

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 заготовки і термічної обробки апарату направляючого насоса

Виконав:

студент Бурлака Антон Юрійович

Керівник:

Говорун Тетяна Павлівна

Залікова книжка

№ 18510280

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 та технології конструкційних  
матеріалів**  
Спеціальність 132 «Матеріалознавство»

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

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

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Студенту Бурлак Антону Юрійовичу, група МТ-81/1  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема випускної роботи: Вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення заготовки і термічної обробки апарату направляючого насоса.
2. Вихідні дані: Креслення деталі апарату направляючого насоса 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 Характеристики та умови експлуатації деталі. Вимоги до матеріалу «апарат направляючий насосу типу ЦНС 240-2	X			
2	Розділ 2 Огляд літератури	X			
3	Розділ 3 Вибір матеріалу та методів дослідження		X		
4	Розділ 4 Маршрутна технологія отримання деталі «апарат направляючий» насосу типу ЦНС			X	
5	Розділ 5 Розрахунково-експериментальна частина				X

5. Дата видачі завдання 26.04.2022 р.

Керівник \_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_ (посада, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра містить 92 сторінки, зокрема 17 таблиць, 30 рисунки, список із 33 використаних джерел на 3 сторінках, 2 додатків на 2 сторінках.

**Мета роботи** полягає в створенні маршрутної технології виготовлення та технологічного процесу зміцнення апарата направляючого насосів типу ЦНС 240 за допомогою проведення новітніх та технологічних методів термічної обробки для покращення експлуатаційних властивостей деталі.

**Методи досліджень:** використання стандартних методів визначення фізико-механічних властивостей та структури сталі 08X14H7МЛ (ВНЛ-1) для виготовлення апарата направляючого насосу ЦНС 240-2 та сучасних металографічних методів дослідження, що включають мікроскопічний і макроскопічний аналіз, теоретичні і практичні методи, огляд літературних джерел.

Апарат направляючий насоса типу ЦНС призначається для зміни напрямку потоків рідинних середовищ та зміни швидкісної енергії тиску. Пристрій влаштований з двох нерухомих дисків, встановлених у корпусі насоса, оснащених лопатками схожими на лопаті робочого агрегату.

Матеріал для виготовлення апарата направляючого повинен відрізнитись довговічністю, надійністю корозійною стійкістю та в деяких випадках бути холодостійким. Також треба не забувати, що деякі властивості матеріал може набувати тільки в ході його термічної обробки.

Ключові слова: апарат направляючий, насос, ЦНС 240, твердість, лиття, модель, вилівок, термічна обробка, легована сталь, обробка холодом, механічна обробка, гартування, відпуск.

## Зміст

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ.....</b>	<b>6</b>
<b>ВСТУП.....</b>	<b>7</b>
<b>РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛІ. ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛУ «АПАРАТ НАПРАВЛЯЮЧИЙ НАСОСУ ТИПУ ЦНС 240-2».....</b>	<b>9</b>
1.1 Характеристика і аналіз умов експлуатації деталі «апарат направляючий насосу типу ЦНС 240-2».....	9
1.2 Можливі причини виникнення дефектів або виходу з ладу виробу в процесі експлуатації.....	14
1.3 Вимоги до матеріалу для виготовлення направляючого апарату .....	16
Висновки .....	18
<b>РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ .....</b>	<b>19</b>
2.1 Спеціальні методи лиття.....	19
2.2 Жаростійкі та жароміцні сталі .....	20
2.3 Корозійностійкі сталі .....	22
2.4 Холодостійкі сталі.....	23
2.5 Огляд особливостей обробки сталей холодом .....	25
Висновки .....	28
<b>РОЗДІЛ 3 ВИБІР МАТЕРІАЛУ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....</b>	<b>30</b>
3.1 Вибір оптимального матеріалу для деталі «апарат направляючий» насосу ЦНС 240-2.....	30
3.2 Вплив легуючих елементів на властивості вибраної сталі .....	33
3.2.1 Вплив вуглецю .....	33
3.2.2 Вплив хрому на властивості сталі .....	33
3.2.3 Вплив нікелю на властивості сталі .....	37
3.2.4 Вплив молібдену на властивості сталі .....	39
3.2.5 Вплив постійних добавок на властивості сталі .....	41
3.3 Вибір методів і методик дослідження .....	43

3.3.1 Дослідження мікроструктури.....	43
3.3.2 Вимірювання твердості.....	44
3.3.3 Капілярна дефектоскопія (МКК) .....	45
Висновки .....	47
<b>РОЗДІЛ 4 МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ ДЕТАЛІ «АПАРАТ НАПРАВЛЯЮЧИЙ» НАСОСУ ТИПУ ЦНС .....</b>	<b>48</b>
4.1 Вибір методу отримання заготовки.....	48
4.2 Розробка технологічного процесу отримання деталі «апарат направляючий» насосу типу ЦНС .....	49
4.2.1 Отримання чавуну .....	50
4.2.2 Отримання сталі дуплекс-прокатом .....	52
4.2.3 Отримання виливка у піщано-глиняній формі.....	55
4.2.4 Механічна обробка деталі .....	62
4.3 Створенні 3D моделі виливка .....	65
Висновки .....	72
<b>РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....</b>	<b>73</b>
5.1 Термічна обробка деталі «апарат направляючий насосу ЦНС 240-2» .....	73
5.2 Вибір необхідного обладнання для отримання апарата направляючого насосів типу ЦНС 240-2 .....	79
Висновки .....	86
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>87</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>88</b>
<b>ДОДАТОК А.....</b>	<b>91</b>
<b>ДОДАТОК Б .....</b>	<b>92</b>

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

МИМ-7 – металографічний вертикальний мікроскоп

ТО – термічна обробка

$\sigma_b$  – межа міцності при розтягу, МПа

$\sigma_T$  - межа пропорційності (межа текучості для залишкової деформації), МПа

$\delta_5$  – відносне подовження при розриві, %

$\psi$  – відносне звуження, %

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

HRC – твердість за Роквелом, шкала С

## ВСТУП

Насоси відцентрові секційні типу ЦНС та агрегати електронасосні на їх основі, залежно від виконання, призначені для закачування в нафтоносні пласти чистих та агресивних нафтопромислових (сірководневмісних) вод для підтримки внутрішньопластового тиску при видобутку нафти [1].

Насоси типу ЦНС – горизонтальні відцентрові однокорпусні насоси секційного типу з одностороннім розташуванням коліс, які складаються зі статорної та роторної частин та укомплектовані підшипниками ковзання, автоматичним пристроєм розвантаження ротора (гідропрятою) та кінцевими ущільненнями валу [1].

Апарат направляючий насоса типу ЦНС призначається для зміни напрямку потоків рідинних середовищ та зміни швидкісної енергії тиску. Пристрій влаштований з двох нерухомих дисків, встановлених у корпусі насоса, оснащених лопатками схожими на лопаті робочого агрегату [2-4].

У конструкцію апарата направляючого входить підвідний пристрій (елемент проточної камери насоса), який виконує підведення переміщуваної рідини до вхідної порожнини агрегату [4].

Даний апарат направляючий працює в умовах кавітації та гідроабразивного зношування.

Основна причина виходу з ладу направляючих апаратів: недостатня захищеність підшипників лопаток і інших елементів апаратів від абразивного пилу; вихід деталі із строю під дією постійного або часткового вологого середовища, тобто в наслідок корозії під дією нафти або води; вихід деталі із строю при агресивному повітряному середовищі; поява пластичних деформацій в результаті великих навантажень на деталь; вихід із строю в наслідок роботи при дуже низьких температурах (холодноламкість); вихід із строю деталі в наслідок втомного характеру; електрохімічна корозія; вихід із ладу через кавітацію.

**Мета роботи** полягає в створенні маршрутної технології виготовлення та технологічного процесу зміцнення апарата направляючого насосів типу ЦНС 240

за допомогою проведення новітніх та технологічних методів термічної обробки для покращення експлуатаційних властивостей деталі.

В роботі розглянуті наступні питання:

- актуальність теми;
- призначення, область застосування апарата направляючого, основні технологічні та експлуатаційні властивості, вплив на них зовнішніх параметрів;
- причини виходу з ладу апарата направляючого;
- був обраний матеріал і проведено проектування маршрутної технології отримання виробу;
- визначена необхідна для отримання певних властивостей термічна обробка;

**Методи досліджень:** використання стандартних методів визначення фізико-механічних властивостей та структури сталі 08X14H7МЛ (ВНЛ-1) для виготовлення апарата направляючого насосу ЦНС 240-2 та сучасних мікроскопічних і металографічних методів дослідження, що включають мікроскопічний і макроскопічний аналіз, теоретичні і практичні методи, огляд літературних джерел.

**До завдань досліджень** відносяться наступні: аналіз літературних джерел з метою вдосконалення маршрутної технології виготовлення і зміцнюючої термічної обробки апарата направляючого насосу ЦНС 240-2 для підвищення експлуатаційних характеристик деталі.

**Практичне значення одержаних результатів.** Було обрано матеріал, запропоновано маршрутну технологію виготовлення і технологічний процес зміцнення апарата направляючого насосу ЦНС 240-2 для підвищення експлуатаційних характеристик деталі.

**Апробація результатів роботи.** Тези конференції. Вибір матеріалу та зміцнюючої термічної обробки апарата направляючого насосу ЦНС 240-2 / Бурлака А. Ю., Говорун Т. П // Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали та програма ІХ Всеукраїнської науково-технічної конференції (м. Суми, 19–22 квітня 2022 р.). Суми : Сумський державний університет, 2022. С. 74-75.



## РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛІ. ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛУ «АПАРАТ НАПРАВЛЯЮЧИЙ НАСОСУ ТИПУ ЦНС 240-2»

### 1.1 Характеристика і аналіз умов експлуатації деталі «апарат направляючий насосу типу ЦНС 240-2»

Насоси відцентрові секційні типу ЦНС та агрегати електронасосні на їх основі, залежно від виконання, призначені для закачування в нафтоносні пласти чистих та агресивних нафтопромислових (сірководневмісних) вод для підтримки внутрішньопластового тиску при видобутку нафти [1].

Насоси типу ЦНС - горизонтальні відцентрові однокорпусні насоси секційного типу з одностороннім розташуванням коліс, які складаються зі статорної та роторної частин та укомплектовані підшипниками ковзання, автоматичним пристроєм розвантаження ротора (гідропрятою) та кінцевими ущільненнями валу [1].

Насоси типу ЦНС 120-..., 180-..., 240-... випускаються в двох модифікаціях:

- з виносними підшипниковими опорами ротора, для змазування яких необхідно підводити мастило (виконання насоса «2») [2, 3];
- з вбудованими твердосплавними підшипниками, працюючих на перекачуваному середовищі (виконання насоса «3») [2, 3].

Насоси ЦНС комплектуються ущільненнями торцевими (Т) та сальниковими (С). Проточна частина насосу виготовлена із сталі 20Х13 або 12Х18Н12М3Т (модифікація «М»). Дані насоси відповідають всім вимогам стандарту АРІ 610 [2,3].

Насоси типу ЦНС виконання «2» призначені для закачування в нафтоносні пласти чистої води та нафтопромислових вод без вмісту сірководню. Насоси виконання «2М» призначені для закачування в нафтоносні агресивні пласти нафтопромислових вод, у тому числі сірководневмісних. Привід здійснюється синхронними або асинхронними електродвигунами потужністю від 500 до 2000 кВт.

Обладнані системою автоматичного захисту та сигналізації за основними параметрами (рис.1.1) [2,3].



Рисунок 1.1 – Насос типу ЦНС виконання «2» [2]

Насоси типу ЦНС виконання «3М» призначені для закачування у нафтоносні пласти агресивних нафтопромислових вод, у тому числі сірководневмісних. Привід здійснюється синхронними або асинхронними електродвигунами потужністю від 500 до 2000 кВт. Обладнані системою автоматичного захисту та сигналізації за основними параметрами (рис. 1.2) [2,3].

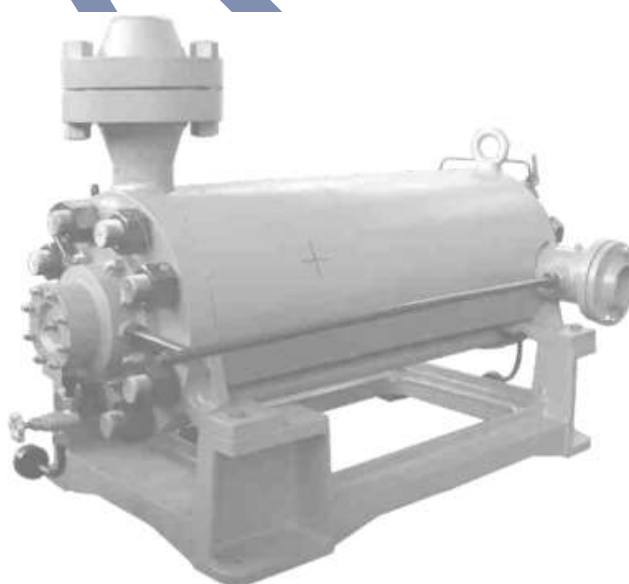


Рисунок 1.2 – Насос типу ЦНС виконання «3М» [2]

Насоси типу ЦНС виконання «2» відрізняються своїми розмірами в залежності від кількості ступенів (рис.1.3). Ступенями називають кількість секційних відділів в корпусі насосу. Згідно таблиці 1.1, представленої в каталозі насосів типу ЦНС підприємством АТ «СМНВО-Інжиніринг» [2,3], можна побачити, що даний завод виготовляє насоси як з 8, так і з 15 ступенями.

Таблиця 1.1 – Основні розміри (мм) та вага насосів ЦНС 240-...- 2 [2]

Позначення	Число ступенів	L1	L2	L3	H	Вага насоса, кг
ЦНС 240-1900-2	15	2910	1567	1617	655	3810
ЦНС 240-1775-2	14	2815	1472	1617	655	3690
ЦНС 240-1650-2	13	2720	1377	1617	655	3570
ЦНС 240-1525-2	12	2625	1282	1237	655	3420
ЦНС 240-1422-2	11	2530	1187	1237	655	3170
ЦНС 240-1275-2	10	2435	1092	1237	655	3050
ЦНС 240-1150-2	9	2340	997	952	565	2910
ЦНС 240-1050-2	8	2245	902	952	565	2700

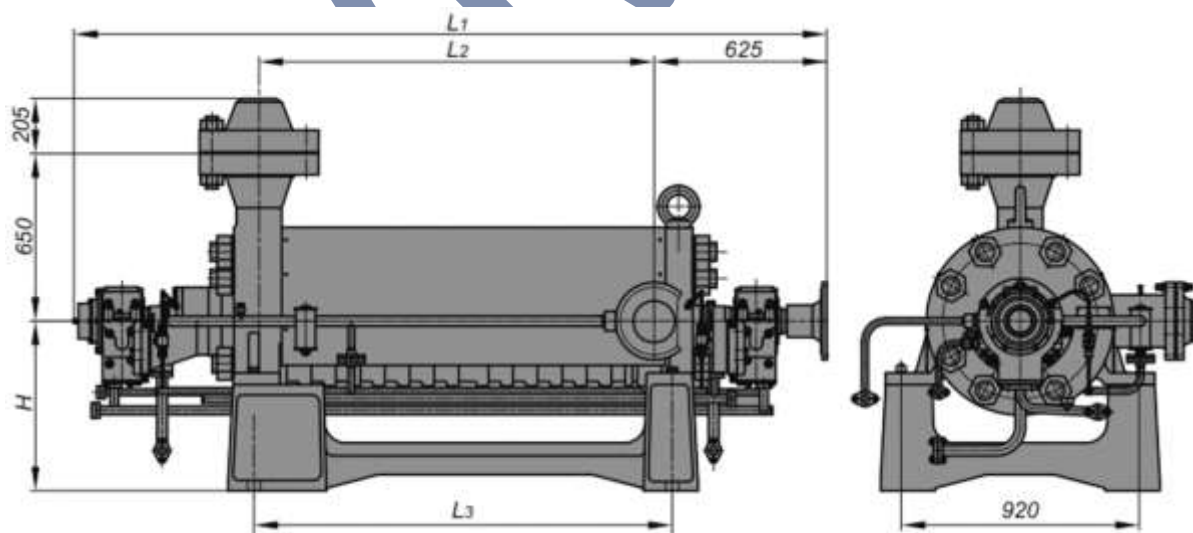


Рисунок 1.3 – Габаритне креслення насосів типу ЦНС 240-...-2 [2]

Кожна із цих ступенів складаються в основному із коліс робочих, апаратів направляючих та секцій. В свою чергу вони поділяються на:

- колесо робоче / апарат направляючий / секція першого ступеня;
- колесо робоче / апарат направляючий / секція проміжного ступеня;
- колесо робоче / апарат направляючий / секція останнього ступеня.

Апарат направляючий знаходиться в зв'язку з робочим колесом та секцією. Ці деталі знаходяться один за одним в порядку робоче колесо, за ним сам апарат, а потім вже секція, які кріпляться до валу, який знаходиться в середині корпусу насоса. На рисунку 1.4 показано апарат направляючий та секцію в зборці, а на рисунку 1.5 показано розташування цього апарата в насосі.

