

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Кафедра прикладного матеріалознавства і технології
конструкційних матеріалів**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»

Тема роботи: Вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення та термічної обробки деталі «втулка»

Виконав:
студент Негреба Нікіта Юрійович

Керівник:
Харченко Надія Анатоліївна

Залікова книжка

№18510284

Підпис _____

Підпис _____

Захищена з оцінкою

Секретар ЕК

Оцінка, дата

_____Марченко К.С.

Прізвище, підпис

Суми 2022

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра прикладного матеріалознавства і технологій конструкційних матеріалів
Спеціальність 132 «Матеріалознавство»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Гарант Освітньої програми
«Прикладне матеріалознавство»
Харченко Н. А.
«20» червня 2022 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Студенту Негребі Нікіті Юрійовичу, група МТ-81
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема випускної роботи: Вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення та термічної обробки деталі «втулка»

2. Вихідні дані: Креслення деталі «втулка» та вимоги до неї вказані на кресленні (додаток Г)

3. Перелік обов'язкового графічного матеріалу

1) Креслення деталі.

2) Графік термічної обробки деталі

4. Етапи виконання випускної роботи:

№	Етапи і розділи проектування	Тижні			
		1	2	3	4
1	Розділ 1. Аналіз умов роботи деталі	X			
2	Розділ 2. Огляд літератури	X			
3	Розділ 3. Вибір матеріалу та роль легувальних елементів у забезпеченні експлуатаційних властивостей		X		
4	Розділ 4. Маршрутна технологія виготовлення деталі. Характеристика етапів технологічного процесу			X	
5	Розділ 5. Розрахунково-експериментальна частина				X

5. Дата видачі завдання 26.04.2022 р.

Керівник _____
(підпис)

доцент, Харченко Н. А.
(посада, прізвище)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра містить: 67 сторінки, зокрема 10 таблиць, 20 рисунків, список із 36 використаних джерел на 3 сторінках, 7 додатків на 8 сторінках.

Мета роботи – призначити матеріал деталі «втулка» головного циркуляційного насоса. Розробити маршрутну технологію виготовлення та термічної обробки деталі «втулка».

Методи досліджень – металографічний аналіз (мікро- і макроструктурний), вимірювання твердості, випробування на стійкість до міжкристалітної корозії.

Завдання роботи:

- проаналізувати умови роботи і сформулювати основні вимоги до матеріалів деталі «втулка»;
- провести критичний аналіз літературних джерел по темі роботи;
- розробити маршрутну технологію виготовлення деталі «втулка»;
- призначити термічну обробку деталі «втулка»;
- вибрати основне обладнання для реалізації термічної обробки деталі.

Проаналізовані основні аспекти умов роботи деталі «втулка» головного циркуляційного насосу. Проведений аналіз експлуатаційних властивостей виробу. Призначено матеріал сталь 25X17H2Б-Ш. Розроблена поетапна маршрутна технологія виготовлення деталі. Вдосконалено базовий варіант термічної обробки деталі «втулка». Запропонована термічна обробка складається з операцій: відпал, гартування, обробка холодом і подвійний відпуск. Проаналізовані мікро- та макроструктура визначені твердість обраної сталі після термічної обробки. Проведені випробування на стійкість до міжкристалічної корозії.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВТУЛКА, АТОМНА ЕНЕРГЕТИКА, СТАЛЬ, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, АУСТЕНІТ, МАРТЕНСИТ, ТВЕРДІСТЬ, МІЖКРИСТАЛІТНА КОРОЗІЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1	8
ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛІ.....	8
Висновки	13
РОЗДІЛ 2	14
ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	14
Висновки	19
РОЗДІЛ 3	20
ВИБІР МАТЕРІАЛУ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	20
3.1 Матеріал дослідження.....	20
3.2 Металографічний аналіз	22
3.3 Визначення твердості.....	24
3.4 Випробування на стійкість до міжкристалітної корозії.....	26
Висновки	29
РОЗДІЛ 4	30
РОЗРОБКА МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	30
4.1 Правила розробки технологічного процесу виготовлення деталі.....	30
4.2 Етапи отримання деталі	30
Висновки	38
РОЗДІЛ 5	39
РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	39
5.1 Призначення термічної обробки деталі «втулка».....	39
5.2 Результати металографічного аналізу.....	42
5.3 Визначення неметалевих включень	43

5.5 Результати визначення твердості.....	45
5.4 Результати визначення стійкості до міжкристалітної корозії	45
5.6 Вибір основного обладнання для проведення термічної обробки	47
Висновки	53
ВИСНОВКИ	54
Список використаних джерел	56
Додаток А	60
Додаток Б.....	61
Додаток В	62
Додаток Г.....	64
Додаток Д	65
Додаток Е	66
Додаток Є	67

ВСТУП

Актуальність роботи. Робота пов'язана з дослідженням впливу термічної обробки на корозійну стійкість, міцність і ударну в'язкість втулки ГЦН, виготовленої із особливо високоякісної сталі 25X17H2B-Ш. 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.

Мета роботи – призначити матеріал деталі «втулка» головного циркуляційного насоса. Розробити маршрутну технологію виготовлення та термічної обробки деталі «втулка».

Завдання роботи:

- проаналізувати умови роботи і сформулювати основні вимоги до матеріалів деталі «втулка»,
- провести критичний аналіз літературних джерел по темі роботи;
- розробити маршрутну технологію виготовлення деталі «втулка»;
- призначити термічну обробку деталі «втулка»;
- вибрати основне обладнання для реалізації термічної обробки деталі.

Методи досліджень – металографічний аналіз (мікро- і макроструктурний), вимірювання твердості, випробування на стійкість до міжкристалічної корозії.

Практичне значення одержаних результатів: технологія отримання та термічної обробки втулки атомного насосу зі сталі 25X17H2B-Ш була рекомендована та впроваджена у виробничі умови ТОВ «КОМПРЕСОРАТОММАШ» (додаток А). Основні результати роботи впроваджено в навчальний процес на факультеті технічних систем і енергоефективних технологій Сумського державного університету в курсах «Металознавство та основи термічної обробки», «Корозія і захист матеріалів»,

«Леговані сталі і сплави», «Механічні властивості та зносостійкість матеріалів і виробів» спеціальності 132 «Матеріалознавство» (Додаток Б).

Публікації

1. Харченко Н.А., Негреба Н.Ю. Термічна обробка сталі 25Х17Н2Б-Ш // Матеріали для роботи в екстремальних умовах : збірник тез та доповідей Міжнародної наукової конференції (НН ІМЗ ім. Є.О. Патона, НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського») / відпов. за випуск П.І. Лобода. Київ, 2021;

2. Харченко Н.А., Негреба Н.Ю., Чумаков Д.С. Термічна обробка втулки ГЦН-195М // Сучасні технології у промисловому виробництві : збірник тез та доповідей ІХ Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції (м. Суми, 19–22 квітня 2022 р.) / відпов. за випуск О.Г.Гусак, І.В. Павленко. Суми, СумДУ, 2022. С. 84.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛІ

Атомна енергетика - найважливіша підгалузь глобальної енергетики, яка почала кілька десятиліть років тому робити помітний внесок у глобальне виробництво електроенергії. Собівартість електроенергії, що виробляється АЕС сьогодні, дозволяє говорити про серйозну конкуренцію з боку інших типів електростанцій. Явна перевага АЕС – відсутність викидів аерозолів та парникових газів в атмосферу [1].

На сучасному етапі атомна енергетика розвивається головним чином за рахунок будівництва ядерних енергетичних блоків потужністю 1 млн кВт та з більш киплячим (РБМК) і водно-водяним під тиском (ВВЕР) реакторами. Створення таких потужних енергетичних блоків зажадало різке укрупнення устаткування, включаючи головні циркуляційні насоси (ГЦН). Ці насоси виконують відповідальну роль - прокачують теплоносій (воду) через активну зону реактора в умовах високого тиску, температур та наведеної радіоактивності і значною мірою визначають надійність та стійкість експлуатації реакторів [1].

Реакторна установка (РУ) – комплекс систем і елементів енергоблоку, призначених для перетворення ядерної енергії в тепло. 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 [2].

Реакторна установка включає в себе, як вже було зазначено вище, цілу сукупність основних системи першого контуру, до якої відносяться : головний циркуляційний контур, систему підтримки тиску в першому контурі, систему захисту першого контуру від перевищення тиску, а також пасивну частину систему аварійного охолодження зони (рис.1.1) [3]:

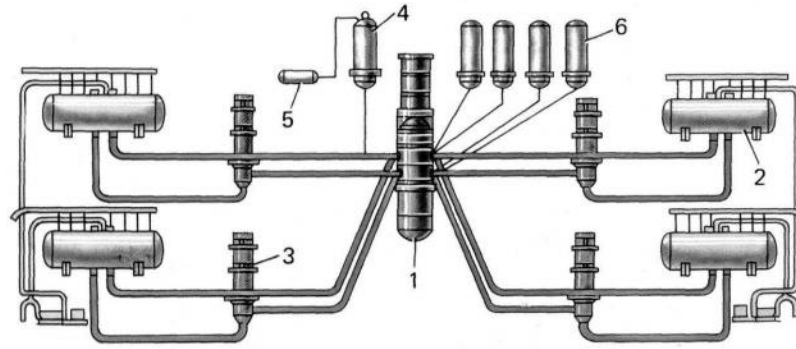


Рисунок 1.1 – Реакторна установка головний [3]: 1,2,3 - циркуляційний контур (ГЦК); 4 - система підтримки тиску в першому контурі; 5 - система захисту першого контуру від перевищення тиску; 6 - пасивна частина системи аварійного охолодження зони (система гідроаккумуляторів).

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); головних циркуляційних трубопроводів умовним діаметром 850 мм (ДУ 850), що з'єднують обладнання петель з реактором [2].

Головні циркуляційні насоси призначені для відведення тепла від активної зони реактора та передачі його води другого контуру в барабанах-сепараторах (одноконтурні АЕС з реактором РБМК) та у парогенераторах (двоконтурні АЕС з реакторами ВВЕР). Як ГЦН на АЕС з водним теплоносієм застосовуються насоси з ущільненням валу та виносним електродвигуном [3].

Із всієї конструкції ГЦН, нас цікавить саме втулка насоса (рис 1.2). Краще за все для аналізу даного питання, для вивчення будемо використовувати ГЦН-195М.



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд втулки насосу ГЦН-195М

Розглянемо умови роботи деталі «втулка» насоса ГЦН-195М (рис. 1.2). Даний насос є одноступінчастим відцентровим насосом вертикального виконання. Равлик 1 виконана цільнолитим з приварними кованими перехідниками із сталі 10ГН2МФА, з антикорозійним наплавленням внутрішніх поверхонь. Пізніше замість равлика став виготовлятися електрозварний сферичний корпус із штампованих елементів (сталь 06Х12НЗД). У середині корпусу закріплюється електрозварюванням напрямний апарат. Характеристики ГЦН з равликовим та сферичним корпусами практично ідентичні зі сферичним корпусом ККД знижується на 1-1,5 % [4].

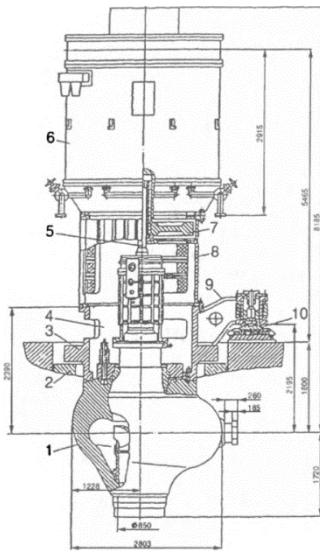


Рисунок 1.3 – Головний циркуляційний насосний агрегат ГЦН-195М [4]

1 — равлик, 2 — кільце, 3 — кільце, що перекриває, 4 — проставка нижня, 5 — торсіонний вал, 6 — електродвигун, 7 — маховик, 8 — проставка верхня, 9 — кронштейн, 10 — опорний пристрій

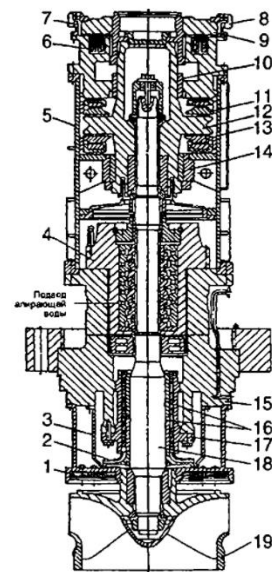


Рисунок 1.4 – Виймальна частина ГЦН-195М [4]

1 - тепловий екран; 2 - допоміжне робоче колесо; 3 - екран; 4 - блок торцевого ущільнення; 5 - корпус; 6 - електромагніт; 7 - храпове колесо; 8 - упор; 9 - диск; 11 - колодка; 12 - упорний гребінець; 15 - корпус; 16 - втулка; 17 - радіальний підшипник; 18 - вал; 19 - робоче колесо

Нижня проставка 4 є основним вузлом, що несе ГЦН. Три кронштейни 9 проставки за допомогою опорних пристроїв 10 передають навантаження на фундамент. Кронштейни і кільце, що перекриває 3, товщиною 300 мм, відлиті разом з проставкою зі сталі 08ГДНФЛ-Ш, до нижнього фланця якої кріпиться равлик. Проставка має три вікна для підведення трубопроводів обслуговуючих систем [4].

Верхня проставка 8 служить опорою приводного електродвигуна 6, на валу якого розміщується маховик 7. Електродвигун з насосом з'єднується за допомогою торсійного валу 5 і напівмуфт шліцевих. Для захисту від нейтронного прострілу встановлено кільце 2 зі сталі 35Л-1 або Ст 3 [4].

Виймальна частина ГЦН-195М показано на рис.1.3. У корпусі 15 зі сталі 08Х18Н10Т встановлений блок ущільнення валу 4 і радіальний підшипник 17 з вкладишем із графітофторопластової прес-маси 7В-2А. Підшипник змащується водою із системи автономного контуру. На валу 18 встановлені дві втулки 16 зі сталі 25Х17Н2Б-Ш з твердістю НВ 223-280 є цапфою для підшипника. На обох кінцях валу є евольвентні шліци для посадки робочого колеса 19 і гребеня 12 осьового підшипника. Робоче колесо відцентрового типу із лопатками подвійної кривизни. Блок торцевого ущільнення вала 4 запобігає протіканню води з першого контуру через ГЦН. Електромагнітний розвантажувальний пристрій 6, 9 служить розвантаження осьової сили, спрямованої вертикально вгору. Антиреверсивний пристрій запобігає роботі ГЦН у турбінному режимі. Воно складається з храпового колеса 7, жорстко закріпленого на корпусі осьового підшипника, і упорів 8. Після пуску ГЦН упори під дією відцентрової сили виходять із зачеплення з зубцями храпового колеса і не перешкоджають обертанню валу, а при зупинці ГЦН упори знову входять [4].

