподілення карбідної складової в полі зору. Зерна рівномірно розподілені. Невеликі ділянки δ-фериту.

Режим №4 Ферит утворений єдиною ділянкою, локально значних розмірів. Поздовжні зерна фериту відсутні. Коагуляція карбідів не пройшла.

Режим №5 Коагуляція карбідів не пройшла. Оксиди, відокремлені ділянки δ-фериту відсутні.

Режим №6 Сорбіт відпуску. Рівномірне розподілення карбідної складової в полі зору. Зерна рівномірно розподілені. Невеликі ділянки δ-фериту.

Високоміцні корозійностійкі мартенситно-феритні сталі типу Х17Н2 після прискореного охолодження від температури гартування володіють підвищеною пластичністю. Однак для таких сталей, що містять 0,08-0,14 мас. % С, при уповільненому охолодженні від температури гартування і в процесі відпуску пластичність і корозійна стійкість знижуються в результаті виділення карбідів хрому типу $Cr_{23}C_6$ переважно по межах зерен [10].

Проведення двократного високого відпуску забезпечує розпад мартенситу на ферито-карбідну суміш, забезпечуючи стабільний стан відпущеної мартенситної складової.

Перший відпуск забезпечує отримання більш дисперсного перліту або сорбіту, при цьому знижується стійкість до корозії. Після другого відпуску знижується кількість δ-фериту до 25-30%.

3.3 Результати випробувань на стійкість проти міжкристалічної корозії

Умови, що призводять до виникнення міжкристалічної корозії (МКК) в високолегованих сталях, наприклад таких структурних класів, як мартенситно-феритний різні. Однак її поява практично однакова і полягає в тому, що при досить високій загальній корозійної стійкості відбувається виборче розчинення меж зерен металу і виникнення на них нових фаз або сегрегації, що відрізняються за складом від хімічного складу сталі.

Причина виникнення МКК найчастіше – неправильно проведена термічна обробка або проведення технологічних операцій (зварювання, гнуття, штампування) в небезпечному температурному інтервалі. Крім того, МКК може виникати при тривалій експлуатації обладнання при підвищених температурах, а також при неправильному виборі структурного класу сталі або системи легування для певного корозійного середовища. Найбільш правильним є виявлення стійкості проти МКК шляхом випробування в реальних середовищах, проте, це практично неможливо в зв'язку з різноманіттям корозійноактивних середовищ і необхідністю дуже тривалих випробувань.

Попередити МКК можна термічною обробкою, яка забезпечує повне розчинення карбідів хрому або зменшує сегрегацію домішок на межі зерен. При подальшому нагріванні не відбувається небезпечне утворення прикордонних карбідів, і МКК відсутня.

Випробування зразків на стійкість проти МКК показав результати (рис. 3.9, 3.10).