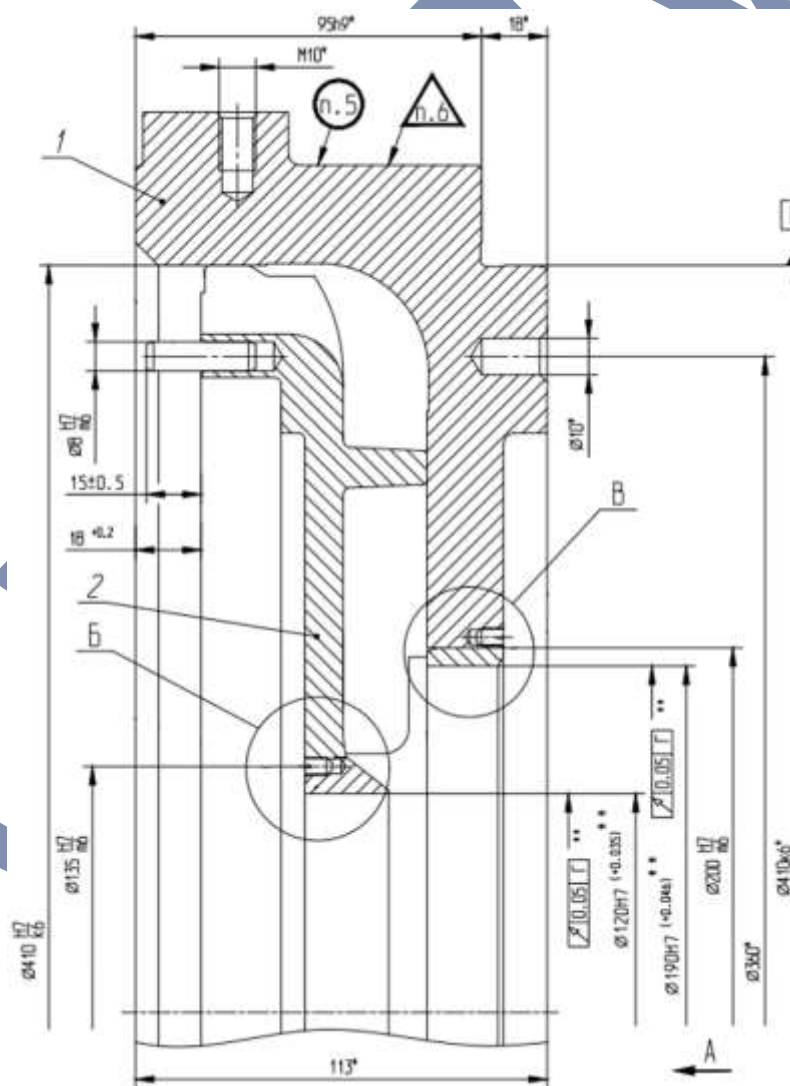


Рисунок 1.4 – Складальне креслення апарата направляючого і секції насосу типу ЦНС 240: 1 – секція; 2 – апарат направляючий

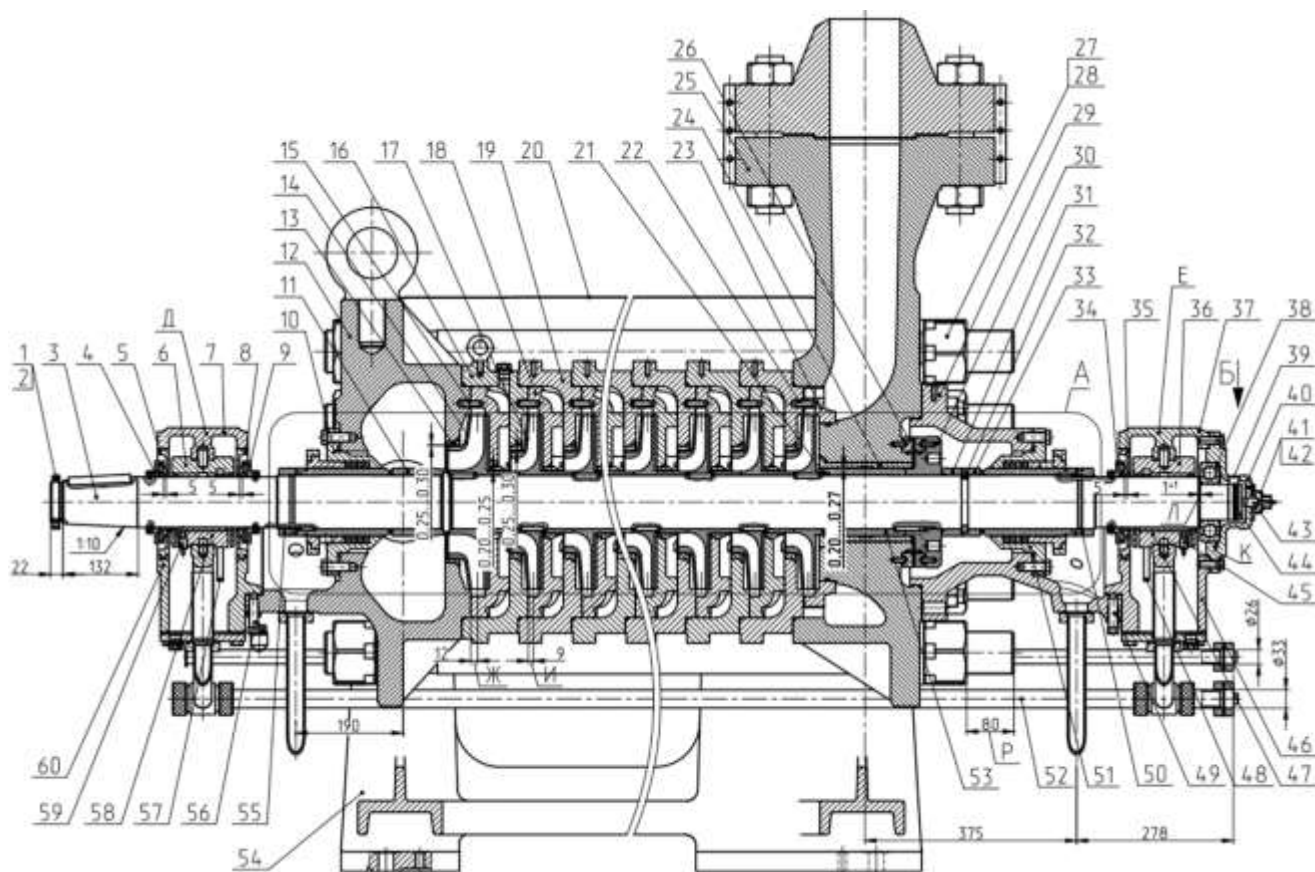


Рисунок 1.5 – Розташування апарата направляючого (позиція 18) в складальному кресленні насоса типу ЦНС 240-...-2

Апарат направляючий (Додаток А) насоса типу ЦНС призначається для зміни напрямку потоків рідинних середовищ та зміни швидкісної енергії тиску. Пристрій влаштований з двох нерухомих дисків, встановлених у корпусі насоса, оснащених лопатками схожими на лопаті робочого агрегату [4].

Тепер розглянемо принцип роботи апарата направляючого. У конструкцію входить підвідний пристрій (елемент проточної камери насоса) який виконує підведення переміщуваної рідини до вхідної порожнини агрегату [4].

Підведення допомагає рівномірно, осесиметрично розподілити потік рідини по вхідному каналу колеса, збільшує гідравлічний коефіцієнт корисної дії робочого агрегату та всього насосного обладнання. Симетричність входження рідинного середовища в робоче колесо відбувається завдяки підведенню, виготовленому у вигляді прямолінійного конфузора або спірального кожуха. Прохідний переріз

підвідної конструкції звужується для прискорення і підвищення швидкості рідинного середовища, що подається [4].

Викид рідини з робочого агрегату відбувається з великою швидкістю, щоб зменшити гідравлічні втрати в насосному обладнанні, швидкість середовища, що викидається, перетворюється в тиск. З цією метою використовується спеціально сконструйований апарат направляючий насоса (відведення) [4].

Даний пристрій виконує відведення середовища від робочого колеса з мінімальними втратами, не порушуючи осесиметричності руху потоку в робочому агрегаті. У відцентрових насосних конструкціях пристрій виконує функції відведення рідини, що надходить, в потрібному напрямку і перетворення кінетичної енергії в тиск [4].

Рідина, що викидається з робочого колеса рухається з великою швидкістю. Для зменшення гідравлічних втрат в насосі швидкість рідини повинна бути перетворена в тиск за допомогою спеціального пристрою – направляючого апарату (відведення) [4].

Направляючий апарат (відведення) – частина проточної порожнини насоса, що приймає переміщувану середу з робочого колеса і частково перетворюючи енергію цього середовища в потенційну. У відцентрових насосах направляючий апарат призначений для того, щоб потік рідини, що надходить з робочого колеса, відвести в певному напрямку і одночасно перетворити кінематичну, енергію потоку в потенційну енергію тиску [4].

Даний апарат направляючий працює в умовах кавітації та гідроабразивного зношування [4-8].

## **1.2 Можливі причини виникнення дефектів або виходу з ладу виробу в процесі експлуатації**

Одним з найменш надійних вузлів насосів є направляючі апарати та їх приводи. При їх роботі виявлені такі недоліки, як неузгодженість кутів установки лопаток в процесі експлуатації, що викликає нестійку роботу самого насосу і

підвищену вібрацію ротора, пориви ланцюгових передач, заклинювання елементів приводу повороту лопаток, а також поява тріщин на цапфах лопаток. Основні причини виходу з ладу направляючих апаратів [8-13]:

- недостатня захищеність підшипників лопаток і інших елементів апаратів від абразивного пилю;
- вихід деталі із строю під дією постійного або часткового вологого середовища, тобто в наслідок корозії під дією напруги або води;
- вихід деталі із строю при агресивному повітряному середовищі;
- поява пластичних деформацій в результаті великих навантажень на деталь;
- вихід із строю в наслідок роботи при дуже низьких температурах (холодноламкість);
- вихід із строю деталі в наслідок втомного характеру;
- електрохімічна корозія;
- вихід із ладу через кавітацію.

Корозія – це руйнування металу в результаті хімічної та електрохімічної взаємодії з агресивним середовищем. Дані процеси протікають в гетерогенних системах, тобто вони протікають на межах зіткнення металу з електролітом, металу з газовим середовищем або на межах у самому металі [8-13].

Електрохімічна корозія протікає в результаті утворення подвійного електролітного шару (металу з електролітом), стрибком потенціалу на межі їх розділу і визначається наступними стадіями [8-14]:

- адсорбція корозійно-активних іонів (молекул) на поверхні металів;
- іонізація металів і відновлення окисного компонента електроліту;
- освіта і відведення продуктів корозії.

За видами (механізмами) корозію класифікують таким чином:

- корозія в електролітах (сольова, кислотна, лужна);
- корозія під напругою;
- корозія при кавітації;

- щілинна корозія;
- контактна корозія (контактом металів різних потенціалів);
- газова високотемпературна корозія.

Хімічна агресивність газів в бульбашках, які мають до того ж високу температуру, викликає ерозію матеріалів, з якими стикається рідина, в якій розвивається кавітація. Ця ерозія і становить один з факторів шкідливого впливу кавітації. Другий фактор обумовлений більшими викидами тиску, виникають при схлопуванні бульбашок і впливають на поверхні зазначених матеріалів.

Тому кавітація в багатьох випадках небажана. Наприклад, вона викликає руйнування гребних гвинтів суден, робочих органів насосів, гідротурбін тощо. Кавітація викликає шум, вібрації і зниження ефективності роботи. Коли схлопуються кавітаційні бульбашки, енергія рідини зосереджується в дуже невеликих обсягах. Тим самим, утворюються місця підвищеної температури і виникають ударні хвилі, які є джерелами шуму.

### **1.3 Вимоги до матеріалу для виготовлення направляючого апарату**

Для забезпечення високих показників довговічності, надійності та працездатності апарати направляючі виготовляють з матеріалів, що мають досить високу міцність і твердість, а також володіють високою стійкістю до пластичної деформації. Також для деяких апаратів важливо володіти гарними антикорозійними властивостями та мати високі показники жаростійкості та жароміцності. В рідких випадках апарат має володіти ще й гарними холодостійкими властивостями.

Апарати направляючі, в залежності від умов роботи та вимог замовника, можуть виготовляти з чавуну, вуглецевої та легованої сталі (табл. 1.2). Наприклад для простих насосів, які перекачують повітря буде достатньо і чавунного апарата, а для насосів, що працюють в агресивних середовищах (нафта, вода) вже потрібні більш дорогі корозійностійкі та з високими механічними властивостями сплави по типу 20X13Л, 14X13Л, 12X18Н12МЗТЛ.



Таблиця 1.2 – Основні сталі для виготовлення апаратів направляючих [14]

Марка сталі	Твердість	Механічні характеристики, МПа	
		$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа
Сч20	216 НВ	200	-
Сталь 25Л	124-151 НВ	491	294
Сталь 20ГЛ	197-277 НВ	550	280
40X13Л	50-52 HRC	1680	1145
20X13Л	180-235 НВ	589	441
12X18Н12М3ТЛ	219-183 НВ	441	216

Даний апарат буде працювати в умовах низьких температур, то найчастіше використовувані сталі не підійдуть, оскільки вони хоч і володіють гарними механічними властивостями та, деякі з них, високою корозійною стійкістю, але вони не є холодостійкими. Крім цього, важливим критерієм для вибору сталі є вміст вуглецю. Дана сталь повинна містити не більше 0,08 % вуглецю, оскільки вуглець схильний до холодної крихкості.

Отже, виходячи з умов роботи апарату, для його виготовлення підійдуть сталі з вмістом хрому не менше 12%, вуглецю не більше 0,08% та бажано, щоб був присутній нікель і додаткове легування молібденом або титаном. Під дані критерії підпадають сталі 08X14Н7МЛ, 0Н9А, 03X13АГ19, 07X21Г7АН5, 03X20Н16АГ6 та інші [14, 15].

## Висновки

Насоси типу ЦНС - горизонтальні відцентрові однокорпусні насоси секційного типу з одностороннім розташуванням коліс, які складаються зі статорної та роторної частин та укомплектовані підшипниками ковзання, автоматичним пристроєм розвантаження ротора (гідропятою) та кінцевими ущільненнями валу.

Апарат направляючий знаходиться в зв'язку з робочим колесом та секцією. Ці деталі знаходяться один за одним в порядку робоче колесо, за ним сам апарат, а потім вже секція, які кріпляться до валу, який знаходиться в середині корпусу насоса. Апарат направляючий насоса типу ЦНС призначається для зміни напрямку потоків рідинних середовищ та зміни швидкісної енергії тиску. Пристрій влаштований з двох нерухомих дисків, встановлених у корпусі насоса, оснащених лопатками схожими на лопаті робочого агрегату.

Апарати направляючи, в залежності від умов роботи та вимог замовника, можуть виготовляти з чавуну, вуглецевої та легованої сталі. Наприклад для простих насосів, які перекачують повітря буде достатньо і чавунного апарата, а для насосів, що працюють в агресивних середовищах (нафта, вода) вже потрібні більш дорогі корозійностійкі та з високими механічними властивостями сплави по типу 20X13Л, 14X13Л, 12X18Н12М3ТЛ.

Оскільки даний апарат буде працювати в умовах низьких температур, то для його виготовлення підійдуть сталі з вмістом хрому не менше 12%, вуглецю не більше 0,08% та бажано, щоб був присутній нікель і додаткове легування молібденом або титаном.

Для виготовлення апарату направляючого можна використовувати холодостійкі сталі типу 08X14Н7МЛ, 12X18Н10ТЛ, 0Н9А, 10X14Г14Н4Т, 03X13АГ19, 07X21Г7АН5, 03X20Н16АГ6, 10X11Н23Т3МР та інші.

## РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

### 2.1 Спеціальні методи лиття

В роботі [5] було досліджено різні методи лиття. Серед них є:

- лиття в піщано-глиняні форми;
- лиття по виплавляючим моделям;
- лиття в кокіль;
- лиття під тиском;
- лиття під регулюючим тиском;
- відцентрове лиття;
- лиття в оболочкові форми;
- інші спеціальні види лиття (лиття вичавлюванням, електрошлакове лиття та інші).

На частку лиття в піщано-глинисті форми сьогодні припадає 70% усіх виливків. До того ж, на його прикладі легко простежити всі етапи традиційного ливарного виробництва [5].

Для виготовлення форм служать формувальні суміші з піску та глини з різноманітними добавками. Так, добавка до суміші деяких відходів целюлозно-паперового виробництва збільшує поверхневу міцність форм, не дає їм обсипатися. Кам'яновугільний пил усуває пригорання формувальної суміші до поверхні чавунних деталей, під час заливання чавуну частинки згоряють і утворюють газовий прошарок між виливком і формою, що не допускає змочування металом поверхні форми. Для тієї ж мети суміш для лиття мідних сплавів додають мазут [5].

Приготування формувальних сумішей - це виробництво, до того ж досить високомеханізоване. Пісок і глину спочатку сушать у печах, потім глину розмелюють на бігунах або кульових млинах. Після цього пісок, глину та інші добавки перемішують, дають суміші вилежатися, потім розпушують і подають на формування [5].

До речі, тепер відібрану суміш здебільшого не викидають. Використані форми дроблять, відокремлюють магнітом сталеві і чавунні частинки, що залишилися, просіюють на ситах і знову пускають у справ, додаючи до маси, що вийшла, 20-30% свіжої суміші [5].

Щоб приступити до формування, потрібно, крім суміші, мати ще моделі та стрижні. Що таке модель, зрозуміло без особливих пояснень, це як би копія зовнішніх обрисів деталі, що відливається. Розміри її більші – потрібно додати на усадку та на неточності, а також на припуски для механічної обробки. Потрібні також ливарні ухили – конусність, що полегшує вилучення моделі з форми [5].

Використовуючи одну модель, можна отримати від 5 до 500 виливків. Якщо виливків потрібно більше, і вони повинні бути точнішими, то моделі виконують і з металу – чавуну, латуні та алюмінію [5].

На відміну від моделі стрижні залишаються під час заливання металу усередині форми. Тому їх виконують не з дерева, а так само, як і самі форми: з піщано-глинистих сумішей або навіть з металу: зміцнюють каркасами і пронизують вентиляційними каналами, куди могли б йти гази, що виділяються з розплаву [5].

## **2.2 Жаростійкі та жароміцні сталі**

В роботах [6-8] було розглянуто особливості жаростійких та жароміцних сталей та різних металів, що впливають на жаростійкість та жароміцність.

Жаростійкість, якою володіють сталі та інші металеві сплави окремої категорії, має ще одну назву – «окалиностійкість». Це властивість, яким окремі метали наділяють у процесі виробництва, полягає в їхній здатності тривалий час в умовах підвищених температур активно протистояти такому негативному явищу, як газова корозія. На відміну від жаростійких, жароміцні сталі та метали іншого типу мають здатність не руйнуватися і не деформуватися під тривалим впливом високих температур [6-8].

Метали, що відрізняються жаростійкістю, застосовують переважно для виготовлення ненавантажених конструкцій, що експлуатуються в умовах постійного впливу на них газового окисного середовища та температури, що не перевищує 550 °С. До таких конструкцій, зокрема, належать елементи нагрівальних печей [6-8].

Сплави, виконані на основі заліза, навіть якщо їх відрізняє жаростійкість, за таких умов експлуатації та при дії температури, що перевищує 550 °С, починають активно окислюватися, що призводить до появи на поверхні плівки, що складається з оксиду заліза. Хімічна сполука заліза і кисню, що формується на поверхні такого металу – це, по суті, окалина крихкого типу. Її характеризує елементарні кристалічні ґрати, що містить недостатню кількість атомів другої речовини [6-8].

Так зі слів авторів [6-8] основним фактором, що впливає на жаростійкість, є хімічний склад металу, що визначає захисні властивості оксидної плівки. У таблиці 2.1 наведено порівняльну оцінку жаростійкості ряду чистих металів, що визначена за 5-бальною шкалою швидкості окислення в повітряному середовищі в інтервалі робочих температур.

