

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 деталі та технологічного процесу зміцнення деталі «колесо робоче» насосу

Виконав:

студент Голуб Наталія Романівна  
прізвище, ім'я, по батькові

Залікова книжка

№ 18510281

Підпис \_\_\_\_\_

Захищена з оцінкою

\_\_\_\_\_  
Оцінка, дата

Керівник:

завідувач кафедри  
Гапонова Оксана Петрівна  
посада, прізвище ім'я, по батькові

Підпис

\_\_\_\_\_  
дата, підпис

Секретар ЕК

\_\_\_\_\_  
Прізвище, підпис **Марченко К. С.**

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

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

**ЗАВДАННЯ  
 НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Студенту Голуб Наталія Романівна Група МТ - 81/1  
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема випускної роботи: Вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення деталі та технологічного процесу зміцнення деталі «колесо робоче» насосу.

2. Вихідні дані: Креслення робочого колеса насосу та вимоги до неї вказані на кресленні (додаток А)

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. Характеристика та умови експлуатації виробу. Вимоги до матеріалу	X			
2	Розділ 2. Огляд літератури	X			
3	Розділ 3. Вибір матеріалу та методів дослідження		X		
4	Розділ 4. Маршрутна технологія отримання деталі «робоче колесо»			X	
5	Розділ 5. Розрахунково-експериментальна частина				X

5. Дата видачі завдання 26 квітня 2022 р.

Керівник \_\_\_\_\_  
 (підпис)

зав. каф. Гапонова О.П.  
 (посада, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Робота складається з 59 сторінок, 9 таблиць, 10 рисунків, 31 літературних джерел, 4 додатків на 14 сторінках.

**Мета роботи** – розроблення перспективної маршрутної технології виготовлення робочого колеса відцентрованого насоса.

### **Завдання:**

- проаналізувати умови роботи деталі;
- провести аналіз літературних джерел щодо визначення перспективних способів підвищення ресурсу деталі;
- раціонально обрати матеріал для виготовлення деталі «робоче колесо» насосу;
- розробити технологічний процес виготовлення деталі;
- призначити термічну обробку виробу;
- обрати та розрахувати обладнання для проведення термічної обробки;
- надати рекомендації щодо застосування пропонованої технології на підприємстві.

Методи дослідження: методи макро- та мікроаналізу, визначення твердості, твердість за Бринелем.

Задля виготовлення робочого колеса насоса, потрібно вибрати матеріал, щоб у поєднанні з відповідним методом термічної обробки він був найбільш стійкий до корозії та пошкодження кавітацією. Проаналізовано умови роботи компонентів насосів, які контактують з перекачуванням рідини, та встановлені вимоги до матеріалів, з яких вони виготовлені. Обрано марку ливарної корозійно-стійкої хромової сталі, розроблений технологічний процес виготовлення деталі «робоче колесо насоса», запропонований спосіб термічної обробки деталі.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** РОБОЧЕ КОЛЕСО, СТАЛЬ, КОРОЗІЙНА СТІЙКІСТЬ, МІЦНІСТЬ, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, КАВІТАЦІЯ.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ.....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛІ.....	8
ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛУ.....	8
1.1. Умови експлуатації деталі «робоче колесо» насосу.....	8
1.2. Причини виходу з ладу «робочого колеса».....	11
Висновки.....	12
РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	13
2.1. Матеріали для виготовлення робочих коліс.....	13
2.2. Методи покращення властивостей робочого колеса.....	14
2.3. Технології підвищення корозійної стійкості.....	16
2.4. Технології підвищення кавітаційної стійкості.....	17
2.5. Аустенітні корозійностійкі сталі.....	19
2.6. Способи отримання стабільної аустенітної структури.....	20
Висновки.....	25
РОЗДІЛ 3 ВИБІР МАТЕРІАЛУ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	26
3.1. Опис матеріалу для деталі «робоче колесо».....	26
3.2. Опис впливу легувальних елементів на властивості матеріалу.....	28
3.3. Вибір методів дослідження.....	31
Висновки.....	33
РОЗДІЛ 4 МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ ДЕТАЛІ «РОБОЧЕ КОЛЕСО».....	35
Висновки.....	39
РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	40
5.1. Термічна обробка виробу.....	40
5.2. Контроль якості готової продукції.....	44
5.3. Вибір та розрахунок обладнання для проведення термічної обробки.....	44
Висновки.....	51
ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54
Додаток А.....	57
Додаток Б.....	58

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ**

ВГН – відцентровий гідравлічний насос

ККД – коефіцієнт корисної дії

ТО – термічна обробка

МІМ-7 – металографічний вертикальний мікроскоп

КСУ – ударна в'язкість, кДж/м<sup>2</sup>

НВ – твердість за Бринелем

ВТМО – високотемпературна термомеханічна обробка

## ВСТУП

Відцентрові насоси є одним з найбільш часто використовуваних видів насосного обладнання в різних галузях промисловості та побутових системах водопостачання. З кожним роком з'являються нові способи формування виробів, а існуючі щодня вдосконалюються. Вчені та інженери по всьому світу невтомно знаходять нові та передові способи доступу до деталей і механізмів машин.

Пожежні автомобілі та кораблі оснащені насосами. Відцентрові насоси є найбільш поширеними і призначені для подачі холодної або гарячої води, в'язких або корозійних рідин, стічних вод, водних сумішей з ґрунтом, золою і шлаком, торфом, дробленим вугіллям і т.д. [1].

Механічна енергія у насосах перетворюється в енергію рідини, а їх дія заснована на перенесенні кінетичної енергії від робочого колеса, що обертається, до рідинної частини між лопатями. Під впливом створеної відцентрової сили частина подається середовища переміщується від робочого колеса до корпусу насоса, а потім за рахунок перепаду тиску надходить нова частина рідини, що забезпечує безперервну роботу насоса.

Залежно від розміру, застосування та конфігурації робочі колеса можуть бути відлиті, штамповані або зварені. По-перше, потрібно вибрати матеріал, з якого виготовлена деталь, який у поєднанні з правильною термічною обробкою найкраще витримає вид зносу. Від надійної роботи робочого колеса залежить ефективність експлуатації всього насоса, так як відмова його роботи може привести до відмови інших його частин і всього насоса в цілому.

Довговічність є одним з найважливіших показників надійності гідравлічного насоса і визначається терміном служби та ресурсами. Термін служби крильчатки насоса залежить від умов експлуатації, основний лімітуючий фактор терміну їх служби — це корозійна дія робочого середовища, яка визначається швидкістю міжкристалічної корозії, водної ерозії та кавітаційного пошкодження.

Реактивні робочі колеса мають більш високими ККД і ступенем

стиснення, але складніше у виготовленні, як наслідок - дорожче. Потік газу потрапляє в робоче колесо відцентрового компресора, де часткам газу передається кінетична енергія обертового колеса, диффузорний між лопатковий канал виробляє гальмування руху частинок газу щодо обертового колеса, відцентрова сила надає додаткову кінетичну енергію часткам робочого тіла і направляє їх в радіальному напрямку. Після виходу з робочого колеса частки робочого тіла потрапляють в дифузор, де відбувається їх подальше гальмування, з перетворенням їх кінетичної енергії внутрішню.

**Метою роботи** є розроблення перспективної маршрутної технології виготовлення робочого колеса відцентрованого насоса.

**Методи досліджень:** методи макро- та мікроаналізу, визначення твердості, твердість за Бринелем.

# РОЗДІЛ 1

## ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛІ. ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛУ

### 1.1. Умови експлуатації деталі «робоче колесо» насоса

Серед насосів найбільш поширеними є відцентрові компресори, які використовують у різних галузях виробництва в разі потреби значної кількості стиснутого повітря при порівняно невеликому тиску. У конструктивному відношенні відцентрові компресори дуже схожі з секційними відцентровими насосами.

Схема відцентрового насоса (рис. 1.1) складається з трьох основних елементів – підведення, робочого колеса і відведення [2].

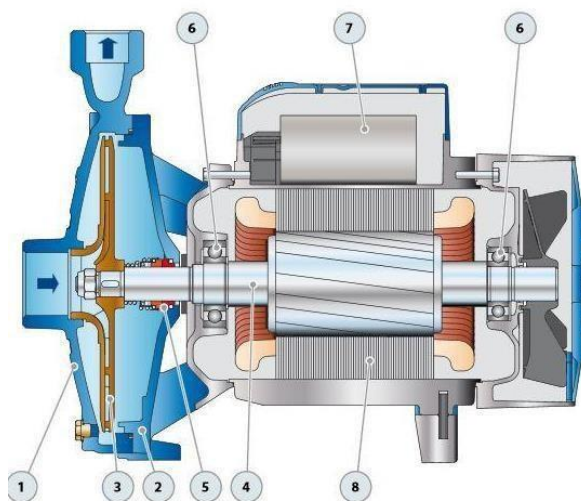


Рисунок 1.1 – Схема горизонтального відцентрового насоса: 1 – корпус насоса; 2 – кришка; 3 – робоче колесо; 4 – ведучий вал; 5 – механічне ущільнення; 6 – підшипники; 7 – конденсатор; 8 – електродвигун [2]

Найважливіша деталь насоса – це робоче колесо, призначене для створення відцентрової сили, завдяки цьому вода втягується.

Креслення робочого колеса насоса наведені в ДОДАТКУ А.

Робочі колеса представляють собою осиметричні деталі, іноді досить складної форми, навантаженні головним чином відцентровими силами.

Робочі колеса бувають наступних типів: осьові, радіальні, діагональні,



відкриті, напівзакриті і закриті.

Колеса є високонавантаженими деталями, часто працюють довгий час, сумарні напруження в них можуть бути настільки великі, що при аналізі умов їх міцності необхідно враховувати повзучість.

Разом з цим колеса – це найбільш відповідальні деталі машини, і збереження їх міцності повинно бути гарантованим з повною надійністю. Коли колесо починає обертатися, вода, що знаходиться всередині лопатей, теж починає своє обертання, через що виникає відцентрова сила, з'являється тиск, вода примикає до периферії і шукає вихід назовні.

Закритий виріб складається з двох дисків з лопатями між ними. Цей тип робочого колеса часто використовується в відцентрових насосах, оскільки він може створювати хороший тиск і характеризується невеликою кількістю витoku води від виходу до входу. Наступні робочі колеса виготовляють кількома способами: штампуванням, литтям, точковим зварюванням або клепкою. На якість і ефективність роботи впливає кількість лез. Чим більше лез у деталі, тим менше коливань тиску води на виході з пристрою [3].

Розглянемо принцип роботи робочого колеса відцентрованого насоса детальніше, а саме перш за все першим етапом циклу робоча насосна камера перекачується середовищем, точніше заповнена рідиною, по-друге коли запускаємо електродвигун який обертає вал насоса то починає обертатися робоче колесо (закріплене на валу).

Тиск, який створюється відцентровою силою, що виникає в робочому колесі, з'являється в робочій камері, під дією відцентрової сили рідина рухається від центру колеса до стінки камери потім тиск зростає і рідина проштовхується в напірний канал труби, а у центрі робочого колеса насоса тиск падає, що сприяє поглинанню нової порції рідини в робочу камеру.

Таким чином проточна частина колеса визначається відповідними гідродинамічними розрахунками. Отже колесо схильне до дії значних сил реакції потоку, відцентрових сил і у випадку посадки на вал з натягом – дії сил в місці посадки [4].

Конструкція робочого колеса, крім відповідності вимогам механіки

рідини та механічної міцності проточної частини, повинна також задовольняти створення найбільш сприятливої форми з точки зору лиття та механічної обробки. Впровадження в практику ливарного виробництва способу одержання виливків на плавильних формах дозволяє отримувати робочі колеса проточних секцій з високою точністю та чистотою поверхні каналу, що вимагає невеликої обробки. У деяких випадках використовується зварна конструкція литого колеса [3].

Важливою характеристикою робочого колеса є міцність. Основна напруга в корпусі колеса зазвичай викликається відцентровою силою. У правильно сконструйованому та виготовленому крильчаті напруги, створювані під дією відцентрової сили, менші, ніж у тонкому кільці діаметром, рівним зовнішньому діаметру робочого колеса при тій же периферійній швидкості. При наявності значних напружень в диску колеса необхідно враховувати його вигин за рахунок осьового тиску пластин, затиснутих у втулку.

У насосах, що працюють у високотемпературних середовищах, крильчатка охолоджується швидше, ніж вал, у міру зниження температури, що призводить до значних посадкових напруг у місці посадки, які необхідно визначати з урахуванням коефіцієнта лінійного розширення колеса та валу [3].