До корпусу 15 кріпляться тепловий екран 1 для захисту зони автономного контуру та радіального підшипника від теплового потоку з боку першого контуру та екран 3, що захищає вкладиш підшипника від впливу гарячої води при закиданні її у разі припинення електропостачання ГЦН та його

обслуговуючих систем [4].

Як вже було зазначено вище, роль втулки – цапфа, тобто є опорою для підшипників і самого валу насосу.

Таким чином, деталь втулка працює в наступних умовах:

- агресивне середовище (вода);
- радіація;
- тертя;
- висока температура.

Висновки

Атомна енергетика є однією із провідних галузь розвитку України. Безпечна технологія, відносно низька вартість енергоресурсів забезпечують провідне місце даної галузі в розвитку будь-якої країни сучасності.

В даному розділі проаналізований стан атомної енергетики, вивчені існуючі структури та конструкції атомних установок та методи роботи головних циркуляційних насосів.

Встановлено, що головні циркуляційні насоси призначені для відведення тепла від активної зони реактора та передачі його води другому контуру в барабанах-сепараторах. Однією із найпоширеніших і затребуваних марок насосу в Україні є ГЦН-195М, тому, в даній роботі розглядається актуальне питання з розробки маршрутної технології виготовлення та термічної обробки відповідальної деталі «втулка» ГЦН-195М. Розглянуті призначення та умови роботи даної деталі. Визначено, що втулка працює в агресивному середовищі: вода та радіація, включаючи високі температури.

РОЗДІЛ 2

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

В даній роботі розглядається питання розробки маршрутної технології виготовлення та термічної обробки деталі втулка насоса ГЦН-195М. Напередодні були проаналізовані основні питання з призначення даної деталі.

В загальному розумінні втулка — це деталь машини, механізму, приладу циліндричної або конічної форми (з осью симетрії), що має осьовий отвір, у який входить сполучна деталь [5]. Залежно від призначення застосовують втулки підшипникові, перехідні, кріпильні, віброізоляційні, електроізоляційні, різьбові та ін. [5].

Хотілось би відмітити, що значна частина інформації, щодо деталі втулка вала атомного насосу стосується вдосконалення самої конструкції. Так відомий насосний агрегат ГЦН-317 для АЕС з реакторними установками типу ВВЕР-440 у якого нижній радіальний підшипник встановлений у корпусі блоку торцевих ущільнень. Вкладиш підшипника взаємодіє з цапфою, утвореною сталеву втулкою. Остання посаджена на вал насоса з гарантованим зазором і зафіксована від провороту. Зусилля, що підтискає втулку зверху до упору в бурт на валу насоса, створюються за допомогою гайки механізму осьового підтиснення роторних частин торцевих ущільнень, що наворачується на різьбову ділянку валу насоса, а передають на втулку через корпусу [6]. Недоліком цього насосного агрегату є можливість збільшення неспіввісності валу і втулки (при заміні останньої через її знос або після перебирання під час ревізії) і, як наслідок, можливість збільшення невірноваженості (дисбалансу) валу насоса в зборі. Крім того, за наявності торцевих биття у всіх роторних елементах можливе викривлення осі валу насоса [6]. Запобігти появі цього дефекти може використання спеціально розробленого центруючого поясу у вигляді циліндричного бурта, що охоплює вал насоса з можливим мінімальним зазором [6].

Автором роботи проведено критичний аналіз умов роботи деталей атомної енергетики. Зокрема отриманий патент на корисну модель на тему «Спосіб термічної обробки вала атомного насоса зі сталі 14X17H2» (додаток В). В основу корисної моделі поставлена задача удосконалення способу термічної обробки мартенситно-феритної сталі 14X17H2 для вала атомного насоса, що досягається використанням в якості охолоджуючого середовища після відпуску повітря. Автор даної роботи рекомендовано проведення наступної термічної обробки: відпал при температурі 800°C впродовж 10-20 годин, гартування при температурі 1040-1050°C з охолодження в маслі та дворазовий відпуск. Нагрів при першому відпуску 600-610°C, ізотермічна витримка 4,5-5,0 годин, нагрів при другому відпуску 620-650°C ізотермічна витримка 3,5-4,5 годин, який відрізняється тим, що охолодження після відпусків проводять на спокійному повітрі.

Встановлено, що найпоширенішими матеріалами для виготовлення відповідальних виробів деталей атомного насосу є сталі аустенітно-мартенситного структурного класу. На основі аналізу джерел можна стверджувати, що сталі аустенітно-мартенситного структурного класу широко застосовуються у хімічній, тепловій і атомній енергетики, целюлозно-паперовій, нафтогазодобувній, медичній, суднобудівній, автомобільній, харчовій промисловості [7].

Так в роботі [7] стверджується, що властивості сталей аустенітно-мартенситного класу обумовлені вибором режиму відповідної термообробки. Для отримання високих показників в'язкості рекомендується проводити гартування при температурі від 1000°C. Для отримання високих показників міцності при другорядних пластичних характеристиках температура гартування повинна бути зниженою до 800°C [7].

Корозійностійкі сталі мартенситно-аустенітного класу володіють поєднанням високих механічних властивостей і корозійної стійкості, тому даний клас сталей широко застосовується в різних галузях промисловості. Сталь марки 25X17H2Б-Ш відноситься до даного класу сталей і володіє не

тільки високими механічними властивостями, але і високою технологічністю [8]. Дана сталь відноситься до сталей особливо високоякісних, які в умовах сучасного виробництва представляють високий практичний інтерес.

Якість сталі визначається кількістю присутніх в ній шкідливих домішок - сірки і фосфору. Залежно від їх допустимої кількості сталі поділяються за якістю на наступні групи [8-9]: сталі звичайної якості; якісні сталі; високоякісні сталі; особлиовисокоякісні сталі. Кількість шкідливих домішок залежить від способу виробництва. При виплавці киснево-конверторним способом їх зміст менше; видалення сірки, фосфору і кисню в ще більшому ступені відбувається при виплавці сталей в електропечах (дугових або індукційних) - це технологія отримання високоякісних сталей. Високоякісні сталі не схильні до червоноламкості, оскільки сірка в малих кількостях, допустимих в цих сталях, розчиняється в фериті і в металі не утворюється сульфідна евтектика. Ще більша чистота сталей досягається спеціальними металургійними технологіями: електрошлаковим переплавом (ЕШП), вакуумнодуговим (ВДП) переплавом або вакуумуванням рідкої сталі в ковші та ін. Так, переплав електросталі під шаром спеціального шлаку знижує вміст сірки до 0,002 ... 0,008 %; різні методи вакуумного переплаву практично повністю виводять з металу газу. Разом з тим наявність у сталі сірки і фосфору може бути корисним. Так, підвищений вміст сірки (0,08 ... 0,35%) і фосфору (0,06 ... 0,15%) в автоматних сталях покращує оброблюваність різанням. Вуглецеві сталі випускаються звичайної якості, якісні і високоякісні; леговані сталі - якісні, високоякісні і особлиовисокоякісні [8].

Особлиовисокоякісні сталі, одержувані електрошлаковим переплавом, часто позначають буквою "Ш" в кінці марки. Позначення деяких легованих сталей спеціального призначення дещо відрізняється від загальноприйнятого [10].

Сталі аустенітно-мартенситного класу, що застосовуються у вигляді поковок, прутків та стрічки, можуть піддаватися наступним видам термічної обробки:

1) аустенізації, коли потрібна висока пластичність та допускається низька жорсткість;

2) зміцнювальній термічній обробці, що включає проміжний відпал (розбалансування) та подальше старіння, якщо потрібна висока міцність і не потрібна висока корозійна стійкість;

3) зміцнюючої термічної обробки, що включає обробку холодом і подальше старіння, якщо потрібні висока міцність та висока корозійна стійкість.

Під час проведення термічної сталі слід мати на увазі, що після аустенізації структура сталі аустеніт; після обробки холодом у структурі міститься понад 70% мартенситу, що супроводжується збільшенням розмірів деталей на 0,3-0,5% [10].

Старіння підвищує міцність сталі лише за наявності у структурі мартенсита, що утворюються, і внаслідок холодної деформації.

Деталі зі сталей 09X15H8Ю і 08X17H5M3, що виготовляються з м'яких листів, стрічки, пресованих профілів, прутків та поковок, для досягнення максимальної корозійної стійкості піддають загартовування (аустенізації) від 975-1000° 3 хв; потім проводять обробку холодом при -70° 3 витримкою не менше 2 годин і старіння при 350-380° 3 витримкою не менше 1 години [10].

Вищий рівень міцності можна отримати, підвищивши температуру старіння до 475-500°С, проте при цьому сталь набуває схильності до МКК. Вироби зі сталей 07X16H6 і 09X17H17Ю піддають загартовування від 1000°С охолодженням на повітрі або у воді, обробці холодом при -70°С і старінню при 350-380° С. Для отримання максимально високих властивостей міцності 430-540°С для сталей 09X15H8Ю та 08X17H5M3, при цьому виникає схильність до МКК. Слід також мати на увазі, що старіння виробів зі сталей аустенітно-мартенситного класу при більш високих, ніж зазначено, температурах призводить до перестаріння сталі та зниження міцності [10].

Важливою умовою отримання високої міцності на сталях аустенітно-мартенситного класу є своєчасне проведення обробки холодом, розрив між

загартуванням та обробкою холодом не повинен перевищувати 12 год, оскільки тривале вилежування загартованого виробу призводить до стабілізації аустеніту і значно зменшує кількість мартенситу, що утворюється при обробці холодом. З цієї ж причини перед обробкою, холодом деталі не повинні піддаватися нагріванню або впливу низьких температур від 0 до -40°C [10].

Для сталі 09X17H710 термічну обробку, що зміцнює, можна проводити і без обробки холодом за режимом: гартування від 1050°C , дворазове дестабілізуюче при 760°C витримкою 2-3 год і старіння при 400°C протягом 1 год. Дворазова дестабілізація (розбалансування) при 760°C призводить до значного підвищення мартенситної точки, і при подальшому охолодженні до кімнатної температури в структурі сталі з'являється значна кількість мартенситу [11].

Вказаний режим не викликає схильності до МКК у слабоокислювальних середовищах: у розчинах азотної кислоти стійкість сталі значно знижується.

Особливо слід зупинитися на термічній обробці сталі аустенітно-мартенситного класу для отримання середнього рівня міцності ($\sigma_{0,2} = 70 - 80$ кгс/мм²), необхідного для різьбових з'єднань. У загартованому стані межа плинності стала аустенітно-мартенситним класом, як правило, не перевищує 30 кгс/мм³. Після зміцнюючої термічної обробки межа плинності підвищується (90-100 кгс/мм²). Межа плинності 70-80 кгс/мм² може бути отримана при проведенні спеціального режиму термічної обробки, що складається із гартування, обробки холодом при температурі від 0 до -20°C протягом 1-2 годин та старіння при $180-200^{\circ}\text{C}$ протягом 3-6 год [11].

Висновки

Критичний аналіз існуючих літературних джерел дозволяє стверджувати, що основним напрямом підвищення експлуатаційних властивостей деталі «втулка» вала атомного насосу є зміни конструкції самого насосу. Існують роботи в яких пропонується змінити механізм посадки втулки на вал.

Найпоширенішими матеріалами для виготовлення втулок валу атомного насосу є сталі аустенітно-мартенситного класу. Основними шляхами підвищення міцності сталей цього структурного класу є комплексне легування, управління мартенситним перетворенням шляхом пластичної деформації, термоциклуванням, термомеханічною обробкою, а також застосування термічного або деформаційного старіння після гартування [7].

Значна кількість робіт присвячена підвищенню властивостей виробу втулка за рахунок проведення термічної обробки. Комплексна обробка включає послідовні операції з відпалу, гартування, обробки холодом і відпуском.

Рекомендована для виготовлення деталі втулка аустенітно-мартенситна сталь 25X17H2Б-Ш відноситься до особливовисокоякісних сталей, які характеризуються високою чистотою і можуть бути використані для виготовлення відповідальних деталей атомної енергетики.

РОЗДІЛ 3

ВИБІР МАТЕРІАЛУ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

За останній час технології і обладнання, які застосовуються при реалізації експериментів зробили великий крок вперед. Для проведення роботи ми використовували новітнє обладнання, яке гарантує точність проведених досліджень.

3.1 Матеріал дослідження

Вибір матеріалу для виготовлення деталі «втулка» головного циркуляційного насосу ґрунтується на вимогах, що висуваються до готового виробу. Виходячи із всієї інформації, що було зазначено вище і використовуючи джерела, щодо документації головних циркулюючих насосів, можна зробити висновок щодо матеріалу, який буде застосовуватись для виготовлення втулки насоса. В загальному випадку матеріали повинні обиратись відповідно до властивостей робочої середовища, температури, тиску, швидкості обертання, умов теплопередачі. Недопустиме використання матеріалів, у яких під впливом робочої середовища може виникати корозійне розтріскування, міжкристалічне, щілинне або ж структурне корозійне руйнування [12].

В даній роботі пропонуємо виготовляти деталь «втулка» із корозійностійкої особливовисокоякісної сталі 25X17H2Б-Ш з наступною термічною обробкою. Вибір вищезазначеної сталі задовольняє вимоги до потрібних характеристик і властивостей даної деталі (табл. 3.1) [13].

Таблиця 3.1

Результати випробувань на механічні властивості

Матеріал	σ_T , МПа	σ_B , МПа	ϵ , %	δ , %	КСУ, Дж/см ²	HRC
25X17H2Б-Ш	1180	1480	13	48	51	28

Із маркування даної сталі, слід дійти висновку, що основними легуючими елементами є хром, нікель та мідь (табл. 3.2.)