Таблиця 2.1 – Жаростійкість металів на повітрі в робочих температурах [6]

Бал	Метал	Оцінка жаростійкості			Визначаючий фактор
		Якість	Температурний інтервал, °С	Швидкість окислення, г/(м <sup>2</sup> ·год)	
1	Mg	Дуже погана	500-600	10 <sup>-1</sup> -10 <sup>1</sup>	Рихла оксидна плівка
2	Nb, Mo, W, Ti, Zr	Погана	700-800	10 <sup>-1</sup> -10 <sup>3</sup>	Руйнування оксидної плівки
3	Cu, Fe, Ni, Co	Задовільна	500-600 700-800	10 <sup>-3</sup> -10 <sup>-1</sup> 10 <sup>-1</sup> -1,0	Висока дефектність порівняно щільної оксидної плівки

Продовження таблиці 2.1

Бал	Метал	Оцінка жаростійкості			Визначаючий фактор
		Якість	Температурний інтервал, °С	Швидкість окислення, г/(м <sup>2</sup> ·год)	
4	Al, Zn, Sn, Pb, Cr, Be	Гарна	400-600 700-800	Менше 10 <sup>-6</sup> 10 <sup>-4</sup> -10 <sup>-3</sup>	Щільна оксидна плівка
5	Ag, Au, Pt	Відмінна	-	-	Низька спорідненість з киснем

### 2.3 Корозійностійкі сталі

Корозією називають руйнування матеріалів під впливом навколишнього середовища внаслідок його хімічного чи електрохімічного впливу.

В роботі [9] було зазначено, що зазвичай розглядають корозію металевих матеріалів, однак це явище характерне не тільки для металів та сплавів. Аналогічні процеси можуть відбуватися і в неметалевих матеріалах – пластмасах, кераміці. Прикладом такого корозійного впливу може бути знос футерування плавильних печей під дією рідкого, хімічно активного шлаку.

Також авторами [9] було зазначено, що залежно від властивостей навколишнього середовища та характеру її фізико-хімічного впливу на матеріал розрізняють:

- хімічну корозію, обумовлену впливом сухих газів, і навіть рідин, які є електролітами (нафта, бензин, фенол);
- електрохімічну корозію, обумовлену впливом рідких електролітів: водних розчинів солей, кислот, лугів, вологого повітря, ґрунтових вод, тобто розчинів, що містять іони і є провідниками електрики.

Авторами роботи [9] було зазначено, що у виробничих умовах найчастіше стикаються з окисненням металів, у разі сплавів на основі заліза – з утворенням окалини. Захисні властивості металів від окиснення обумовлені утворенням

суцільних оксидних плівок з їхньої поверхні. Для забезпечення суцільності плівок необхідно, щоб об'єм оксиду  $V_{ок}$  був більший за об'єм металу  $V_{мет}$ , з якого він утворився:  $V_{ок}/V_{мет} > 1$ . В іншому випадку виходить переривчаста плівка, не здатна ефективно захистити метал від корозії. Така плівка притаманна магнію ( $V_{ок}/V_{мет} = 0,79$ ), що утрудняє захист сплавів на його основі від корозії.

В роботі [9] було досліджено, що стійкість проти корозії підвищується при введенні до складу сталі хрому, алюмінію, кремнію. Ці елементи утворюють безперервну міцну оксидну плівку та підвищують електродний потенціал, тобто збільшують електропозитивність сталі.

Сталь, що містить 12 – 14 % Cr, стійка проти корозії в атмосфері, морській воді, ряді кислот, лугів та солей. Крім хрому, у складі корозійностійких сталей вводять також інші елементи - частіше нікель. Зі зростанням вмісту хрому корозійна стійкість сталі зростає [9].

Корозійностійкі сталі зазвичай ділять на хромисті феритні, що містять 12 – 25 % Cr і 0,07 - 0,2 % C і хромисті мартенситні, що містять 12 – 18 % Cr і 0,15 - 1,2% C , а також аустенітні сталі, що містять 12 – 18 % Cr, 8 - 30% Ni і 0,02 - 0,25 % C [9].

Також авторами [9] було зазначено, що хромисті сталі корозійностійкі при температурі до 300°C у водопровідній воді, вологій атмосфері, розчинах азотної кислоти та багатьох органічних кислотах. У морській воді хромисті сталі схильні до корозійного розтріскування під напругою.

## **2.4 Холодостійкі сталі**

Згідно досліджень автора [10], по холодостійкості металеві матеріали, що використовуються за низьких температур, умовно можуть бути поділені на чотири основні групи:

1. метали та сплави, характеристики механічних властивостей яких дозволяють використовувати їх за температур до -60 °C. До цієї групи

відносяться якісні вуглецеві та низьколеговані сталі феритного та перлітного класів з ОЦК гратками;

2. до другої групи відносяться сплави, що зберігають в'язкість і пластичність при охолодженні до 170 К (-103 °С). Це сталі з 0,2 - 0,3% вуглецю, додатково леговані Ni, Cr, Ti, Mo. До цієї групи належать, наприклад, низьковуглецеві феритні сталі з 2-5% Ni, що використовуються при температурах 210-150 К (-63...-123 °С);
3. до третьої групи відносяться сплави, здатні без погіршення властивостей витримувати температуру до 77 К (-196 °С) (температура кипіння рідкого азоту). Сюди відносяться сталі типу 12X18H10T, 0H9A, більшість сплавів на основі Al, Ti, Cu, що не виявляють схильності до крихкого руйнування. Для ненавантажених конструкцій з метою економії Ni застосовують Cr – Mn та Cr – N – Mn сталі типу 10X14Г14Н4Т (ЕІ711), 03X13АГ19 (ЧС36), 07X21Г7АН5(ЕП222);
4. до четвертої групи відносяться сплави, що працюють при температурі нижче 77 К (-196 °С). До цієї групи належать матеріали, що використовуються в космічній техніці, виробництві та споживанні водню, експериментальної фізики. Для роботи при таких температурах придатні лише високолеговані корозійностійкі сталі типу 03X20H16АГ6, 10X11H23ТЗМР (ЕП33), деякі бронзи, нікелеві, алюмінієві сплави, леговані магнієм та сплави титану.

Автором [11] було сказано, що механічні властивості та холодноламкість сталі визначаються насамперед трьома механізмами зміцненнями:

1. подрібненням зерна;
2. зміцненням фериту атомами легуючих елементів та домішок, що утворюють тверді розчини впровадження та заміщення;
3. зміцнення виділенням часток другої фази різного ступеня дисперсності.

Вуглець, хоч і сприяє ефективному зміцненню, різко знижує в'язкість і пластичність сталі, сприяючи підвищенню холодноламкості. Прийнято вважати,



що збільшення вмісту вуглецю сталі на кожні 0,1 % підвищує поріг холодноламкості на 20 К (рис. 2.1) [11].

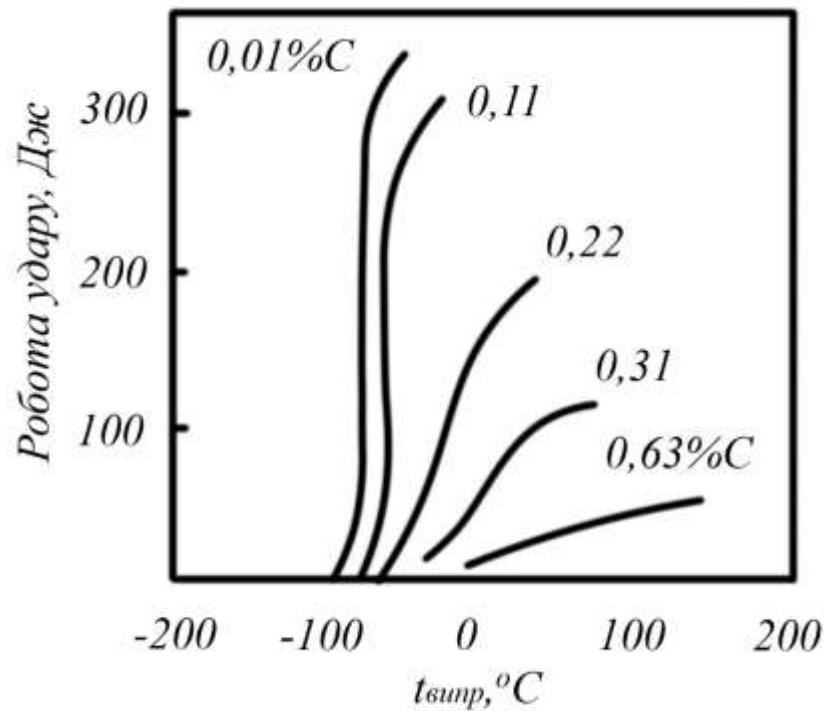


Рисунок 2.1 – Вплив вмісту вуглецю на холодноламкість сталі [11]

Автором [11] було зазначено, що незважаючи на суттєві структурні відмінності литих сталей, спостерігається єдина залежність їх параметра тріщиностійкості  $K_{IC}$  від  $\sigma_{0.2}$  при різних видах руйнування: крихким, квазікрихким і в'язким (рис. 2.2).

## 2.5 Огляд особливостей обробки сталей холодом

В роботах [12, 13] було досліджено особливості обробки сталей холодом. Сутність даного методу полягає в наступному.

В багатьох марках сталей в загартованому стані в них міститься збільшена кількість залишкового аустеніту.

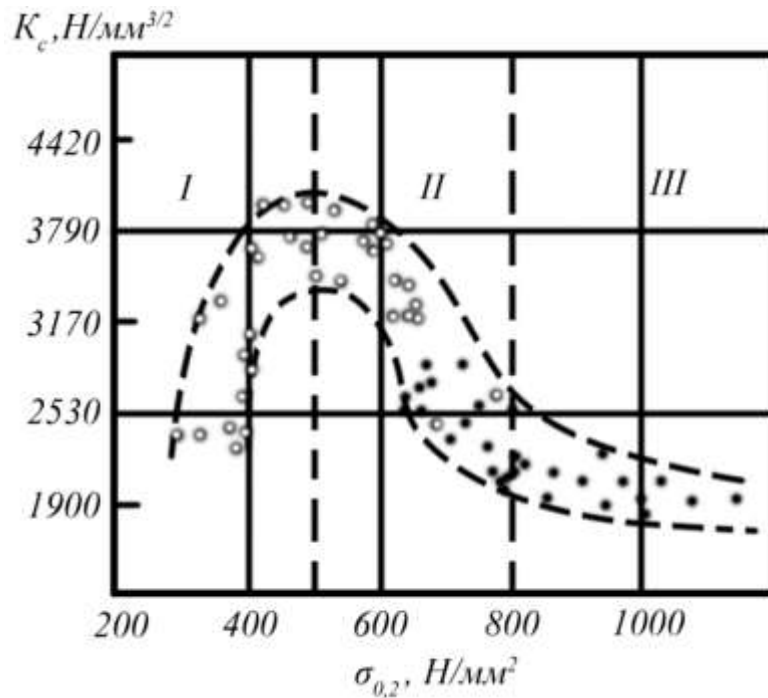


Рисунок 2.2 – Залежність параметра тріщиностійкості  $K_c$  від межі плинності  $\sigma_{0.2}$  литих сталей: I – в'язке руйнування; II - в'язко-крихке руйнування; III – крихке руйнація [11]

Якщо точка кінця мартенситного перетворення лежить нижче  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  (сталі з вмістом вуглецю  $\geq 0,6\%$ ), то, очевидно, охолодження нижче  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  сприятиме додатковому утворенню мартенситу [12, 13].

В свою чергу збільшення кількості мартенситу [12, 13]:

- збільшує твердість;
- збільшує об'єм;
- збільшує магнітні характеристики;
- стабілізує розміри.

Ці зміни тим значніші, чим більше утворюється мартенситу в результаті обробки холодом.

Також згідно дослідженням авторів [12, 13] специфічними при обробці сталі холодом являються два наступних моменти:

1. Температурний режим обробки холодом визначається положенням нижньої мартенситної точки ( $M_k$ ), оскільки перетворення проходить тільки при

охолодженні в області мартенситного інтервалу, то і охолодження слід вести до точки  $M_k$  для даної сталі.

Більш глибоке охолодження не викличе додаткового перетворення, и тому недоцільно.

Положення  $M_k$  залежить від марки сталі. Для більшості сталей температура  $M_k$  лежить не нижче  $-80\text{ }^\circ\text{C}$ .

2. При призначенні режиму термічної обробки, що включає обробку холодом, необхідно враховувати явище стабілізації аустеніту. Річ в тому, що в багатьох промислових марках сталей, в структурі яких після гартування міститься залишковий аустеніт, витримка при кімнатній температурі зменшує кількість залишкового аустеніту, зо перетворюється при обробці холодом. Це і означає, що аустеніт стабілізується. Звісно, що при цьому ефект обробки холодом зменшується. Тому обробку холодом рекомендується проводити одразу після гартування.

Також в роботах [12, 13] було зазначено, що при обробці холодом об'єм деталі збільшується, тому цей метод застосовують для відновлення розмірів деяких дуже точних деталей. Наявність залишкового аустеніту робить розміри загартованих деталей нестабільними через можливого протікання процесу ізотермічного розпаду аустеніту. Обробка холодом, що зменшує кількість залишкового аустеніту, стабілізує розміри загартованих деталей.

## Висновки

При виконанні кваліфікаційної роботи бакалавра було розглянуто та проаналізовано літературний огляд різних книг, статей, патентів та різних навчальних матеріалів.

Основними перевагами лиття в оболонкові форми порівняно з литтям у звичайні піщані форми є: у кілька разів скорочується витрата та обсяг переробки формувальних матеріалів; зменшується трудомісткість низки технологічних операцій, таких як приготування формувальної суміші, виготовлення форм, очищення виливків; зменшується металоємність формувального обладнання; знижуються початкові капітальні витрати та ін.

Недоліками способу в сучасних умовах є: необхідність виготовлення форм у гарячому оснащенні; трудомісткість виготовлення модельної оснастки, що працює при температурах до 300 °С; недостатня термостійкість сполучного для виготовлення великих або масивних виливків із чавуну та сталі; підвищене виділення шкідливих речовин унаслідок термічного розкладання смоляного сполучного.

Основним фактором, що впливає на жаростійкість, є хімічний склад металу, що визначає захисні властивості оксидної плівки.

Сталь, що містить 12 - 14% Cr, стійка проти корозії в атмосфері, морській воді, ряді кислот, лугів та солей. Крім хрому, у складі корозійностійких сталей вводять також інші елементи - частіше нікель. Зі зростанням вмісту хрому корозійна стійкість сталі зростає.

Механічні властивості та холодноламкість сталі визначаються насамперед трьома механізмами зміцненнями: подрібненням зерна; зміцненням фериту атомами легуючих елементів та домішок, що утворюють тверді розчини впровадження та заміщення; зміцнення виділенням часток другої фази різного ступеня дисперсності.

Вуглець, хоч і сприяє ефективному зміцненню, різко знижує в'язкість і пластичність сталі, сприяючи підвищенню холодноламкості. Прийнято вважати,

що збільшення вмісту вуглецю сталі на кожні 0,1 % підвищує поріг холодноламкості на 20 К.

Незважаючи на суттєві структурні відмінності литих сталей, спостерігається єдина залежність їх параметра тріщиностійкості  $K_c$  від  $\sigma_{0,2}$  при різних видах руйнування: крихким, квазікрихким і в'язким.

Проведений аналіз літератури дає змогу розробити більш якісний процес виготовлення апарату направляючого насоса та підвищити його експлуатаційні властивості.

При призначенні режиму термічної обробки, що включає обробку холодом, необхідно враховувати явище стабілізації аустеніту. Річ в тому, що в багатьох промислових марках сталей, в структурі яких після гартування міститься залишковий аустеніт, витримка при кімнатній температурі зменшує кількість залишкового аустеніту, що перетворюється при обробці холодом. Це і означає, що аустеніт стабілізується. Звісно, що при цьому ефект обробки холодом зменшується. Тому обробку холодом рекомендується проводити одразу після гартування.

## РОЗДІЛ 3 ВИБІР МАТЕРІАЛУ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 3.1 Вибір оптимального матеріалу для деталі «апарат направляючий» насосу ЦНС 240-2

Для виготовлення деталей відцентрового секційного насосу типу ЦНС доцільно використовувати якісні конструкційні матеріали та застосовувати такі методи зміцнюючої термічної обробки, які будуть задовольняти механічним властивостям деталей.

Вибір матеріалу і термічної обробки апарату направляючого визначається критеріями їх працездатності.

Оскільки апарат направляючий постійно знаходиться в агресивному середовищі та працює в умовах кавітації і гідроабразивного зношування, то матеріали для його виготовлення повинні головним чином володіти високими корозійними властивостями, достатньою твердістю, довговічністю, надійністю та здатністю працювати при низьких або мінусових температурах [8-14].

Для даного апарату направляючого немає необхідності досягати високої твердості, для нього достатньою твердістю буде 33-39 HRC, оскільки при більш високій твердості через постійні досить великі навантаження є велика імовірність того, що даний апарат трісне та повністю вийде зі строю без попередньої пластичної деформації.

Виходячи з вимог до даного апарату направляючого доцільно буде використовувати марку сталі 08X14H7МЛ (ВНЛ-1).

Сталь 08X14H7МЛ – це сталь для виливок, легована з особливими властивостями. Дану сталь використовують для корозійностійких деталей, працюючих при кімнатних та низьких (до  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) температурах. Також сталь являється корозійностійкою аустенітно-мартенситного класу. Основними елементами даної сталі є вуглець в кількості 0,08 %, хром в кількості 14 %, нікелю в кількості 7 % та молібдену до 1 % (табл. 3.1). Саме високі показники хрому та

нікелю надають даній сталі дуже високих корозійних властивостей. Буква «Л» означає, що дана сталь є ливарною [14, 15].

Таблиця 3.1 – Хімічний склад сталі 08X14H7МЛ (ОСТ 1 90090-79) [14, 15]

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	S	P
Не більше						Не більше	
0,08	0,75	0,9	13,0 - 15,0	6,0 - 8,5	0,5 - 1,0	0,025	0,025

Для визначення класу сталі можна використати діаграму Шеффлера (рис. 3.1) [16]. По осям координат діаграми Шеффлера відкладені хромовий еквівалент ( $E_{Cr}$ ) і нікелевий еквівалент ( $E_{Ni}$ ), що визначаються за виразами, які враховують відповідно концентрацію (в вагових відсотках) феритотвірних та аустенітотвірних легуючих елементів в сталі.