Коли постало питання вибору матеріалів робочих коліс необхідно дотримуватися деяких вимог. Наприклад, механічні властивості матеріалу повинні забезпечувати міцність колеса не тільки при нормальній експлуатації, але і в спеціальних режимах, пов'язаних з температурними ударами. У деяких випадках сторонні предмети можуть потрапити в насос і пошкодити робоче колесо, наприклад, спричинити утворення вм'ятин. Отже матеріал колеса повинен бути пластичним, міцним і забезпечувати високу корозійну стійкість. До цих вимог більш підходить бронза, також вона є дорожчим матеріалом. Але при високій температурі, механічні властивості бронзи стають менші. У порівнянні зі сталевими осями бронзові колеса мають деякі незручності через високий коефіцієнт лінійного розширення. Результат цього – посадка бронзового робочого колеса на вал при нормальній температурі слабшає при високотемпературних умовах експлуатації [5].

## 1.2. Причини виходу з ладу «робочого колеса»

Основною причиною виходу з ладу робочого колеса, як правило, є кавітація, тобто це процес утворення всередині рідини порожнин (кавітаційних бульбашок), заповнених газом, сумішшю або їх паром, тобто порушення безперервності рідини.

Кавітація виникає в результаті місцевого зниження тиску в рідині. Процес кавітації являє собою пароутворення з подальшим спаданням бульбашок пари з одночасним конденсаванням пара в потоці рідини. В результаті цих численних схлопувань - мікроскопічних вибухів, виникають скачки тиску, які можуть пошкодити робоче колесо насоса і навіть привести в поломки всієї гідравлічної системи [6].

Характерною ознакою кавітації є підвищений шум при експлуатації насосного агрегату.

– Сухий хід характеризується роботою насоса при відсутності рідини на вході. При роботі без руху рідини, через тертя і відсутність охолодження відбувається нагрів і закипання рідини в робочій камері насоса. Такі явища призводять до деформації робочого колеса, а потім до його повного руйнування.

– Корозія металів у воді або водних розчинах має електрохімічний характер. Цей процес виникає через різницю потенціалів, тобто при наявності так званої гальванічної пари.

Виникнення гальванічної пари відбувається при зануренні двох або декількох різних металів (макропари) або при наявності структурної неоднорідності металу (мікропара).

Різні складові як в мікропарі, так і в макропарах мають різні електродні потенціали, внаслідок чого виникає електричний струм. Складові, які мають більш позитивний потенціал, називають катодом, більш негативний - анодами.

Руйнування металу робочого колеса насоса відбувається на анодних ділянках через перехід іонів (електрично заряджених частинок) з металу в робочу середу насоса. Вивільнені електрони перетікають по металу від анодних до катодних ділянках і розряджаються на них.

Таким чином корозія - це сукупність двох процесів: анодний процес (перехід іонів з металу в розчин) і катодний процес (розрядка електронів).

Матеріал робочих коліс насосів повинен відповідати складному поєднанню вимог. Велика кількість причин корозії ускладнює аналіз явища пошкодження в кожному конкретному випадку [1].

### **Висновки**

У першому розділі представлений опис конструкції насосу та аналіз умов його експлуатації. Встановлено, що під час роботи колеса відцентрового насоса діють сили реакції потоку, значні сили відцентрової сили, а при падінні на вал під час розтягування – сили в місці посадки.

Основне напруження в корпусі колеса зазвичай викликається відцентровою силою. Кавітація часто є основною причиною виходу з ладу крильчатки. При відсутності кавітації термін служби елементів проточної секції насоса в першу чергу визначається корозією металу.

Однією з найважливіших частин насоса є робоче колесо, оскільки воно створює відцентрову силу, яка перекачує воду. Міцність робочого колеса є його важливою характеристикою. Матеріал робочого колеса повинен мати задовільні механічні властивості, витримувати короткочасне високе навантаження, відповідати матеріалу ущільнювального кільця та мати хороші антифрикційні властивості.

Аустенітні сталі мають хорошу зносостійкість, тому нержавіючі хром-нікель-титанові сталі найбільш широко використовуються в установках з водою і корозійними середовищами.

Крильчатки відцентрових насосів виготовляють із чавуну, бронзи або литого вуглецю та нержавіючої сталі, в особливих випадках для перекачування агресивних рідин - свинцю, гуми, твердої гуми, кераміки та подібних матеріалів.

## РОЗДІЛ 2

### ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

#### 2.1. Матеріали для виготовлення робочих коліс

При виборі матеріалу для робочого колеса необхідно дотримуватись кількох вимог, механічні властивості матеріалу повинні забезпечувати необхідну міцність робочого колеса з урахуванням термічних напруг. Коефіцієнт лінійного розширення повинен бути аналогічним коефіцієнту лінійного розширення матеріалу валу [5].

Механічні властивості матеріалу повинні забезпечувати міцність колеса не тільки при нормальній експлуатації, але і в спеціальних режимах, пов'язаних з температурними ударами. У деяких випадках сторонні предмети можуть потрапити в насос і пошкодити робоче колесо, наприклад, спричинити вм'ятини. Тому матеріал колеса повинен бути міцним, пластичним і забезпечувати високу корозійну стійкість.

Найкраще цим вимогам відповідає бронза, але бронза також є найдорожчим матеріалом. Крім того, в умовах високих температур механічні властивості бронзи різко падають. У порівнянні зі сталевими осями бронзові колеса мають деякі незручності через високий коефіцієнт лінійного розширення. В результаті посадка бронзового крильчатки на вал при нормальній температурі слабшає при високотемпературних умовах експлуатації.

Нержавіюча сталь має хороші механічні властивості і стійкість до корозії. Однак через низьку ливарну якість колеса з цієї сталі довелося зварювати з оброблених поковок. Як матеріал робочого колеса для насосів, що працюють у низько корозійних середовищах, може бути використаний чавун [5].

Останнім часом у конструкції робочих коліс насосів все більшої популярності набувають різні пластмаси з більш високими механічними властивостями та стійкістю до корозійного середовища [2].

Там, де зношування водно-абразивного впливу збільшується, робочі колеса великих насосів можна захистити наплавленням за допомогою спеціальних електродів. Марка електрода і метод наплавлення в кожному випадку повинні бути перевірені експериментально [4].

## 2.2. Методи покращення властивостей робочого колеса

Одним з головних завдань роботи крильчатки гідравлічного насоса є правильний підбір компонентів.

ВНГ (відцентрований гідравлічний насос) – це складна установка, яка складається з певної кількості елементів для забезпечення надійності, економічності та потужності при найменшій габаритах насосу. Крильчатка повинна мати високу аеродинамічну якість і необхідну міцність як при кімнатній, так і при низькій температурі температура та корозійні середовища. Через такі фактори, як тертя, водна ерозія та кавітація, крильчатка піддається сильному зношуванню. У зв'язку з цим необхідно вибрати матеріал, з якого виготовлена деталь, який у поєднанні з правильною термічною обробкою найкраще витримує такі види зносу.

Представленні робочі параметри насосів, експлуатація, класифікація та їх методи в навчальному посібнику [7].

Слід зазначити, що для зменшення витoku рідини від виходу до входу на вході робочого колеса виконано ущільнення у вигляді невеликого зазору 1 між робочим колесом і кожухом (рисунок 2.1).

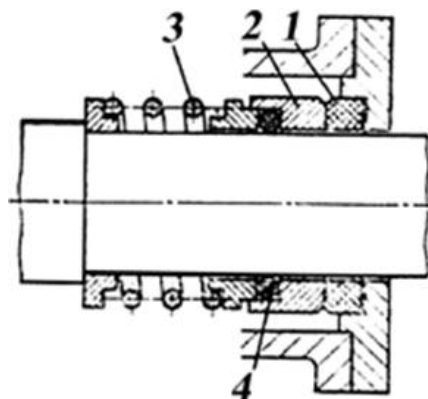


Рисунок 2.1 – Торцевий ущільнювач з ущільнювальним гумовим кільцем [7]

Щоб запобігти кавітації, геометрична висота всмоктування насоса повинна бути правильно визначена, її збільшення не допускається. Значення  $\Delta h$  є запасом енергії для запобігання кавітації. Назвемо це значення  $\Delta h$ , кавітаційний запас, на який загальний тиск рідини у вхідній трубі насоса перевищує тиск її насиченої пари. За визначенням запас кавітації дорівнює:

$$\Delta h = \frac{P_1}{\rho g} - \frac{v_1^2}{2g} - \frac{P_{н.п.}}{\rho g}$$

$P_{н.п.}$  - тиск насиченою парою рідини;

$\Delta h$  – кавітаційний запас;

$P$  – середній тиск ;

$\rho$  – щільність рідини;

$g$  – прискорення вільного падіння;

$v$  – середня швидкість плинину в рідині.

Рідина в каналі робочого колеса обертається разом з робочим колесом (тобто здійснює переносний рух). Крім того, він рухається відносно робочого колеса, від центру колеса до його периферії (до того ж рідина рухається відносно нього).

Основне рівняння для відцентрового насоса дає можливість визначити теоретичний тиск насоса за кінематичними параметрами рідини, що проходить через крильчатку насоса. При виведенні рівнянь передбачається, що рух рідини відбувається без гідравлічних втрат (тобто рідина ідеальна) і що рух рідини є струменем. Дрібнозерниста сталева конструкція для оптимальної термостійкості при експериментальних температурах близько 600°C і нижче [8]. Термостійкість майже не залежить від співвідношення титану до вуглецю в сталі. Але якщо титанова сталь піддається впливу корозійного середовища під час роботи при високій температурі або охолодженні, необхідно вищий відношення титану до вуглецю. Сталі з дрібнозернистою структурою, що містять титан, мають погану термостійкість у випадках, коли під час випробування утворюється сигма-фаза або виділяється ферит.

Зазначається, що в деяких випадках використовуються зварні литі або

зварні фрезеровані робочі колеса. Покривний диск регулюється за допомогою лиття або фрезерування пластин і приварюється до основного диска. Цей тип коліс виготовлений з циліндричними лезами. В даний час вони виготовляються за допомогою зварювання у вакуумному середовищі, розглянуто в роботі [9].

### 2.3. Технології підвищення корозійної стійкості

Корозія – мимовільне руйнування металевих матеріалів, що виникає під впливом середовища, в якому функціонує виріб. При відсутності кавітації термін служби елементів проточної секції насоса в першу чергу визначається корозією металу. У найбільш поширеному середовищі, воді, корозійна стійкість матеріалу значною мірою залежить від типу реакції розчинених у ньому води, солей і газів і навіть від його біологічних властивостей. Різноманітність причин корозії дуже ускладнює аналіз явища пошкодження в кожному конкретному випадку.

Корозія металів у воді або водних розчинах є електрохімічною. Цей процес можливий за наявності різниці потенціалів, або іншими словами, за наявності гальванічної пари. Гальванічні пари виникають при зануренні в розчин двох або більше різнорідних металів (пари макрометалів) або при наявності неоднорідності структури металу (пари мікрометалів). Наприклад, компоненти насосів зі сталі та кольорових сплавів утворюють макропари, а конструктивні компоненти з чавуну (залізо і карбід заліза  $Fe_3C$ ) – мікропари [4].

Отже, процес корозії металу — це сукупність двох взаємопов'язаних процесів: анодного (перехід іонів металу в розчин) і катодного процесу (електронний розряд). Перший процес відбувається набагато швидше, тому швидкість корозії визначається швидкістю деполяризації. При деполяризації кисню швидкість корозії залежить від кількості розчиненого кисню та швидкості його надходження на поверхню металу, тобто локальної швидкості потоку води. Це значною мірою пояснює збільшення швидкості корозії зі збільшенням витрати води [4].

Для захисту металів від корозії нижче представлені методи.



1. Створення антикорозійних сплавів (легування).
2. Збільшення чистоти індивідуального металу.
3. Механічна та хімічна пасивація металів (залізо в концентрованих сірчаній або азотній кислотах; залізо, нікель, кобальт, магній у розчинах лугів; утворення оксидної плівки, наприклад, на алюмінії тощо).
4. Покриття поверхні металу різними захисними плівками. Плівки поділяють на:
  - неметалічні (фарби, лаки, мастильні матеріали);
  - металічні: анодні, катодні [10].

#### **2.4. Технології підвищення кавітаційної стійкості**

Кавітація - це явище, при якому в області низького тиску відбувається пароутворення з наступним затвердінням бульбашок, що утворюються в області високого тиску. Відбувається це тому, що рідина кипить при нормальній температурі і низькому тиску. Повітря, розчинене у воді, сприяє кавітації, яка виділяється при зниженні тиску.

Однією з причин виходу ладу крильчатки, є явище кавітації, отже - корозійний знос металу в проточній частині колеса. Явище кавітації реальне, але залишається невивченим.