Таблиця 3.2

Хімічний склад сталі 25X17H2Б-Ш

Сталь, марка	Вміст елементів, % по масі								
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Nb	Cu
25X17H 2Б-Ш	0,220- 0,28	0,3-0,7	0,3-0,7	до 0,015	до 0,02	16,3- 17,7	2,3-2,8	0,05- 0,1	до 0,25

Підтвердженням тому, що сталь є корозійностійкою – вміст хрому 17%.

Дана сталь 25X17H2Б-Ш, також відома як ЭП407-Ш, є особливо високоякісна. Якість була забезпечена електрошлаковим переплавом, крім того, як вже зазначалося вище, дана сталь відноситься до групи корозійностійких (нержавіючих) сталей і сплавів, що володіють стійкістю проти електрохімічної та хімічної корозії (атмосферної, ґрунтової, лужної, кислотної, сольовий), міжкристалічної корозії, корозії під напругою і т.д. Після термічної обробки по раціональним режимам володіє високою міцністю і пластичними властивостями в поєднанні з досить високою ударною в'язкістю [14].

Для виготовлення важко навантажених деталей, які піддаються великому зносу та впливу агресивних середовищ: азотній та органічним кислотам, більшості розчинів солей органічних та неорганічних кислот різних концентрацій. Найбільш широке застосування отримала в виготовленні деталей конструкцій стикових з'єднань трубопроводів гідравлічних і пневматичних систем, що працюють в умовах високого тиску, які повинні поєднувати в собі високі міцності і пружні властивості для збереження складальних зусиль, що забезпечують герметичність з'єднання. Сталь 25X17H2Б-Ш відрізняє відмінну корозійну стійкість, здатність до зварювання, більш висока пластичність та

міцність в порівнянні з аналогами, стійка до різного роду механічних впливів і пошкоджень [14].

3.2 Металографічний аналіз

Металографічний аналіз є обов'язковою частиною комплексного аналізу виробів. В даній роботі було проведено два різновиди металографічного аналізу, а саме макро- і мікроаналіз. Результати цих досліджень надають інформацію щодо якості матеріалу, тобто наявності макро- і мікродефектів. Можливі виявлення, а точніше характер, природу, фазовий склад і також розміри надають рекомендації щодо використання даного матеріалу для виготовлення виробів в той чи іншій сфері.

Макроструктура – це будова металу, видима неозброєним оком або за невеликому збільшенні (до 30 крат) [15].

Макроаналіз проводимо по ГОСТ 10243-75 методом травлення за допомогою реактивів поверхні на спеціально підготовлених зразках – темплетях (рис.3.3). Реактив було обрано зі вмістом: кислота соляна по ГОСТ 3118-67 – 100 мл, кислота азотна по ГОСТ 4461-67 – 10 мл, вода – 100 мл. Проводиться довготривале нагрівання зразка в спеціальному розчині, який був зазначено вище, що дозволяє виявити наявні ймовірно існуючі дефекти [16].



Рисунок 3.1 – Темплет зі сталі 25X17H2Б-Ш

Метод заснований на принципі порівняння структур. Виявляються дефектні ділянки.

На другому етапі металографічного аналізу проводим мікроаналіз. Мікроаналіз- це аналіз мікроструктури і наявних неметалевих включень із застосуванням оптичних приладів.

Мікроструктура – це структура матеріалу, яка аналізується за допомогою оптичного мікроскопа, що дозволяє розрізнити окремі фрагменти розмірами щонайменше 0,2 мкм [15]. Аналіз проводять на мікрошліфах. Мікрошліфи – це спеціально підготовлені зразки для проведення металографічного аналізу. Мікрошліфи виготовляються наступним чином: з досліджуваного матеріалу вирізають зразок, заторцюють його, отриману рівну поверхню шліфують і полірують.

На першому етапі мікроструктуру досліджують на нетравлених зразках, таким чином визначається наявність в структурі матеріалу неметалевих включень. Аналіз здійснюється за ГОСТ 1778-70 методом Ш. На другому етапі мікроструктуру досліджують на травлених зразках.

Травлення – це хімічних вплив спеціальних реактивів на поверхні мікрошліфа. В даній роботі був використаний спеціальний реактив складу: 50 мл соляної кислоти, 25 мл сірчатої кислоти, 10 г мідного купоросу, 50 мл води [17].

Після травлення спеціальними реактивами мікрошліф промивають, висушують, після чого аналізують за допомогою металографічного мікроскопу [15]. В даній роботі було застосовано вертикальний металографічний мікроскоп МИМ-7. (рис. 3.2)

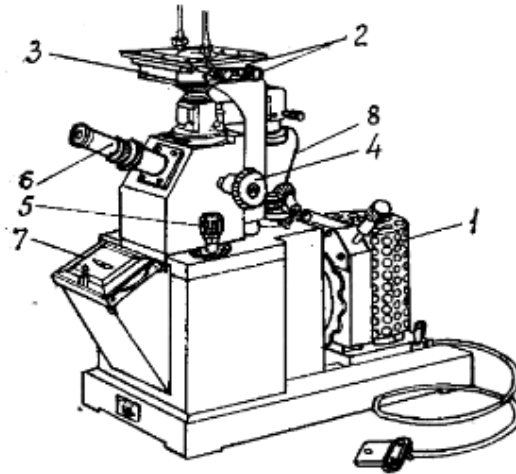


Рисунок 3.2 – Загальний вигляд і будова мікроскопа МИМ-7 [18]:

1 – корпус; 2 – регулювальні гвинти предметного столика; 3 – предметний столик; 4 – макрометричний (грубий) механізм наведення на різкість; 5 – мікрометричний гвинт налаштування різкості зображення; 6 – окуляр; 7 – фотокамера; 8 – апертурна діафрагма

3.3 Визначення твердості

В роботі були проведені випробування з визначення твердості деталі «втулка» зі сталі 25X17H2Б-Ш після термічної обробки.

Твердість – властивість металів чинити опір проникненню в них інших, більш твердих тіл. Твердість металу або сплаву дуже впливає на тривалість роботи деталей. Від твердості значною мірою залежить міцність деталі і стійкість поверхні її до спрацювання.

Результати з визначення твердості втулки після відповідної рекомендованої термічної обробки визначали за допомогою двох приладів: твердомір ТШ-2 методом Брінелля і твердомір ТК-2 методом Роквелла.

Твердомір ТШ-2 (рис. 3.3, а) призначений для вимірювання твердості металів та конструктивних пластмас відповідно до ГОСТу 23677-79. Прилад працює шляхом вдавлювання індентора під дією заданого навантаження (в даній роботі було використано навантаження 3000 кгс $\pm 4\%$) впродовж встановленого часу [19]. Під час вимірювань використовувались індентор загартована сталева кулька, діаметром 10 мм (рис. 3.3, б)



а



б

Рисунок 3.3 – Обладнання та інструмент для визначення твердості після відпалу: а- твердомір ТШ-2 [20]; б- індентор, загартована сталевна кулька [21]

Під час визначення твердості втулки після зміцнюючої термічної обробки використовували твердомір ТК2 (рис. 3.4, а), метод Роквелла. Вдавлювання індентора з алмазним конусним наконечником (рис. 3.4, б) із силою 150 кгс.



а



б

Рисунок 3.4 – Обладнання та інструмент для визначення твердості після гартування та відпуску: а- твердомір ТК-2М [22]; б- індентор, алмазний конус [23]

3.4 Випробування на стійкість до міжкристалітної корозії

Міжкристалічна корозія (МКК) є одним із найбільш небезпечних видів місцевої корозії, що призводить до вибіркового руйнування меж зерен, це супроводжується втратою міцності та пластичності металів і сплавів. Небезпека полягає в тому, що найчастіше змін у зовнішньому вигляді виробів, пошкоджених міжкристалічною корозією, не відбувається [24].

Міжкристалітна корозія може бути спричинена неправильною термообробкою, а також певним термічним впливом у процесі зварювання чи інших технологічних обробок. До цього виду корозії схильні: аустенітні хромонікелеві сталі; високохромисті сталі, що містять понад 13% хрому; аустенітні сталі, леговані молібденом; нержавіючі сталі леговані молібденом і міддю [15].

Стійкість до міжкристалітної корозії визначали по ГОСТ 6032-2017 за методом АМУ [25].

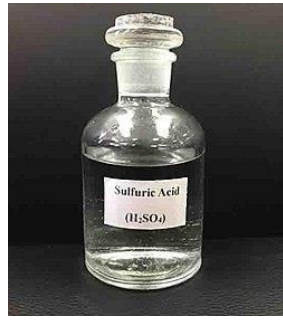
Метод АМУ (А – літерне найменування методів, М – присутність в розчині для випробувань металевої міді, У – прискорені випробування) полягає в тому, що зразки сталей витримують в киплячому водному розчині сірчаної кислоти міді і сірчаної кислоти в присутності металічної міді (стружка) [25].

Для проведення випробувань застосовують такі реактиви (рис.3.4):

- мідь сірчаної кислоти ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) по ГОСТ 4165 або мідний купорос по ГОСТ 19347;
- кислоту сірчану по ГОСТ 4204 щільністю $1,83 \text{ г/см}^3$;
- воду дистильовану за ГОСТ 6709;
- мідь у вигляді стружки по ГОСТ 859;
- кислоту соляну за ГОСТ 3118 щільністю $1,19 \text{ г/см}^3$;
- кислоту азотну по ГОСТ 4461 щільністю $1,40 \text{ г/см}^3$ [8].



а



б



в



г

Рисунок 3.5 – Реактиви, що застосовувалися для проведення випробування на стійкість до міжкристалітної корозії: а – мідь сірчанооксида; б – сірчана кислота; в – дистильована вода; г – мідь у вигляді стружки

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

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



Рисунок 3.6 – Колба з реактивами для випробування зразків зі сталі 25X17H2Б-Ш на стійкість до МКК



Рисунок 3.7 – Зразок зі сталі 25X17H2Б-Ш для випробування на стійкість до МКК

Випробування проводять в скляній колбі зі зворотним холодильником, з дотриманням певних правил, а саме: зразки однієї марки сталі, ряди зразків не стикаються один з одним. Колбу наповнюють розчином близько $4-8 \text{ см}^3$ на 1 см^3 поверхні. Посудину з розчином і зразками для випробування нагрівають і безперервно кип'ятять, не допускаючи нагрівання холодильника. Тривалість випробування $(2,0 \pm 0,25)$ год. Після витримки в розчині зразки промивають водою і просушують [26].

Після закінчення випробувань для виявлення МКК зразки згинають на кут $90^\circ \pm 5^\circ$.

Огляд вигнутих зразків проводять за допомогою лупи із збільшенням 8х-12х. Відсутність тріщин на зразку, зігнутому після випробування в розчині, за винятком поздовжніх тріщин і тріщин безпосередньо на крайках, свідчить про стійкість проти міжкристалітної корозії [27].

Висновки

Встановлено, що для виготовлення деталі «втулка» ГЦН 195М доречно використовувати особливо високоякісну сталь 25Х17Н2Б-Ш. Сталь відноситься до аустенітно-мартенситного класу. Основними легуючими елементами в сталі є хром, нікель та мідь.

Результати роботи представляють собою комплексне дослідження. На першому етапі виконується металографічний аналіз, який складається з двох напрямів: дослідження мікроструктури (мікроскоп МИМ-7), дослідження макроструктури (лупа). Визначення неметалевих включень проводили методом Ш по ГОСТу 1778-70. Макродефекти виявляли по ГОСТу 10243-75.

Наступною складовою комплексного дослідження є визначення твердості виробу після відповідних операцій термічної обробки. В даній роботі використовуються визначення твердості за методом Брінелля та Роквелла по ГОСТам 9012-59 і 9013-59 на твердомірах ТШ-2 та ТК-2 відповідно.

Останньою операцією комплексного дослідження даної роботи є визначення стійкості сталі 25Х17Н2Б-Ш до міжкристалітної корозії. Аналіз проводили по ГОСТу 6032-2017 методом АМУ на спеціально підготовлених зразках.

Матеріали та методика дослідження, які будуть використані в даній роботі є стандартними, недорогими і загальнодоступними.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

Технологічний процес – частина процесу виробництва будь якої деталі, яка включає в себе безліч технологічних операцій. В даному випадку, процес складається з наступних кроків: видобування руди, переплавка її в сталь, поліпшення якості сталі, перетворення сталі в товстостінну трубу і, під кінець, і термічна обробка після якої реалізують формоутворюючу обробку виробу.

4.1 Правила розробки технологічного процесу виготовлення деталі

Основою дипломного проекту – є розробка маршрутної технології виготовлення виробу. Технологічний процес механічної обробки повинен розроблятися відповідно до ЄСТПВ і задовольняти вимогам ГОСТ 14301-83 "Загальні правила розробки технологічного процесу і вибору засобів технологічного оснащення".

Треба зазначити, що в даній роботі запропоновано використовувати верстати та інструменти високої продуктивності. Вони мають підвищену потужність та жорсткості, на них можна вести обробку на більш високих режимах різання і більш концентрованими методами. Такі верстати призначені для багатосерійного та масового виробництв [27].