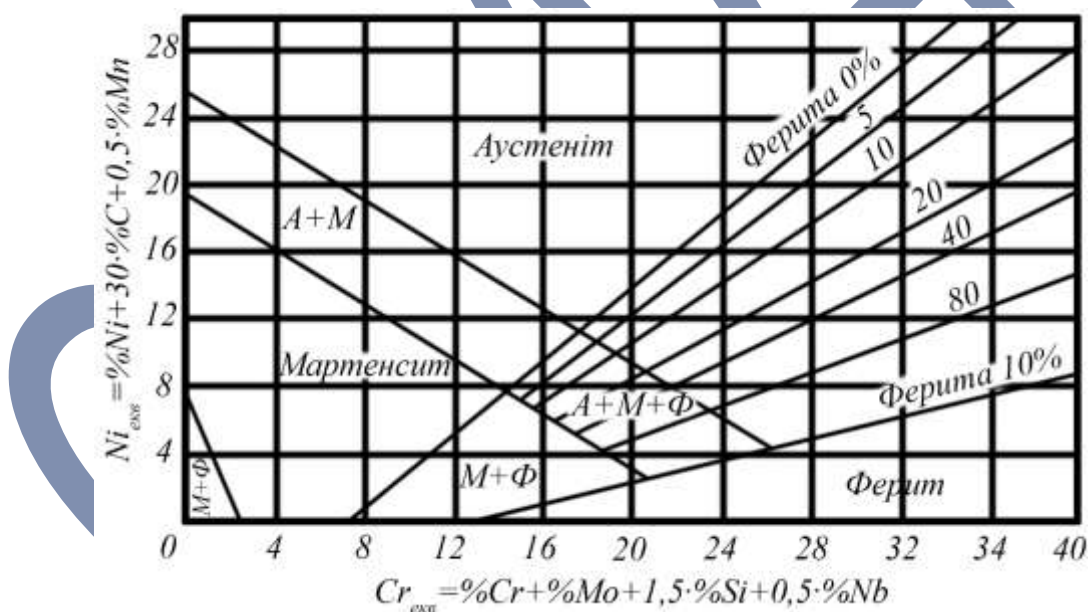


Рисунок 3.1 – Структурна діаграма Шеффлера [16]

Формули  $E_{Cr}$  і  $E_{Ni}$  записані відповідно [16]:

$$E_{Cr} = \% Cr + \% Mo + 1,5 \cdot \% Si + 0,5 \cdot \% Nb;$$

$$E_{Ni} = \% Ni + 30 \cdot \% C + 0,5 \cdot \% Mn.$$

Після підрахунку еквівалентів  $E_{Cr}$  і  $E_{Ni}$  сталі на діаграму наносять відповідну точку та визначають фазовий склад сталі [16].

В нашому випадку це сталь 08X14H7МЛ, отже:

$$E_{Cr} = 14 + 1 + 1,5 \cdot 0,75 + 0,5 \cdot 0 = 16,125;$$

$$E_{Ni} = 7 + 30 \cdot 0,08 + 0,5 \cdot 0,9 = 9,85.$$

Результати еквівалентів підтверджують, що дана сталь є аустенітно-мартенситного класу.

Також, щоб не рахувати самому та не допустити помилки, можна зробити розрахунок в спеціальній онлайн програмі EWM-Schaeffler [17], яка зробить це швидше та точніше за вас. Згідно результату програми (рис. 3.2), ми можемо бачити, що сталь 08X14H7МЛ хоча і відноситься до аустенітно-мартенситного класу, але в ній також міститься близько 0,5-1,0 % фериту.

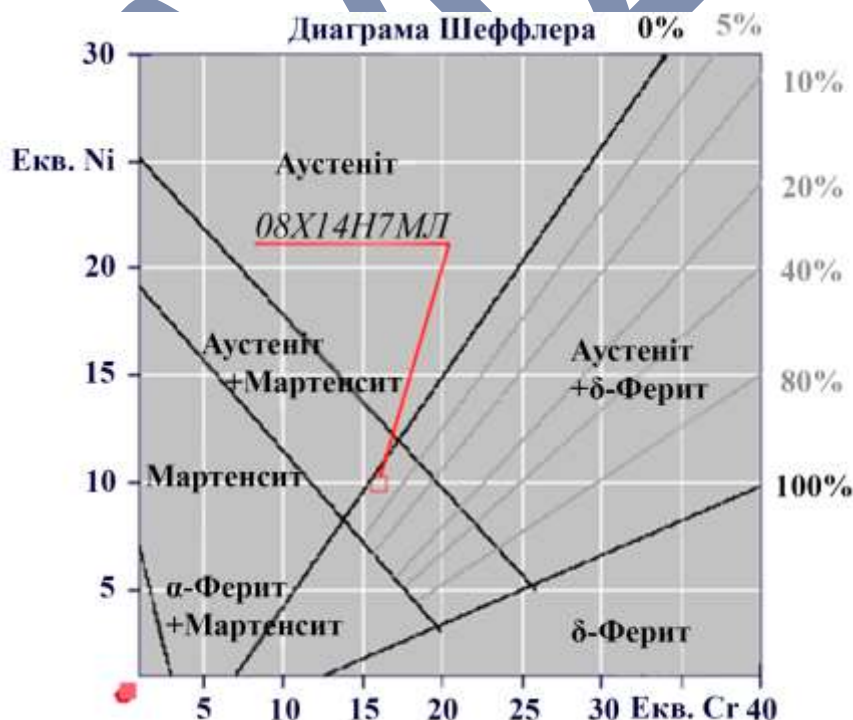


Рисунок 3.2 – Діаграма Шеффлера, фазовий склад сталі 08X14H7МЛ [17]



Сталь 08X14H7МЛ володіє гарними механічними властивостями (табл. 3.2) [14, 15].

Таблиця 3.2 – Механічні властивості сталі 08X14H7МЛ при 20 °С [14, 15]

Марка сталі	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\Psi$ , %	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	HRC Після ТО
08X14H7МЛ	590	735	13	40	49	39-42 HRC

### 3.2 Вплив легуючих елементів на властивості вибраної сталі

#### 3.2.1 Вплив вуглецю

Вуглець основний елемент, який обов'язково повинен бути присутнім в кожній сталі. У нашій обраній марці сталі 08X14H7МЛ, вміст вуглецю до 0,08 %.

Зі зміною вмісту вуглецю змінюється структура сталі. Сталь, що містить 0,8 % С, складається із одного перліту. В сталі, що містить більше 0,8 % С, окрім перліту, присутній вторинний цементит. Якщо вміст вуглецю менше 0,8 %, то структура сталі складається із фериту та перліту [15].

Вплив вуглецю. Структура сталі після повільного охолодження складається з двох фаз – фериту і цементиту. Тверді і крихкі частки цементиту підвищують опір руху дислокацій, тобто підвищують опір деформації, і, крім того, вони зменшують пластичність і в'язкість. Внаслідок цього зі збільшенням в сталі вуглецю зростають твердість, межі міцності і текучості і зменшуються відносне подовження, відносне звуження і ударна в'язкість. Вуглець підвищує поріг холодноламкості сталей і зменшує ударну в'язкість при температурах вище критичної температури [15].

Зі збільшенням вмісту вуглецю в сталі збільшуються її твердість, міцність, зменшуються в'язкість і пластичність. Збільшення міцності відбувається лише до тих пір, поки вміст вуглецю не досягне 0,8 – 1 % [15].

#### 3.2.2 Вплив хрому на властивості сталі

Хром відноситься до найбільш використовуваних легувальних елементів. Кристалічна ґратка ОЦК, досить подібна до  $\alpha$ -Fe, а тому хром розширює область

існування  $\alpha$ -Fe і звужує область  $\gamma$ -Fe: при 12-14 % хрому і температурі 1000 °C вона взагалі перестає існувати. При цьому  $\gamma$ -область не може існувати при температурах вищих за 1400 °C і нижчих за 865 °C [18].

Безвуглецеві хромисті сплави кристалізуються практично без інтервалу до 30 % хрому в їх складі. За умови присутності в сталі вуглецю хром утворює карбіди, а тому для виклинування області  $\gamma$ -Fe при 0,1 % вуглецю необхідно 17,5 % хрому, а при 0,5 % вуглецю – уже біля 24 % хрому. Характерною особливістю карбідів хрому є їх стійкість, особливо при нагріванні [18].

В залежності від вмісту хрому в сталі він утворює декілька типів карбідів [18]:

- при вмісті хрому до 3 % утворюються карбіди цементитного типу  $(Fe,Cr)_3C$ ;
- при вмісті хрому до 15 % утворюються, переважно, карбіди типу  $Cr_7C_3$ , які мають тригональну ґратку з параметрами:  $a = 0,398$  нм,  $c = 0,432$  нм. Температура плавлення карбідів 1630-1670 °C.
- при вмісті хрому більше 15 % ті більше 0,5 % вуглецю утворюються, переважно, карбіди типу  $Cr_{23}C_6$ , які мають ґранецентровану кубічну ґратку з параметрами 0,064 нм. Температура плавлення карбідів 1520-1550 °C.

В хромистих сталях частина хрому в карбідах  $Cr_7C_3$  і  $Cr_{23}C_6$  може бути заміщена залізом. У кубічному карбіді хром заміщується залізом від 8 до 25 % і більше, а в тригональному – від 30 до 50 %. Отже у цих випадках утворюються складні карбіди  $(Fe,Cr)_7C_3$  і  $(Fe,Cr)_{23}C_6$  [18].

В низько- та середньолегованих сталях, які містять до 19 % хрому, в першу чергу утворюються карбіди  $(Fe,Cr)_3C$ . Усі типи карбідів хрому більш стійкі, ніж карбіди заліза [18].

При температурі 600-800 °C і вмісті хрому в середньому біля 45 % (за масою) утворюється область  $\sigma$ -фази – інтерметалідної сполуки типу Fe-Cr. Із зниженням температури область існування  $\sigma$ -фази поширюється на більш широкий інтервал

концентрацій хрому і заліза (до 30% хрому заліза від максимуму і до 70% хрому – праворуч) [18].

$\sigma$ -фаза має високу твердість і крихкість. Виокремлення  $\sigma$ -фази в системі Fe-Cr навіть при високих температурах проходить відносно повільно і потребує тривалого часу. При низьких температурах  $\sigma$ -фаза не виокремлюється, але під впливом пластичної деформації виокремлення  $\sigma$ -фази можливе. За наявності у сталі кремнію, марганцю і молібдену виокремлення  $\sigma$ -фази прискорюється і межа її існування зсувається у бік більш низьких концентрацій хрому [18].

Нікель підвищує температуру утворення  $\sigma$ -фази до 925 °С. Вуглець при концентраціях у сталі більших його розчиненні у фериті, сприяє збідненню фериту хромом через зв'язування останнього у карбіди і тому уповільнює процеси утворення  $\sigma$ -фази і зсуває межу області  $\sigma$ -фази в бік високих концентрацій хрому. Хром, який зв'язаний у карбіди, участь в утворенні  $\sigma$ -фази не приймає [18].

Хром впливає на зміну параметрів ґратки твердого розчину, теплопровідність, питомий електроопір, коефіцієнт лінійного розширення, електрохімічний потенціал і швидкість корозії [18].

Хром збільшує параметри ґратки твердого розчину в сплавах Fe-Cr. При збільшенні вмісту хрому до 7 % параметр ґратки збільшується інтенсивніше, ніж це повинно бути за правилом змішування. Вірогідно це пов'язано з тим, що в цій же області концентрацій хрому знаходиться температурний мінімум  $\gamma$ -петлі в системі Fe-Cr [18].

Вивчення зміни теплопровідності сталей із хромом показує, що теплопровідність низькохромистої сталі з підвищенням температури нагрівання різко зменшуються. Після збільшення вмісту хрому температурна залежність теплопровідності суттєво змінюється і для сталі з 13% Cr вона стає сталою приблизно до 800 °С, а при підвищенні концентрації хрому теплопровідність навіть дещо збільшується. Цей факт дуже важливий для виробів, які працюють в умовах високих температур, оскільки чим вища теплопровідність сталі, тим менші будуть напруги у виробі [18].

З підвищенням вмісту в сталі хрому підвищується її електричний опір. Це пояснюється створенням кристалічної ґратки після легування сталі хромом [18].

Коефіцієнт лінійного розширення із збільшенням вмісту хрому в сталі зменшується в наслідок зростання феритної складової в структурі сталі [18].

Присутність хрому в сталі суттєво впливає на корозійні властивості металу. Вміст хрому у твердому розчині заліза, який забезпечує задовільну корозійну стійкість сталі, тісно зв'язаний з електрохімічним потенціалом. Позитивного значення потенціалу сталь набуває після того, як вміст хрому у твердому розчині заліза досягає 12%.це підтверджується випробуванням зразків з різним вмістом хрому у морській воді, шахтних агресивних водах та інше [18].

В промисловості використовуються сталі з вмістом хрому до 35%. При незначних кількостях (1,0 - 2,0%) хром підвищує конструкційну міцність сталі; при 12 - 15% хрому сталі відносяться до нержавіючих конструкційних, а при вмісті хрому більше 17% - до сталей із спеціальними властивостями [18].

Хром суттєво знижує рідкотекучість сталі, оскільки він є плівкоутворювальним елементом, а це потребує значного перегрівання розплаву, що призводить до збільшення дефектів усадкового характеру [18]. В таблиці 3.3 наведений короткий опис впливу хрому на властивості сталі.

Таблиця 3.3 – Вплив хрому на властивості сталі [18]

Характер впливу або властивість	Cr
Схильність до утворення карбідів	+
Схильність до утворення легованого фериту	++
Схильність до утворення легованого аустеніту	-
Схильність до збільшення зерна	++
Міцність	+
Пластичність	-
Прогартовуваність	+
Зносостійкість	++

Продовження таблиці 3.3

Характер впливу або властивість	Cr
Тріщиностійкість	--
Жаростійкість	++
Жароміцність	+
Корозійна стійкість	++
Холодостійкість	+
Рідкотекучість	-
Схильність до утворення усадкових раковин	+
Примітка. Позначення: + збільшує; ++ сильно збільшує; - зменшує; -- сильно зменшує.	

### 3.2.3 Вплив нікелю на властивості сталі

Нікель – як і залізо відноситься до металів перехідної групи, має щільність 8960 кг/м<sup>3</sup> і температуру плавлення 1455 °С. Параметри кристалічної ґратки нікелю наближаються до параметрів  $\gamma$ -Fe, а тому він необмежено розчиняється в  $\gamma$ -Fe, тобто утворює з залізом безперервний ряд розчинів і зсуває точку  $A_3$  вниз [18].

Як легуючий елемент нікель найбільш часто використовують під час виробництва виливків із конструкційних сталей. Нікель – феромагнетик, а тому у системі залізо-нікель існує багато сплавів, які відзначаються різноманітністю фізичних властивостей, він є корозійностійким елементом, наприклад, розчини солей діють на нього дуже повільно або зовсім не діють [18].

Нікель не утворює карбідів, а тому повністю знаходиться у твердому розчині, при цьому знижує вміст вуглецю в евтектоїді. Знижуючи критичну швидкість гартування, нікель різко збільшує прогартованість сталі і забезпечує рівномірність механічних властивостей литої деталі по всьому перерізу, наприклад, у сталі достатньо мати 2 % нікелю, щоб вилівок набув після гартування рівномірних властивостей навіть з товщиною стінки 200 мм, а сталь з 5 % нікелю набуває мартенситної будови уже після гартування виливка в струмені стисненого повітря замість води [18].

За умови високого (25 % і вище) вмісту в сталі нікелю і низького вуглецю вона набуває особливих фізичних властивостей – стає немагнетною, має мінімальний коефіцієнт теплового розширення та ін. наприклад, нікелеві сталі з 36 % нікелю має дуже малий коефіцієнт теплового розширення, а сталі з 36 % нікелю і 12 % хрому мають майже незалежний від температури модуль пружності, що дуже важливо у виробництві точних приладів. Сплав заліза з 48-50 % нікелю має такий же коефіцієнт теплового розширення, як і скло, а тому широко використовується при виробництві електричних ламп [18].

Нікель сприятливо впливає на характеристики міцності сталі – підвищує більше межу текучості  $\sigma_T$ , ніж тимчасовий опір розриванню  $\sigma_B$ , а тому збільшує конструкційну міцність металу  $(\sigma_T/\sigma_B) \cdot 100$ , тобто, маючи однакові з іншими сталями показники  $\sigma_B$ , нікелеві сталі більше використовуються як конструктивний матеріал. Механічні властивості сталей з нікелем дуже високі, а виливки мають високу квазіізотопію, тобто однорідність структури [18].

Необхідно відзначити, що нікель дорогий і дефіцитний легуючий елемент, тому його використовують для виготовлення виливків із спеціальних сталей: жароміцних, корозійностійких, немагнетних та інші [18].

Оскільки нікель практично не окислюється, то його можна додавати у будь-який період плавлення сталі: у шихту або перед випусканням розплаву із плавильного агрегату [18]. В таблиці 3.4 наведений короткий опис впливу нікелю на властивості сталі.

Таблиця 3.4 – Вплив нікелю на властивості сталі [18]

Характер впливу або властивість	Ni
Схильність до утворення карбідів	-
Схильність до утворення легованого фериту	+
Схильність до утворення легованого аустеніту	++
Схильність до збільшення зерна	+

Продовження таблиці 3.4

Характер впливу або властивість	Ni
Міцність	++
Пластичність	+
Прогартовуваність	++
Зносостійкість	+
Тріщиностійкість	0
Жаростійкість	+
Жароміцність	++
Корозійна стійкість	+
Холодостійкість	++
Рідкотекучість	0
Схильність до утворення усадкових раковин	+
Примітка. Позначення: + збільшує; ++ сильно збільшує; - зменшує; - сильно зменшує; 0 – не впливає.	

### 3.2.4 Вплив молібдену на властивості сталі

Молібден – тугоплавкий легувальний елемент, який має щільність 10300 кг/м<sup>3</sup> і температуру плавлення 2625 °С [18].

Кристалічна ґратка молібдену за параметрами наближається до  $\alpha$ -Fe, тому він розширює область  $\alpha$ -Fe, а при 2,5 % молібдену область  $\gamma$ -Fe замикається повністю. З залізом молібден утворює інтерметаліди типу Fe<sub>3</sub>Mo ( $\epsilon$ -фаза) та FeMo ( $\eta$ -фаза). Проте в залізі молібден має обмежену розчинність – 37,5 % при 1440 °С, а при 20 °С - 4 %. Отже через утворення дрібнодисперсних частинок інтерметалідів молібден сприяє вищому дисперсійному твердненню, ніж Ti, Cu, Nb, W [18].

Молібден сильний карбідотвірний елемент: здатність його до утворення карбідів вища, ніж у хрому, але менша, ніж у вольфраму. Утворює карбіди MoC і Mo<sub>2</sub>C, в а системі Fe-Mo-C можуть утворюватися і складні карбіди (Fe, Mo)<sub>3</sub>C [18].

В сталях до 1 % молібден знаходиться у твердому розчині, підвищує прогартовуваність та механічні властивості сталей будь-яких марок, усуває їх відпускну крихкість. До складу конструкційних сталей входить в невеликих кількостях – 0,15-0,40 %. Особливо цінним є молібден у сталях, які містять хром, нікель, марганець, вольфрам та інше [18].