Кавітація виникає, коли рідина стикається з поверхнею металу, і метал піддається ерозії, що викликає його руйнування (наприклад, частини турбін, парових турбін, насосів, гідравліки, труб, дизельних гільз тощо) [5].

Існують різні методи дослідження явища кавітаційного зношування. Класичний підхід визначає кавітацію наступним чином. Кавітація - це порушення безперервності течії рідини через появу бульбашок або порожнин, заповнених паром або газом. При зниженні тиску виникає кавітація, і в результаті рідина закипає або з неї виділяються розчинені гази. У потоці рідини такі перепади тиску зазвичай відбуваються в областях підвищеної швидкості.

У більшості випадків рідина переміщається через декомпресовану область настільки швидко, що газ не встигає вийти. У цьому випадку кавітацію

часто називають парою. Заповнені парою порожнини або бульбашки повітря захоплюються потоком в області високого тиску. Тут пара конденсується і заповнена парою порожнина закривається [3].

Для покращення експлуатаційних характеристик виливків робочих коліс необхідно отримати оптимальний комплекс фізико-механічних властивостей. Зокрема забезпечити гарантований рівень в'язкості. Необхідних властивостей можна досягти шляхом вдосконалення процесів виплавки сталі, введення модифікаторів і легуючих елементів та відпрацюванням режимів термічної обробки [5].

Для підвищення кавітаційної стійкості слід звести до мінімуму ризик руйнування:

1. Правильна гідравлічна конструкція пристроїв і компонентів перед робочим колесом повинна забезпечувати рівномірний і істинний розподіл потоку. А також розташування всмоктувальної труби, конструкція грязьовий відстійник для свердловин або радіальних колін, встановлених на вході багатоступеневих насосів, і подвійних впускних насосів.

2. Гідравлічна конструкція робочого колеса повинна оптимізувати розподіл тиску по лопатях, щоб мінімізувати об'єм 30 порожнин для будь-якого заданого запасу кавітації та мінімізувати різницю тиску в зоні згортання бульбашки.

3. Виберіть правильний насос для певної функції: більшість насосів працюють при частковому навантаженні, і ризик кавітаційного зриву вище точки максимальної ефективності - через великий кут атаки або вихрові струми через рециркуляцію на вході. Збільшення розміру насоса часто призводить до втрати матеріалу через додаткове споживання енергії і часто через збільшення витрат на обслуговування.

4. Переконайтеся, що операції не піддаються корозії та/або ризику шуму та вібрації кавітація формується шляхом створення належного опису або аналізу ризику кавітації.

5. Виберіть правильний матеріал.

У 1 і 2 пункті йдеться про мінімізацію об'єму порожнини за будь-якої

даної швидкості потоку та тиску на вході, а в 4 і 5 пункті обговорюються способи усунення ризику відмови під час роботи насосів з обмеженими об'ємами кавітації. Це те, чого більшість насосів намагаються досягти під час роботи більшості насосів, тому що в більшості випадків використання насоса неекономно, і немає необхідності повністю придушувати порожнину на вході насоса, вибираючи досить низький утворення насоса. швидкість.

## 2.5. Аустенітні корозійностійкі сталі

Аустеніт — твердий розчин вуглецю та азоту в  $\gamma$ -Fe. У центральній ГЦК-решітці є отвір діаметром 0,102 нм. У цей час атоми вуглецю можуть координуватися, що призводить до збільшення розміру решітки  $\gamma$ -Fe. Кристалічну структуру аустеніту можна уявити як решітку з атомів заліза з меншими атомами вуглецю, вбудованими в неї. Параметр решітки аустеніту при кімнатній температурі становить 0,286 нм, а без вуглецевого Fe<sub>c</sub> — 0,356 нм. Це значення є умовним, оскільки  $\gamma$ -залізо без вуглецю не існує при кімнатній температурі і було визначено шляхом екстраполяції. Відомо, що параметри решітки залежать від температури та наявності розчинених атомів. Параметри аустенітної решітки сталей, що містять більше 0,6-0,7% вуглецю при кімнатній температурі, і чистого  $\gamma$ -заліза, але лише при підвищених температурах. Екстраполяція кривої до нуля вуглецю або кімнатної температури дала значення 0,356 нм.

Аустеніт є одним із структурних компонентів залізо-вуглецевих сплавів і являє собою твердий розчин вуглецю та легуючих елементів у залізі. У вуглецевої сталі та чавуну аустеніт стабільний вище 723°C. У залізо-вуглецевих сплавах, що містять Ni, Mn і Cr, аустеніт може повністю зберігатися до кімнатної температури. Основними перевагами аустенітних сталей є їх високі експлуатаційні характеристики (міцність, пластичність, стійкість до корозії в більшості робочих середовищ) і хороша технологічність. Тому аустенітні корозійно-стійкі сталі широко використовуються як конструкційні матеріали в різних галузях, таких як енергетика та машинобудування [11, 12, 13, 14].

## 2.6. Способи отримання стабільної аустенітної структури

Хімічний склад сталі повинен виключати утворення дельта-фериту, мартенситу та інших феромагнітних фаз у практичних умовах. Цій вимозі можуть задовольнити аустенітні композиції на основі систем Fe-Mn, Fe-Cr-Mn, Fe-Cr-Ni і Fe-Mn-Ni. У системах Fe-Mn з вмістом Mn до 10%  $\alpha$ -мартенсит утворюється навіть після загартування від 1100 °С. При подальшому підвищенні ступеня легування марганцевої сталі кількість  $\alpha$ -фази зменшується, але збільшується кількість немагнітної фази з гексагональною граткою.

Додаткове легування сплавів Fe-Mn загалом зменшує кількість і температуру фаз і підвищує стабільність аустеніту. Вуглець найбільш ефективний для зменшення фаз і зниження температури перетворення. Вплив вуглецю на опір аустеніту посилюється зі збільшенням вмісту марганцю.

У дисперсійно зміцнених сталях з карбідним зміцненням стабільність аустеніту може бути покращена за рахунок виснаження  $\gamma$ -вуглецевого фіксуєчого розчину під час відокремлення частинок карбіду під час старіння. Покращена аустенітна стабільність марганцевої сталі досягається шляхом легування додатковими елементами, такими як нікель.

Ni, як і Mn, утворює твердий розчин заміщення з  $\gamma$ -залізом. Нікель є дуже ефективним стабілізатором аустеніту. Якщо сплав Mn-Ni містить щонайменше 10% марганцю, аустеніт при охолодженні перетворюється безпосередньо в альфа-мартенсит, а гамма-фаза не утворюється. Збільшення концентрації Mn в таких сплавах більш ніж на 10% призводить до інгібування перетворення при рівні нікелю 12% і вище. Діапазон  $\alpha$ -фази та  $\gamma$ -мартенситу звужується зі збільшенням концентрації марганцю і зменшується при вмісті марганцю більше 28%. При вмісті марганцю більше 17% можна отримати повністю аустенітну структуру економічно легуваних нікелевими (до 10%) Mn-Ni сталями. Однак у сталях з вмістом хрому більше 15-17% (залежно від методу термічної обробки) і 2% Ni неможливо отримати однорідну аустенітну структуру з вмістом Mn вище 5% (0,1%), але така структурна нестабільність при старінні.

Хром використовується в промисловості як елемент, що стабілізує

аустеніт. Стабільний аустеніт при високій температурі можна підтримувати тільки при кімнатній температурі з певною пропорцією хрому і марганцю в системі залізо-хром-марганець. Сталь 12X18H10T відноситься до аустенітного класу:

$$\text{Еквівалент нікелю} = 10 + 30 \cdot 0,12 + 0,5 \cdot 2 = 14,6$$

$$\text{Еквівалент хрому} = 18 + 15 \cdot 0,8 = 19,2$$

Найважливішим аустенітним елементом є азот. Азот, як і вуглець, розширює гамма-зону і утворює твердий розчин, зміцнюючи аустеніт, але порівняно з вуглецем азот не погіршує корозійну стійкість сталі. Крім того, може відбуватися додаткове зміцнення за рахунок виділення надлишку карбонітридної та нітридної фаз, що може ускладнити рух дислокацій. Азот розширює гамма-область хромонікелевих сталей, що містять близько 0,12% вуглецю, до високих концентрацій хрому.

Ми можемо помітити великі відмінності між поведінкою цих елементів у сплавах на основі заліза в твердому розчині, які визначають різницю у впливі азоту та вуглецю на фізико-хімічні властивості цих сплавів:

1. Атомний та іонний радіуси в азоті менші, ніж у вуглецю;
2. Заряд електрона на вуглецю d-заліза збільшується і зменшується азоту, тим самим зменшуючи ковалентний компонент міжатомних зв'язків;
3. При температурах вище 400°C коефіцієнт дифузії азоту менший, ніж у вуглецю;
4. Азот у решітці заліза має тенденцію до впорядкування, тоді як вуглець має тенденцію до кластерування;
5. Завдяки міцним міжатомним зв'язкам між хромом і азотом спостерігається тенденція до рівномірного розподілу в решітці основних легуючих елементів заліза і хрому нержавіючої сталі;
6. Нітроген взаємодіє з дислокаціями з більшою енергією, ніж вуглець;
7. Азот зменшує енергію для інкапсуляції дефектів у решітці заліза, тоді як вуглець збільшує її, знижуючи здатність до зміцнення.

Азот сильно впливає на структуру сталі. Зі збільшенням вмісту азоту з 0,25% до 0,45% зростає вміст хрому в сталі, що дозволяє зберігати аустенітну

структуру стабільною до 1260°C.

Користуючись перевагами сильного стабілізуючого впливу вуглецю та азоту на аустеніт, слід використовувати вуглець, азот і марганець для заміни нікелю в немагнітній хромомарганцевої сталі, що не тільки економить нікель, але й підвищує складні фізико-механічні властивості металу.

У низьковуглецевих сталях між температурою аустенізації і кількістю дельта-фериту, що утворюється в сталях, що містять близько 13% марганцю і різні легування С, N, Cr, при підвищенні температури дельта-ферит збільшується в масі тіла.

Однак у високовуглецевих сталях спостерігається протилежна картина: кількість дельта-фериту зменшується з підвищенням температури нагріву. Це пояснюється тим, що м'яка сталь містить невелику кількість карбідів, і вони розчиняються при відносно низьких температурах. Зі збільшенням вмісту вуглецю карбідні елементи при більш високих температурах стають відповідно твердими розчинами, і в результаті тверді розчини додатково збагачуються вуглецем і хромом. Незважаючи на протилежну тенденцію щодо хрому, вуглець діє як сильний гаммаутворювач і сприяє збільшенню кількості аустенітних складових. Завдяки подальшому підвищенню концентрації вуглецю та азоту в сталі можна уникнути появи дельта-фериту. Мінімальні кількості вуглецю та азоту, необхідні для підтримки аустенітної структури, збільшуються лінійно зі збільшенням вмісту хрому.

Наявність карбідів корисна, коли вони пригнічують ріст зерен і сприяють зміцненню сталі. Вуглець набагато сильніший за азот і впливає на зміни росту зерна при нагріванні. Зміцнюючий ефект таких елементів, як вуглець і азот, приблизно такий же, як і таких елементів, як хром і марганець, і ефект набагато кращий, утворюючи твердий розчин для заміни. Чим повільніше охолодження і чим нижча температура охолодження, тим більша кількість аустеніту перетворюється на мартенсит. Перетворення  $\gamma \rightarrow \alpha$  ( $M\alpha$ ) в цих сталях не є повним, а інерція велика.

Механічні та фізичні властивості цих сталей залежать від кількості аустеніту, перетвореного в мартенсит, а також від ряду додаткових процесів,

пов'язаних з утворенням інтерметалевої або карбідної фаз, які додатково впливають на зміцнення.

Стабільні та необхідні властивості, сполуки вибирають таким чином, щоб перехід  $\gamma \rightarrow \alpha$  ( $M\alpha$ ) відбувався при кімнатній температурі або дещо нижчих температурах.

Введення достатньої кількості нікелю в сталь з вмістом 18% хрому, щоб зробити її аустенітною, забезпечуючи кращі механічні властивості, менший ріст зерна та більшу стійкість до корозії та холодної крихкості. Нержавіюча сталь з 18% хрому і 10% нікелю найбільш поширена в машинобудуванні, споживчих товарах, архітектурі та скульптурі.

Система Fe-Cr-Ni дає уявлення про фазові умови в нержавіючих хром-нікелевих сплавах.