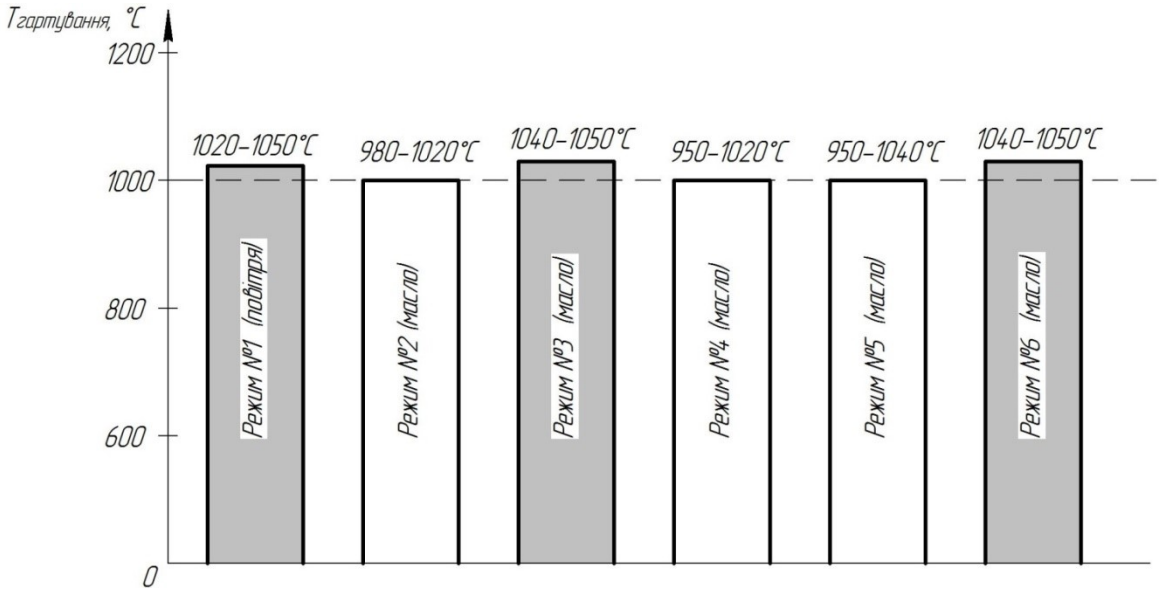


Рисунок 3.9 – Результати випробувань зразків на стійкість проти МКК

(сірим позначені зразки які витримали випробування)

Дану залежність пов’язую з тим, що зразки які піддівали термічній обробці по режимам №1, №3 та №6 були нагріті під гартування вище 1020°С, охолоджені після гартування та відпуску в воді і/або пройшли подвійний

відпуск, що в результаті зменшило кількість виділення карбідів хрому типу $Cr_{23}C_6$. Вуглець утримується в твердому розчині. Цей стан фіксували швидким охолодженням (в воді). Схильність до міжкристалічної корозії була відсутня.

Рисунок 3.10 – Зразки сталі 14Х17Н2 після випробувань на МКК, метод АМУ

3.4 Результати випробувань механічних властивостей

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

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

Пластичні деформації виникають за рахунок утворення руху дислокацій, вони змінюють структуру і властивості металу. Після зняття навантаження деформації залишаються, тобто пластичні деформації мають незворотній характер. Пружний стан існує до тих пір, поки у всіх зернах металу дислокації нерухомі. Перехід до пластичного стану спостерігається в такому інтервалі

навантажень, при яких рух дислокацій (і, отже, пластична деформація) відбувається тільки в окремих кристалічних зернах, а в інших продовжує реалізовуватися механізм пружної деформації. Після перебудови дислокаційної структури (завершення пластичної деформації) метал повертається в пружний стан, але зі зміненими пружними властивостями.

Результати випробувань наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Результати механічних випробувань

№ п/п	Вид випробувань	Значення за кресленням	Режим № 1	Режим № 2	Режим № 3	Режим № 4	Режим № 5	Режим № 6
1	Межа плинності $\sigma_т$, МПа	≥540	824	795	687	835	932	706
2	Відносне подовження δ_5,%	≥8	9,8	14	17	12	12	16
3	Відносне звуження ψ,%	≥25	22	51	58	16,5	47	56
4	Ударна в'язкість KCU, Дж/см^2	≥20	12,75	12,75	20	10	12	34
5	Твердість по Брінелю	228-293HB	255HB	262HB	285HB	277HB	248HB	248HB

Червоним кольором позначені значення, які не відповідають вимогам, які висуваються до готового виробу – валу насоса

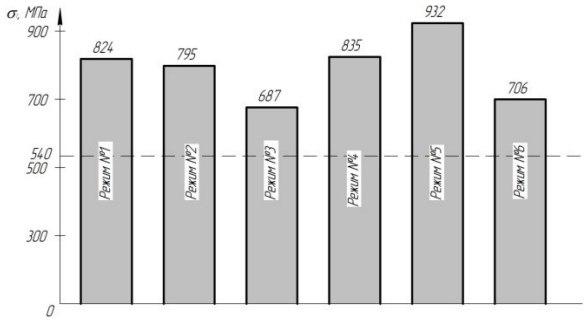


Рисунок 3.11 – Результати випробувань зразків на межу плинності (сірим позначені зразки які витримали випробування)

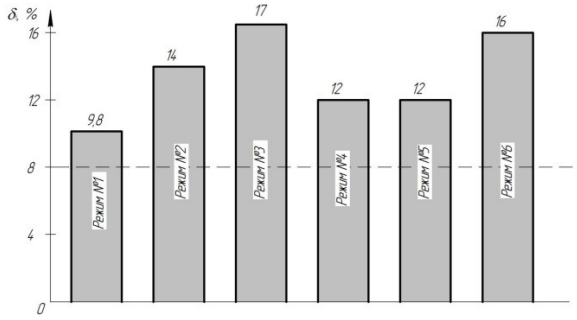


Рисунок 3.12 – Результати випробувань зразків на відносне подовження (сірим позначені зразки які витримали випробування)