Головною характеристикою молібдену є його висока здатність підвищувати опір повзучості сталей, які працюють в умовах значних навантажень та підвищених температур. На ливарні властивості молібден практично не впливає [18]. В таблиці 3.5 наведений короткий опис впливу молібдену на властивості сталі.

Таблиця 3.5 – Вплив молібдену на властивості сталі [18]

Характер впливу або властивість	Mo
Схильність до утворення карбідів	++
Схильність до утворення легованого фериту	+
Схильність до утворення легованого аустеніту	-
Схильність до збільшення зерна	-
Міцність	+
Пластичність	0
Прогартовуваність	++
Зносостійкість	++
Тріщиностійкість	-
Жаростійкість	-
Жароміцність	+
Корозійна стійкість	0
Холодостійкість	++
Рідкотекучість	-
Схильність до утворення усадкових раковин	+
Примітка: позначення: + збільшує; ++ сильно збільшує; - зменшує; -- сильно зменшує; 0 – не впливає.	



### 3.2.5 Вплив постійних добавок на властивості сталі

Постійними добавками сталей вважають марганець, кремній, фосфор, сірку, а також гази (водень, азот, кисень), в тій чи іншій кількості постійно присутніх в сталях [15, 18].

Зазвичай вміст цих елементів обмежується наступними верхніми межами [15, 18]: Mn – 0,8 %; Si – 0,5 %; P – 0,05 %; S – 0,05 %.

Розглянемо вплив цих елементів окремо.

Марганець. Цей елемент вводять в любую сталь для розкислення.  $\text{FeO} + \text{Mn} \rightarrow \text{MnO} + \text{Fe}$ , тобто для усунення шкідливих домішок закису заліза.

Марганець усуває також шкідливі сірчані з'єднання заліза, розчиняється в фериті і цементиті. Марганець помітно впливає на властивості сталі підвищуючи міцність в гарячекатаних виробках, змінюючи і деякі інші властивості. Але так як у всіх сталях вміст марганцю приблизно однаковий, то його вплив на сталь різного вкладу не відчувається. Марганець збільшує прокалюваність сталі та зменшує вплив сірки [15, 18].

Кремній. Вплив початкового вмісту кремнію аналогічний впливу марганцю. Кремній розкислює сталь по реакції:  $2\text{FeO} + \text{Si} \rightarrow 2\text{Fe} + \text{SiO}_2$  [15, 18].

Кремній структурно не виявляється так як повністю розчинний в фериті, окрім тієї частини кремнію, яка у вигляді окислу кремнію не встигла спливати в шлак та залишилася в металі в виді силікатних включень [15, 18].

Фосфор. Фосфор є шкідливою домішкою в сталі. Він сегрегує при затвердінні сталі, але меншою мірою, ніж вуглець і сірка. Фосфор розчиняється у ферит і за рахунок цього підвищує міцність сталей. Зі збільшенням вмісту фосфору в сталях їх пластичність та ударна в'язкість знижується і підвищується схильність до холодноламкості [15, 18].

Розчинність фосфору за високої температури досягає 1,2 %. Зі зниженням температури розчинність фосфору в залозі різко падає до 0,02-0,03%. Така кількість фосфору характерна для сталей, тобто весь фосфор зазвичай розчинений в альфа-залізі [15, 18].

Фосфор має сильну тенденцію сегрегувати на межах зерен, що призводить до відпускнуї крихкості легованих сталей, особливо в марганцевих, хромистих, магнієво-кремнієвих, хромонікелевих та хромомарганцевих сталях. Фосфор, крім того, збільшує зміцнюваність сталей і уповільнює, як кремній, розпад мартенситу в сталях [15, 18].

Підвищений вміст фосфору часто використовують в низьколегованих сталях для поліпшення їх механічної обробки, особливо автоматичної [15, 18].

У низьколегованих конструкційних сталях із вмістом вуглецю близько 0,1 % фосфор підвищує міцність та опір атмосферної корозії [15, 18].

В аустенітних хромонікелевих сталях добавки фосфору сприяють підвищенню межі плинності. У сильних окисниках наявність фосфору в аустенітних нержавіючих сталях може призводити до корозії по межах зерен. Це пов'язано з явищем сегрегації фосфору за межами зерен [15, 18].

Сірка. Цей компонент вважається для сталі найбільш шкідливим. У сталі сірка утворює сульфід міді, через що знижуються основні характеристики: зварюваність, пластичність, ударна в'язкість. Крім того, сірка робить сталь холодоламкою, тому що на межах кристалів утворюються сульфідні евтектики. Через ці якості вміст сірки у сталях обмежено певними нормами. Наприклад, у високоякісних марках вміст сірки не перевищує 0,02-0,03%. У сталях загального призначення масова частка цієї домішки знаходиться в межах 0,03-0,04%. Щоб звести до мінімуму, сталь піддається спеціальній обробці, після якої масова частка сірки скорочується до 0,005%. [15, 18].

Сірка не розчиняється в залозі, тому будь-яка її кількість утворює із залізом сульфід заліза FeS. Цей сульфід входить до складу евтектики, що утворюється при 988 °C [15, 18].

Сірка має дуже сильну схильність до сегрегації за межами зерен. Це призводить до зниження пластичності сталей у гарячому стані. Однак сірку в кількості від 0,08 до 0,33% навмисно додають до сталі для автоматичної механічної обробки. Відомо, що присутність сірки підвищує втомну міцність підшипникових сталей [15, 18].

### 3.3 Вибір методів і методик дослідження

#### 3.3.1 Дослідження мікроструктури

Для дослідження мікроструктури сталі був використаний металографічний мікроскоп МИМ – 7 (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 - Зовнішній вигляд мікроскопа МИМ – 7 [19]

Оптична система мікроскопа МИМ-7 включає об'єктив та окуляр, від яких залежить збільшення мікроскопа, та ряд допоміжних елементів: призми, дзеркала, лінзи, діафрагми. Вони змонтовані в корпусі і необхідні для того, щоб складний, розсіяний промінь білого кольору перетворити на прямолінійний і сфокусувати його в одній точці. Об'єктив, що є поєднанням лінз, дає реальне збільшене, але зворотне зображення мікроструктури. Окуляр складається з декількох лінз і призначений для збільшення зображення, отриманого об'єктивом, і перетворення його зі зворотного у пряме [19].

Окуляр та об'єктив металографічного мікроскопа мають власні збільшення. Чіткість зображення досягається при правильному доборі (комбінації) об'єктива та окуляра. За допомогою мікроскопу МИМ – 7 можна отримати збільшення зображення від 60x до 1440x при візуальному спостереженні і від 70x до 1350x при фотографуванні [19].

У освітлювальну систему мікроскопа входять джерело світла, серія лінз, світлофільтрів та діафрагм. Джерелом світла є електрична лампа, що включається в мережу через понижувальний трансформатор [19].

Порядок роботи на металографічному мікроскопі МІМ-7 наступний: спочатку підбирають об'єктив та окуляр для необхідного збільшення та встановлюють їх у гніздо об'єктива та окулярний тубус. На предметний столик поміщають зразок, що повернений досліджуваною поверхнею до об'єктива. Включають мікроскоп в електромережу, встановлюють за допомогою блоку живлення необхідне напруження лампи освітлення [19].

Відпустивши ручку стопора, плавним обертанням макрогвинта опускають столик, проводять фокусування до появи в окулярі структури поверхні. Тримаючи правою рукою макрогвинт, лівою стопорять його. Точне фокусування проводять обертанням мікрогвинта. Переміщуючи предметний столик у горизонтальній площині у двох взаємно перпендикулярних напрямках, за допомогою гвинтів переглядають всю поверхню шліфу, вибираючи характерні ділянки. Мікроструктура аналізується та замальовується (фотографується) [19].

### **3.3.2 Вимірювання твердості**

Для вимірювання твердості отриманої деталі за Роквеллом було використано твердомір ТР – 5006 (рис. 3.4) [20, 21].

Твердомір ТР 5006 застосовується у цехах та лабораторіях машинобудівельних та металургійних підприємств, а також у лабораторіях науково-дослідних інститутів. Твердомір ТР 5006 дозволяє вимірювати твердість відповідно до стандартів СТ СЕВ 468-77, СТ СЕВ 469-77, ISO 2039/2-81, ТІ-84 АСТМЕ18-84, DIN18-84 [20, 21].

Принцип дії приладу заснований на вдавлюванні індентора стандартного типу в випробовуваний виріб під дією попереднього і основного навантажень, що послідовно додається, і у вимірюванні залишкового збільшення глибини проникнення цього індентора після зняття основного навантаження після закінчення певного проміжку часу [20, 21].

Діапазон вимірювання такого твердоміру складає [20, 21]:

- за методом Роквелла: шкала А від 70 до 95 HRA;
- шкала В від 25 до 100 HRB;

- Шкала С від 20 до 70 HRC.

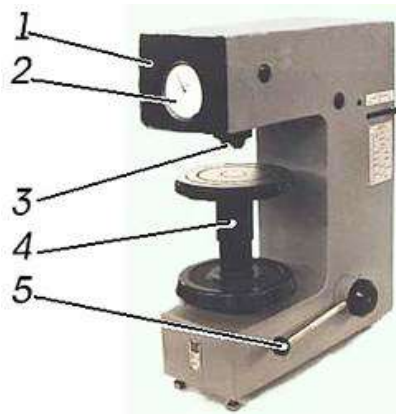


Рисунок 3.4 - Зовнішній вигляд твердоміра ТР – 5006: 1 - станина; 2 - індикатор; 3 - алмазний наконечник-конус (індентор); 4 - стіл; 5 - ручка важеля навантаження [20, 21]

### 3.3.3 Капілярна дефектоскопія (МКК)

Виливки після механічної обробки перевіряють на наявність усадкових раковин та мікротріщин, оскільки, на відміну від поковок або кузні, виливки схильні до наявності цих дефектів, які в залежності від деталі можуть досить сильно скоротити термін її використання. Найбільш економічно вигідним методом дефектоскопії для невеликих деталей буде метод капілярного контролю (МКК) [22].

Капілярний метод контролю проводять згідно ГОСТ 18442-80 [22].

Капілярний метод контролю оснований на капілярному проникненні індикаторних рідин в порожнини на поверхні деталі та реєстрація індикаторних слідів, що утворюються, візуально або за допомогою перетворювача. МКК дозволяє виявляти поверхневі (тобто знаходяться на поверхні деталі) і наскрізні (тобто з'єднуючі протилежні поверхні стінки об'єкта контролю) дефекти. За продуктивністю МКК значно перевершує методи візуального і вимірювального контролю (ВВК). Однак протиставляти ці методи некоректно. Область застосування ВВК і МКК практично не перетинаються. Розмір мінімального дефекта, що виявляється для ВВК складає 0,5 мм, а розмір максимального дефекта, що

виявляє МКК – також 0,5 мм. Тобто ці методи взаємно доповнюють один одного [23].

Капілярний контроль застосовується також для об'єктів, на яких застосування магнітнопорошкового контролю неможливе або недоцільне [23].

Переваги даної групи методів полягає в простоті операції контролю, нескладності обладнання, застосування до широкого спектру матеріалів, а том числі і немагнітних [23].

Процес капілярного контролю складається з таких основних операцій [23]:

- очищення поверхні об'єкту контролю і порожнини дефекту від забруднення, жиру та ін. шляхом їх механічного видалення та розчинення. Цим забезпечується гарна змочуваність усієї поверхні об'єкту контролю індикаторною рідиною і можливість проникнення її в порожнину дефекта;
- просочення дефектів індикаторною рідиною. Для цього вона повинна гарно змочувати матеріал виробу та проникати в дефекти в результаті дії капілярних сил. По цій ознаці метод називають капілярним, а індикаторну рідину – індикаторним пенетрантом або просто пенетрантом;
- видалення з поверхні виробу надлишків пенетранту, при цьому пенетрант в порожнині дефектів залишається. Для видалення використовують ефекти диспергування і емульгування, застосовують спеціальні рідини – очищувачі;
- виявлення пенетранту в порожнині дефектів. Як відмічено вище, це роблять частіше візуально, рідше – за допомогою спеціальних приладів – перетворювачів. В першому випадку на поверхні наносять спеціальні речовини – проявники, що вилучає із порожнини дефектів за рахунок явища сорбції або дифузії. Сорбційний проявник має вид порошку або суспензії.

## Висновки

Для виготовлення деталей відцентрового секційного насосу типу ЦНС доцільно використовувати якісні конструкційні матеріали та застосовувати такі методи зміцнюючої термічної обробки, які будуть задовольняти механічним властивостям деталей.

Оскільки апарат направляючий постійно знаходиться в агресивному середовищі та працює в умовах кавітації і гідроабразивного зношування, то матеріали для його виготовлення повинні головним чином володіти високими корозійними властивостями, достатньою твердістю, довговічністю, надійністю та здатністю працювати при низьких або мінусових температурах.

Виходячи з вимог до даного апарату направляючого доцільно буде використовувати марку сталі 08X14H7МЛ (ВНЛ-1).

Сталь 08X14H7МЛ – це сталь для виливок, легована з особливими властивостями. Дану сталь використовують для корозійностійких деталей, працюючих при кімнатних та низьких (до  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) температурах. Також сталь являється корозійностійкою аустенітно-мартенситного класу. Основними елементами даної сталі є вуглець в кількості 0,08 %, хром в кількості 14 %, нікелю в кількості 7 % та молібдену до 1 %. Саме високі показники хрому та нікелю надають даній сталі дуже високих корозійних властивостей. Буква «Л» означає, що дана сталь є ливарною.

Для дослідження властивостей і характеристик матеріалу для виготовлення апарату направляючого зі сталі 08X14H7МЛ застосовуємо наступні методи і методики: для дослідження мікроструктури (мікроаналізу) – мікроскоп МИМ-7; для контролю твердості після термічної обробки передбачено твердомір ТК-2, вимірювання після термополіпшення визначаємо за шкалою HRC; для виявлення пор та мікротріщин застосовуємо метод капілярного контролю.

## РОЗДІЛ 4 МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ ДЕТАЛІ «АПАРАТ НАПРАВЛЯЮЧИЙ» НАСОСУ ТИПУ ЦНС

### 4.1 Вибір методу отримання заготовки

Продуктивність механічної обробки апаратів направляючих багато в чому залежить від виду матеріалу, розмірів та конфігурації деталі, а також від характеру виробництва. Також на це впливає серійність виробництва.

На сьогодні використовують два методи виготовлення апаратів направляючих: поковка та лиття. На вибір методу впливають такі фактори, як розмір деталі, так і її серійність. Наприклад, якщо деталь досить таки габаритна ( $\geq \text{Ø}500$  мм) та відноситься до категорії серійного або великосерійного випуску, то доцільно буде використовувати метод лиття.

Метод лиття є більш універсальним та простішим для виготовлення апаратів направляючих, оскільки через їх складну форму ці деталі досить таки важко оброблювати механічно. Метод лиття дозволяє отримати вилівок максимально наближений до остаточної форми апарату, тому це допомагає уникнути складної та довготривалої механічної обробки, що є дуже доцільним в економічному плані, особлива якщо ця деталь відноситься до серійного або великосерійного виробництва [24, 25].

Що до виготовлення апаратів направляючих методом поковки, то цей метод використовують досить таки рідко. Це пов'язано з тим, що для виготовлення лише одного апарату доведеться потратити набагато більше часу на механічну обробку ніж при литті. Тому метод поковки використовують лише в тих випадках, якщо для апарату направляючого використовують матеріал, яких володіє поганими ливарними властивостями, або він відноситься до одиничного виробництва. Це допомагає уникнути зайвих витрат коштів та часу на створення моделі для вилівку. Для механічної обробки в обох методах використовують як ЧПУ так і звичайні фрезерувальні станки, а також токарні та свердлувальні станки [24, 25].



В нашому випадку апарат направляючий має  $\varnothing$  410 мм, виготовляється зі сталі 08X14H7МЛ (ВНЛ-1) та відноситься до серійного виробництва, тому буде доцільно використовувати метод лиття.

#### **4.2 Розробка технологічного процесу отримання деталі «апарат направляючий» насосу типу ЦНС**

Розробка технологічного процесу виготовлення деталі складається з наступних операцій в такій послідовності [24, 25]:

- 1) отримання чавуну (табл. 4.1);
- 2) отримання сталі дуплекс процесом (табл. 4.2);
- 3) отримання вилівка у піщано-глиняній формі (табл. 4.4);
- 4) механічна обробка(табл. 4.5).

Обґрунтування послідовності обробки поверхонь заготовки ведуть з урахуванням конструктивних особливостей деталі і вимог до її якості, складу переходів по обробці поверхонь заготовки та її базування в технологічному процесі [24, 25].

Намічена послідовність обробки поверхонь заготовки дозволяє скласти маршрут технологічного процесу виготовлення деталі у вигляді списку переходів з дотриманням послідовності їх виконання. На вибір устаткування впливають такі параметри [24, 25]:

- склад технологічного процесу виготовлення виробу;
- властивості матеріалу оброблюваної заготовки;
- собівартість виготовлення виробу;
- вимоги до якості деталі.

Продуктивність механічної обробки апаратів багато в чому залежить від виду матеріалу, розмірів та конфігурації заготовки, а також від характеру виробництва.

Розроблювальний технологічний процес повинен бути прогресивним, забезпечувати підвищення продуктивності праці і якості деталей, скорочення трудових і матеріальних витрат на його реалізацію, зменшення шкідливих впливів

на навколишнє середовище. Базовою вихідною інформацією для проектування технологічного процесу є: робочі креслення деталей; технічні вимоги, які регламентують точність, параметр шорсткості поверхні та інші вимоги якості; обсяг річного випуску виробів, що визначає можливість організації потокового виробництва [24, 25].

#### 4.2.1 Отримання чавуну

Технологічний процес отримання чавуну складається з кількох взаємозалежних етапів. На першому етапі в доменну піч завантажують руду, яка містить так званий магнітний залізняк (з'єднання двовалентного і тривалентного оксидів заліза). Також як сировину можуть використовуватися руди з вмістом водного окису заліза або його солей. Разом з сировиною в піч завантажують коксівне вугілля, яке призначене для створення і підтримки високої температури. Крім того, продукти їх горіння беруть участь у хімічних реакціях як відновники заліза [24, 25].

Додатково в топку додають флюс, який виступає як каталізатор і допомагає породам швидше плавитися, тим самим звільняючи залізо. Варто зазначити, що перед потраплянням у доменну піч руда проходить спеціальну попередню обробку. Вона подрібнюється за допомогою дробильної установки, тому що дрібні частинки швидше розплавляються. Потім її промивають, щоб видалити всі зайві елементи, які не містять металу. Після цього висушена сировина проходить випалення у спеціальних печах, що дозволяє видалити із з'єднання сірку та інші чужорідні елементи [24, 25].