На рисунку 5.1 показано горизонтальний розріз системи Fe-Cr-Ni при  $650^{\circ}\text{C}$ . (суцільна лінія). Однофазні  $\gamma$  і  $\alpha$  області розділені двома фазами  $\gamma + \alpha$ . Коли вміст хрому перевищує 20%, з'являється альфа-фаза (сполука FeCr). Розташування двофазної області  $\gamma + \alpha$  залежить від температури. Область  $\gamma + \alpha$  зміщується вправо, коли температура опускається нижче  $650^{\circ}\text{C}$ , її крайнє положення при  $20^{\circ}\text{C}$  представлено пунктирною лінією, проведеною в точці с, а при підвищенні температури область зміщується вліво разом із крайнє положення Пунктирна лінія, що закінчується в точках а, d, показана при  $1100^{\circ}\text{C}$ .

Видно, що сплав нижче лінії abc має повну перекристалізацію  $\gamma \leftrightarrow \alpha$  при кімнатній температурі і має феритну структуру. Між лініями abc і defg отримують напівферитний (або напіваустенітний) сплав з частковим  $\gamma \leftrightarrow \alpha$  перетворенням. Сплав зліва від лінії — ферит, а праворуч — fg аустеніт, який ми й розглянемо. Сплав 18-9 зображений на цій точковій системі. Неважко помітити, що для отримання 18% Cr аустенітної структури має бути 9% Ni; зі зменшенням вмісту нікелевий сплав стає дуплексним у всьому діапазоні температур, в тому числі і при кімнатній температурі. Додавання хрому (понад 9% понад 18% нікелю) призведе до того ж результату. При вмісті хрому менше 14-15% у структурі з'являється  $\alpha$ -фаза, а при температурах нижче  $650^{\circ}\text{C}$  поява

$\alpha$ -фази відбувається за мартенситним механізмом (рис.2.2).

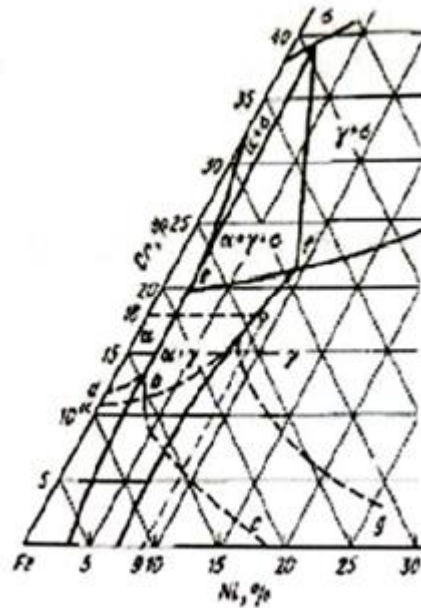


Рисунок 2.2 – Залізний кут системи Fe-Cr-Ni.

Суцільні лінії – ізохори при 650 °C

У нержавіючих хромонікелевих сталях, окрім переважної аустенітної гамма-фази, альфа-фаза також може зустрічатися в наступних варіантах: температура відділення та утворення аустеніту;  $\alpha$ -фаза, яка утворюється з аустеніту при низькій температурі (нижче 600°C) через мартенситний механізм і, нарешті, утворює  $\alpha$ -фазу, так званий деформований мартенсит, при певній температурі нижче  $M_D$ . Пластична деформація аустеніту відбувається в температурній точці [15]. Структурний стан сплавів 18% Cr і 8-15% Ni може бути як стабільним, так і нестабільним залежно від коливань складу. Пластична деформація при низьких температурах призводить в деяких випадках до так званого гексагонального мартенситу (проміжний стан), який потім може стати звичайним альфа-мартенситом.

Аустенітні сталі з 18% Cr і 8-10% Ni є структурно нестійкими, а мартенсит отримують кріогенним охолодженням або пластичною деформацією при кімнатній температурі. У сплавах, що містять 18% Cr і 10-12% Ni, мартенсит може утворюватися лише при температурах нижче 0 °C, а сплави, що містять більше 18% Cr і 14% Ni, мають стабільний аустеніт; Ні охолодження, ні деформація  $\alpha$ -фази не призводить до у [11,13,14].



## Висновки

У розділі представлений аналіз літератури, статей, навчальних матеріалів. Важливо відзначити, що деталі експлуатуються в важких умовах навколишнього середовища, оскільки для забезпечення тривалого терміну служби в таких умовах деталі повинні мати хорошу корозійну і термостійкість. Деталь виготовлена з лиття, має низьку схильність до дисперсного твердіння, міцність характеристики деталі багато в чому залежать від виду і правильності обслуговування.

За температурних випробувань близько 600°C і нижче найкращими властивостями жаростійкості володіють сталі з дрібнозернистою структурою. Термостійкість майже не залежить від співвідношення титану до вуглецю в сталі. Але якщо титанова сталь піддається впливу корозійного середовища під час роботи при високій температурі або охолодженні, необхідно вищий відношення титану до вуглецю.

Сталі з дрібнозернистою структурою, що містять титан, мають меншу жаростійкість у разі утворення сигма-фази або виділення фериту в сталі під час випробування.

В роботі були розглянуті поняття корозія та кавітація.

Аустенітні сталі не завжди мають однорідну аустенітну структуру в холодному стані, вони можуть містити різну кількість фериту і карбідів після гарячої або холодної обробки. Ці фазові компоненти знижують корозійну стійкість, пластичність і в'язкість сталі. Тому для отримання однофазного аустенітного стану сталь аустенітують.

Сьогодні існує багато способів нанесення покриттів, які відрізняються універсальністю, технічною простотою, економічністю тощо. Нанесення захисного покриття підвищує довговічність сталевого виробу за рахунок підвищення його міцнісних властивостей.

## РОЗДІЛ 3

### ВИБІР МАТЕРІАЛУ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 3.1. Опис матеріалу для деталі «робоче колесо»

12X18H10T це найбільш використовувана і поширена нержавіюча сталь (нержавійка) - сталь 12X18H10T - нержавіюча титано-вмісна сталь аустенітного класу. Хімічний склад регламентований нержавіючих сталей аустенітного класу.[16]

Переваги: висока пластичність і ударна в'язкість. Оптимальною термічною обробкою для цих сталей є гарт з 1050°C-1080°C в воді, після гарту механічні властивості характеризуються максимальною в'язкістю і пластичністю, невисокими міцністю і твердістю. Аустенітні сталі використовують як жароміцні при температурах до 600°C. Основними легуючими елементами є Cr-Ni. Однофазні сталі мають стійку структуру однорідного аустеніту з незначним вмістом карбідів Ti (для попередження міжкристалітної корозії. Така структура виходить після гарту з температур 1050°C-1080°C). Сталі аустенітного і аустенітно-феритного класів мають відносно невеликий рівень міцності (700-850МПа) [17].

Корозійностійка хромо-нікелева сталь 12X18H10T з різним ступенем зміцнення використовується при необхідності поєднання високих характеристик міцності і пружних властивостей металу, що працює в умовах середньої агресивності (транспортні стрічки, кузова пасажирських вагонів, насоси ЦНС (ЦНСК), насоси КМ, діафрагми компресорів спеціальних дихальних апаратів, відрізних кіл для особо твердих матеріалів і т. д.).

Основні споживчі властивості - межа міцності і відносне подовження сталі регламентуються з певним ступенем наближеності, а довідкові дані не враховують зміцненості металу конкретного хімічного складу плавки і технологічних параметрів попередньої обробки.

Сталь 12X18H10T рекомендується для виготовлення зварних виробів, в розведених розчинах азотної, оцтової, фосфорної кислот, розчинах лугів і солей та інші деталі, що працюють під тиском при температурі від -196 до

+600°C, а при наявності агресивних середовищ до +350°C . Сталь корозійностійка аустенітного класу [18].

Таблиця 3.1

Хімічний склад в % матеріалу 12X18H10T [19]

C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	S	P	Cu
0,12	0,8	2,0	17,0-19,0	9,0-11,0	5.C-0,8	0,020	0,035	0,30

Таблиця 3.2

Механічні властивості сталі 12X18H10T [19]

ГОСТ	Стан поставки, режими термообробки	Перетин, мм	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_b$	$\delta_5$	$\psi$
			МПа		%	
5949-75	Прутки. Гартування 1020- 1100 ° С, повітря, масло або вода.	60	196	510	40	55

Таблиця 3.3

Фізичні властивості сталі 12X18H10T [19]

T	R 10 <sup>9</sup>	E 10 <sup>-5</sup>	I	a 10 <sup>6</sup>	r	C
Град	Ом·м	МПа	Вт/(м·град)	1/Град	кг/м <sup>3</sup>	Дж/ (кг·град)
20	725	1,98	15		7920	
100	792	1,94	16	16,6		462
200	861	1,89	18	17		496
300	920	1,81	19	17,2		517
400	976	1,74	21	17,5		538
500	1028	1,66	22	17,9		550
600	1075	1,57	24	18,2		563
700	1115	1,47	25	18,6		575
800			26	18,9		596
900			27	19,3		

Таблиця 3.4

Ударна в'язкість КСУ (Дж/см<sup>2</sup>) сталі 12Х18Н10Т [19]

T= +20 °С	T= -40 °С	T= -75 °С	Термообробка
286	303	319	Полоса 8х40 мм в стані спокою

Таблиця 3.5

Жаростійкість сталі 12Х18Н10Т [19]

Середовище	Температура, °С	Група стійкості або бал
Повітря	650	2-3
	750	4-5

Нержавіюча сталь 12Х18Н10Т має такі технічні характеристики [19]:

- Допустимі напруження в сталі 12Х18Н10Т при температурі 20 градусів становить 184 МПа.
- Графік плинності 12Х18Н10Т коливається від 196 до 235 МПа залежно від типу прокату.
- Твердість за Брінеллем (НВ) — 179 одиниць.
- Щільність сталі 12Х18Н10Т становить 7920 кг/м<sup>3</sup>, що вважається досить високим серед подібних сплавів нержавіючої сталі.

### 3.2. Опис впливу легувальних елементів на властивості матеріалу

Розглянемо особливості впливу легуючих елементів на структуру сталі 12Х18Н10Т.

**Хром (Cr)** в сталі істотно підвищує її механічні властивості, при підвищенні Cr підвищується опірність стирання, зносу; збільшує міцність і твердість; корозійну стійкість.

Хром, зміст якого в цій сталі складає 17-19%, являє собою основний елемент, що забезпечує здатність металу до пасивації і забезпечує її високу корозійну стійкість.

**Нікель** - додається в сталі для збільшення їх прогартованості. Він добре виконує цю функцію, оскільки позитивно впливає на ударну в'язкість і пластичність стали, незважаючи на супутнє збільшення межі міцності і твердості. Нікель часто використовується для збільшення ударної в'язкості стали в умовах низьких температур.

Легування нікелем переводить сталь в аустенітний клас, що має принципово важливе значення, так як дозволяє поєднувати високу технологічність стали з унікальним комплексом експлуатаційних характеристик.

**Вуглець (С)** - ідеальний розкислювач, так як продуктом розкислення буде окис вуглецю CO, яка легко видаляється. Чим більше в сталі вуглецю, тим менше потрібно розкислювачів.

Він є основним компонентом в сталі. У ній він знаходиться у вигляді хімічного з'єднання з залізом, яке називається карбідом заліза або цементитом. Цементит непластичний і має високу твердість.

Залежно від вмісту вуглецю в сталі підвищується:

- Твердість, міцність;
- зносостійкість;
- електроопір ;

і зменшується:

- пластичність;
- щільність;

У присутності 0,1% вуглецю сталь має при  $> 900^{\circ}\text{C}$  повністю аустенітну структуру, що пов'язано з сильним аустеніто-утворюючим впливом вуглецю.

Співвідношення концентрацій хрому і нікелю робить специфічний вплив на стабільність аустеніту при охолодженні температури обробки на твердий розчин ( $1050-1100^{\circ}\text{C}$ ).

Крім впливу основних елементів, необхідно враховувати також присутність в сталі кремнію, титану та алюмінію, що сприяють утворенню фериту.

**Марганець** - вміст марганцю в сталях зазвичай не буває нижче 0.30%, оскільки він виконує три функції, а саме: 1 - сприяє розкисленню сталі; 2 - запобігає формуванню включень сульфїду заліза; 3 - підвищує міцність сталі, збільшуючи її прогартованості. Його вміст у вуглецевих сталях досягає 1.5%.

**Кремній (Si)** вводиться в сталь як активний деоксидуючий засіб, тобто видаляє зі сталі кисень. Знижений вміст Si вказує на недостатню розкислення сталі. При підвищеному вмісті Si (від 0,3% до 0,5%):

- Підвищується твердість, пружність
- Зменшується пластичність
- Знижується здатність сталі зварюватись в гарячому стані

Вміст Si від 1 до 3% значно покращує магнітні властивості сталі.