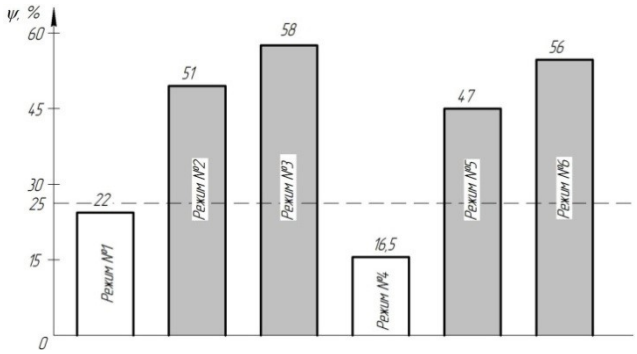


Рисунок 3.13 – Результати випробувань зразків на відносне звуження (сірим позначені зразки які витримали випробування)

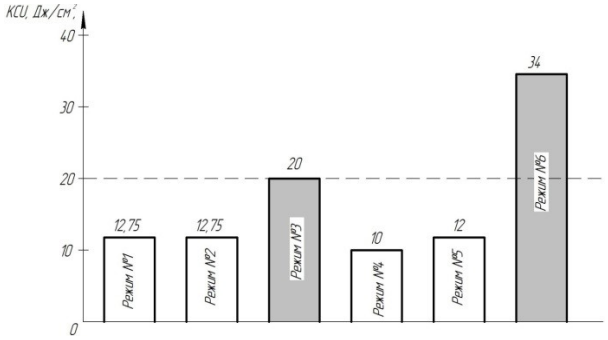


Рисунок 3.14 – Результати випробувань зразків на ударну в’язкість (сірим позначені зразки які витримали випробування)

Визначення ударної в'язкості виконувалось при нормальній температурі по ГОСТ 9454-78; випробування на розтягнення зразків проводилося по ГОСТ 1497-84.

Твердість на всіх зразка знаходиться в діапазоні 228-293 HB, що відповідає значенням твердості для виробів зі сталі 14Х17Н2.

Як видно з результатів досліджень стабільно високі значення пластичних характеристик і ударної в'язкості показали зразки, спосіб термообробки яких включає нагрів стали під загартування при температурі 1040-1050°С, охолодження в маслі, дворазовий відпуск з охолодженням у воді (або повітрі) після кожного відпустки, причому нагрів при першому відпуску ведуть при температурі 600-610°С.

ВИСНОВКИ

Проаналізовано основні положення, принципи роботи, переваги та недоліки перспективної галузі енергетики – атомної. Розглянуто деталь «вал насоса», як основна відповідальна деталь головного циркуляційного насоса ГЦН-317. Встановлено що вал насоса працює при знакозмінних навантаженнях, в умовах високих навантажень та агресивному середовищі. Основними причинами виходу з ладу є механічний знос, циклічна втома, корозія, кавітаційний знос та міжкристалічна корозія. Вимоги, що висуваються до готового виробу: межа плинності ≥540 МПа, відносне видовження ≥8 %, відносне звуження ≥25 %, ударна в'язкість ≥20 %, твердість 228-293НВ.

Робота була спрямована на визначення видів застосовуваних операцій, їх послідовності і параметрів для кожної. Проаналізовані структура, стійкість сталі проти міжкристалічної корозії і відповідні механічні властивості п’яти типів – межі плинності і міцності, відносне звуження і подовження, а також в окремих випадках твердість.

Авторами розроблений новий спосіб термічної обробки мартенситно-феритної сталі 14Х17Н2 для виготовлення вала атомного насоса. Сучасний спосіб термічної обробки мартенситно-старіючої сталі 14Х17Н2 для вала атомного насоса включає гартування при температурі 1040-1050°С з охолодженням в маслі та дворазовий відпуск з охолодженням після кожного відпуску у воді, при цьому, температура нагріву при першому відпуску становить 600-610°С з ізотермічною витримкою від 4,5 до 5,0 годин, температура нагріву при другому відпуску становить 620-650°С з ізотермічною витримкою від 3,5 до 4,5 години, та після дворазового відпуску проводять охолодження на спокійному повітрі. Використання повітря як охолоджуючого середовища дозволяє не застосовувати додаткове обладнання та устаткування для проведення охолодження після кожного високотемпературного відпуску, що в свою чергу призводить до економії часу проведення технологічного процесу.