Коли доменна піч завантажена та готова до експлуатації починається другий етап виробництва. Після запуску пальників кокс починає розігрівати сировину, виділяючи при цьому вуглець, який, проходячи через повітря, реагує з киснем і утворює оксид. Цей оксид бере активну участь у відновленні заліза зі сполук, що знаходяться в руді. При цьому чим більше газу стає в печі, тим слабше протікає хімічна реакція. Після досягнення певної пропорції вона зовсім припиняється.

Надлишок газів використовується як паливо для підтримки температури печі. Такий підхід має кілька позитивних моментів. По-перше, знижуються витрати викопного пального, що дещо здешевлює виробництво продукції. А по-друге, продукти горіння не викидаються в атмосферу, забруднюючи її шкідливими домішками, а продовжують свою участь у технологічному процесі [24, 25].

Надлишок вуглецю поєднується з розплавом і, поглинаючись залізом, утворює чавун. Всі елементи породи, що не розплавилася, спливають на поверхню і видаляються з матеріалу. Відходи називають шлаком, який піде на виробництво інших матеріалів. Після видалення зайвих частинок у розплав при необхідності додають різноманітні присадки. Таким способом одержують два види сплавів: граничний та ливарний чавун [24, 25].

Таблиця 4.1 – Технологічний процес отримання чавуну

<b>№ операції, назва операції</b>	<b>№ переходу, назва переходу</b>
1. Видобування руди, вугілля, газу	
2. Підготування руд до доменного плавлення	2.1. Подрібнення
	2.2. Класифікування матеріалу
	2.3. Збагачення руди
	2.4. Згрудкування: агломерація, окатування
3. Підготування палива	3.1. Спікання вугілля на коксохімічних комбінатах у кокс
	3.2. Очищення, підігрівання природного газу перед подаванням до фурм
4. Підготування допоміжних матеріалів (флюсу)	4.1. Обпалювання флюсу – вапняка
	4.2. Офлюсовування агломерату (окатишів)
5. Доменне плавлення	5.1. Відновлення заліза

Продовження таблиці 4.1

№ операції, назва операції	№ переходу, назва переходу
5. Доменне плавлення	5.2. Навуглецевування заліза і утворення рідкого чавуну
	5.3. Відновлення домішок
	5.4. Утворення шлаку

#### 4.2.2 Отримання сталі дуплекс-прокатом

Виробництво сталі дуплекс процесом йде в 2 етапи: вилучення ванадієвого шлаку та отримання придатного металу [24, 25].

Чавун надходить у конвертерний цех у чавуновозних ковшах з доменного цеху. Спочатку чавун потрапляє до міксерного відділення. Тут йде усереднення чавуну за хімічним складом та температурою. Також тут йде деяке охолодження чавуну за допомогою залізрудних котунів та агломерату [24, 25].

З міксера чавун потрапляє до конвертера. Опускається фурма, починається продування і наводиться ванадієвий шлак, який згодом скачується в шлаковозні чаші під конвертером. Ванадієвий шлак згодом йде на продаж, а метал-напівпродукт на десульфурацію. Десульфурація металу-напівпродукту відбувається на установці десульфурації металу у конвертерному відділенні. Так закінчується перша стадія дуплекс-процесу [24, 25].

Друга стадія починається з того що знесірений метал-напівпродукт знову надходить у конвертер, де він плавиться протягом 35 хвилин. Метал заливається в конвертер, опускається фурма та починається подача кисню. Це спричиняє зменшення вмісту вуглецю в металі. Кількість кисню, що подається в конвертер, і додаткових матеріалів, таких як вапно і доломіт розраховуються спеціальною системою. Додаткові матеріали містяться в бункерах, розташованих над конвертером. Зазвичай їхня кількість 6-8 штук. Вся плавка контролюється з пульта керування оператором. Він же нахиляє конвертер для взяття хімічного аналізу та вимірювання температури. Проба металу відправляється в лабораторію, де робот

свердлить у ній отвір та за допомогою спектрографічного методу визначає точний склад металу. Хімічний аналіз займає в середньому 4 хвилини [24, 25].

Після завершення продування конвертер нахилиється і починається випуск металу та шлаку. Температура випуску металу становить 1670 °С. Оскільки шлак і метал мають різну щільність, шлак плаватиме на поверхні металу. Наприкінці зливу плавки ми використовуємо газодинамічне відсікання шлаку. Там встановлені інфрачервоні камери, які бачать кордон метал-шлак і як тільки шлак починає підходити до отвору сталевипуску клапан закриває сталевипускний отвір. Таким чином, метал виходить із конвертера чистим [24, 25].

Наприкінці випуску металу відбувається розкислення та легування сталі різними легуючими матеріалами - феросплавами, матеріали, що містять алюміній. У ківш після випуску металу подаються легуючі елементи та розкислювачі. Шлак зливається в шлакові чаші, що вирушають на ділянку шлакорозділу [24, 25].

Тут чаша перевертається, і застиглий шлак вивалюється назовні. На шлак кидають важку металеву плиту, яка дробить шлак на шматки. Металеві включення шлаку витягуються за допомогою магніту, і потім відправляються в конвертер. Шлак, що залишився, вирушає на шлакові відвали [24, 25].

Сталерозливний ківш відправляється на ділянку позапічної обробки сталі. Тут відбувається доведення металу за температурою та хімічним складом. Під час цього тричі проводиться замір температури та визначається хімічний склад сталі. При визначенні хімічного аналізу вимірюється кількість наступних елементів: С, Mn, Si, P, S, Al, Cr, Nb, Ni, Cu, Mo, V, Ti, Ca та В. Якщо потрібно, то метал вакуумують [24, 25].

Потім метал вирушає на машину безперервного лиття заготовки. Після затвердіння металу він проходить через вимірювальні ролики та потрапляє на машину газового різання, яка розрізає метал на заготовки необхідної довжини. При розрізанні утворюються напливи, які також доводиться відрізати. Зливки таврують спеціальною машиною - таврувачем. Згодом складається паспорт плавки. Якщо цього вимагає замовник, метал може охолоджуватися не природним способом, а дуже повільно. Для цього застосовуються термоями [24, 25].

У відділі технічного контролю у металі визначаються внутрішні дефекти. Для цього газокисневим різакон на поверхню металу наноситься змійка. Потім метал оглядається щодо наявності зовнішніх дефектів. Метал укладається кранами на складі та згодом вивозиться з підприємства [24, 25].

Таблиця 4.2 – Технологічний процес отримання сталі дуплекс-прокатом

<b>№ операції, назва операції</b>	<b>№ переходу, назва переходу</b>
1. Переділка чавуну на сталь в конверторній печі	1.1. Підготовлення твердих шихтових матеріалів
	1.2. Підготовлення рідкого чавуну.
	1.3. Підготовлення палива (окиснювання)
	1.4. Завантаження твердих шихтових матеріалів в конвертерну піч
	1.5. Заливання рідкого чавуну
	1.6. Продування кисню
	1.7. Зливання сталі з конвертеру і розкислення
	1.8. Зливання шлаку
2. Доводка хімічного складу сталі до потрібного в електродуговій печі.	2.1. Заправка (ремонт) футеровки електродугової печі.
	2.2. Завалка шихти – закладання твердих шихтових матеріалів, скрапу.
	2.3. Заливання рідкої сталі.
	2.4. Зберігання рідкої сталі.
	2.5. Опускання електродів, плавлення.
	2.6. Окислювальний період.
	2.7. Відновлювальний період
	2.8. Зливання (Випуск) рідкої сталі

### 4.2.3 Отримання вилівка у піщано-глиняній формі

Процес виготовлення вилівка починається в розробки конструкторської версії креслення апарата направляючого згідно всіх вимог замовника. Після розробки креслення починається розробка вже ливарного креслення цього апарату.

Для виготовлення цього креслення застосовують 3D-редактори. При створенні інженер повинен враховувати ливарну усадку металу, припуски, коректне проектування напрямку затвердіння металу, коректне розміщення прибилів, їх розміри та кількість. При створенні моделі вилівка треба пам'ятати, що вага прибилів зазвичай становить 50-100% відносно ваги моделі деталі, тобто самі прибилі збільшують вагу вилівка в 1,5-2 рази. Після створення моделі вилівка його перевіряють на ймовірність утворення усадкових раковин при затвердінні металу. Якщо модель вилівка вийшла нескладною та невеликою, то цей етап можна пропустити. Після перевірки на усадку інженер розмічає ливарний варіант креслення згідно ГОСТ 3212-92 [26], а потім модельники виготовляють цю модель та її компоненти із дерева згідно цього креслення. В нашому випадку це фальшпідставки (рис. 4.1).

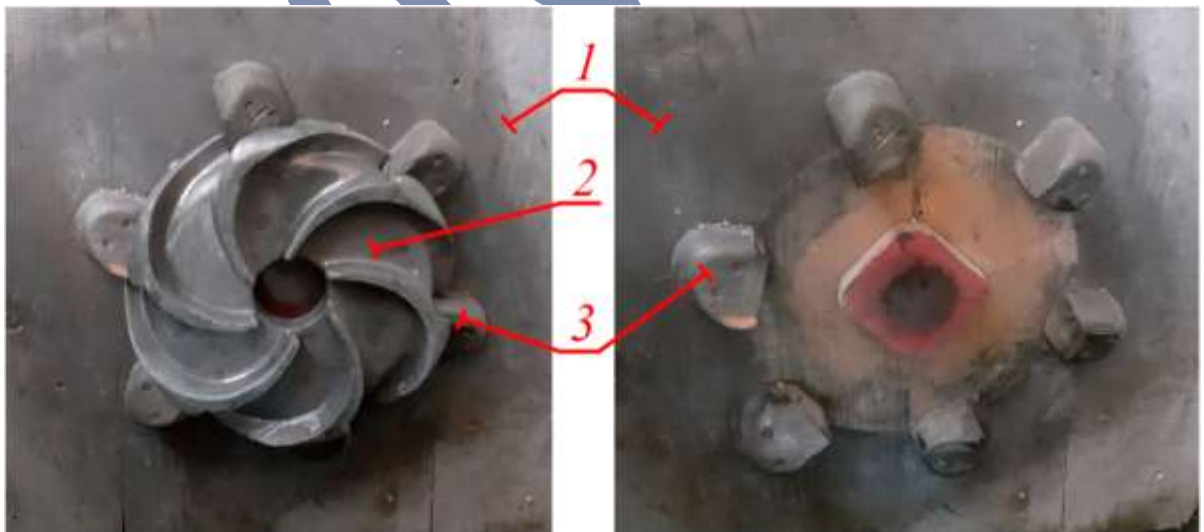


Рисунок 4.1 – Приклад моделі з використанням фальшпідставки: 1 – підмодельна плита; 2 – модель апарата направляючого; 3 – фальшпідставка

Після виготовлення виливка починається підготовка до лиття. Для цього готується спеціальна формувальна суміш. Вона складається з піску як основного компоненту, смоли та затверджувача. Цю суміш готують або вручну або в спеціальних шнекових змішувачах. Після виготовлення суміші починається формування моделі в опоках, в які і залипають цю суміш (рис.4.2).

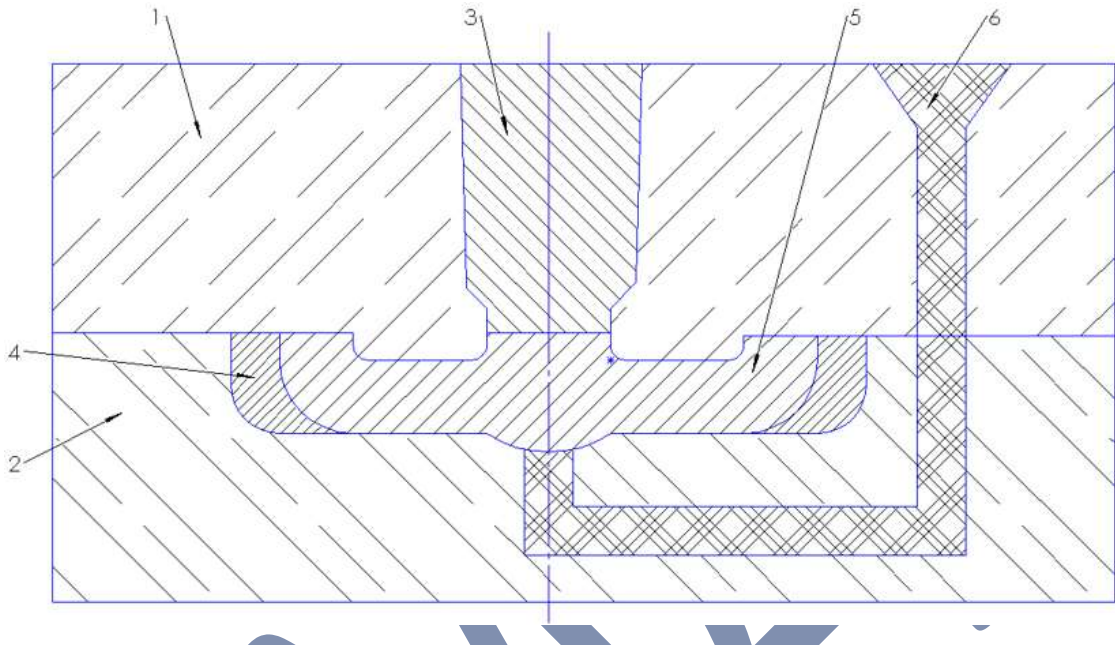


Рисунок 4.2 – Спрощений ескіз в розрізі зборки опок під лиття: 1 – верхня опока; 2 – нижня опока; 3 – модель пристрою; 4 – фальшпідставки; 5 – модель апарату направляючого; 6 – ливникова система

Формування відбувається наступним чином:

1. модель покривають спеціальною розділовою сумішшю;
2. в нижню опоку кладуть нижню модель та фіксують фальшпідставки;
3. в нижню опоку засипається формувальна суміш;
4. прибирають зайву суміш;
5. створюється ливникова система;
6. на нижню опоку становиться верхня;
7. повторюється цей же процес для верхньої опоки;
8. прибираються моделі пристрою та апарату направляючого;
9. покривають створений відбиток тонким шаром спеціальною жаростійкою та антипригарною сумішшю;



10. в місці роз'єму наноситься спеціальний розділовий пісок;

11. скріплюються нижня та верхня опоки.

Після завершення формування починається процес переплавки металу. Є два види переплавки металу:

1. переплавка уже готового металу та його заливання до форми. Такий спосіб використовують для виготовлення виливків із розповсюджених та популярних матеріалів: 20X13Л, 40X13Л, 20Л, 20ГЛ, 25Л та інші;
2. при переплавці береться якийсь метал за основу та в процесі переплавки додаються легуючі елементи. Такий спосіб використовується для виготовлення вилівка із спеціальних сталей, або сталей, які важко знайти в продажі: 08X14H7МЛ (ВНЛ-1), ВНЛ-3, 20X18H12M3ТЛ та інші. Наприклад, для виплавлення сталі 20X18H12M3ТЛ за основу можна взяти сталь 20X13Л, а для ВНЛ-1 – сталь з вмістом вуглецю 0,08%.

В даному випадку був обраний другий варіант. В таблиці 4.3 наведений відсотковий вміст всіх складових сплаву. Отже при плавці металу в печі на 500 кг було використано: 171 кг ст.1сп або його замітника ст3сп; 16,2 кг Н1; 46,2 кг ФХ005А; 5,2 кг ФМо60; 1,4 кг Мн95; 1 кг МЦ50Ж6. Також при плавленні додають частки (ливники, прибили) сталі ВНЛ-1 після попередньої плавки, ці частки в даній плавці становлять 213 кг. В сумі маса всіх компонентів повинна складати ~ 450 кг.

Таблиця 4.3 –Склад металевої шихти сталі ВНЛ-1

Назва матеріалу	Марка	ГОСТ або ДСТУ	Вміст матеріалу в шихті, %
Сталь шихтова*	ст.1сп	2651:2005	37,00
Повернення виробництва	ВНЛ-1	90090-79	47,00
Ферохром	ФХ005А	4757:2009	10,90
Нікель	Н1	849-97	3,50
Феромолібден	ФМо60	4759:2009	1,00

Продовження таблиці 4.3

Назва матеріалу	Марка	ГОСТ або ДСТУ	Вміст матеріалу в шихті, %
Марганець металевий	Мн95	6008-90	0,30
Феросиліцій	ФС 65	4127-2002	0,30
Підсумки			100,00
Понад 100 %			
Фероцерій (мишметал)	МЦ50Ж6	ТУ 48-4-280-91	0,15
Алюміній	А5	11069-2001	0,10
Примітка:			
1.* Сталь шихтова ст.1сп з вмістом вуглецю 0,05-0,07 %			

Після переплавлення сталь заливають в форму та охолоджують на повітрі. Після охолодження вилівок дістають із опок, чистять його, відрізають прибилі та ливникову систему. Після цього зазвичай вилівки піддають відпалюванню, але в випадку сталі ВНЛ-1 цех від термічної обробки не використовується.

Після очищення вилівка його оглядають на наявність тріщин та інших дефектів та в випадку легування при плавленні перевіряють його хімічний склад (рис.4.3).

Для виявлення хімічного складу можна використовувати портативний аналізатор рентгенофлуоресцентний типу S1 TITAN SMX 524 (рис 4.4). Плюси цього аналізатора в тому, що він портативний, та для його використання потрібен лише невеликий зачищений зразок, але в нього є один суттєвий недолік – він знадний виявляти лише вміст Fe, Cr, Ni, Cu, Mn, Mo, Co та As. Тому йому на заміну можна використати стаціонарний спектрометр оптичний емісійний типу PolySpek Junior (рис. 4.3). На відміну від портативного, PolySpek Junior здатний виявити і всі легуючі елементи і вміст вуглецю, тому рекомендується використовувати саме його.