Вміст Si призводить до старіння (втрати пластичності), щоб цього не відбувалося, додають Al.

**Сірка (S)** потрапляє в сталь з чавуну, при плавленні, в конверторах S не видаляється зовсім.

Є шкідливою домішкою, тому що викликає червоноламкість, тобто крихкість сталі в гарячому стані при куванні і прокатці.

**Фосфор (P)** також є шкідливою домішкою; не робить помітного впливу на властивості сталі в гарячому стані, але при мінусових температурах викликає холодноламкість. У холодному стані (при підвищеному вмісті P) сталь стає крихкою.

Підвищений вміст P шкідливо для деталей працюють при низьких температурах

Підвищує опір сталі до корозії

Покращує оброблюваність автоматної сталі

**Розчинені гази** - водень ( $H_2$ ), кисень ( $O_2$ ) і азот ( $N_2$ ) здатні розчинятися в розплавленій сталі і викликати її окрихчення і утворення пористих структур, якщо не мінімізувати їх зміст. Видалення більшої кількості цих газів досягається методами рафінування сталі. Їх розчинення в розплавленому металі шва запобігають, застосовуючи спеціальні флюси або захисні гази [18,20,21].

### 3.3. Вибір методів дослідження

Щоб виміряти твердість ми використовуємо твердоміри Брінеля і Роквелла, і метод визначення мікротвердості.

Твердість - велике практичне значення, оскільки відображає багато робочих властивостей матеріалу, наприклад, зносостійкість, оброблюваність, здатність шліфувати або різати, витримувати місцевий тиск тощо. Механічні властивості (наприклад, щодо міцності на розрив) [22].

Метод Брінеля є одним зі основних методів визначення твердості матеріалу. Який виконується наступним чином:

- піднести зразок до індентора;
- індентор вдавлюють у зразок на 2-8 секунд з поступово зростаючим навантаженням;
- досягнення максимального значення навантаження на індентор зберігається протягом певного інтервалу часу (для сталі зазвичай 10-15 секунд);
- Зніміть прикладене навантаження, вийміть зразок з індентора і виміряйте діаметр отриманого відбитка.

В якості індентора використовувалися твёрдосплавні кульки діаметрами 1; 2; 2,5; 5 і 10 мм. Величина навантаження і діаметр кульки вибираються відповідно до матеріалу який дослідили.

Металографічний вертикальний мікроскоп МІМ-7 використовується для спостереження і фотографування мікроструктури металів при звичайному освітленні в яскравих і темних полях і поляризованому світлі в яскравих полях (рис. 3.1).

Набір лінз і окулярів забезпечує збільшення мікроскопа від 60х до 1440х для візуального спостереження і від 70х до 1350х для фотографування (табл. 3.6). Використовуйте лампу для кінопроектора К-30 17 В, 170 Вт як джерело світла.



Рисунок 3.1 – Фото металографічного мікроскопу МІМ-7

Таблиця 3.6

#### Характеристики окулярів

Позначення	Фокусне значення, мм	Лінійне поле зору	Шифр
Фотоокуляри			
Фотоокуляр 7х	26	21	АТ-18
Фотоокуляр 10х	25	13,4	АМ-33
Симетричний 15х	17	12	АТ-36

Також випробування сталі на стійкість до кавітації дуже важливо для перекачування використовуваних матеріалів. Через складність моделювання реальних кавітаційних процесів у лабораторії існує багато способів перевірити здатність сталі до розмивання водою, хоча всі вони дають лише відносні результати.

Деяка тенденція до моделювання умов роботи багатьох компонентів гідравлічного преса привела до використання систем струменевого удару, призначених для перевірки гідравлічної ерозії матеріалів. Для цих цілей використовуються реактивні ударні пристрої різної конструкції. Вважається,



що випробування цього матеріалу на водну ерозію ближче до умов, коли є мікроударні навантаження на поверхню багатьох деталей гідравлічного преса [23].

Подібна схема установки для ударного струменя показана на рисунку 3.2. Випробуваний зразок встановлений на колі диска, який обертається з високою швидкістю і проходить через відносно повільний потік рідини, перпендикулярний диску. Зразок контактує з частинками рідини, розділеними струменем, і швидкість удару в основному визначається швидкістю обертання зразка [24].

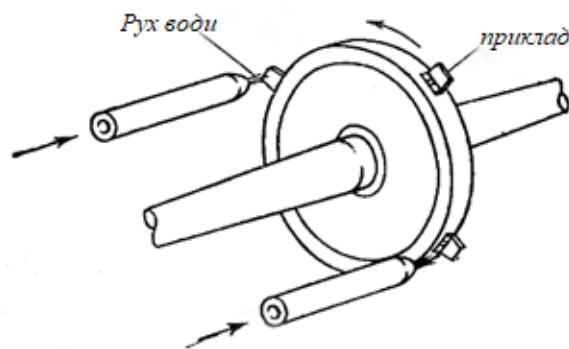


Рисунок 3.2 – Схема реактивного пристрою для перевірки кавітаційного руйнування [24]

### Висновки

12X18H10T – найбільш поширена нержавіюча сталь – це сталь – аустенітна нержавіюча, що містить титан. Хімічний склад визначається відповідним стандартом.

Хром покращує загартованість та прогартованість. Під час термічного загартування карбід хрому розчиняється при більш низькій температурі, так що твердий розчин містить не тільки хром, а й вуглець, забезпечуючи тим самим високу твердість мартенситу. Нікель не утворює власного карбиду в сплавах на основі заліза, тому його вплив на мікроструктуру відпаленої сталі в основному проявляється у зміні концентрації вуглецю в евтектоїді. Добре відомо, що прогартованість може бути покращена за допомогою нікелевої легованої сталі. Додавання міцних утворюючих елементів карбиду титану до сталі усуває сприйнятливність

сталі до міжкристалічної корозії.

Для вивчення властивостей обраних матеріалів ми використовуємо: макроструктурні дослідження (макроаналіз) - візуальне або збільшувальне скло від 10 до 30 разів; мікроструктурні дослідження (мікроаналіз) - мікроскоп МІМ-7; твердість за Брінелем і визначення твердості за Роквеллом; використання струменевоударних установок, призначених для випробувань матеріалів.

## РОЗДІЛ 4

### МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ ДЕТАЛІ «РОБОЧЕ КОЛЕСО»

Задля отримання деталей у виробництво встановлюють технологічний процес, який являє собою поєднання техніко-економічних і деяких організаційних завдань, які вирішуються при виготовленні конкретної деталі [25].

Автор [26] роботи розглянули спосіб відливання робочого колеса в керамічну форму на центрифугі. Суцільні турбінні колеса з жароміцної сталі виготовляються в керамічному вигляді на вертикальних центрифугах. Двигун обертання форми включається безпосередньо перед заливкою металу, і як тільки метал заповнює форму, він зупиняється і заповнює прибуток у фіксованій формі. Щоб запобігти швидкому охолодженню, аплікацію покривають вугіллям деревним.

Лиття робочих коліс на плавильних моделях набуло широкого розвитку в малому і середньому виробництві. Цей передовий метод технології лиття забезпечує високу точність і низьку шорсткість поверхні виливків і дозволяє використовувати високолеговані сталі та сплави з низькою текучістю. Важливим фактором для підвищення точності лиття є відсутність шаблонів і форм з'єднувачів. Складність отримання виливків вища, ніж традиційні методи формування, але підвищена якість виливків покращує продуктивність насоса, що робить використання лиття з робочим колесом придатним на моделях низькосерійної плавки [9].

У розробці технологічного процесу необхідно детально врахувати всі вимоги, розробити креслення і технічні умови виготовлення з найменшими витратами і низькою основною вартістю [25].

При розробці технологічного процесу розробляється детальний маршрут технологічного процесу. Він повинен включати [25] :

- Послідовність технічних операцій (від початку до кінця);
- Пристрій, який виконує ці операції.

Маршрутна технологія виготовлення деталі зазначена на рис. 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	Видобуток та підготовки вхідних матеріалів	1	Видобуток залізної руди та її збагачення	Комплекс гірничо-видобувний	
		2	Видобуток вугілля, отримання коксу	Комплекс гірничо-видобувний, комбінат коксохімічний	
		3	Видобуток пального газу, підготовка	Комплекс газовидобувний	
1.2	Металургійне отримання чавуну	1	Підготовка шихти	Двір шихтовий	Крани магніто-грейферні
		2	Підготовка (нагрівання) палива	Енергетичні цехи	Теплообмінник и регенеративні
		3	Горіння палива, відновлення заліза і домішок, навуглецювання заліза і утворення чавуну та шлаку	Доменний цех	Доменна піч
		4	Вимірювання хімічного складу чавуну	Міксерне відділення	Міксери
1.3	Отримання сталі дуплекс процесом	1	Завантаження твердих шихтових матеріалів, скрапу до конвеєру, заливання рідкого чавуну	Конвертна піч	Мульди, ковші

		2	Продування розплаву стисненим киснем, завантаження флюсу	Конвертна піч	Фумра
		3	Зливання сталі та шлаку. Отримання зливку	Конвертна піч	Ковші шлаковози, виливці
		4	Завантаження твердих шихтових матеріалів, скрапу до електродугової печі	Електродугова піч	Мульди, ковші
		5	Горіння електричної дуги, завантаження флюсових матеріалів, рафінування сталі	Електродугова піч	Загальні машини
		6	Виливання сталі в розливочний ківш	Плавильне відділення	Механізм нахилу електродугової печі, розливний ківш, мостовий кран

Етап 2. Отримання виливка

2.1	Отримання форми самотвердіючої сумішю	1	Встановлення моделей на під модельні плити	Модельна дільниця	Модельний комплект, кріпильні деталі, кріпильний інструмент.
		2	Встановлення опок на під модельні плити	Формувальне відділення	Кран-балка
		3	Формування півформ	Формувальне відділення встряхувальна формувальна машина	Пневманічний підйомник
		4	Встановлення стержнів у нижню півформи	Формувальне відділення	Кран-балка
		5	Складання півформ	Формувальне відділення	Кран-балка
		6	Продування	Формувальне	Балони з

			форм вуглекислим газом	відділення	вуглекислим газом
2.2	Отримання вилівка	1	Заливання форми	Заливальна дільниця	Ківш з вуглекислим газом
		2	Охолодження залитої форми	Заливальна дільниця	-
		3		Дільниця вибивки і очистки вилівок, вибивна решітка	Камера для примусового відведення пилу
		4		Дільниця вибивки і очистки вилівок	Пневманічні молотки
		5		Дільниця вибивки і очистки вилівок	Газополумневи й різак
		6	Очистка вилівка	Дільниця вибивки і очистки вилівок	Піскоструменна камера
2.3	Контроль	1	Контроль розмірів і дефектів	Дільниця контролю	Вимірювальний інструмент, ультразвуковий дефектоскоп
Етап 3. Попередня термічна обробка заготовки					
3.1	Попередня термічна обробка	1	Відпал	Термічна дільниця	Електрична камерна піч СДО – 8.15.8/12П
3.2	Контроль	1	Вимірювання твердості	Дільниця контролю	Твердомір ТК-2, індентор
Етап 4. Чорнова механічна обробка					
4.1	Вхідний контроль якості	1	Ультразвукова дефектоскопія	Ультразвукова дефектоскопія	-
4.3	Фрезерування	1	Чорнове фрезерування центрального пазу	Токарно-карусельний верстат	Планшайба, набір різців
4.2	Чорнова токарна обробка	1	Чорнове точіння контурів деталі поверхні	Токарно-карусельний верстат	Планшайба, набір різців
Етап 5. Остаточна термічна обробка					
5.1	Гартування	1	Гартування	Термічна	Установка

				дільниця	гартування
5.2	Контроль	1	Вимірювання поверхні деталі у відповідності до креслення, надання деталей необхідної шорсткості	Дільниця контролю	Твердомір ТК-2, індентор, металографічний мікроскоп
Етап 6. Чистова механічна обробка					
6.1	Шліфування	1	Шліфування поверхні деталі у відповідності до креслення, надання деталі необхідної шорсткості	Внутрішньо-шліфувальний та полірувальний верстат	Коло шліфувальне
6.2	Контроль	1	Контроль геометричних розмірів	Дільниця контролю	Вимірювальний інструмент, зразки шорсткості ГОСТ 9378-75, скоба, фаскомір
		2	Контроль властивостей ( твердість ) Ультразвукова дефектоскопія	Дільниця контролю	Твердомір дефектоскоп

### Висновки

У четвертому розділі представлена технологія отримання виробу шляхом лиття. Основні етапи техпроцесу – металургійне отримання сталі, отримання вилівка, попередня ТО, чорнова механічна обробка, остаточна ТО, чистова механічна обробка. Робоче колесо насосу було виготовлено методом лиття в піщано глиняній формі. Після охолодження вилівка його чистять від ливникової системи та прибилів. Після цього вилівок надходить до термічного цеху де його піддають відпалюванню, після відпалювання вилівок піддають чорновій механічній обробці, тобто його зовнішні та внутрішні поверхні піддають токарній обробці на токарно-карусельних верстатах. Потім фрезерують паз. Наступним етапом виготовлення деталі є остаточна термічна обробка, під час цієї обробки, колесо піддають гартуванню. Останнім етапом являється чистова механічна обробка, тобто його оброблюють шліфуванням для позбавлення від окалини, корегування розмірів деталі та надання естетичного вигляду..