Список використаних джерел

1. Потак Я.М . Высокопрочные стали. - М.: Металлургия, 1982. - 208 с.

2. Чигал В. Межкристаллитная коррозия нержавеющих сталей // Химия. - 1999. - 232 с.

3. Ланская К. А. Высокохромистые жаропрочные стали. - М.: Металлургия, 1976. - 216 с.

4. Усынин Г.Б., Кусмарцев Е.В. Реакторы на быстрых нейтронах: Учеб. пособ. для вузов / Под ред. Ф.М. Митенкова. М.: Энергоатомиздат, 1985,-288 с.

5. Решетников Ф.Г., Бибилашвили Ю.Х., Головин И.С. и др. Разработка, производство и эксплуатация тепловыделяющих элементов энергетических реакторов / Под ред. Ф.Г. Решетникова. Кн. 1. М.: Энергоатомиздат, 1995,-320 с.

6. Уайэтт Л.М. Материалы ядерных энергетических установок. / Пер. с англ. М.: Атомиздат, 1979, – 256 с.

7. Прокопович І. В. Металознавство: навчальний посібник / І. В. Прокопович. – Одеса : Екологія, 2020. – 308 с.

8. ГОСТ 6032-89. Стали и сплавы коррозионностойкие. Методы испытания на стойкость против межкристаллитной коррозии. Сб. ГОСТов. - М.: Издательство стандартов, 1993

9. ГОСТ 1497-84. Методы испытаний на растяжение. ИПК Издательство стандартов, 1997 г.

10. Азбукин В.Г, Башаева Е.Н, Мещерякова Т.Н. и др. Повышение структурной стабильности мартенситной стали с регулируемым $\alpha \rightarrow \gamma$ превращением при отпуске // МиТОМ. 1982. №9. С. 10-13.

Додаток А

Акт впровадження результатів студентської наукової роботи

в навчальний процес

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор

Сумського державного

університету

доц., к.т.н. В.Д. Карпуша

«____» _____ 2021 р.

АКТ

впровадження матеріалу студентської наукової роботи «Комплексна оцінка порівняльної ефективності обробок валу атомного насосу ГЦН-317» студента

Даним актом затверджується, що результати студентської наукової роботи які представлені на участь в Всеукраїнському конкурсі студентських наукових робіт з напряму «Енергетичне машинобудування» (секція «Енергогенеруючі технології та установки») впроваджено в навчальний процес на факультеті технічних систем і енергоефективних «Металознавство та основи термічної обробки», «Корозія і захист матеріалів», «Леговані сталі і сплави», «Механічні властивості та зносостійкість матеріалів і виробів» спеціальності 132 «Матеріалознавство». До складу курсів включені розділи: літературний огляд, експериментальні дослідження структури, визначення стійкості проти корозії та механічних властивостей. Результати досліджень використовуються при підготовці лекцій, лабораторних робіт, а також курсових та кваліфікаційних робіт.

Декан факультету технічних систем
і енергоефективних технологій,
проф., к.т.н. Гусак О. Г.

Зав. кафедри прикладного матеріалознавства і
технологій конструкційних матеріалів,
к.т.н., доц. Гапонова О. П.

ДОДАТОК Б

Акт впровадження

результатів конкурсної роботи

«КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ПОРІВНЯЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБРОБОК ВАЛУ АТОМНОГО НАСОСУ ГЦН-317»

Цей акт складений про те, що ТОВ «КОМПРЕСОРАТОММАШ» спільно з

проводили роботи, спрямовані на вдосконалення технології підвищення стійкості валу атомного насосу. З метою збільшення твердості, міцності, ударної в'язкості та стійкості проти міжкристалічної корозії запропоновано проводити відповідну термічну обробку.

Цей акт впровадження свідчить про те, що розроблений новий метод термічної обробки валу атомного насосу забезпечує виробу особливий комплекс механічних властивостей та стійкості проти міжкристалічної корозії.

Директор Ковальов А. В.