4.2 Етапи отримання деталі

Маршрутна технологія складається з таких етапів: металургійне отримання чавуну, сталі; отримання заготовки (труби); термічна обробка та механічна обробка (табл. 4.1)

Таблиця 4.1

Маршрутна технологія виготовлення виробу

№ операції	Найменування операції	№ переходу	Найменування переходів	Дільниця, основне обладнання	Допоміжне обладнання
1	2	3	4	5	6
Етап 1. Металургійне отримання сталі					
1.1	Видобування та підготовка вхідних матеріалів	1	Видобування залізної руди та її збагачення	Шахти, кар'єри	-
		2	Видобування вугілля, отримання коксу	Шахти, кар'єри, коксохімічний комбінат	
		3	Видобування пального газу, підготовка його	Газовидобувний комплекс	
1.2	Підготування руд до доменного плавлення	1	Подрібнення	Подрібнювачі конусні, валкові	-
		2	Класифікування матеріалу	Класифікатори сита (грохоти)	
		3	Збагачення руди	Промивне обладнання	Обладнання гравітаційного, магнітного, сепараційного і флотаційного збагачення
		4	Згрудкування алгомерація, окатування	Алгомераційні машини	Гранулятори
1.3	Підготування	1	Спикання вугілля на	Коксова піч	-

	палива		коксохімічних комбінатах у кокс		
		2	Очищення, підігрівання природнього газу перед подаванням до фурм	Фільтри	Теплообмінники
1.4	Підготування допоміжних матеріалів (флюсу)	1	Обпалювання флюсу - вапняку	Обпалювальна піч	-
		2	Офлюсовування алгомерату (окатишів)	Гранулятори	
1.5	Доменне плавлення	1	Відновлення заліза	Доменна піч	-
		2	Навуглецевування заліза і утворення рідкого чавуну		
		3	Відновлення домішок		
		4	Утворення шлаку		
1.6	Отримання сталі дуплекс-процесом. Переділ чавуну на сталь в конвертерній печі	1	Підготовлення твердих шихтових матеріалів	Подрібнювачі	Згрудковувачі
		2	Підготовлення рідкого чавуну	Міксери для проміжного зберігання рідкого чавуну, вирівнювання хімічного	-

				складу	
		3	Підготовлення палива (окислювача)	Теплообмінник и для підігрівання газоподібного палива	-
		4	Завантаження твердих шихтових матеріалів в конвертерну піч	Завантажувальна машина	Конвертерна піч, мультда
		5	Заливання рідкого чавуну	Конвертерна піч	-
		6	Продування киснем	Фурма	Стиснений кисень
		7	Зливання сталі з конвертеру і розкислення	Ковші	Елементи-розкислювачі
		8	Зливання шлаку	Шлаковози	-
1.7	Доводка хімічного складу до потрібного в електродуговій печі	1	Заправка (ремонт) футеровки електродугової печі	Заправна машина	
		2	Завалка шихти – закладання твердих шихтових матеріалів скрапу	Завантажувальна корзина	-
		3	Заливання рідкої сталі	Сталерозливний ківш	
		4	Опускання електродів,	Графітові електроди	

			плавлення		
		5	Окислювальний період	Завантажувальна корзина	Окалина, алгомерат, шлакоутворювальні речовини
		6	Відновлювальний період	Завантажувальна корзина	Розкислювачі, шлакоутворювальні речовини
		7	Легування сталі	Завантажувальна корзина	Легувальні елементи (феросплави)
		8	Зливання рідкої сталі	Сталерозливний ківш	-
1.8	Доводка якості	1	Електрошлаковий переплав	Установка ЕШП	
Етап 2. Отримання заготовки (труби)					
2.1	Гаряче прокатування	1	Прошивка	Бочкоподібні стани	Оправлення на стрижні
		2	Розкатка	Валки	
2.2	Гаряче оздоблення	1	Обкатка	Обкатний стан	
		2	Калібрування	Трьохволковий стан	
		3	Редукування	Редукувальний стан	
2.3	Охолодження	1	Охолодження труб	Охолодний стіл	
2.4	Усунення поздовжньої кривизни	1	Усунення поздовжньої кривизни	Правильний стан	
Етап 3. Термічна обробка					

3.1	Попередня термообробка (відпал)	1	Зняття внутрішніх напруг та підготовка до механічної обробки	СНЗ-3,0.6.5.2,0/12	-
3.2	Контроль	1	Вимір твердості	Бринель ТШ-2	Індентор, стальна загартована кулька
3.3	Термічна обробка (гартування, обробка холодом, відпуск)	1	Остаточна термічна обробка задля поліпшення механічних властивостей сталі	СШЗЛ – 2.4/12	ХКМ-1, СШО-6.12/7
3.4	Контроль	1	Вимір твердості	Роквелл ТК-2	Індентор, алмазний конус
Етап 4. Механічна обробка					
3.5	Торцівка кінців труб	1	Торцівка кінців труб	Токарний верстат	Токарні різці, шести кулачковий патрон
		2	Зняття фаски		
		3	Відрізання потрібної довжини		
3.6	Контроль якості	1	Інспекція	-	-
3.7	Токарна чорнова	1	Виточування зовнішніх діаметрів деталі	Токарний верстат	4-кулачковий патрон, різець
		2	Виточування внутрішніх діаметрів деталі		
3.8	Контроль	1	Контроль	Контроль розмірів і шорсткості обробленої поверхні	Штангенциркуль ШЦ-1-250-01-2 ГОСТ 166-89
3.9	Токарна	1	Отримання галтелей	Токарний	4-кулачковий

				верстат	патрон, різець
3.10	Контроль	1	Контроль	Контроль розмірів і шорсткості обробленої поверхні	Штангенциркуль ШЦ-1-250-01-2 ГОСТ 166-89, радіусний шаблон
3.11	Токарна напівчистова	1	Підвищення чистоти поверхні	Токарний верстат	4-кулачковий патрон, різець
3.12	Контроль	1	Контроль	Контроль розмірів і шорсткості обробленої поверхні	Штангенциркуль ШЦ-1-250-01-2 ГОСТ 166-89
3.13	Токарна	1	Вирізання кута 45° на внутрішній стороні стінки деталі	Токарний верстат	4-кулачковий патрон, різець
3.14	Контроль	1	Контроль	Контроль розмірів і шорсткості обробленої поверхні	Кутомір
3.15	Фрезерна (вертикальна)	1	Вирізання пазів на зовнішній стороні деталі	Вертикально-фрезерувальний верстат	Фреза Р2-248А-30, Штангенциркуль ШЦ-1-250-01-2 ГОСТ 166-89
3.16	Контроль	1	Контроль	Контроль розмірів і шорсткості обробленої поверхні	Штангенциркуль ШЦ-1-250-01-2 ГОСТ 166-89
3.17	Токарна чистова	1	Підрізка торців, точіння фаски, точіння отвору, точіння канавки	Токарний верстат	4-кулачковий патрон, різець
3.18	Контрольна	1	Контроль	Контроль розмірів і шорсткості	Штангенциркуль ШЦ-1-250-01-

				обробленої поверхні	2 ГОСТ 166-89
3.19	Кінцева термічна обробка (низький відпуск)	1	Отримання заданих механічних властивостей	Піч СНО	-
3.20	Контроль	1	Контроль твердості	Твердомір ТК- 2М	Індентор, алмазний конус

Висновки

В даній роботі запропоновано сучасна та економічно вигідна технологія виготовлення деталі «втулка». При розробці маршрутної технології були враховані всі фактори, які б могли змінити хід розроблення деталі «втулка», а саме: зручність та коректність виготовлення чорнової моделі потрібної нам деталі, сучасність обладнання та допоміжних інструментів тощо.

Включає в себе такі розділи:

1. Добування руди;
2. Переплавка руди в чавун;
3. Отримання з чавуну сталі;
4. Поліпшення якості сталі методом електрошлакового переплаву;
5. Отримання заготовки «труба» методом прокатування;
6. Термічна обробка з подальшою механічною чорнової і чистою обробками, включаючи контроль якості.

Рекомендовані послідовність операцій забезпечить отримання готову деталь «втулка» насосу ГЦН-195М із заданими механічними властивостями. Треба зазначити, що реалізація даної технології можлива за умови використання сучасного, високопродуктивного обладнання та інструментів.

РОЗДІЛ 5

РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1 Призначення термічної обробки деталі «втулка»

На основі отриманих даних за проведенням літературним оглядом базова, найбільш поширена технологія термічної обробки деталі «втулка», виготовленої зі сталі 25X17H2Б-Ш складається з послідовних операцій-двократного відпалу, гартування, обробки холодом і відпуску (рис. 5.1).

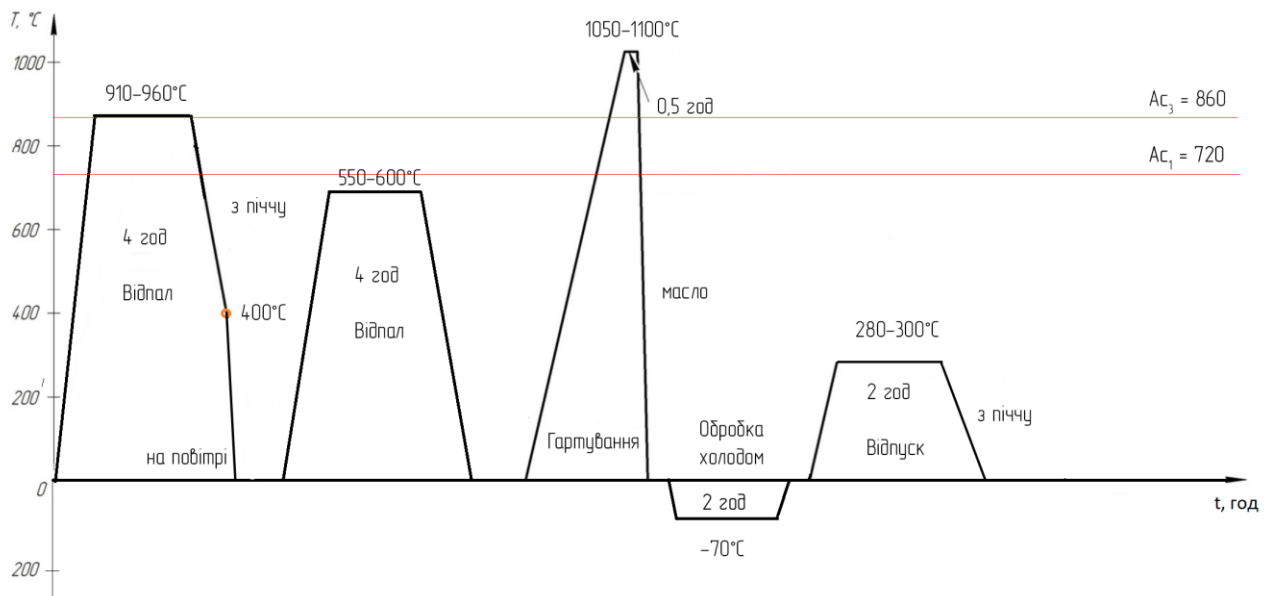


Рисунок 5.1 – Базовий режим термічної обробки деталі «втулка» зі сталі 25X17H2Б-Ш

Базовий варіант роботи є відносно недешевим та довготривалим. Пропонуємо замінити дану технологію на більш дешеву і менш тривалішу. Запропонований варіант обробки включає послідовні операції з відпалу, гартування, обробки холодом і двох відпусків.

Вдосконалення існуючої технології можливе за умови використання високопродуктивного і технологічного обладнання і інструменту. Подвійний відпал, який проводиться в базовому варіанті термічної обробки сталі 25X17H2Б-Ш потрібен для підвищення оброблюваності. В запропонованому

варіанті термічної обробки формоутворюючі операції проводяться після відпуску. Дане вдосконалення дозволяє не використовувати одну із високотемпературних операцій і крім того призводить до суттєвого скорочення часу обробки.

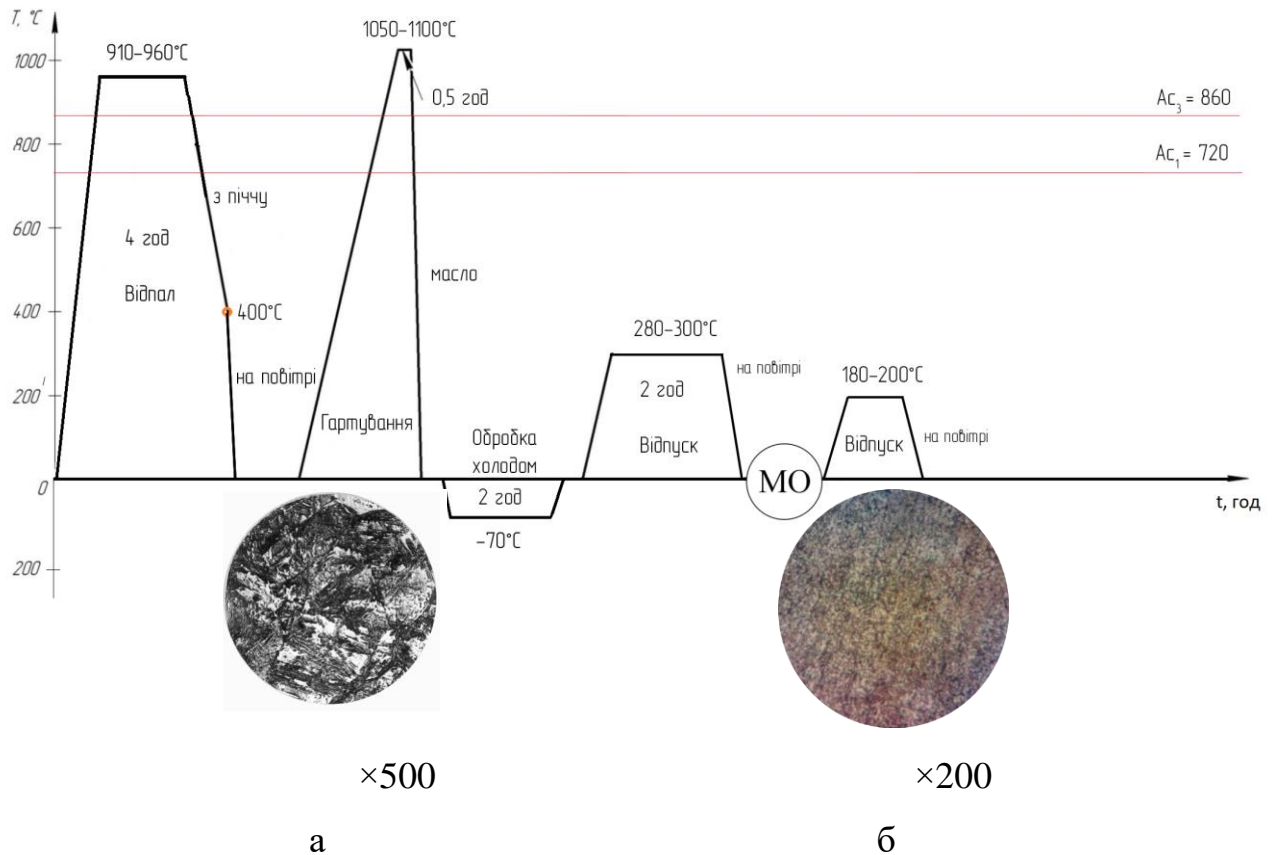


Рисунок 5.2 – Вдосконалений режим термічної обробки деталі «втулка» зі сталі 25Х17Н2Б-Ш: а – мікроструктура сталі 25Х17Н2Б-Ш після гартування в маслі; б – мікроструктура сталі 25Х17Н2Б-Ш після повної термічної обробки.