## РОЗДІЛ 5

### РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 5.1. Термічна обробка виробу

Термообробка сталі 12X18H10T необхідна для того, щоб додати матеріалу певні властивості. Тобто збільшити його міцність, твердість та збільшити його зносостійкість.

Процес термічної обробки можна поділяти на три основні види:

1. Відпал. Даний процес термообробки дозволяє домогтися рівномірної структури. Відпал проходить в три етапи: сталь нагрівають до певної температури, потім витримують при певній температурі, а потім повільно охолоджують в печі. Рівномірна структура виходить тільки при відпалі другого роду, при першому роді ніяких структурних змін не відбувається.

2. Гартування. Цей вид термообробки дозволяє створити сталь з різноманітною структурою і властивостями. Весь технологічний процес проходить в три стадії: при певній заданій температурі відбувається нагрів сталі, потім її витримка при тій же температурі і на відміну від відпалу швидке охолодження.

3. Відпуск. Цю технологію термічної обробки використовують, щоб зменшити внутрішнє напруження матеріалу.

В першу чергу увагу звертають на властивості сталі, а саме її експлуатаційні і технологічні характеристики. Вони найбільш важливі при виготовленні певних деталей і виробів. З урахуванням марки сталі процес гартування проходить в температурному діапазоні 530-1300°C. За допомогою термообробки можна значно змінити структуру металу.

Аустенітні сталі використовують як жароміцні при температурах до 600°C. Основними легуючими елементами є Cr-Ni. Однофазні сталі мають стійку структуру однорідного аустеніту з незначним вмістом карбідів Ti (для попередження міжкристалітної корозії, така структура виходить після гартування при температур 1050°C-1080°C). Сталі аустенітного і аустенітно-феритного класів мають відносно невеликий рівень міцності (700-850МПа).



Основною метою попередньої термічної обробки є:

- покращення оброблюваності металу для механічної обробки виготовлення виробу;
- підготування металевої конструкції до остаточної термічної обробки, тобто отримання однорідну дрібнозернистої структури;
- усунення наклепу і зменшення внутрішнього напруження;
- поліпшення комплексних механічних властивостей.

Роль термічної обробки металів і сплавів важко переоцінити. Як основний вид обробки арматури забезпечує надійність і достатню довговічність машин і механізмів, знижуючи їх металоємність, масу та експлуатаційні витрати енергії.

Багато спеціальних металевих матеріалів, наприклад, стійкі до корозії інструментальні сталі, можуть отримати ці властивості лише за допомогою спеціальної термічної обробки. Практично в усіх випадках термічна обробка в оптимальних умовах підвищує ефект поліпшення властивостей сплаву при легуванні.

Попередній підігрів злитків, заготовок і проміжних напівфабрикатів надає змогу для проведення холодного або гарячого пресування, роблячи їх більш технічними, покращуючи оброблюваність, покращуючи властивості готового продукту [27].

Відпал – це вид попередньої термічної обробки деталей, зокрема отриманих методом лиття. В нашому випадку для виливку із корозійно-стійкої сталі 12X18H10T використовується стабілізаційний відпал [28].

Стабілізаційний відпал застосовується на сталі для забезпечення стійкості конструкції та запобігання корозійного розтріскування, а також зниження напруги зварювання на 70 - 80%. Механічні властивості формових виливків слід вимірювати при робочій температурі деталі, наприклад приміщення [28].

Корозійно-стійка сталь досягає високої стійкості до міжкристалічної корозії за допомогою стабілізаційного відпалу (зазвичай близько 850°C), коли

карбіди повністю вивільняються з розчину і існують у затверділій формі, а хром рівномірно розподіляється за об'ємом зерна [28].

Стабілізаційний відпал запобігає тенденції до міжкристалічної корозії після сенсibilізації, але все ще не забезпечує достатньої стабільності в азотній кислоті. З цього можна зробити висновок, що стабілізаційний відпал лише усуває тенденції міжкристалічної корозії карбідного типу [28].

Стабілізаційний відпал також підвищує стійкість металу шва до міжкристалічної корозії. Стабілізаційно відпалені зварні шви можуть містити від 0,08 до 0,09% С в металі шва без тенденції до міжкристалічної корозії. Особливо сприятливий ефект при автоматизованому зварюванні має стабілізаційний відпал зварних швів, що містять певну кількість титану [28].

Аустенітні сталі не завжди мають однорідну аустенітну структуру в холодному стані, вони можуть містити різну кількість фериту і карбідів після гарячої або холодної обробки. Ці фазові компоненти знижують корозійну стійкість, пластичність і в'язкість сталі. Тому для отримання однофазного аустенітного стану сталь піддають аустенізації. Для аустенізації сталей до 0,1% вуглецю необхідний нагрів від 750 до 950 °С в рівноважних умовах (тривалий нагрів). Діапазон температур збільшується, коли в сталі присутні карбідоутворюючі елементи. На практиці його застосовують для високолегованих сталей при 1050-1150 °С, а потім гартують [28].

Аустенітні сталі використовуються в конструкціях, які працюють при низьких температурах, оскільки вони мають високу холодостійкість і зберігають ударну міцність. Для цієї сталі аустенізація проводиться при певній температурі 1050-1150°С [28].

Для сталі 12Х18Н10Т проведемо аустенізацію при температурі 950-1050 °С. Графіки попередньої та остаточної термічної обробки приведено на рис. 5.1.

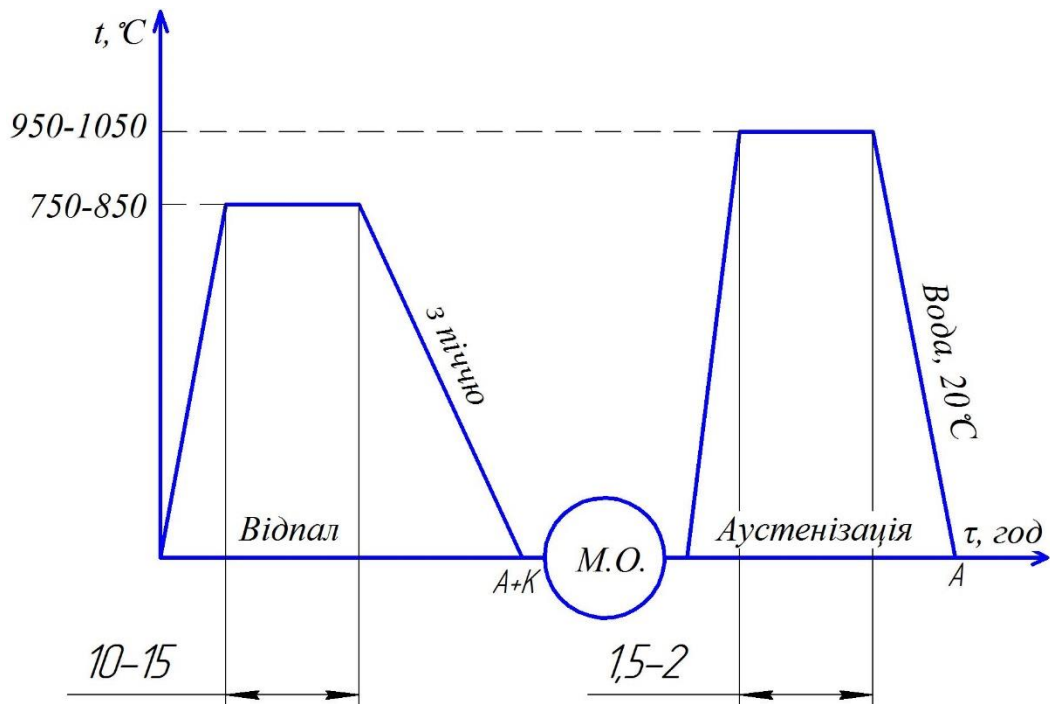
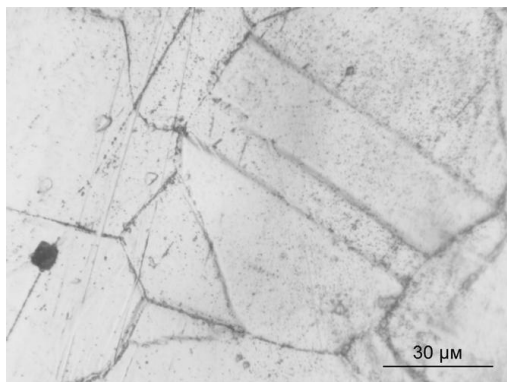
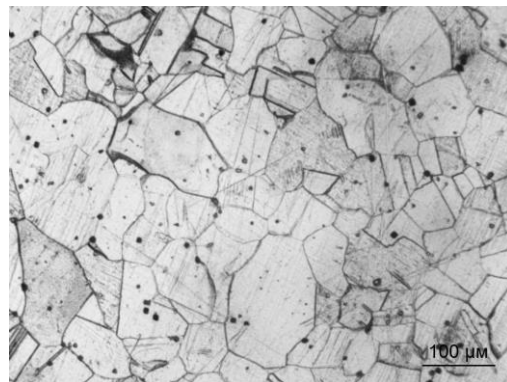


Рисунок 5.1 – Графік повної термічної обробки сталі 12X18H10T

Твердість після відпалу становить 200НВ, а твердість після аустенізації 170-180НВ. Повністю термооброблена структура сталі 12X18H10T (рис. 5.2) складається з однорідного аустеніту.



а



б

Рисунок 5.2 – Структура сталі 12X18H10T після термічної обробки:

а – відпалу (аустеніт); б – після гартування (аустенізації)

Рекомендований режим термічної обробки сталі 12X18H10T: попередня термічна обробка – відпал, при температурі 750-850 °C з витримкою в 10-15 год., та охолодження з піччю; остаточна термічна обробка – гартування

(аустенізація) при температурі 950-1050 °С з витримкою 1,5-2.0 год., з охолодженням в воді [11].

## **5.2. Контроль якості готової продукції**

Якість деталі залежить від її геометрії та розмірів, механічних властивостей, конструктивної точності та відсутності поверхневих і внутрішніх дефектів. Отримання якісних деталей залежить від правильної розробки креслень, проектування та реалізації процесу штампування та організації технічного контролю, до завдань якого входить не тільки виявлення, але й запобігання дефектам. Для контролю розмірів деталей використовуються вимірювальні прилади.

Використовують штангенциркулі, висотоміри, глибиноміри, радіусометри, щупи та інші інструменти загального призначення. Використання вихреструмових методів дозволяє контролювати хімічний склад, твердість, тріщини, конструкційні умови, внутрішні напруження та розміри їх поперечного перерізу деталей. Внутрішні дефекти в деталях виявляються за допомогою УЗД.

Метод заснований на відображенні ультразвукового променя від поверхні внутрішнього дефекту. Деталі, що перевіряються, повинні мати однаковий перетин. ГОСТ 24507-80 визначає методи ультразвукової дефектоскопії. Вони дозволяють виявляти раковини, рихлість, тріщини, брилі, пучки та інші невідповідності товщини металу, які не можуть або не завжди виявляються іншими методами неруйнівного контролю [29,12].

## **5.3. Вибір та розрахунок обладнання для проведення термічної обробки**

Обладнання теплового цеху слід розміщувати на вільному проході всіх печей, мийних машин, загартованих печей, з незабрудненим і незайманим вільним простором між ними. [30].

Все обладнання цеху ділиться на три групи [30]:

- основне обладнання;

- додаткове обладнання;
- допоміжне обладнання.

Вибір обладнання починається з аналізу технології термічної обробки деталей, що обробляються в цеху або гарячому відділенні. Необхідно також враховувати, які види обладнання мають вищу продуктивність, забезпечують кращу якість термічної обробки, кращу механізацію та автоматизацію [30].