ДОДАТОК В

Хімічний аналіз сталі 14Х17Н2

TÜV International Certification
TÜV THÜRINGEN
TIC
Система менеджмента качества
ISO 9001
• клиентоориентированность
• удовлетворённость клиента
• непрерывное совершенствование
• действенность системы / действенность процесса
ID 15 100 85905
www.tuev-thueringen.de

Сертифицирована СМК

СЕРТИФІКАТ ЯКОСТІ № 350398

ПРИВАТНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО "ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЙНИЙ ЗАВОД "ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ" ІМ. А.М. КУЗЬМІНА"

Замовник м. найменування

Одержувач м. найменування

Дата відвантаження 00.00.0000

№ Вагону

2019 рік Продукція СТАЛЬ СОРТ.НЕРЖАВІЮЧА Г/КАТ.

КОНТРАКТ № 18138 від 12.06.18

Розмірний ДСТУ 4738-07

№	№ плавки вих.плавка	Марка сталі	Профіль розмір в мм	Довжина, м	Сорт	Точн. прок.	Стан.пост. Відпалення	Місць шт.	Брутто,т Нетто, т	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	W	V	Mo	Cu	Ti	Al	Fe	As	Co	Замов./поз.
										МАСОВА ЧАСТКА ЕЛЕМЕНТІВ, %																
7222 Інші прутки та бруски з корозійностійкої (нержавіючої) сталі 14Х17Н2 ЗИ268 ГОСТ 5949-2018 Круг 170 мм Мірної довжини 4690 мм Відпал Обточування																										
1	A07336	14Х17Н2	КР 170.000	М/Д	1	В1	С/О	1	0,830	0,11	0,34	0,38	0,004	0,028	17,16	1,61	0,02	0,04	0,07	0,13	0,005		основа			3305119142/ 1
				4,690				1	0,820																	
							РАЗОМ:	1	0.830 /	0.820																

№	Механічні властивості: Границя плин-ті Н/мм2	Тимчас. опір Н/мм2	Відносн. видовж. %	Відносн. звужен. %	Ударн. в'язк. Дж/см2	НВ зразка, мм	Термообробка зразків	Макроструктури (бали): ЦЛ	ТН	ЛК	ОЛЛ	КЛЛ	ПУ	ПЛ	МТ	Злам	Неметалеві включення ГОСТ 1778-70 Метод Ш-: ОС	ОТ	СХ	СП	СН	С	НГТИПИ	Зне-вуглецьов. шар	Карб. лік-вація	Струк полос чат.	Прокарюваність HRC3 перліт	HRC карб.с	МКК ГОСТ 6032	Тверд НВ од	Продукція відповідає ГОСТ ТУ
1	903	1148	20	58	59		З.1020-1г.олива	1,5	1,5	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0															234	5949-18 2тп обточ.
	903	1148	20	58	59		В.350-1г.повіт			-«-																					

ДОДАТОК Г

Міністерство освіти і науки України

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МІЖНАРОДНА

НАУКОВА КОНФЕРЕНЦІЯ

«МАТЕРІАЛИ ДЛЯ РОБОТИ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ – 9»

ІФФ'2019

ПРОГРАМА

18 – 19 грудня 2019 р.

Київ, Україна

Місце проведення конференції

Україна, Київ, проспект Перемоги 37, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Інженерно – фізичний факультет, корпус 9, ауд. № 203 (18 грудня), ауд. № 203 (19 грудня)

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Академік НАН України, д.т.н., проф. І.В. Кривцун, *Україна*
член-кор. НАН України, д.т.н., проф. Т.О. Пріхна, *Україна*
д.т.н., проф., С.К. Фомічов, *Україна*
д.т.н., проф. Мартін Хельмаєр, *Німеччина*
dr hab. inż., проф. Henryk Sobczuk, *Польша*
dr hab. inż., проф. Janusz Mikuła, *Польша*
д.т.н., проф. В.М. Константинов, *Білорусь*
чл.-кор. АН Білорусі Ф.І. Пантелеєнко, *Білорусь*
д. фіз.-мат. н., проф. Я.В. Зауличний, *Україна*
д.т.н., проф. С.Г. Грищенко, *Україна*
д. фіз.-мат. н., проф. А.Д. Рудь, *Україна*
к.т.н., доц. Є.В. Іващенко, *Україна*
к.т.н., доц. К.М. Гриненко, *Україна*
к.т.н., проф. А.Н. Степанчук, *Україна*
д.т.н., проф. В.Г. Хижняк, *Україна*

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Лобода П.І. – голова орг. комітету, декан інженерно – фізичного факультету Національного технічного університета України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», д.т.н., професор, член-кор. НАН України.
Доній О.М. – вчений секретар к.т.н., доцент.
Голікова І.Г. – технічний секретар.
Котляр С.М. – технічний секретар.
Соловар О.М. – технічний секретар.