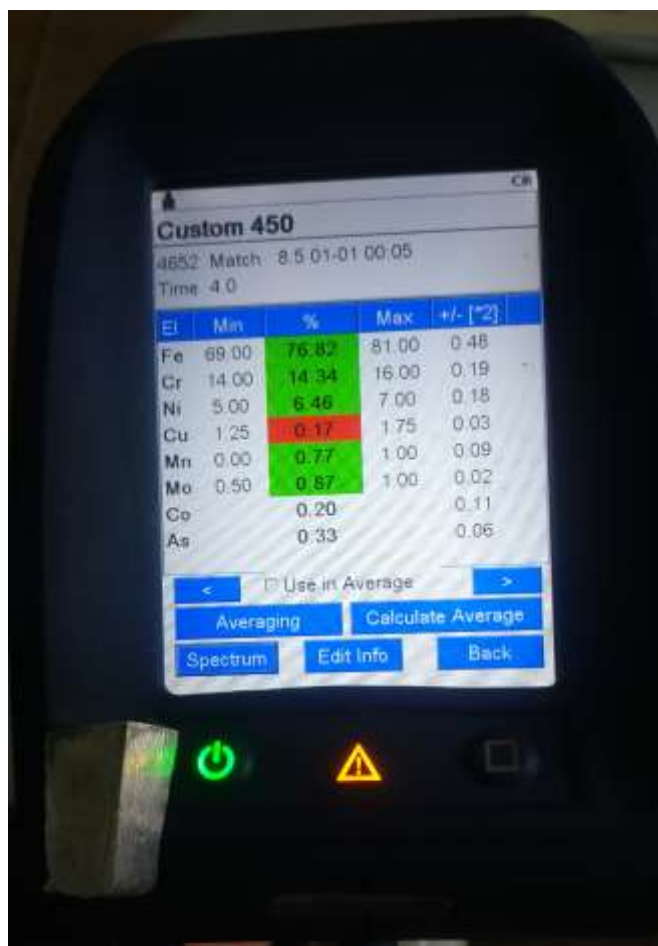


Рисунок 4.3 – Хімічний склад сталі ВНЛ-1 після лиття та зразок сталі



а

б

Рисунок 4.4 – Прибори для визначення хімічного складу сталі: портативний аналізатор рентгенофлуоресцентний S1 TITAN SMX 524 (а); стаціонарний спектрометр оптичний емісійний PolySpek Junior (б)

Таблиця 4.4 – Отримання вилівка у піщано-глиняній формі

№ операції, назва операції	№ переходу, назва переходу
1. Виготовлення моделі.	1.1. Проектування 3D-моделі з урахуванням усадки металу та прибілі.
	1.2. Перевірка 3D-моделі на якість вилівка при затвердінні та утворення усадкових раковин в спеціальній програмі.
	1.3. Підготування креслення для виготовлення моделі апарату направляючого.
	1.4. Виготовлення моделі апарату направляючого з дерева.
	1.5. Виготовлення фальшпідставок для апарату направляючого.
	1.6. Виготовлення моделі прибілі з дерева.
2. Виготовлення формувальної суміші	2.1. Засипання піску в шнековий змішувач з бункеру.
	2.2. Подача в змішувач смоли та затверджувача.
	2.3. Перемішування компонентів.
	2.4. Подача суміші в опоки.
3. Виготовлення форми.	3.1. Покрити модель спеціальною розділовою сумішшю.
	3.2. Встановлення в нижню опоку нижню половину моделі, фальшпідставки та елементи ливникової системи.

Продовження таблиці 4.4

№ операції, назва операції	№ переходу, назва переходу
3. Виготовлення форми.	3.3. Заповнення нижньої опоки формувальною сумішшю.
	3.4. Утрамбовування формувальної суміші
	3.5. Прибирання зайвої формувальної суміші, утворення наколів.
	3.6. Встановлення верхньої опоки на нижню.
	3.7. Встановлення верхньої половини моделі та елементи ливникової системи.
	3.8. Посипання площини роз'єму та відбитка моделі антипригарною та жаростійкою сумішшю.
	3.9. Заповнення верхньої опоки формувальною сумішшю.
	3.10. Утрамбовування формувальної суміші.
	3.11. Прибирання зайвої формувальної суміші, утворення наколів.
	3.12. Видалення моделей та ливникової системи із форми
	3.13. Посипання площини роз'єму та відбитка моделі антипригарною та жаростійкою сумішшю.
	3.14. Сушіння форми.
	3.15. Зборка форми.

Продовження таблиці 4.4

№ операції, назва операції	№ переходу, назва переходу
4. Заливання металу до форми.	4.1. Плавлення основного металу.
	4.2. Додавання легуючих елементів (шихти) до сплаву.
	4.3. Заливання металу до форми.
	4.4. Повільне охолодження виливка.
5. Видалення та чищення виливків.	5.1. Видалення виливка з форми.
	5.2. Видалення фальшпідставок.
	5.3. Очищення виливка.
	5.4. Відрізання ливникової системи та прибилі.
6. Контроль якості.	6.1. Перевірка хімічного складу сплаву.
	6.2. Візуальний огляд виливка.

#### 4.2.4 Механічна обробка деталі

Створення апарату направляючого неможливе без його термічної обробки та механічної обробки. Отже після отримання виливка, він поступає до механічного цеху.

Першим ділом його перевіряють на наявність тріщин та інших дефектів. Після перевірки починається етап чорнової механічної обробки виливка. Спочатку по центру свердять отвір, яких буде слугувати центральною частиною апарату, та початком для наступної операції. А наступною операцією буде точіння центральної та внутрішньої частини деталі на карусельному токарному станку. Після цього настає останній етап – фрезерування каналів на ЧПК фрезерувальному станку. Також окрім каналів можуть фрезеруватися й інші частини деталі згідно кресленню. Однак слід пам'ятати, що при чорновій обробці треба залишати хоча б 1 мм. припуску для чистової обробки, оскільки після термічної обробки деталь покривається чорною окалиною, а також після термічної обробки деталь може

збільшитися, або зменшитися в розмірі залежно від типу сплаву. Після механічної обробки проводять контроль якості деталі. Оскільки дана деталь була виконана методом лиття, то її піддають капілярній дефектоскопії. Цим методом дефектоскопії можна виявити малі тріщини на поверхні деталі. Зазвичай, якщо при дефектоскопії виявляється забагато тріщин, або вони є досить глибокими, а виправлення дефекту не є можливим, то деталь бракують і відправляють на переплавку наступної партії деталей з цієї сталі.

Після успішного перевірнення контролю апарат направляючий надходить до термічної ділянки, де його термічно оброблюють. Для цього спочатку термісти створюють маршрутну карту термічної обробки. Для її створення інженери використовують ГОСТ або ОСТ згідно вибраної сталі, в якому вже є прописаний запропонований режим термічної обробки та деякі механічні властивості після термічної обробки. Або ж термісти будуть пропонувати свій режим термічної обробки, якщо їх не влаштовують механічні властивості при запропонованому режимі.

Після термічної обробки проводять контроль якості деталі: проводяться випробування, такі як перевірка твердості, проведення структурного аналізу, перевірка корозійної стійкості та інші випробування при необхідності.

Якщо всі результати випробувань задовольняють механічним властивостям деталі, то її піддають чистовій механічній обробці. В випадку незадовільних результатів деталь або бракують, або, якщо це можливо, піддають подальшій термічній обробці для виправлення механічних властивостей.

При чистовій механічній обробці зазвичай на деталі нарізають різьблення, шліфують її та полірують для надання деталі блискучого вигляду.

Після цього настає остаточний контроль якості, в якому перевіряють розмір деталі та при необхідності проводять додаткові аналізи, наприклад, ультразвукову дефектоскопію [23].

Таблиця 4.5 – Механічна обробка деталі

<b>№ операції, назва операції</b>	<b>№ переходу, назва переходу</b>
1. Вхідний контроль.	1.1. Візуальний огляд вилівка.
2. Попередня механічна обробка	2.1. Свердлення центрального отвору.
	2.2. Точіння центру деталі.
	2.3. Фрезерування канавок.
	2.4. Фрезерування інших частин деталі згідно креслення.
3. Контроль якості.	3.1. Капілярна дефектоскопія.
4. Термічна обробка.	4.1. Створення маршрутної карти термічної обробки.
	4.2. Гартування.
	4.3. Обробка холодом.
	4.4. Середній відпуск.
5. Контроль якості.	5.1. Структурний аналіз сталі.
	5.2. Перевірка твердості.
	5.3. Перевірка корозійної стійкості.
	5.4. Перевірка стійкості при низьких температурах.
	5.5. При необхідності проведення додаткових випробувань.
6. Кінцева механічна обробка	6.1. Свердління отворів згідно кресленню.
	6.2. Нарізання різьблення.
	6.3. Чернове шліфування.
	6.4. Чистове шліфування.
	6.5. Полірування.



## Продовження таблиці 4.5

№ операції, назва операції	№ переходу, назва переходу
7. Контроль розмірів та якості деталі.	7.1. Перевірка розмірів.
	7.5. При необхідності перевірка інших механічних властивостей згідно ГОСТу, умов роботи деталі та вимог замовника.

### 4.3 Створенні 3D моделі вилівка

Виготовлення 3D-моделі розпочинається після розробки креслення апарата направляючого (Додаток А). 3D-модель потрібно розробити з урахуванням припусків та усадки металу. 3D-модель розробляють в спеціальних 3D редакторах, таких як Компас 3D, SolidWorks, AutoCAD та інших, але здебільшого інженери надають перевагу саме SolidWorks. Розробка моделі вилівка із чавуна та сталі відрізняються. Так для створення моделі із чавуна все, що потрібно прорахувати – це припуска, оскільки чавун має ливарну усадку всього 1%. Для розробки моделі із сталі вже потрібно враховувати крім припусків ще й кількість, розміри та розташування прибилів. Також при створення такої моделі потрібно враховувати її можливість формування для лиття. Оскільки апарат направляючий має складну форму, то без додаткових засобів заформувати його в пісок без поломки відбитку неможливо. В таких випадках ливарник при створенні моделі повинен використовувати стрижні або фальшпідставки.

Отже, для створення 3D-деталі апарата направляючого я використовував програму SolidWorks. Апарат направляючий має складну форму, тому більшу частину на підготовку до видачі креслення в подальшу роботу я витратив саме на створення 3D-деталі апарату (рис.4.5).

Після розробки 3D-деталі апарата починається розробка 3D-моделі цього апарату. Для його проектування, як було зазначено вище, потрібно враховувати розмір припусків, розрахунок прибилі та, найголовніше, проектувати 3D-модель згідно всіх правил розробки моделей для лиття із сталі.

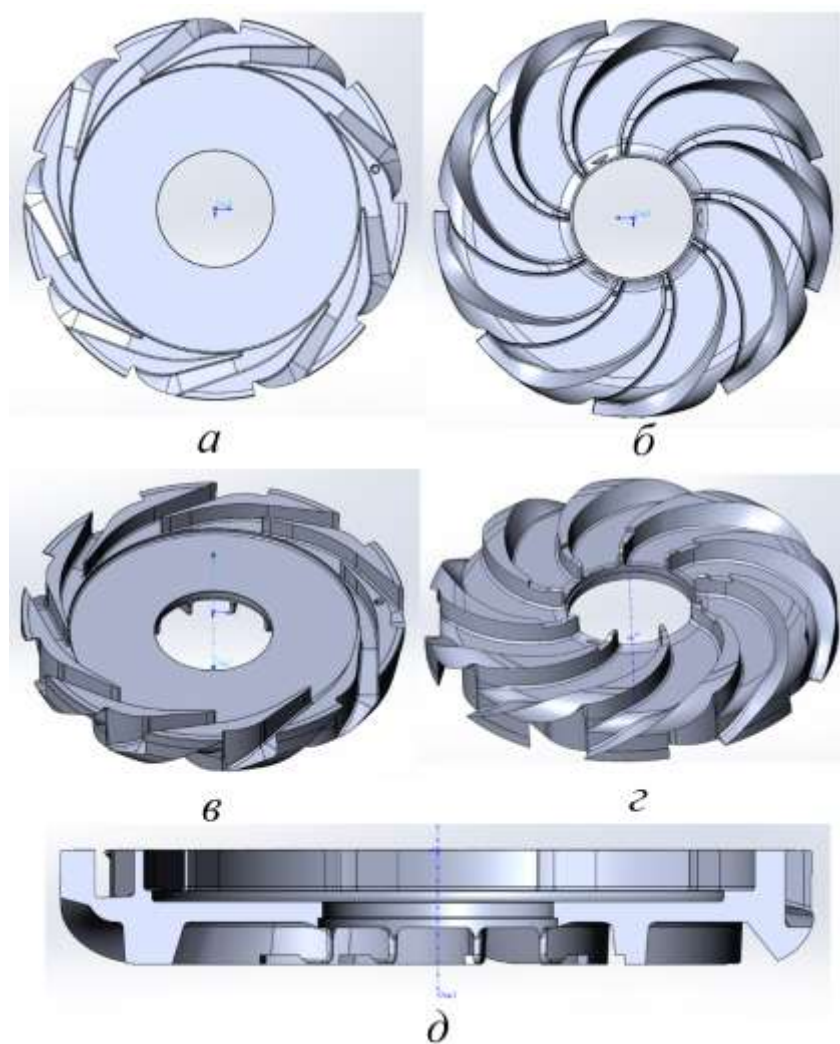
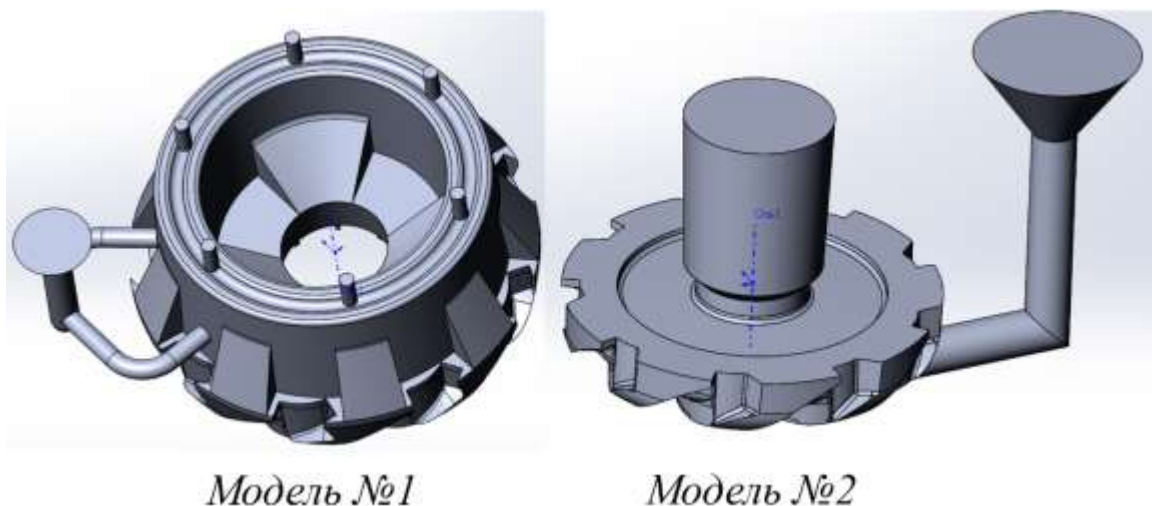


Рисунок 4.5 – 3D-модель апарата направляючого: а – вид зверху; б – вид знизу; в – вид в ізометрії зверху; г – вид в ізометрії знизу; д – вид в розрізі

При розробці 3D-моделі потрібно не забувати і про економічну доцільність. Наприклад, можна створити безліч різних моделей однієї і тієї ж деталі, які будуть добре проливатися та будуть мати малий відсоток браку. На рисунку 4.6 приведений приклад двох різних моделей однієї деталі, але як видно з цього рисунку, використовувати модель № 1 буде економічно недоцільно, оскільки для такого виливка знадобиться набагато більше металу, що приведе до збільшення вартості і самого апарата. Тому при проектуванні деталі потрібно звертати на це не меншу увагу, ніж на розташування прибутків та підрахунку припусків.

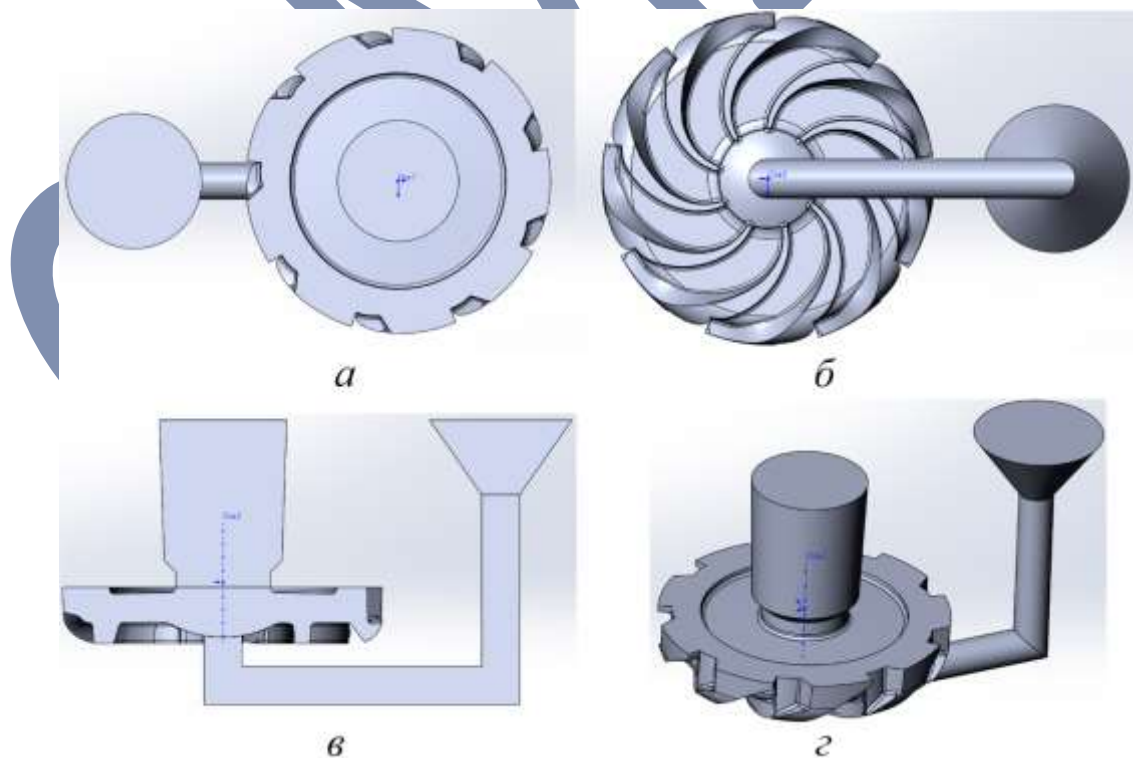


*Модель №1*

*Модель №2*

Рисунок 4.6 – Приклад моделей апарата направляючого

З урахуванням всіх вище перелічених причин при створенні 3D-моделі (рис. 4.7) апарату направляючого я вирішив сильно не збільшувати об'єм самої моделі відносно деталі та вирішив використати лише одну центральну дерев'яну прибил.



*а*

*б*

*в*

*г*

Рисунок 4.7 – 3D-модель апарату направляючого: вид зверху (а); вид з низу (б); вид в розрізі (в); вид в ізометрії (г)

Після розробки 3D-моделі апарата направляючого, його піддають перевірці на усадку в спеціальних програмах. Для цієї операції я користуюся двома програмами:

1. NovaFlow Solid. Цю програму я використовую для перевірки простих по формі та невеликих моделей. Вона проводить розрахунки досить таки швидко, але точність цієї програми, нажаль, невелика, тому при розрахунку складних моделей, вона може видавати некоректні результати;
2. MAGMASOFT®. Цю програму я використовую частіше, оскільки вона хоч і досить довго розраховує результати, але вона видає більш коректні результати. Також інтерфейс та функції даної програми більш розширені та зручніші.