Внаслідок холодної деформації підвищується міцність сталі лише за наявності у структурі мартенсита, що утворюються за рахунок мартенситного $\gamma \rightarrow \alpha_M$ перетворення [11]. Важливою умовою отримання високої міцності на сталях аустенітно-мартенситного класу є своєчасне проведення обробки холодом, розрив між загартуванням та обробкою холодом не повинен перевищувати 12 год, оскільки тривале вилежування загартованого виробу призводить до стабілізації аустеніту і значно зменшує кількість мартенситу, що утворюється при обробці холодом. З цієї ж причини перед обробкою холодом

деталі не повинні піддаватися нагріванню або впливу низьких температур від 0 до -40°C [28].

Відпал полягає в нагріванні сталі, витримці при даній температурі і наступному повільному охолодженні разом з піччю. В результаті відпалу утворюється стійка структура, вільна від залишкових напружень [28]. Враховуючи хімічний склад, форми і розміри деталі нагрів повинен бути повільним до 400°C потім дозволяється охолоджувати на спокійному повітрі.

Гартування – це операція при якій здійснюють нагрівання деталей та ізотермічну витримку за температур вище критичних з подальшим охолодженням [28]. Основна мета гартування в даному випадку - отримання високої твердості, зносостійкості і фізико-механічних властивостей. Різке збільшення твердості і міцності в процесі гартування відбувається через фазові перетворення структури в процесі нагрівання і охолодження і утворення не рівноважних твердих структур – мартенситу [29]. Нагрівання деталей повинно бути досить повільним, щоб не виникли напруги і тріщини [29]. Охолодження деталі є найбільш відповідальним етапом операції. Швидкість охолодження повинна бути такою, щоб забезпечити отримання потрібної структури - мартенсит. Основна мета гартування в даному випадку - це розчинення карбідів хрому, тобто перехід хрому із стані хімічної сполуки у вигляд твердого розчину, що необхідно для виникнення стійкості проти міжкристалітної корозії виробу.

Обробка холодом полягає в охолодженні загартованих деталей в середовище, що має температуру нижче нуля. Сутність термообробки холодом у тому, що температура закінчення мартенситного перетворення M_k лежить нижче 0°C , отже, після гартування у структурі є значна кількість залишкового аустеніту [28]. Обробку холодом рекомендується застосовувати безпосередньо після гартування.

Відпуск сталі є кінцевою операцією термічної обробки, яка формує структуру, а отже, і властивості сталі [29]. В нашому випадку ми пропонуємо проводити перший відпуск для формування структури з високими

показниками ударної в'язкості. Другий відпуск проводим для зняття напруг, які виникли після отримання деталі. Відпуск полягає в нагріванні сталі до різних температур, ізотермічній витримці при цій температурі і охолодженні на спокійному повітрі.

5.2 Результати металографічного аналізу

Візуальний огляд спеціально підготовленого зразка (темплета) надав можливість встановити наявні макродефекти структури сталі. Дослідження проводили за допомогою лупи, без застосування мікроскопів. Встановлено, що в структурі присутні макродефекти з максимальною оцінкою 1 бал (рис.5.3, табл. 5.1)



Рисунок 5.3 – Центральна пористість: а – зразок сталі у збільшенні; б – центральна пористість з оцінкою в 1 бал згідно ГОСТ 10243-75

Таким чином була встановлена наявність двох типів дефектів: центральна пористість і загальна п'ятниста ліквіація (таблиця 5.1).

Таблиця 5.1

Оцінка макродефектів сталі 25X17H2Б-Ш

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

Центральна пористість (ЦП) – це дрібні порожнечі, що не заварилися при гарячій механічній обробці. Оцінюється кількістю та розміром пір і площею зразка, ураженого пористістю [30].

П'ятниста ліквіація – загальна (ОПЛ) та крайова (КПП) – окремі темні плями різних розмірів та форм, розташовані рівномірно або орієнтовані вздовж граней зразка. Визначається числом, розміром плям, площею поразок чи глибиною залягання [30].

Виявлені дефекти не несуть в собі особливого впливу на функціонування деталі «втулка», виготовленої із особливо високоякісної сталі 25X17H2Б-Ш.

5.3 Визначення неметалевих включень

Випробування по визначенню неметалевих включень в сталі 25X17H2Б-Ш проводилися металографічним способом за методом «Ш» під мікроскопом

МИМ-7 при збільшенні 100 крат порівнянням з еталонними шкалами при перегляді всієї площі нетравленого шліфа з повздовжнім направленням волокон [31].

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

Результати випробування наведені на рисунку 5.5 і в таблиці 5.2



×100

Рисунок 5.4 – Оксид точковий, сталь 25X17H2B-III

Таблиця 5.2

Результати випробувань сталі 25X17H2B-III за методом «Ш»

Назва дефекту	Оцінка, бал
ОР	0
ОТ	1
СХ	0
СП	0
СН	0
С	0

Було виявлено незначну кількість оксиду точкового (рис. 5.2), яку оцінено в 1 бал. До оксидів відносяться включення окремих дрібних зерен, частіше корунду та шпинелі, розташовані у вигляді рядків. Точкові включення

переважно простих та складних кристалів оксидів у вигляді окремих частинок або розрізнених груп, розосереджених по всій площині шліфу [31].

В результаті можна сказати, що сталь 25X17H2Б-Ш високої чистоти і якості за неметалевими включеннями, що відповідає вимогам до властивостей деталей, які виготовляються з даної марки сталі. Наявне неметалеве включення не несе значного впливу на якісні характеристики сталі.

5.5 Результати визначення твердості

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

Результати випробувань наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3

Результати випробувань на механічні властивості

Матеріал	Твердість після відпалу, НВ	Твердість після остаточної термічної обробки, HRC
25X17H2Б-Ш	210-230	28-29

Твердість на зразках згідно вимірювань дорівнює 28-29 HRC, що є задовільним для втулки зі сталі 25X17H2Б-Ш.

Як видно з результатів досліджень термічна обробка, що включає в себе відпал, гартування, обробку холодом і подвійний відпуск задовольняє вимогам, що висуваються до готового виробу.

5.4 Результати визначення стійкості до міжкристалітної корозії

Для визначення ступеня корозії у зерні матеріалу існує кілька методів, застосування яких залежить від хімічного складу випробуваного матеріалу. В

нашій роботі враховуючи хімічний склад сталі ми використали метод АМУ.

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

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

Випробування проводили у скляній колбі зі зворотним холодильником. Потім колбу заповнювали розчином для випробувань близько 6 см на 1 см поверхні зразка. Реакційну посудину з розчином та зразками для випробування нагрівали і безперервно кип'ятили, не допускаючи нагрівання холодильника. Тривалість витримки в киплячому розчині становив – 8 годин . Після витримки у розчині зразки промили водою та просушили.

Після закінчення випробувань зразки було зігнуто під кутом 90°C для виявлення міжкристалітної корозії, що зображено на рисунку 5.6.



Рисунок 5.5 – Результати випробувань на стійкість до МКК

Проаналізувавши результати дослідження ми дійшли висновку, що всі зразки показали повну відсутність схильності до міжкристалітної корозії. Це можна пояснити тим що запропонований режим термічної обробки абсолютно точно задовольняє вимогам до втулки зі сталі 25X17H2Б-Ш. В результаті формується структура, яка є стійкою до міжкристалітної корозії.

5.6 Вибір основного обладнання для проведення термічної обробки

Підвищені вимоги до точності та стабільності результатів виготовлення деталей визначили широке впровадження в термічних цехах автоматизування [32].

Обладнання термічних цехів поділяється на три групи: основне, доповнювальне та допоміжне [32].

Основне обладнання застосовується для виконання основних технологічних операцій термообробки. До нього належать нагрівальні печі й установки, механізовані агрегати, обладнання для охолодження (гартівні баки і машини, установки для обробки металу холодом тощо) [32].

Для відпалу деталі «втулка» була обрана камерна піч. Камерні автоматизовані печі забезпечують виконання сучасних технологічних процесів. Характерним для таких печей є виготовлення в єдиному каркасі печі камери нагрівання, завантажувального тамбуру (шлюзу) і гартового бака (рис. 5.6), що забезпечує герметичність установки [11].

Для даної деталі «втулка», виходячи з температури відпалу, а також враховуючи розміри, взятих з креслення (Додаток Г), була обрана електропіч моделі «СНЗ-3,0.6.5.2,0/12» (табл. 5.4, рис. 5.6).

Таблиця 5.4

Опис характеристик електропечі СНЗ-3,0.6.5.2,0/12 [33]

Тип печі	Ширина	Довжина	Висота	Гранична температура, °С
Шахтна з керамічною теплоізоляцією	300	650	200	1250



Рисунок 5.6 – Зовнішній вигляд печі СНЗ-3,0.6.5.2,0/12 [33]

Електропід СНЗ-3,0.6.5.2,0/12 призначена для проведення різних видів термообробки без наявності безвуглецевого шару, в процесі нагрівання під відпал, нормалізацію, загартування або відпустку у стаціонарних умовах. Під має газоцильний корпус, штуцера введення та виведення захисного газу (азот, або аргон), мановакуумметр для контролю значення надлишкового тиску газу в печі. Герметизація печі забезпечує малі витрати робочих газів. Також великим плюсом даної печі є система автоматичного регулювання температури.

Для гартування деталі була обрана шахтна під СШЗЛ – 2.4/12 (рис.5.7, табл. 5.5). Дана під обладнана захисною атмосферою, аби усунути залишкові окислення деталі.



Рисунок 5.7 – Зовнішній вигляд шахтної печі з захисною атмосферою
СШЗЛ – 2.4/12 [34]

Таблиця 5.5

Опис характеристик вакуумно шахтної печі СШЗЛ – 2.4/12 [34]

Тип печі	Робочі розміри, мм	Потужність, кВт	Гранична температура, °С
Шахтна з захисною атмосферою	400×600	24	1200

Глибоке охолодження при термічній обробці використовується для розкладання залишкового аустеніту в загартованих високолегованих інструментальних та цементованих сталях з метою підвищення твердості та стабілізації розмірів оброблюваних деталей. Для цього деталі занурюють у середу з низькою температурою і витримують у ній [35].

Для даної деталі була застосована обробка холодом в процесі термічної обробки, тому буде доречно використати механічні холодильні установки каскадного типу [35].

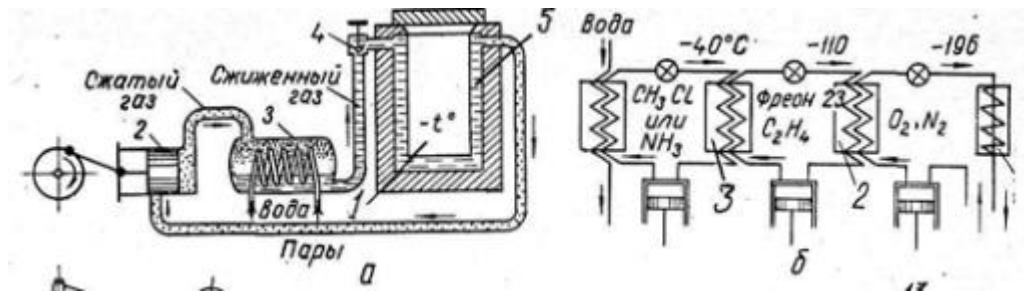


Рисунок 5.8 – Механічні холодильні установки каскадного типу [34]:

а – схема однокаскадної охолоджувальної установки, б – схема трикаскадної холодильної установки.

В механічних холодильних установках каскадного типу камера охолоджується за рахунок поглинання тепла агентом, що випаровується. Останній вибирається таким, щоб його пари після стиснення та невеликого охолодження легко конденсувалися в рідину, яка знову випаровується, відновлювала б цикл охолодження. Схема однокаскадної установки наведено на рис. 5.8, а. Пари холодоагенту, що відходять з камери, стискуються компресором 2 і конденсуються в теплообміннику 3 в результаті охолодження водою. Зріджений газ через регулювальний вентиль 4 потрапляє в охолоджувальну сорочку 5, і, випаровуючись, поглинає тепло, виділяється завантаженими в робочий простір камери деталями [35].

За необхідності зменшення температури в камері нижче -50°C . застосовують дво-і трикаскадне охолодження (один холодоагент конденсує інший з нижчою температурою кипіння). На рис. 5.8, б дана схема трикаскадної холодильної установки. При цьому в охолодній камері досягається температура -190°C [35].

Виходячи з робочої температури охолодження трикаскадної холодильної установки, можна дійти висновку, що в нашому випадку доречно використовувати двокаскадне охолодження, а саме установку ХКМ-1 (табл. 5.6).

Таблиця 5.6

Опис характеристик двокаскадної холодильної установки ХКМ-1 [35]

Тип установки	Розміри робочої камери, мм	Теплопоглинання, кДж/год	Потужність, кВт
Двокаскадна холодильна установка ХКМ-1	350×500	4000	3,2

Для відпуску обираємо низькотемпературну шахтну електропеч СШО-6.12/7 (рис. 5.9, табл. 5.7).

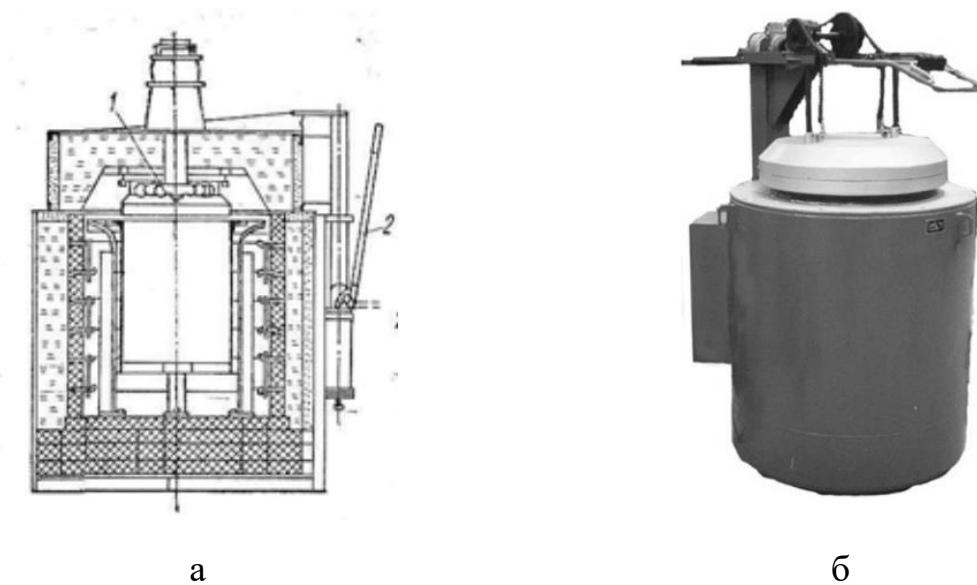


Рисунок 5.9 – Схема (а) та загальний вигляд (б) низькотемпературної шахтної електропечі СШО-6.12/7

Опис характеристик низькотемпературної шахтної електропечі СШО-

6.12/7 [35]

Розміри робочого простору, м	Габаритні розміри, мм	Об'єм робочого простору, м ³	Потужність, кВт	Максимальна садка, кг/год	Продуктивність, кг/год	Температура, °С
600×1200	2800×2700×4000	0,34	50	1,0	100	700

Електропіч складається з кожуха, футеровки, нагрівачів, екрану, кришки з вентиляторною установкою, механізму підняття і відведення кришки, системи управління нагріванням.