УДК 669.14.018.8:621.791.92

РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМУ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ СТАЛІ МАРТЕНСИТО-ФЕРИТНОГО КЛАСУ

Робота присвячена дослідженню впливу термічної обробки на структуру та властивості мартенситно–феритної сталі 14Х17Н2. Розроблено оптимальний режим термічної обробки даної сталі включає відпал, гартування та подвійний відпуск.

Матеріали конструкцій і вузлів, які використовуються при будівництві і роботі АЕС, повинні мати достатню жароміцність, високою пластичність, високу термічну, радіаційну і механічну стабільність, гарну корозійну стійкість в середовищі теплоносія, мати невелику схильність до розтріскування в результаті корозії під дією напруг. Крім того, матеріали повинні бути технологічними і мати низьку вартістю [1].

Сталь 14Х17Н2 відноситься до групи корозійностійких сталей, що володіють стійкістю проти електрохімічної та хімічної корозії, міжкристалічної корозії (МКК), корозії під напругою. Однак сталі подібної системи легування чутливі до зниження корозійної стійкості при нагріванні вище 500°С у зв'язку з можливим виділенням надлишкових фаз. В роботі були розроблені 6 режимів термічної обробки сталі 14Х17Н2, загальними операціями в яких були: відпал, гартування, відпуск. Режими відрізнялись температурою нагрівання під гартування, швидкістю охолодження, кількістю та(чи) температурою відпуску. В результаті термічної обробки був проведений порівняльний аналіз мікроструктур, стійкості сталі проти МКК, межі плинності і міцності, відносне звуження і подовження, а також твердість.

В результаті проведення робіт можна рекомендувати режим: відпал t=800 ºС, 10-20 г.; гартування t=1040-1050ºС, 0,5 г., охолодження в маслі; І-ий відпуск t=600-610ºС, 4,5-5,0 г., ІІ-ий відпуск t=600-610ºС, 3,5-5,0 г. Встановлено, що нагрів зразків під гартування вище 1020°С, призвів до зменшення кількості виділення карбідів хрому типу $Cr_{23}C_6$. Вуглець розчиняється в твердому розчині і саме така структура забезпечує стійкість до МКК. Максимальне значення δ_5 -17 % та ψ -58 % характерні для режиму, за яким охолодження після відпуску проводили в воді. При цьому існують рекомендації [2, 3], що для запобігання схильності до відпускної крихкості ІІ роду та для збільшення стабільності показників в'язкості необхідне швидке охолодження. В результаті випробувань на ударну в'язкість встановлено, що показник KCU для зразків, які були охолодженні в воді становить 20 Дж/см^2, а ті, що охолоджували на повітрі 34 Дж/см^2. Таким чином можна зробити висновок про можливість охолодження сталі 14Х17Н2 після відпуску на повітрі.

Результати роботи можуть бути використані як рекомендації. Заміна матеріалу виробів атомної енергетики зі сталей аустенітного класу (широко використовується на виробництві) на сталь мартенсито-феритного класу розширює можливості цієї галузі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Уайэтт Л.М. Материалы ядерных энергетических установок. / Пер. с англ. М.: Атомиздат, 1979, – 256 с.

2. Л.Ф. Руденко Леговані сталі та сплави: навч. посібн. / Л. Ф. Руденко, Т.П. Говорун – Суми: СумДУ. 171 с. (2012).

3. Теплухин Г.Н., Гропянов А.В., Жукова М.Н. Высокотемпературные материалы в энергетике: учебное пособие. – 2-е изд-е, испр. и доп.-/СПбГТУРП.- СПб., 2011.-125 с.: ил. 50.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ

МАТЕРІАЛИ
та програма

VII Всеукраїнської
науково-технічної конференції
(м. Суми, 21–24 квітня 2020 р.)