Таблиця 5.1

## Відомість розподілу програми за операцією

Назва деталі	Операції для деталі їх кількість	
	Стабілізуючий відпал	Гартування
Робоче колесо	35 000 кг	32 000 кг

Розрахункова кількість одиниць обладнання  $K_p$ , необхідне для виконання програми [30]:

- режим роботи термічної дільниці буде 1-но змінний;
- річний фонд ефективного часу роботи обладнання залежить від встановленого режиму роботи, тривалості зміни, втрат часу на ремонт і переналагодження обладнання та розраховується за формулою (5.1) [30]:

$$\Phi_d = (365 - B - П) * 3 * t * K_p, \quad (5.1)$$

де  $\Phi_d$  – дійсний річний фонд часу обладнання, год;  $B$  – кількість вихідних днів на рік (за вирахуванням вихідних, співпадають зі святковими днями);  $П$  – кількість святкових днів у році;  $С$  – кількість змін у добі;  $t$  – середня тривалість однієї зміни.

Таким чином,  $\Phi_d$  для 1-го змінного режиму роботи дорівнює 1808 годин. Розрахунок основного обладнання проводимо за формулою (5.2):

$$K_p = E_i / \Phi_d = П_i / (P_i * \Phi_d), \quad (5.2)$$

де  $E_i$  – необхідна кількість годин для виробничої програми для відповідного виду термічної обробки виробу  $i$ -го найменування.

$$E_i = П_i / P_i, \quad (5.3)$$

де  $\Pi_i$  – річна виробнича програма по відповідній операції оброблюваної деталі  $i$ -го найменування;  $P_i$  – годинна продуктивність одиниці обладнання при відповідній операції обробки деталей  $i$ -го найменування.

$$P_i = M_i / \tau_i, \quad (5.4)$$

де  $M_i$  – маса садки деталі  $i$ -го найменування;  $\tau_i$  – нормування часу обробки однієї садки деталей  $i$ -го найменування.

Маса деталі до механічної обробки буде 3,5 кг.

Для відпалу обираємо камерну піч типу СДО 8.15.8/12(II) (рисунок 5.3) [31].

$\Pi_0 = 35\,000$  кг;  $\Phi_d = 1808$  год;  $\tau_0 = 10-15$  год; кількість садки - 90 штук (з умови по 18 деталей на піддоні в п'ять поверхів на етажерці).

- $M_0 = 90 * 3,5 = 315$  кг
- $P_0 = M_0 / \tau_0 = 315 / 13 = 24,2$  кг / год  $K_p = 35\,000 / (24,2 * 1808) = 0,8$
- $\eta = (0,8 / 1) * 100\% = 80\%$

Тобто для відпалу обираємо 1 піч.



Рисунок 5.3 – Електрична камерна піч типу СДО 8.15.8/12 [31]

Для проведення аустенізації обираємо шахтну електропіч марки ПШЗ 6.12/12 (рисунок 5.4) означає, що можливе виготовлення як з ручним, так і з механізованим приводом підйому кришки [31].

Технічні характеристики [31]:

Внутрішні розміри, мм, діаметр-висота, (D-F)	600-1200
Температура максимальна, °C	1200
Потужність, кВт	50
Вага, кг	1000

$P_{\Gamma} = 32\ 000\ \text{кг}$ ;  $\Phi_{\text{д}} = 1808\ \text{годин}$ ;  $\tau_{\Gamma} = 2\ \text{годин}$ , кількість садки - 8 штук.

$M_{\Gamma} = 8 * 3,2 = 25,6\ \text{кг}$

$R_{\Gamma} = M_{\Gamma} / \tau_{\Gamma} = 25,6 / 2 = 12,8\ \text{кг} / \text{год}$

$K_{\text{р}} = 32\ 000 / 12,8 * 1808 = 1,38$  – обираємо 2 печі для аустенізації.

$\eta = (1,38 / 2) * 100\% = 69\ \%$

Вертикально навантажені електричні шахтні печі, наприклад ПШЗ (рисунок 5.4), використовуються для нагріву в загартованому стані; розігріву при ковці та інших видах термічної деформації; відпалу для зняття внутрішньої напруги та зниження твердості сталі; нормалізації виливків або поковок. Оброблено вогнем для усунення грубозернистих структур, інші процеси нагрівання проводили до 1200°C [31].

Камери термообробки у вигляді шахт, утворених вогнетривкою кладкою для термічної обробки виробів. Нагрівальна камера оснащена жаростійкою сталевною огорожею, яка виконує роль захисного вкладиша і утеплювача при завантаженні заготовок. Нагрівання робочої камери здійснюється гвинтовим нагрівачем, виготовленим із суперсплавного дроту німецького виробництва. Нагрівальна камера електropечі закрита кришкою, облицьованою вогнетривким матеріалом. Кришка духовки вмонтована в раму навантажувача. Кришку ручки візка спочатку піднімають, а потім переміщують убік по рейці, тим самим звільняючи отвір у осі.



Рисунок 5.5 – Вигляд печі ПШЗ 6.12/12(П) [31]

Всі електропечі використовують вогнетривкі бетонні елементи для якісної ізоляції волокон і мікропористих матеріалів, що знижує втрати тепла і робить піч дуже економічною. Піч оснащена механізмом для швидкого і легкого відкривання кришки.

Круговий нагрів деталей, а також спеціальна схема зонного регулювання температури забезпечують високу рівномірність температури по всьому об'єму печі в усьому температурному діапазоні і швидкий нагрів деталей під гартування. Для опускання деталей в піч в останній час замість масивних корзин застосовують спеціальні пристосування (рисунок 5.5 ), що підвищують ККД печі та скорочують питомі витрати електроенергії до 200-250 кВт/т. Величина садки складає 8 деталей.



Рисунок 5.5 – Пристосування для завантаження деталей в піч [31]



Зважаючи на те, що в термічному відділенні проводять і інші види термічної обробки, для різного роду деталей на термічній дільниці передбачено також і відпускну шахтну піч ПШО - 8.12/7. В таблиці 5.2 наведено характеристики печей, які застосовуються для проведення ТО.

Таблиця 5.2

## Печі термічної дільниці

№ печі	Найменування печей	Розмір внутр., простору			Габарити печі, м	Садка, кг	Продуктивність, кг/год	Кількість печей
		Довжина, м	Ширину, м	Висота, м				
1	СДО - 8.15.8/12(П1)	0,8	1,6	0,8	2,1x5,9x2,3	315	24,2	1
2	ПШЗ – 6.12/12(П1)	0,6		1,2	1,5x1,8x1,6	25,6	12,8	2
3	ПШО - 8.12/7(П1)	0,8		1,2	2x2x2,4	-	-	1

Головними елементами виробничої структури підприємства є робочі місця, дільниці та цеху [30].

Дільниця це виробничий підрозділ, який об'єднує ряд робочих місць, згрупованих за певними ознаками, що здійснює частину загального виробничого процесу по виготовленню продукції або обслуговування виробничого персоналу.

Для розміщення проектованої дільниці цеху, з шкідливими газовиділеннями і значними надлишками тепла (більше 20 ккал/м<sup>3</sup> на годину), як правило, має використовуватися одноповерхова будівля прямокутної форми, що забезпечує найбільш ефективно видалення шкідливих речовин звичайним шляхом [30].

Ширина прольотів дорівнює 12, 18, 21, 30 і 36 м, встановлюється в залежності від схеми розміщення обладнання і необхідної ширини проїздів.

У проектованому цеху приймаються наступні сітки колон: 12 x 18, 12 x 24, для кранових будівель: 12 x 24, 12 x 30. Прольоти: 6, 9 і 12 метрів. Висота

прольоту приймається в залежності від умов роботи.

Термічні цехи характеризуються великою кількістю інженерних комунікацій, установка і монтаж яких ускладнює нормальне проведення технологічного процесу і не задовольняє вимогам промислової естетики.

Необхідні площі проектованої ділянки розраховуємо за укрупненими показниками, використовуючи довідкові дані [30].

Розрахунок площі цеху [30]:  $S_{ЗАГ} = S_{ПОЛ} + S_{ПРОХ} + S_{ВСП}$ ,

де  $S_{ПОЛ}$  - корисна виробнича площа необхідна для розміщення обладнання;  $S_{ПРОХ}$  - площі проходів і проїздів;

$S_{ВСП}$  - допоміжна площа.

$S_{ПОЛ} = \sum S_I$ ,

де  $S_I$  - площа для даного обладнання.  $S_{ПОЛ} = 6 \cdot 24 = 144 \text{ м}^2$

Допоміжна площа і площа проходів та проїздів встановлюється в розмірі 25 - 35 % від виробничої площі [30].

$S_{ВСП} = 25 \dots 35\% \cdot S_{ПОЛ} = 30\% \cdot 144 = 43,2 \text{ м}^2$

$S_{ПРОХ} = 25 \dots 35\% \cdot S_{ПОЛ} = 30\% \cdot 144 = 43,2 \text{ м}^2$

$S_{ЗАГ} = 144 + 43,2 + 43,2 = 230,4 \text{ м}^2$

Отриману  $S_{ЗАГ}$  розбивають на сітку колон.

Отже, отримуємо тепловий перетин з розмірами:  $24 \times 12 = 288 \text{ м}^2$ . До складу гарячого цеху входять: виробнича дільниця, допоміжне відділення (склад), склад готової продукції, допоміжного матеріалу, склад обладнання. Підстанції, офіси та резиденції [30].

Склад цих територій залежить від розміру та структури магазину, характеру технічного процесу та інших характеристик [30].

Розташування обладнання на плані та розрізі цеху має бути засноване на [30]:

- намічена компоувальна схема технологічного вантажопотоку, що не допускає перетину шляхів руху оброблюваних виробів;
- можливість обслуговування і ремонту устаткування;
- організація між операційного транспорту оброблюваних виробів.

Встановлюючи компоновку обладнання, слід пам'ятати, що топку слід розташовувати вздовж зовнішньої стіни. Проходи і проходи повинні бути розміщені по периметру, а обов'язкове розташування дверей і дверей – на зовнішніх стінах.

### **Висновки**

Термічна обробка використовується для зміни структури та властивостей металу шляхом нагрівання його до заданої температури, витримки до повного нагрівання та охолодження з заданою швидкістю.

Мета попередньої термічної обробки полягає в покращенні оброблюваності металу для виготовлення виробів; підготовки металоконструкції до остаточної термічної обробки, тобто отримання однорідної дрібнозернистої структури; усунення наклепів і зниження внутрішніх напружень; поліпшення комплексних механічних властивостей.

Аустенітні сталі не завжди мають однорідну аустенітну структуру в холодному стані, вони можуть містити різну кількість фериту і карбідів після гарячої або холодної обробки. Ці фазові компоненти знижують корозійну стійкість, пластичність і в'язкість сталі. Тому для отримання однофазного аустенітного стану сталь аустенітують.

Твердість після відпалу становить 200НВ, а твердість після аустенізації 170-180НВ. Повністю термооброблена структура сталі 12Х18Н10Т складається з однорідного аустеніту.

Рекомендований режим термічної обробки сталі 12Х18Н10Т: попередня -термічна обробка – відпал, при температурі 750-850 °С з витримкою в 10-15 год., та охолодження з піччю; остаточна термічна обробка – гартування( аустенізація) при температурі 950-1050 °С з витримкою 1,5-2.0 год., з охолодженням в воді.

Метод ультразвукової дефектоскопії заснований на відображенні ультразвукового променя від поверхні внутрішнього дефекту. Деталі, що перевіряються, повинні мати однаковий перетин. ГОСТ 24507-80 визначає методи ультразвукової дефектоскопії. Вони дозволяють виявляти раковини,

рихлість, тріщини, брилі, пучки та інші невідповідності товщини металу, які не можуть або не завжди виявляються іншими методами неруйнівного контролю.

Для стабілізаційного відпалювання було застосовано електричну камерну піч типу СДО 8.15.8/12. А для проведення аустенізації (гартування) було використано шахтну електропіч марки ПШЗ 6.12/12. Для опускання коліс робочих в дану шахтну піч застосовували спеціальне пристосування, що забезпечувало правильну та якісну термічну обробку деталей.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі бакалавра запропонована перспективна маршрутна технологія виготовлення робочого колеса відцентрового насоса.

1. Проведений аналіз умов роботи виробу. Робоче колесо насоса є однією з найважливіших частин, воно безпосередньо діє на рідину, що протікає, передаючи енергію двигуну, тому воно повинно володіти необхідними механічними властивостями: високою міцністю, корозійною стійкістю в агресивних середовищах, достатньо високою твердістю та гарною зносостійкістю. Вивчивши умови експлуатації виробу, можна прийти до висновку, що конструкція робочого колеса має бути найбільш сприятливою до її виготовлення за допомогою лиття. Під час роботи «робоче колесо» насоса піддається напруженням корпусі, які зазвичай викликаються відцентровою силою.