Зверху робочий простір печі закривається зварною футерованою кришкою з встановленою в ній вентиляторною установкою. З допомогою вентилятора забезпечується висока однорідність температури в робочому просторі [36].

Висновки

В якості матеріалу деталі «втулка» головного циркуляційного насосу запропоновано використовувати сталь корозійностійку мартенсито-аустенітну сталь 25X17H2Б-Ш.

Встановлено, що даний матеріал з наступною термічною обробкою задовольняє всім вимогам, які висуваються до готового виробу.

В роботі запропоновано вдосконалити існуючу, базову термічну обробку, яка складається з наступних послідовних операцій: подвійний відпал, гартування, обробка холодом та відпуск. Запропонована технологія термічної обробки складається з: відпал (910-960°C, 4 год), гартування (970-1100°C, 0,5 год), обробка холодом (-70°C, 2 год), відпуски (280-300°C, 2 год і 180-200°C, 2 год). Нова технологія термічної обробки менш довготривала та дає нам змогу відмовитись від однієї із високотемпературних операцій відпалу. Були внесені зміни в технологічний процес отримання втулки, а саме формують механічна обробка проводиться не після відпалу, а після відпуску. Це можливо реалізувати у випадку застосування високопродуктивного обладнання та інструменту.

В лабораторних умовах було проведено металографічний макро і мікроаналіз з визначення макродефектів, неметалевих включень та структури після термічної обробки.

В результаті комплексного аналізу встановлено, що основним макродефектом є центральна пористість і загальна п'ятниста ліквіація. Максимальний розмір даних дефектів відповідає балу 1. Виявлені неметалеві включення представляють собою оксид точковий, розмір та кількість якого відповідає балу 1. В результаті запропонованої термічної обробки формується структура, яка відповідає твердості 28 HRC, що задовольняє вимоги до готового виробу. Всі зразки сталі 25X17H2Б-Ш виявилися стійкими до міжкристалітної корозії.

ВИСНОВКИ

1. Кваліфікаційна робота призначена розробці сучасної, економічно вигідної маршрутної технології виготовлення та термічної обробки деталі «втулка».

Аналіз призначення деталі «втулка» головного циркуляційного насосу говорить про те, що дана деталь є відповідальною частиною головного циркуляційного насоса ГЦН-195. Встановлено що втулка насоса виконує роль цапфи, тобто є опорою для підшипників і самого валу насосу. Таким чином, деталь втулка працює в наступних умовах: агресивне середовище (вода), радіація, тертя і висока температура.

Основними причинами виходу з ладу є механічний знос, циклічна втома, корозія, кавітаційний знос та міжкристалічна корозія. Вимоги, що висувуються до готового виробу: межа текучості ($\sigma_{0,2}$) дорівнює 1175 МПа, тимчасовий опір (σ_B) – 1470 МПа, відносне подовження (δ) не більше 8%, відносне звуження (ψ) не більше 45%, ударна в'язкість (КСУ) – 50 Дж/см², твердість (HRC) – 28.

2. Проведений критичний аналіз літературних джерел. Проаналізовані основні методи вдосконалення характеристик та властивостей сталі 25X17H2B-III за рахунок додавання легуючих елементів та проведення сучасних операцій термічної обробки.

3. Для виготовлення деталі «втулка» рекомендовано сталь 25X17H2B-III. Визначено, що сталь 25X17H2B-III відноситься до аустенітно-мартенситного структурного класу.

4. Розроблений сучасний технологічний процес виготовлення деталі «втулка». Запропонована наступна послідовність операцій: видобування руди; отримання чавуну; виплавка сталі; отримання заготовки; термічна обробка; отримання деталі, знеміцнююча термічна обробка (низький відпуск).

5. В роботі запропоновано вдосконалити існуючу, базову термічну обробку, яка складається з наступних послідовних операцій: подвійний відпал, гартування, обробка холодом та відпуск. Запропонована технологія термічної

обробки складається з: відпал (910-960°C, 4 год), гартування (970-1100°C, 0,5 год), обробка холодом (-70°C, 2 год), відпуски (280-300°C, 2 год і 180-200°C, 2 год). Запропонована технологія термічної обробки менш довготривала та дає нам змогу відмовитись від високотемпературної операції відпал. Були внесені зміни в технологічний процес отримання деталі «втулка», а саме формують механічна обробка проводиться не після відпалу, а після відпуску. Це можливо реалізувати у випадку застосування високопродуктивного обладнання та інструменту.

Визначено, що кінцева структура сталі 25X17H2Б-Ш мартенсит та аустеніт. Були визначені дефекти такі як центральна пористість та загальна п'ятниста ліквіація бал 1. Крім того було виявлено оксид точковий бал 1.

Твердість сталі 25X17H2Б-Ш після термічної обробки становить 28 HRC, що задовольняє основним вимогам до деталі «втулка».

Сталь 25X17H2Б-Ш після рекомендованої термічної обробки виявилась стійкою до МКК.

В роботі було обрано основне обладнання для проведення термічної обробки.

Список використаних джерел

1. Атомна енергетика у світі: *Атоменергомаш*. URL: <https://aem-group.ru/mediacenter/informatoriya/atomnaya-energetika-v-mire.html>.
2. Реакторна установка: *Нормативне значення*. URL: <https://inlnk.ru/eme1B0>.
3. Циркуляційний насос АЕС : *Вікіпедія*. URL: <https://inlnk.ru/4yDa58>.
4. Головний циркуляційний насос ГЦН-195М для АЕС с ВВЕР-1000 АЕС : *Технологічні процеси виробництва теплової та електричної енергії на АЕС*. URL: https://ozlib.com/863684/tehnika/glavnyy_tsirkulyatsionnyy_nasos_195_m_vver_1000.
5. Втулка : *Вікіпедія*. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%82%D1%83%D0%BB%D0%BA%D0%B0>;
6. Насосний агрегат: пат. 2280194 росія: F04D29/04, F04D29/60; 4 с.
7. Дослідження впливу термічної обробки на властивості корозійностійких сталей аустенітно-мартенситного класу : *Кваліфікаційна робота магістра*. URL: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/86857/1/Serbalyuk_mag_rob.pdf.
8. Потак Я.М . Высокопрочные стали. - М.: Металлургия, 1982. - 208 с.
9. Чигал В. Межкристаллитная коррозия нержавеющей сталей // *Химия*. - 1999. - 232 с.
10. Ланская К. А . Високохромисті жароміцні сталі. - М.: Металургія, 1976. – 216.
11. Термічна обробка в машинобудуванні : Збірник / відпов. за випуск Ю.М. Лахтіна, А.Г. Рахштадта. – М. : машинобудування 1980. – 783 с.
12. Кулініч С.П. Поліпшення експлуатаційних характеристик об'ємних гідродвигунів поступального руху в складі гідроагрегатів шляхом компенсації впливу нерівномірної подачі насоса : дис. Наздобуття наукового ступеня кандидата тех. Наук : 05.05.2017. Суми, 2015. 141 с.

13. Харченко Н.А., Негреба Н.Ю. Термічна обробка сталі 25X17H2Б-Ш // Матеріали для роботи в екстремальних умовах : збірник тез та доповідей Міжнародної наукової конференції (НН ІМЗ ім. Є.О. Патона, НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського») / відпов. за випуск П.І. Лобода. Київ, 2021.
14. Сталь 25X17H2Б-Ш: *Марочник сталі*. URL: <https://evek.org/materials/stal-25h17n2b.html>.
15. Макро- та мікроаналіз металевих матеріалів. Оптична мікроскопія: метод. вказівки до лабораторної роботи з дисципліни «Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів» для спеціальності 180405 «Експлуатація суднових енергетичних установок» / відпов. за випуск Ю.А. Зорін, М.С. Пушкін. - СПб.: Вид-во ГМА ім. адм. С.О. Макарова, 2012. - 20 с.
16. ГОСТ 10243-75. Видання. Методи випробувань і оцінки макроструктури. [Чинний від 1975-08-19]. Вид. постановою Державного комітету стандартів Ради Міністрів СРСР від 19 серп, 1975. 16 с.
17. Металографічне травлення металів та сплавів: довідник / Л. В. Баранова, Е. Л. Дьоміна. - Москва: Металургія, 1986. - 256 с.
18. Єрмаков Б.С. Дослідження структури та властивостей металів та сплавів: Метод. вказівки до лабораторної роботи № 1 за курсом «Матеріалознавство» для студентів спеціальностей 140504, 190603, 220301 - СПб.: СПбГУНіПТ, 2007. - 50 с.
19. ГОСТ 23677-79. Видання. Твердоміри для металів. Загальні технічні вимоги. [Чинний від 1981-01-01]. Вид. постановою Державного комітету стандартів Ради Міністрів СРСР від 1 січня, 1981. 16 с.
20. Твердомір ТШ-2 : *Фото зовнішнього вигляду*. URL: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.geo-ndt.ru%2Fpribor-2536-tverdomer-tsh-2m.htm&psig=AOvVaw1GHzwpmD->.
21. Індентори твердомірів : *Допоміжне обладнання*. URL: <https://metrotest.ru/tverdomery/dop/indenters>.
22. Твердомір ТК-2, ТК-2М : *Фото зовнішнього вигляду*. URL: <http://asma.com.ua/content/tverdomery/tverdomery/192>.

23. Алмазний індентор для твердомірів : *Фото зовнішнього вигляду*. URL: <https://www.alibaba.com/diamond-tool-tester-suppliers.html>.
24. Методичні вказівки до лабораторної роботи «Вивчення стійкості сталі до міжкристалічної корозії» з дисципліни «Сплави з особливими властивостями»/ укладачі : О. П. Гапонова, Л. Ф. Руденко, Т. П. Говорун. – Суми : Сумський державний університет, 2015. – 26 с.
25. ГОСТ 6032-2017. Видання. Методи випробувань на стійкість проти міжкристалічної корозії. Загальні вимоги та правила (ISO 3651-1:1998, ISO 3651-2:1998). [На заміну ГОСТ 6032-2003; чинний від 2017-09-12]. Вид. офіц. наказом Федерального агентства з технічного регулювання та метрології, 2018. 36 с.
26. Техніка та методи корозійних випробувань: Навчальний посібник, Уфа: Вид-во УДНТУ, 1998.-102 с.
27. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів. - К.: Вища школа, 1993. - 414 с.
28. Klueh R.L., Alexander D.J., Sokolov M.A. Effect of chromium, tungsten, tantalum and boron on mechanical properties of 5–9Cr–WVTaB steels. *Journal of nuclear materials*. 304 (2002), pp. 139-152.
29. Химушин Ф.Ф. Легирование, термическая обработка и свойства жаропрочных сталей и сплавов. М.: Оборонгиз, 1962, 336 с.
30. Машинобудівні матеріали: Короткий довідник МЗ8 нік / В. М. Раскатов, В. С. Чуєнков, Н. Ф. Бессонова, Д. А. Вейс. – 3-тє вид., перероб. і доп. – М.: машинобудування, 1980, 511 с.
31. ГОСТ 1778-70. Видання. Металографічні методи виявлення неметалевих включень [На заміну ГОСТ 1778-62; чинний від 1972-01-01]. Вид. Центральним науково-дослідницьким інститутом чорної металургії ім. І.П. Бардина від 1 січня, 1972.
32. Типове обладнання термічних цехів та дільниць: Навчальний посібник. –Суми: Вид-во СумДУ, 2008. - 212 с.

33. Піч з захисною атмосферою СНЗ-3.6.2/12,5 Гк : *Електропечі з захисною атмосферою СНЗ, СШЗ, СГЗ*. URL: <http://bortek.ua/promyshlennye-ehlektropechi/pechi-zashchitnoj-atmosferoj/snz-3-6-2-1250>.

34. Піч з захисною атмосферою СШЗЛ – 2.4/12 : *Електропечі з захисною атмосферою СНЗ, СШЗ, СГЗ*. URL: <http://bortek.ua/promyshlennye-ehlektropechi/pechi-zashchitnoj-atmosferoj/?page=2>.

35. Устаткування термічних цехів. Соколов К.Н. - 2-ге вид., Перероб. та дод. - Київ; Донецьк: Вша школа. Головне вид-во, 1984. 328 с.

36. Дальський А. М. Технологія конструкційних матеріалів. Підручник для вишів. Москва: Машинобудування, 1977, 664 с.

Додаток А

Акт впровадження
результатів конкурсної роботи
«ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА ХАРАКТЕРИСТИК ВТУЛКИ
ГОЛОВНОГО ЦИРКУЛЯЦІЙНОГО НАСОСУ»
(автор Негреба Н. Ю., науковий керівник Харченко Н. А.)

Цей акт складений про те, що ТОВ «КОМПРЕСОРАТОММАШ» спільно з кафедрою «Прикладне матеріалознавство і ТКМ» Сумського державного університету проводили роботи, з вибору матеріалу та технології зміцнення виробу «втулка» головного циркуляційного насосу.

З метою збільшення твердості, міцності, ударної в'язкості та стійкості проти міжкристалічної корозії запропоновано як матеріал втулки використовувати сталь 25X17H2B-III та проводити відповідну термічну обробку.

Результати роботи отримані комплексним дослідженням структури та властивостей за допомогою хімічного, металографічного макро- і мікроаналізу, дюрOMETричного аналізу, визначення міцності, пластичності та в'язкості.