Суми
Сумський державний університет
2020

УДК 001.891(063)
С91

Редакційна колегія:
відповідальний редактор – канд. техн. наук, доцент О. Г. Гусак; заступник відповідального редактора – канд. техн. наук, доцент І. В. Павленко.

Члени редакційної колегії:
д-р техн. наук, професор В. І. Склабінський; д-р техн. наук, професор В. О. Залога; д-р техн. наук, професор Л. Д. Пляцук; д-р техн. наук, професор К. О. Дядюра; канд. техн. наук, доцент О. П. Гапонова; канд. техн. наук, професор І. О. Ковальов; канд. техн. наук, професор І. Б. Карінцев; канд. техн. наук, доцент А. В. Загорулько; канд. техн. наук, доцент Є. М. Савченко; канд. техн. наук, доцент С. М. Ванєєв; канд. техн. наук, доцент С. Б. Большаніна.

Технічні секретарі:
канд. техн. наук, асистент Х. В. Берладір; пров. інж. О. Ю. Чех.

Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали та програма VII Всеукраїнської науково-технічної конференції (м. Суми, 21–24 квітня 2020 р.) / редкол.: О. Г. Гусак, І. В. Павленко. – Суми : Сумський державний університет, 2020. – 386 с.

УДК 001.891(063)

До матеріалів конференції увійшли тези доповідей конференції, в яких наведені результати наукових досліджень представників закладів вищої освіти України та країн Європейського Союзу. Збірка тез доповідей буде корисною для науковців, викладачів, аспірантів і студентів, а також інженерів усіх галузей виробництва.

© Сумський державний університет, 2020

ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ДЕТАЛІ «ВАЛ НАСОСУ»

Відцентрові насоси використовуються для транспортування рідин шляхом перетворення кінетичної енергії обертання в гідродинамічну енергію потоку рідини. Рідина надходить у робоче колесо насоса вздовж або поблизу до осі обертання, і прискорюється крильчаткою, тече радіально назовні в дифузор або спіральну камеру (кожух). В ньому рідке середовище переміщується через робоче колесо від центра до периферії [1].

Для деталі «вал насосу», виготовленого зі сталі 14Х17Н2, були розроблені режими термічної обробки, загальними операціями в яких були відпал, гартування, відпуск, які відрізнялись температурою нагріву під гартування, швидкістю охолодження, кількістю та (чи) температурою відпуску. Рекомендації щодо призначення оптимального режиму термічної обробки валу насоса зі сталі 14Х17Н2 [2] були зроблені на основі комплексного аналізу результатів випробувань механічних властивостей, стійкості до міжкристалітної корозії (ГОСТ 6032-84, метод АМУ) та мікроструктурного аналізу.

Встановлено, що найбільш раціональним та економічно вигідним є термічна обробка, яка включає послідовні етапи: відпал t=800 °С, впродовж 10-20 г.; гартування t=1040-1050 °С, 0,5 г., охолодження в маслі; перший відпуск t=600-610 °С, 4,5-5,0 г., другий відпуск t=600-610 °С, 3,5-5,0 г.

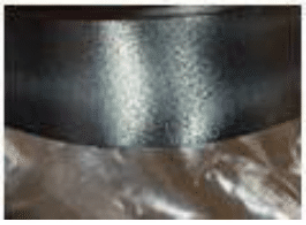


Рисунок 1 – Зразки сталі 14Х17Н2 після випробувань на МКК, метод АМУ

Результатом роботи стали відомості про структурно-механічні характеристики матеріалу валу насосу. Крім того, дослідивши умови, в яких працює деталь, був призначений оптимальний режим термічної обробки.

Список літератури

1. Аникин Ю. В. Насосы и насосные станции : учеб. пособие / Ю. В. Аникин, Н. С. Царев, Л. И. Ушакова ; [науч. ред. В. И. Аксенов] ; М-во образования и науки Рос. Федерации; Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2018. — 138 с.

2. Руденко Л. Ф. Леговані сталі та сплави: навч. посібн. / Л. Ф. Руденко, Т.П. Говорун Суми: СумДУ, 2012. — 171 с.