2. Кавітація часто є основною причиною виходу з ладу крильчатки. При відсутності кавітації термін служби елементів проточної секції насоса в першу чергу визначається корозією металу. Зважаючи на спосіб отримання деталі та аналізуючи умови роботи виробу, для виготовлення деталі «робоче колесо насоса» було обрано нержавіючу титано-вмісну сталь аустенітного класу 12X18H10T.

3. Сталь 12X18H10T є корозостійкою, жаростійкою, кавітаційностійкою сталлю аустенітного класу. Дана сталь містить 1,2% вуглецю, 18% хрому, 10% нікелю та титану до 1%.

4. З метою отримання необхідних властивостей виробу необхідно провести термічну обробку. Пропонуємо у якості попередньої термічної обробки стабілізаційний відпал. Після цієї термічної обробки деталь піддають механічній обробці. В якості остаточної термічної обробки пропонуємо аустенізацію (гартування), після якої весь хром розчиняється у твердому розчині – аустеніті, і сталь не піддається міжкристалічній корозії.

Твердість після відпалу становить 200НВ, а твердість після аустенізації 170-180НВ. Повністю термооброблена сталь 12X18H10T має структуру однорідного аустеніту.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Корозія і захист від корозії [Текст] : навч. посіб. / Стечишин М. С., Олександренко В. П., Білик Ю. М. - Хмельницький : ХНУ, 2015. – 197 с.
2. Рабочее колесо насоса. Крыльчатка насоса [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.nektonnasos.ru/article.php>.
3. Башта Т. М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: Учебник для машиностроительных вузов / Т. М. Башта, С. С. Руднев, Б. Б. Некрасов и др. – 4-е изд. – М: «Издательский дом Альянс», 2010. – 423 с.
4. Ломакин, А. А. Центробежные и осевые насосы / А. А. Ломакин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.-Л. : Машиностроение, 1966. – 364 с.
5. Солнцев Ю.П., Борзенко Е.И., Вологжанина С.А. Материаловедение. Применение и выбор материалов. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2007. – 200 с.
6. Богачев И. Н. Кавитационное разрушение и кавитационностойкие сплавы / И. Н. Богачев. – М. : Металлургия, 1972. – 192 с.
7. Ніколова Р.О. Гідравлічні та аеродинамічні машини: Навчальний посібник,-Одеса, ОДАБА. 2006. – 210 с
8. Freeman J. W., Comstock G. F. a. White A. F. Trans. ASME, v.74, 2002, – p. 793.
9. Михайлов А. К., Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование / А. К. Михайлов, В.В. Малюшенко. – М.: «Машиностроение», 1977. – 288 с.
10. Кузуб В. С. Анодная защита технологического оборудования / В. С. Кузуб–М.:Металлургия, 1989.– 96 с. Ефимов В.А. Специальные способы литья: Справочник / В. А. Ефимов, Г. А. Анисович, В. Н. Бабич и др.; Под общ. ред. В. А. Ефимова. — М.: Машиностроение, 1991. — 436 с.
11. Коррозионностойкие, жаростойкие и высокопрочные стали и сплавы: Справочное издание. /Под ред. А. П. Шлямнева и др. М.: «Интермет Инженеринг». 2000. 232 с.
12. ДСТУ 3021-95. Випробування і контроль якості продукції. Терміни та визначення: Испытания и контроль качества продукции. Термины и

определения. [Чинний]. К.: Держстандарт України, 1995. 71 с.

13. Дьогтєв Г.Ф. Матеріалознавство. К.: “Вища школа”, 1975. 256 с.
14. Кузин О.А., Яцюк Р.А. - Металознавство та термічна обробка металів. – Львів: Афіша. 2002. 300 с.
15. Лякишев Н.П. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Справочник. М.: Машиностроение, 2000. 448 с.
16. ГОСТ 5632-72. Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные.
17. Патон Б.Е., Строганов Г.Б., Кишкин С.Т. Жаропрочность литейных никелевых сплавов и защита их от окисления. - Киев: Наукова думка, 1987. – 258 с.
18. Михайлов-Михеев П.Б. Справочник по металлическим материалам турбино- и моторостроения. - Л.: МАШГИЗ, 1961. - 840 с.
19. Сорокин В.Г. Марочник сталей и сплавов/ В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин и др.; Под общей редакцией В.Г. Сорокина.- М., Машиностроение – 1989. – 640 с.
20. Каблов Е.Н. Литые лопатки газотурбинных двигателей (сплавы, технология, покрытия). - М.: МИСИС, 2001. - 632 с.
21. Конструкционные и жаропрочные материалы для новой техники /Сборник научных статей. - М.: Наука, 1978. - 344 с.
22. Егоров Ю.П. Материаловедение: учебное пособие / Ю.П. Егоров, Ю.М. Лозинский, Е.И. Марр и др.; Под ред. А.Г. Багинского; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – 100 с.
23. Фомин, В. В. Гидроэрозия металлов / В. В. Фомин. – М. : Машиностроение, 1977. – 287 с.
24. Кнэпп, Р. Кавитация / Р. Кнэпп, Дж. Дейли, Ф. Хемит ; Под ред. В.И. Полежаева ; пер. Э.А. Ашратова, А.Н. Вишнякова, В.А. Хохрякова. – М. : Мир, 1974. – 688 с.
25. Конструкционные материалы Справочник Б.Н. Арзамасов, В.А. Брострем, Н.А. Буше и др. М. Машиностроение, 1990. – 688 с.
26. Ефимов В.А. Специальные способы литья: Справочник / В. А.

Ефимов, Г. А. Анисович, В. Н. Бабич и др.; Под общ. ред. В. А. Ефимова. — М.: Машиностроение, 1991. — 436 с.

27. Инструкция по охране труда для лаборанта по физико-механическим испытаниям ИБ–Т.43.22.003-18. ОП «Атомэнергомаш» 2018. 19 с.

28. Вареник, С.В. Вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення заготовки і термічної обробки деталі «робоче колесо» [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра; спец.: 6.050403 – інженерне матеріалознавство / С.В. Вареник; наук. керівник Т.П. Говорун. - Суми: СумДУ, 2019. - 74 с.

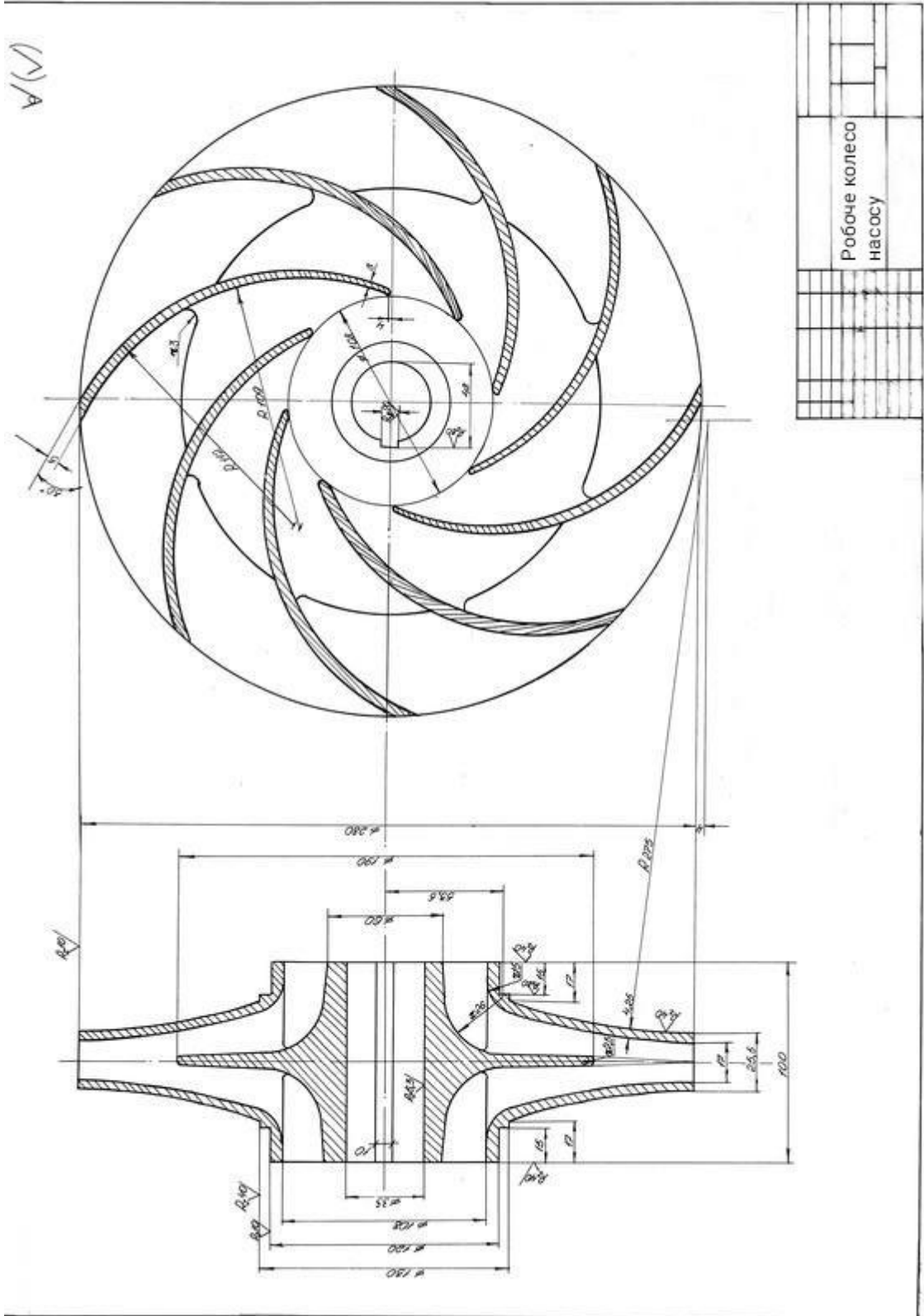
29. ДСТУ 2925-94. Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення. [Чинний]. К.: Держстандарт України, 1995. 34 с.

30. Будник, А. Ф. Типове обладнання термічних цехів та дільниць : навч. посіб. / А.Ф. Будник. – Суми: СумДУ, 2008. – 212 с.

31. Будник, А. Ф. Обладнання термічних цехів та дільниць. Атлас конструкцій: навч. посіб. / А.Ф. Будник, А.О. Томас. – Суми: СумДУ, 2014. - 112 с.



Додаток А



**Додаток Б**  
**ABSTRACT**

**Holub Nataliia Romanivna. The choice of material, route technology of production of preparation and heat treatment of the device of the directing pump. – The manuscript.**

Qualifying work of a bachelor in specialty 132 - Materials Science. - Sumy State University, Sumy, 2022.

Centrifugal pumps are one of the most commonly used types of pumping equipment in various industries and domestic water supply systems. New ways of forming products appear every year, and the existing ones are improved every day. Scientists and engineers worldwide are tirelessly finding new and advanced ways to access machine parts and mechanisms.

The efficiency of the entire pump depends on the reliable operation of the impeller, as a failure of its operation can lead to the failure of other parts and the pump as a whole. Durability is one of the most important indicators of the reliability of a hydraulic pump and is determined by the service life and resources. The service life of the pump impeller depends on the operating conditions; the main limiting factor of their service life is the corrosive action of the working environment, which is determined by the rate of intergranular corrosion, water erosion, and cavitation damage.

The material of the impeller must have satisfactory mechanical properties, withstand short-term high loads, correspond to the material of the sealing, ring and have good antifriction properties.

Austenitic steels have good wear resistance, so stainless chrome-nickel-titanium steels are most widely used in installations with water and corrosive environments. Steel 12X18H10T is corrosion-resistant, heat-resistant, cavitation - resistant steel of the austenitic class.

**The purpose of the work** is to develop a promising route technology for the production of the impeller of a centrifugal pump.

**Research methods:** methods of macro- and microanalysis, determination of hardness, Brinell hardness.

**Tasks:**

- to analyze the working conditions of the part;
- to analyze the literature sources to determine promising ways to increase the resource of the part;
- rationally choose the material for the manufacture of parts "impeller" of the pump;
- to develop the technological process of manufacturing parts;
- to assign heat treatment of the product;
- to select and calculate the equipment for heat treatment;
- to provide recommendations for the application of the proposed technology at the enterprise.

**The practical significance of the results obtained.** The material was chosen, the route was offered technology manufacture for the "impeller" of the pump.

**Keywords: impeller, steel, corrosion resistance, strength, heat treatment, cavitation.**