Цей акт впровадження свідчить про те, що розроблений новий метод термічної обробки втулки головного циркуляційного насосу зі сталі 25X17H2B-III забезпечує виробу особливий комплекс механічних властивостей.

Директор



Ковальов А. В.

Додаток Б

Додаток А

Акт впровадження результатів студентської наукової роботи
в навчальний процес



Затверджую
Наріжний проректор
Сумського державного
університету
проф., д. е. н. С. В. Леонов
«25» січня 2022 р.

АКТ

впровадження матеріалу студентської наукової роботи «Дослідження властивостей та характеристик втулки головного циркуляційного насосу» студента кафедри прикладного матеріалознавства і ТКМ Сумського державного університету Негреби Нікити Юрійовича в навчальний процес.

Даним актом затверджується, що результати студентської наукової роботи Негреби Нікити Юрійовича, які представлені на участь в Всеукраїнському конкурсі студентських наукових робіт з напрямку «Енергетичне машинобудування» (секція «Енергогенеруючі технології та установки») впроваджено в навчальний процес на факультеті технічних систем і енергоефективних технологій Сумського державного університету в курсах «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, практичних робіт, а також курсових та дипломних проектів.

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

Гусак О. Г.

Зав. кафедри прикладного матеріалознавства і
технологій конструкційних матеріалів,
д.т.н., доц.

Галонова О. П.

Додаток В



(11) 146529

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ Державне підприємство «Український інститут інтелектуальної власності» (Укрпатент)	
Цей паперовий документ ідентичний за документарною інформацією та реквізитами електронному документу з електронним підписом уповноваженої особи Державного підприємства «Український інститут інтелектуальної власності».	
Паперовий документ містить 2 арк., які пронумеровані та прошіті металевими люверсами.	
Для доступу до електронного примірника цього документа з ідентифікатором 0798220221 необхідно:	
1. Перейти за посиланням https://sis.ukrpatent.org .	
2. Обрати пункт меню Сервіси – Отримати оригінал документу.	
3. Вказати ідентифікатор електронного примірника цього документу та натиснути «Завантажити».	
Уповноважена особа Укрпатенту 25.02.2021	 І.С. Матусевич

Сторінка 4 із 4

(11) 146529

(19) UA

(51) МПК (2021.01)
C21D 8/00

(21) Номер заявки:	u 2020 06646	(72) Винахідники:	Харченко Надія Анатоліївна, UA, Руденко Лідія Федорівна, UA, Карінцев Іван Борисович, UA, Ільїних Анна Анатоліївна, UA, Дегула Андрій Іванович, UA, Кайдаш Дмитро Віталійович, UA, Ольховик Катерина Євгенівна, UA, Негрба Нікіта Юрійович, UA, Івченко Олександр Володимирович, UA, Жигилі Дмитро Олексійович, UA, Панченко Віталій Олександрович, UA, Гладишев Дмитро Петрович, UA, Антонов Анатолій Павлович, UA, Ткаченко Олександр Володимирович, UA, Іванов Віталій Олександрович, UA
(22) Дата подання заявки:	16.10.2020	(73) Володілець:	СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Римського-Корсакова, буд. 2, м. Суми, 40007, UA
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності:	25.02.2021		
(46) Дата публікації відомостей про державну реєстрацію та номер Бюлетеня:	24.02.2021, Бюл. № 8		

(54) Назва корисної моделі:

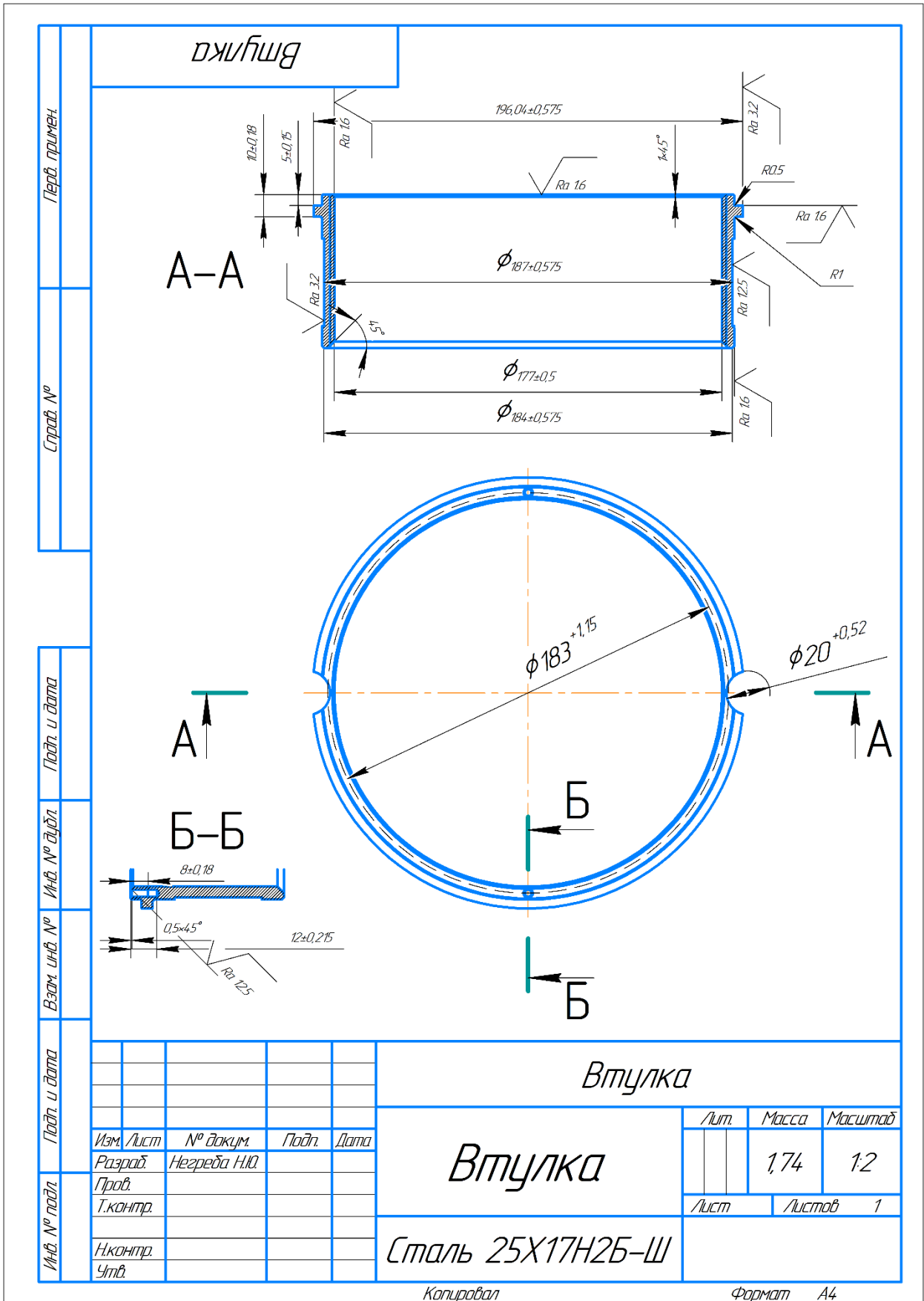
СПОСІБ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ВАЛА АТОМНОГО НАСОСА ЗІ СТАЛІ 14X17H2

(57) Формула корисної моделі:

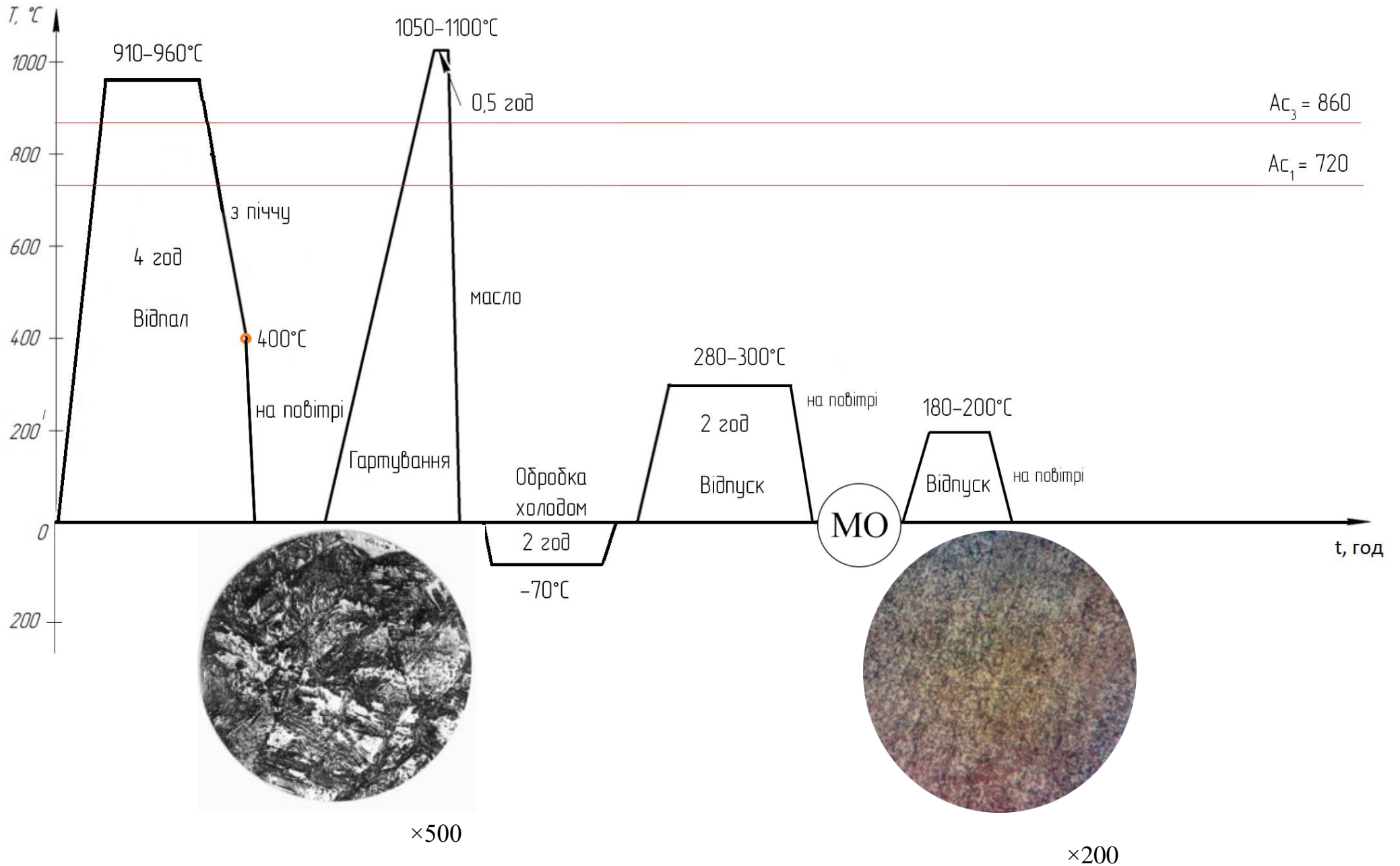
Спосіб термічної обробки вала атомного насоса зі сталі 14X17H2, що включає гартування при температурі 1040-1050 °C з охолодженням в маслі та дворазовий відпуск з охолодженням після кожного відпуску у воді, і температура нагріву при першому відпуску становить 600-610 °C з ізотермічною витримкою від 4,5 до 5,0 годин, який відрізняється тим, що температура нагріву при другому відпуску становить 620-650 °C з ізотермічною витримкою від 3,5 до 4,5 годин, при цьому після кожного відпуску проводять охолодження на спокійному повітрі.

Сторінка 3 із 4

Додаток Г



Додаток Д



Додаток Е

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ

МАТЕРІАЛИ та програма

ІХ Всеукраїнської
науково-технічної конференції
(м. Суми, 19–22 квітня 2022 р.)

Суми

11. Вибір матеріалу і термічної обробки вимірювального інструменту «скоо калібр».

Доповідачі: Хвостенко Р. О., студент гр. МТ-81
Керівник: Говорун Т. П., доцент кафедри ПМ і ТКМ, СумДУ

12. Термічна обробка втулки ГЦН-195М.

Доповідачі: Негреба Н. Ю., студент гр. МТ-81
Чумаков Д. С., аспірант
Керівник: Харченко Н. А., доцент кафедри ПМ і ТКМ, СумДУ

13. Технологія термічної обробки деталі «колесо робоче» насосу.

Доповідачі: Голуб Н. Р. студентка гр. МТ-81, СумДУ, м. Суми
Керівник: Гапонова О. П., доцент, СумДУ, м. Суми

14. Вплив кількості активатора на структуру та властивості хромоалітованого сплаву ВТ6.

Доповідачі: Береза М. В., студентка гр. ФМ-81-2,
КПІ ім. Ігоря Сікорського
Циганков М. М., студент гр. ФТ-11мн,
КПІ ім. Ігоря Сікорського
Голіков М. А., студент гр. ФМ-11 мп,
КПІ ім. Ігоря Сікорського
Керівники: Лоскутова Т. В., професор кафедри ФМТО,
КПІ ім. Ігоря Сікорського,
Погрєбова І. С., професор кафедри ТЕХВ,
КПІ ім. Ігоря Сікорського

15. Вплив температур термічної обробки і випробувань на властивості мартенситних нержавіючих сталей.

Доповідачі: Лупирь О. В., аспірант
Керівник: Говорун Т. П., доцент кафедри ПМ і ТКМ, СумДУ

16. Застосування матеріалознавчих методів дослідження в інженерії.

Доповідачі: Колос В. О., аспірант, факультет Технічних систем енергоєфективних технологій, Сумський державний університет, Суми

ПРОГРАМА КОНФЕРЕНЦІЇ

СЕКЦІЯ «ОБРОБЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ У МАШИНОБУДУВАННІ»

Голова – зав. каф. ТМВІ, професор В. О. Іванов
Секретар – інженер, Д. В. Требухов

1. Перспективи застосування затискових механізмів з високим передатним відношенням при проєктуванні автоматизованих верстатних пристроїв.

Доповідачі: Клок Я. В., студент, гр. ТМм-81

Керівник: Авраменко С. Є., аспірант
Детярєв І. М., ст. викладач., каф. ТМВІ, СумДУ, м. Суми

2. Вдосконалення штифтових конічних з'єднань деталей насосного обладнання.