ДОДАТОК Д

Порядковий номер заявки, визначений заявником **33**		Дата одержання		
[22] Дата подання заявки	Пріоритет	[51] МПК	ЕВ	[21] Номер заявки
		C21D 8/00		

[86] Реєстраційний номер та дата подання міжнародної заявки, установлені відомством-одержувачем
[87] Номер і дата міжнародної публікації міжнародної заявки

З А Я В А про видачу патенту України	МІНІСТЕРСТВО ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ УКРАЇНИ Державне підприємство "Український інститут інтелектуальної власності" вул. Глазунова, 1, м. Київ-42, 01601

Подаючи нижчезазначені документи, прошу (просимо) видати:
- ☐ патент України на винахід
- ☐ позицію виключено
- ☒ патент України на корисну модель

[71] Заявник(и)	Код за ЄДРПОУ (для українських заявників)
Сумський державний університет; 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, буд. 2 (UA) **Сумской государственный университет; 40007, г. Сумы, ул. Римского-Корсакова, д.2 (UA)** **Sumy State University; 40007, Sumy, Rymskogo-Korsakova st.,2 (UA)**	**05408289**

(зазначається повне ім'я або найменування заявника(ів), його (їх) місце проживання або місцезнаходження та код держави згідно із стандартом ВОІВ ST.3. Дані про місце проживання авторів - заявників наводяться за кодом (72)

Прошу (просимо) встановити пріоритет ☐ заявки ☐ пунктів формули винаходу за заявкою № _ за датою:
- ☐ подання попередньої (їх) заявки (ок) в державі-учасниці Паризької конвенції (навести дані за кодами (31),(32),(33)
- ☐ подання до Установи попередньої заявки, з якої виділено цю заявку (навести дані за кодом (62)
- ☐ подання до Установи попередньої заявки (навести дані за кодом (66))

[31] Номер попередньої заявки	[32] Дата подання попередньої заявки	[33] Код держави подання попередньої заявки згідно із стандартом ВОІВ ST.3	[62] Номер та дата подання до Установи попередньої заявки, з якої виділено цю заявку	[66] Номер та дата подання до Установи попередньої заявки

[54] Назва винаходу (корисної моделі)
СПОСІБ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ВАЛУ АТОМНОГО НАСОСУ ЗІ СТАЛІ 14Х17Н2

Адреса для листування, прізвище або найменування адресата
вул.Римського - Корсакова, буд.2, м.Суми-40007; ЦНТЕІ, СумДУ
Телефон **(0542)687-753** E-mail **info@cnti.sumdu.edu.ua** Факс

[74] Повне ім'я та реєстраційний номер представника у справах інтелектуальної власності прізвище або повне ім'я іншої довіреної особи

☐ Прошу (просимо) прискорити публікацію заявки

Перелік документів, що додаються	Кількість аркушів	Кількість примірників	Підстави щодо виникнення права на подання заявки і одержання патенту (без подання документів), якщо винахідник(и) не є Заявником(ами):
☒ опис корисної моделі	7	3	☐ є документ про передачу прав винахідником(ами) або роботодавцем(ями) правонаступнику(ам) ☐ є документ про право спадкування
☒ формула корисної моделі	1	3	
☐ креслення та інші ілюстративні матеріали		3	
☒ реферат	1	3	
☐ документ про сплату збору за подання заявки		1	
☐ документ, який підтверджує наявність підстав для зменшення збору або звільнення від сплати збору		1	
☐ документ про депонування штаму		1	
☐ копія попередньої заявки, яка підтверджує право на пріоритет		1	
☐ переклад заявки українською мовою		3	
☐ документ, який підтверджує повноваження довіреної особи (довіреність)			
Інші документи:			
☐ міжнародний звіт про пошук			

[72] Винахідник(и) Винахідник(и)-заявник(и) (повне ім'я)	Місце проживання та код держави згідно із стандартом ВОІВ ST.3 (для іноземних осіб - тільки код держави)	Підпис(и) винахідника(ів)-заявника(ів)

Я (ми) прошу (просимо) не згадувати мене (нас) як винахідника(ів) при публікації відомостей стосовно заявки на видачу патенту Підпис(и) винахідника(ів)	
Підпис(и) заявників(ів)	
Дата підпису М.П.	Якщо заявником є юридична особа, то підпис особи, яка має на це повноваження, із зазначенням посади скріплюється печаткою. Якщо всі автори виступають заявниками, то їх підписи наводяться за кодом (72)