Доповідачі: Кононович В. М., аспірант, каф. ТМВІ, СумДУ, м. Суми

3. Підвищення швидкості холостого руху токарного верстату.

Доповідачі: Потомаха Д. Ю., студент, гр. ВІ-81

Керівники: Довгополов А. Ю., старший викладач каф. ТМВІ
Некрасов С. С., доцент каф. ТМВІ, СумДУ, м. Суми

4. Підвищення ефективності свердильно-фрезерно-розточувальних операцій на прикладі оброблення деталей типу кришки підшипника із застосуванням автоматизованих верстатних пристроїв.

Доповідачі: Тварезовський І. С., студент, гр. ТМм-11

Керівник: Детярєв І. М., ст. викладач, каф. ТМВІ, СумДУ, м. Суми

4

ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ВТУЛКИ ГЦН-195М

*Негреба Н. Ю., студент гр. МТ-81, Чумаков Д. С., аспірант,
Харченко Н. А., доцент кафедри ПМ і ТКМ, СумДУ*

Атомна енергетика - найважливіша галузь глобальної енергетики. Явна перевага атомних електростанцій (АЕС) – низька собівартість електроенергії, відсутність викидів аерозолів та парникових газів в атмосферу [1].

В даній роботі вивчається деталь втулка головного циркуляційного насосу ГЦН-195М. Втулки виконують роль захисту та підвищують тривалість роботи значних вузлів та агрегатів. Втулки гарантують надійність у роботі важливих частин механізмів, їх використання зменшує ймовірність появи аварійних ситуацій [2]. Роль втулки ГЦН-195М – цапфа, тобто є опорою для підшипників і самого валу насосу. Умови роботи втулки є агресивна середа, що включає в себе: агресивне середовище (занурення у воду); радіація; контактне тертя із валом насосу, відповідно – тертя, зношування та нагрівання. Виходячи із критичного аналізу умов роботи втулки, вимогам, які висуваються до готового виробу, можна рекомендувати використовувати сталь 25X17H2B-Ш з наступною термічною обробкою.

Сталь 25X17H2B-Ш відноситься до корозійностійких сталей мартенситно-аустенітного класу, особливо високоякісна, отримана електрошлаковим переплавом. Електрошлаковий переплав - процес, при якому метал переплавляється у ванні електропровідного шлаку. При такому способі переплаву підвищується якість сплавів [3].

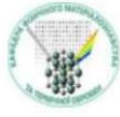
Оптимальна термічна обробка втулки ГЦН-195М зі сталі 25X17H2B-Ш складається з відпалу, гартування, обробка холодом і відпуску. Встановлено, що максимальний розмір макродефектів становить 1 бал. Виявлені центральна пористість і загальна п'ятниста ліквіація. Виявлене неметалеве включення представляє собою оксид точковий 1 бал. В результаті проведення випробувань на стійкість до міжкристалітної корозії було встановлено, що сталь 25X17H2B-Ш, із якої виготовлена втулка ГЦН-195М, стійка до міжкристалітної корозії. В результаті проведення випробувань на механічні властивості були отримані наступні значення: $\sigma_{0.2} = 1180$ МПа; $\sigma_n = 1480$ МПа, $\delta = 13\%$, $\psi = 48\%$, 28 HRC; KCU = 51 Дж/см². Встановлено, що обрана сталь 25X17H2B-Ш та рекомендований режим термічної обробки як найкраще підходить для виробництва втулок ГЦН-195М.

ЛІТЕРАТУРА

1. Атомна енергетика у світі насоси. Атомна енергетика : веб-сайт. URL: <http://url.li/btufq;>
2. Втулки. Машинобудування : веб-сайт. URL: <https://rubearing.ru/vtulki;>
3. Електрошлаковий переплав. Металургія : веб-сайт. URL: [https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1412836.](https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1412836)

Додаток Є

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ІНСТИТУТ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА ТА ЗВАРЮВАННЯ ім. Є.О. ПАТОНА



IMЗ ім. Є.О. Патона

МІЖНАРОДНА НАУКОВА КОНФЕРЕНЦІЯ
«МАТЕРІАЛИ ДЛЯ РОБОТИ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ – 11»



23 – 24 грудня 2021
Київ, Україна

ВПЛИВ ТИСКУ НА ФОРМУВАННЯ НОВИТНІХ КОМПОЗИЦІЙНИХ AlNiCoFeCr – TiB₂ ПОКРИТТІВ МЕТОДОМ ХОЛ
аспірант Наконечний С.О., студ. Літвінова О.А., студ. Лань П., д.т.н., проф. Юркова О.І., д.т.н., проф. Лобода П.І.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Навчально-науковий інститут матеріалознавства та зварювання імені Є.О. Патона, кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії

ПОКРАЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ РЕЗУЧОГО ІНСТРУМЕНТА ШЛЯХОМ НАНЕСЕННЯ НАНОСТРУКТУРОВАННИХ ПОКРИТТІВ
аспірант К.С. Ханюков, к.ф.-м.н., доц. Т.П. Говорун, студент А.Ю. Бурака
Сумський державний університет, факультет технічних систем та енергоефективних технологій, кафедра ПМ і ТКМ

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ Ti, Al та Ni НА ВЛАСТИВОСТІ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ
студент А.Ю. Бурака, аспірант К.С. Ханюков, аспірант В.О. Варакін, к.ф.-м.н., доц. Т.П. Говорун, аспірант В.І. Перерва
Сумський державний університет, факультет технічних систем та енергоефективних технологій, кафедра ПМ і ТКМ

ЗМІНЕННЯ РЕЗУЧОГО ТВЕРДОСЦІЛОВОГО ІНСТРУМЕНТУ ШЛЯХОМ СИНТЕЗУ ОКСИДНО-НІТРИДНИХ КОМПЛЕКСНИХ ПОКРИТТІВ
аспірант В.О. Варакін, к.ф.-м.н., доц. Т.П. Говорун, студент Р.О. Хвостенко
Сумський державний університет, факультет технічних систем та енергоефективних технологій, кафедра ПМ і ТКМ

INFLUENCE OF IMPURITIES IN ALLOY ON WEAR RESISTANCE CHARACTERISTICS
Ph.D., Assoc. T.P. Hovorun, Ph.D., Assoc. O.A. Bilous, Ph.D. K.V. Berladir
Sunny State University, Faculty of Technical Systems and Energy Efficient Technologies, Department of PM and TCM

ANALYSIS OF HEAT LOAD PROPAGATION ON A CUTTING PLATE WITH A MULTILAYER COATING
Belous D. A.¹, Goncharov A. A.¹, Yunda A. N.²
¹Sunny State University, ²The Institute of Applied Physics, National Academy of Sciences of Ukraine

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО СКЛАДУ НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛЕВОГО ПОКРИТТЯ
к.ф.-м.н., доц. О.А. Білоус, к.ф.-м.н., доц. Т.П. Говорун, студент А.Ю. Бурака, магістрантка Д.В. Пащенко, аспірант К.С. Ханюков, аспірант В.О. Варакін
Сумський державний університет

STUDY OF SOLD-STATE PHASE TRANSFORMATIONS BY FORMATION OF METASTABLE STATE
Ph.D., associate professor Ivan Petryk
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Karpatska Str. 15, 76019, Ivano-Frankivsk, Ukraine

ТЕРМІЧНА ОБРОБКА СТАЛІ 25X17H2B-III
студент Н.Ю. Негреба, к.т.н., доц. Н.А. Харченко
Сумський державний університет, факультет технічних систем та енергоефективних технологій, кафедра ПМ і ТКМ

УДК 669.295: 621

ТЕРМІЧНА ОБРОБКА СТАЛІ 25X17H2B-III

студент Н. Ю. Негреба, к.т.н., доц. Н. А. Харченко

Сумський державний університет, факультет технічних систем та енергоефективних технологій, кафедра ПМ і ТКМ

E-mail: n.harchenko@pmikm.sumdu.edu.ua

В роботі проаналізований вплив термічної обробки на властивості сталі 25X17H2B-III. Встановлено структурний клас досліджуваної сталі, призначена оптимальна термічна обробка, визначені механічні властивості даної сталі після відповідної термічної обробки.

Термічна обробка виробів із особливо високоякісних сталей, виготовлених методом електрошлакового переплаву, є актуальною в зв'язку з його широким застосуванням в системах, що працюють в умовах високого тиску, агресивних середовищ і використовуються для виготовлення відповідальних деталей в тому числі і в атомній енергетиці.

В якості матеріалу дослідження обрано сталь 25X17H2B-III, яка відноситься до особливо якісних корозійно-стійких сталей. Електрошлаковий переплав (ЕШП) - один із процесів спеціальної електрометалургії. ЕШП є вторинним процесом рафінування металів. Він застосовується для подальшого очищення металів та сплавів після завершення первинних операцій з видалення домішок і рафінування [1-3].

Основним легуючим елементом сталі є хром. На основі розрахунків еквівалентного вмісту хрому та нікелю за діаграмою Шеффлера встановлено, що сталь відноситься до перехідного класу аустеніт-мартенсит-ферит. Також підраховано, що частка фериту в структурі становить 3,33%.

Запропоновано спосіб термічної обробки, який включає двоступінчастий відпал: перший етап 870°C з охолодженням в печі, другий етап 630°C з охолодженням на повітрі, гартування при 1100°C, обробка холодом при -70°C та відпуск 300°C. Така термічна обробка дозволяє отримати аустенітно-мартенситну структуру, яка характеризується високими механічними характеристиками та стійкістю до міжкристалітної корозії (МКК) форми структури, з оптимальними властивостями.

Основними макродефектами, які були присутні в сталі 25X17H2B-III були центральна пористість (1 бал) та загальна п'ятниста ліквіація (1 бал). Визначення неметалевих включень проводили по ГОСТ єдиний дефект серед неметалічних включень, який був присутній - оксид точковий. В результаті можна сказати, що сталь 25X17H2B-III високої чистоти і якості за неметалевими включеннями, що відповідає вимогам до властивостей деталей, які виготовляються з даної марки сталі. В результаті проведень випробувань на стійкість до міжкристалітної корозії було встановлено, що сталь 25X17H2B-III стійка до МКК. Крім того, в роботі були реалізовані випробування механічних властивостей і були отримані наступні значення: $\sigma_{0.2} = 1180$ МПа, $\sigma_n = 1480$ МПа, $\delta = 13\%$; $\psi = 48\%$, $KCU = 51$ Дж/см², 28 HRC.

Визначено, що запропонований спосіб термічної обробки, який застосовувався для сталі 25X17H2B-III, можна рекомендувати для впровадження у виробництво для відповідальних виробів, що працюють в атомній енергетиці.

ЛІТЕРАТУРА

- Семін А. Е., Кочетов А. І., Сімонян Л. М. Металургія спецсталей. Теорія і технологія спецеелектрометалургії: Курс лекцій. – М.: МІСІС, 2007. 180 с.
- Апаносов А. М. Спеціальна електрометалургія : навчальний посібник. Томськ: ТПУ, 2003. 146 с.
- Бабина (Порядина) А. Н. Отримання високочистих металів. Сучасна техніка і технології : зб. матеріалів доп. учасн. XX Міжнар. наук.-практ. конф. Юрга : Кемеровська обл., 2014. 7–8 с.

ANNOTATION

The bachelor's thesis contains: 67 pages, including 10 tables, 20 figures, a list of 36 used sources on 3 pages, 7 appendices on 8 pages.

The purpose of the work is the purpose of the material of the "sleeve" part of the main circulation pump, as well as the development of route technology for the manufacture and heat treatment of the "sleeve" part.

Thus, the author of the work took steps to achieve the above goal:

1. The part "sleeve" is considered, as well as the main circulating pump 195M, in which the part operates, describing the purpose and operating conditions of the part. Also, the analyzed material is generalized, and the necessary operational characteristics of the part are formulated.

2. A critical analysis of literary sources. The main methods of improving the characteristics and properties of steel 25Cr17N2Nb-Sh by adding alloying elements and conducting modern heat treatment operations are analyzed.

3. Steel was selected for the manufacture of this part, as well as micro- and macroanalysis, hardness measurements and tests for susceptibility to IGC.

4. Developed a modern technological process of manufacturing parts "sleeve". The following sequence of operations is offered: ore extraction; obtaining cast iron; steel smelting; obtaining a blank; heat treatment; obtaining parts, non-reinforcing heat treatment (low tempering).

5. Equipment for heat treatment of this steel is selected.

The main causes of failure are mechanical wear, cyclic fatigue, corrosion, cavitation wear and intergranular corrosion. Requirements for the finished product: yield strength ($\sigma_{0,2}$) is 1175 MPa, temporary resistance (σ_V) - 1470 MPa, elongation (δ) not more than 8%, relative narrowing (ψ) not more than 45%, impact in viscosity (KCU) - 50 J / cm², hardness (HRC) - 28.

The work is related to the study of the effect of heat treatment on the corrosion resistance, strength and toughness of the NCP bushing, made of high quality steel 25Cr17N2Nb-Sh. The reliability of the performance of such parts is determined

primarily by the yield strength, elongation and narrowing, toughness, resistance to intergranular corrosion and hardness of the material from which the part is made.

The technology of production and heat treatment of the 25Cr17N2Nb-Sh steel pump hub was recommended and implemented in the production conditions of KOMPRESORATOMMASH LLC (Appendix A). The main results of the work are implemented in the educational process at the Faculty of Technical Systems and Energy Efficient Technologies of Sumy State University in the courses "Metallurgy and Basics of Heat Treatment", "Corrosion and Protection of Materials", "Alloy Steels and Alloys", "Mechanical Properties and Wear Resistance of Materials and Products" specialty 132 "Materials Science".

It was determined that the final structure of steel 25Cr17N2Nb-Sh martensite and austenite. Defects identified central porosity and total spot liquation score 1. In addition, oxide point score 1 was detected.

The hardness of steel 25Cr17N2Nb-Sh after heat treatment is 28 HRC, which satisfies the basic requirements for the part "sleeve".

Steel 25Cr17N2Nb-Sh after the recommended heat treatment proved to be resistant to IGC.

KEY WORDS: BUSHING, NUCLEAR ENERGY, STEEL, HEAT TREATMENT, AUSTENITE, MARTENSITE, HARDNESS, INTERCRETAL CORROSION.