Для перевірки на усадку металу для даної моделі для порівняння я вирішив використати ці дві програми. На рисунку 4.8 та рисунку 4.9 наведені результати розрахунку в програмі NovaFlow Solid. Як видно по результатам, основний об'єм утворення усадкових раковин знаходиться в ливниковій системі, прибилі та в середині моделі. Незважаючи на те, що в моделі присутні усадкові раковини, це не буде вважатися браком і модель переробляти непотрібно, оскільки ці дефекти знаходяться досить таки високо, і тому вони будуть убиратися механічно, а в самій деталі цих дефектів не буде.

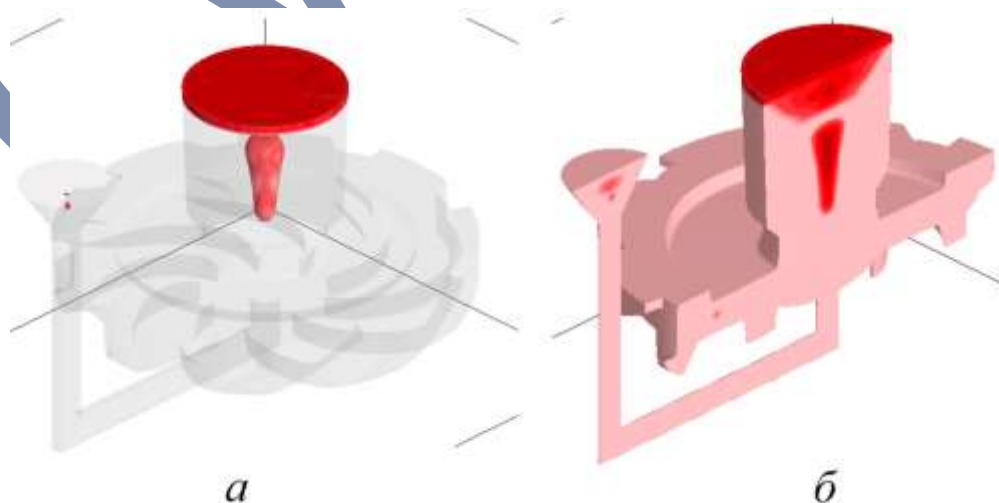


Рисунок 4.8 – Результати розрахунку усадкових раковин в програмі NovaFlow Solid: вид x-ray (а); вид в розрізі (б)

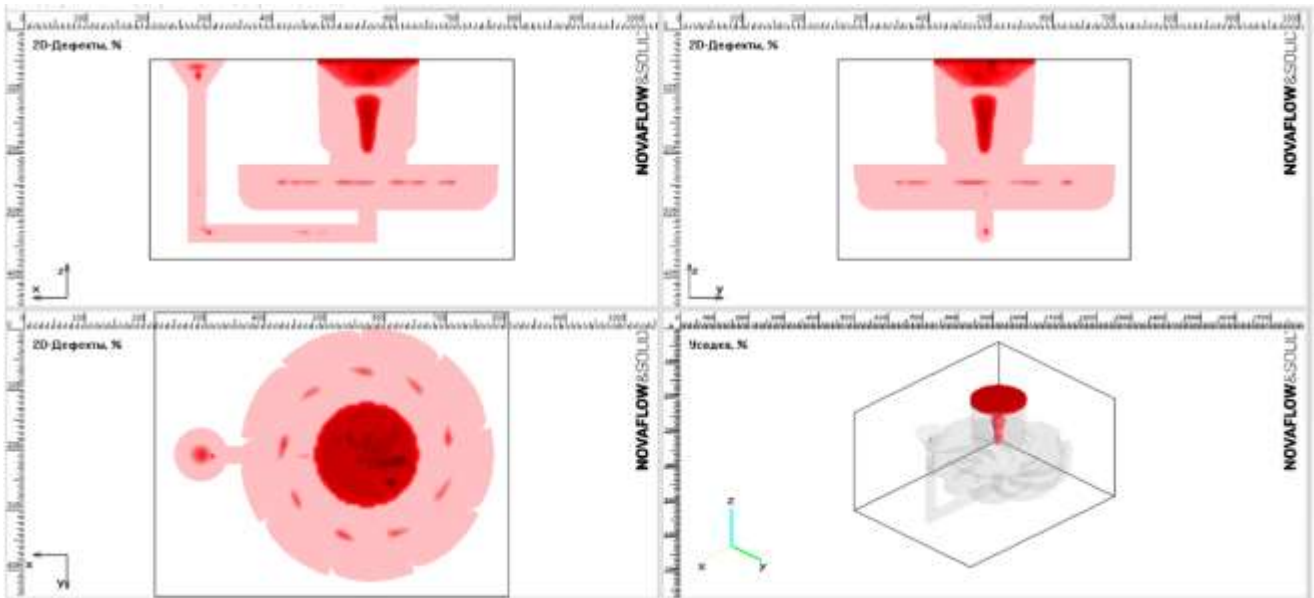


Рисунок 4.9 – Результати розрахунку усадкових раковин в програмі NovaFlow Solid, чотири види

Після цього я провів ті ж самі розрахунки, але вже в програмі MAGMASOFT. На рисунку 4.10 наведені результати розрахунку на утворення усадкових раковин. Як видно з рисунку, результати з попередньою програмою не сильно відрізняються, а отже дану модель можна вважати вдалою. Також на рисунку 4.11 приведено вигляд усадкових раковин.

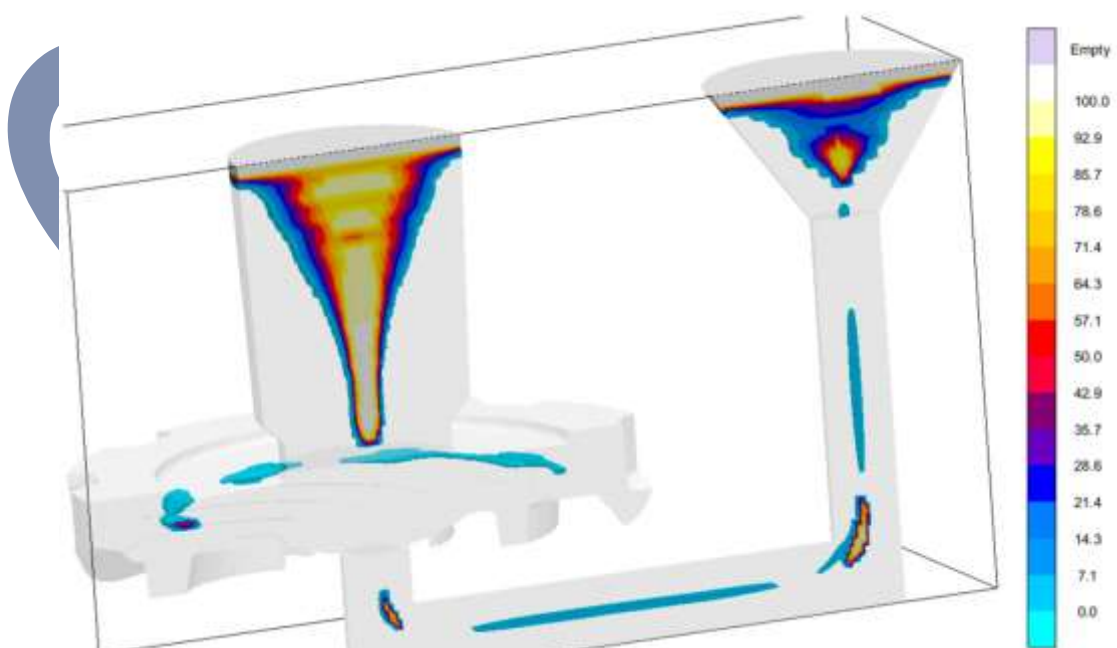


Рисунок 4.10 – Результати розрахунку усадкових раковин в програмі MAGMASOFT ®

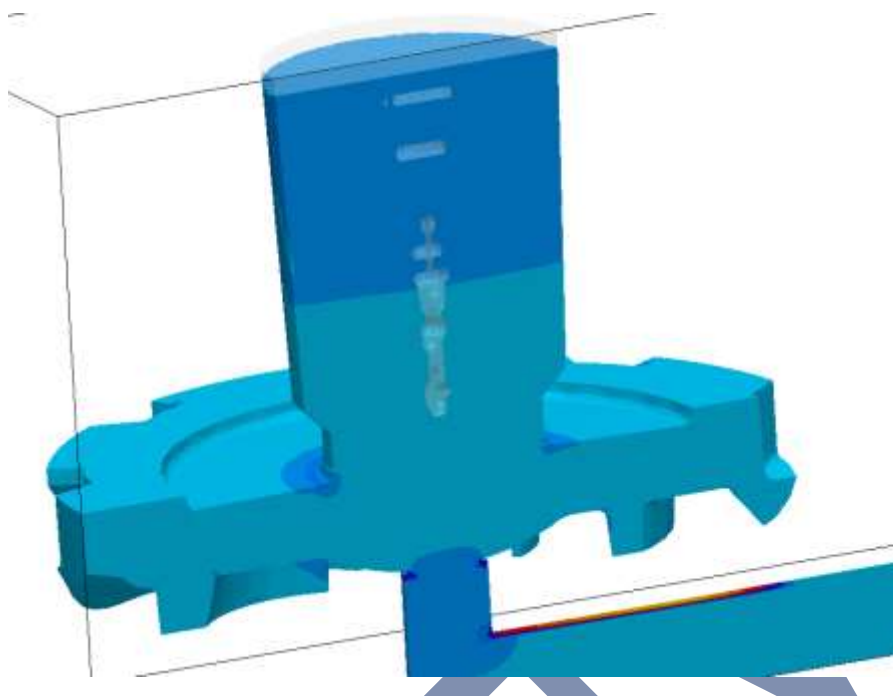


Рисунок 4.11 – Вид усадкових раковин

Коли з моделлю вилівка визначилися, починається розробка ливарного варіанта креслення (Додаток Б) (рис.4.12). Дана операція є однією із самих легких та швидких, оскільки для розмітки вже є все потрібні данні. Розмітка креслення відбувається згідно ГОСТ 3212-92 [26]. Згідно цього ГОСТу припуски прибилі, та елементи ливникової форми позначаються червоним кольором, а роз'єм моделі – синім.

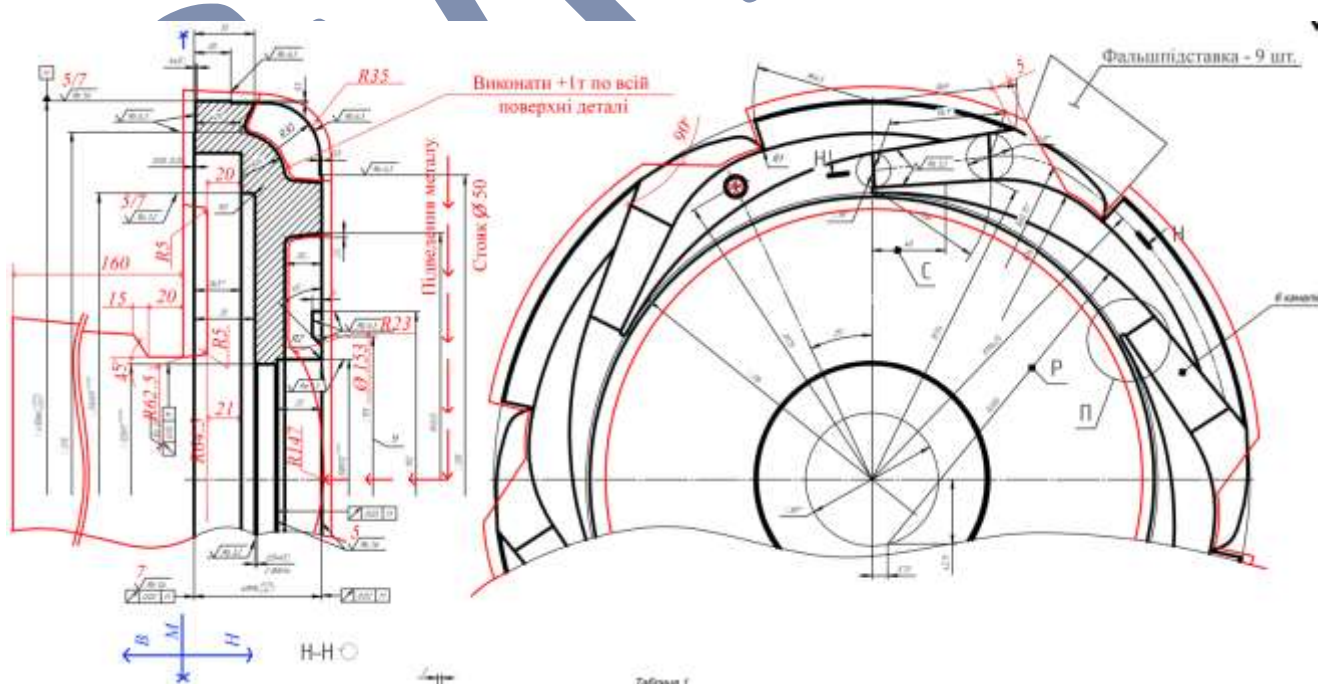


Рисунок 4.12 – Розмітка ливарного варіанту креслення

При нанесенні на креслення припусків головне пам'ятати, що їх можна наносити лише на ті поверхні, які мають знак обробки. Цей знак позначається шорсткістю деталі, наприклад  $\sqrt{Ra\ 3.2}$ , а в місцях, де цієї обробки нема, або стоїть знак литої поверхні ( $\surd$ ) зазвичай додають припуск в 1 мм та позначають його 1т. Цей розмір означає, що на поверхню потрібно додати 1 мм технологічного припуску для врахування усадки металу в 2 %. Через складну модель канавок апарата направляючого його неможливо буде витягнути з форми, щоб не зламати відбиток, тому потрібно використовувати додаткові засоби. В даному випадку це можуть бути як стрижні, так і фальшпідставки. В даному випадку було прийнято рішення використовувати саме фальшпідставки, які виготовляються з дерева. Фальшпідставки не модулюються інженерами при створенні 3D-моделі, оскільки вони не впливають на аналіз цієї моделі на утворення усадкових раковин. Фальшпідставки позначаються на кресленні сірим кольором, та в більшості випадків не мають ніяких розмірів. Це пов'язано з тим, що їх розмітка є важкою, оскільки більшість креслень не мають потрібних видів для їх розмітки, а також це пов'язано з тим, що всі вони виконують функцію додаткових кріплень або площин, які виконують функцію заповнення якоїсь пустоти або створення додаткових об'ємних частин моделі для їх зручного формування, тому їх розміри неважливі при їх виготовленні. Це пов'язано з тим, що місце зіткнення моделі та фальшпідставки повторює форму самої моделі, а місця де вони не стикаються неважливі, і можуть мати любі розміри, які допоможуть з формовкою відбитка моделі в опоках. Оскільки даний апарат направляючий має 9 каналів, то для даної моделі використовується 9 фальшпідставок [24- 26].

## Висновки

Даний апарат направляючий був виготовлений за допомогою лиття. Серед багатьох видів лиття було обране найпростіше та найпоширеніший спосіб – лиття в піщано-глиняні одноразові форми. Сутність цього методу полягає в тому, що для нього виготовлюють модель із дерева або металу та роблять зліпок в спеціальній формувальній суміші, яку засипають в опоки. В більшості випадках використовують дві опоки, але іноді буває, що використовують три і більше опок.

Особливості механічної обробки апарата полягає в тому, що для механічної обробки обов'язково потрібно застосовувати ЧПУ фрезерні станки. Для даного апарата буде достатньо 3-х координатного ЧПУ станку. Цей станок використовують для фрезерування каналів, які мають складну форму. Для обробки центральної та внутрішньої частини використовують карусельні токарні станки.

Особливість термічної обробки полягає в тому, що апарат із сталі 08X14H7МЛ (ВНЛ-1) піддають обробці холодом. Це пов'язано з тим, що дана сталь відноситься до холодостійких сталей, які здатні працювати в умовах низьких температур (- 197 °С). Сталь потрібно обробити холодом не пізніше, ніж через 2 год. після гартування. Бажано піддати її обробці холодом одразу після гартування.

Для розробки моделі із сталі потрібно враховувати крім припусків ще й кількість, розміри та розташування прибілів. Також при створення такої моделі потрібно враховувати її можливість формування для лиття. Оскільки апарат направляючий має складну форму, то без додаткових засобів заформувати його в пісок без поломки відбитку неможливо. В таких випадках ливарник при створенні моделі повинен використовувати стрижні або фальшпідставки. При розробці 3D-моделі потрібно не забувати і про економічну доцільність.

Розмітка креслення відбувається згідно ГОСТ 3212-92. При нанесенні на креслення припусків головне пам'ятати, що їх можна наносити лише на ті поверхні, які мають знак обробки. Цей знак позначається шорсткістю деталі, наприклад  $\sqrt{Ra\ 3.2}$ , а в місцях, де цієї обробки нема, або стоїть знак литої поверхні зазвичай додають припуск в 1 мм та позначають його 1 т.



## РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

### 5.1 Термічна обробка деталі «апарат направляючий насосу ЦНС 240-2»

При роботі апарати направляючи насосів типу ЦНС 240-2 піддаються постійному навантаженні, тому для того, щоб вони не виходили із строю їх піддають термічній обробці. Термічною (або тепловою) обробкою називається сукупність операцій нагрівання, витримки та охолодження твердих металевих сплавів з метою отримання заданих властивостей за рахунок зміни внутрішньої будови та структури. Теплова обробка використовується або як проміжна операція для поліпшення оброблюваності тиском, різанням, або як остаточна операція технологічного процесу, що забезпечує заданий рівень властивостей виробу. До видів термічної обробки відносяться гартування, нормалізація, відпуск, відпал, старіння та обробка холодом. Також іноді для надання деталі особливих механічних властивостей використовують хіміко-термічну обробку [25, 27].

В більшості випадках термічна обробка поділяється на попередню та кінцеву, особливо якщо деталь була виготовлена за допомогою лиття, але сталь ВНЛ-1 відноситься до класу сталей, які не піддають попередній термічній обробці, тобто не піддають відпалу або нормалізації. Для даної сталі використовується лише кінцева термічна обробка [25, 27].

Сталь ВНЛ-1 є холодостійкою, тому основним етапом її термічної обробки є обробка холодом. Як вже було зазначено, головною особливістю обробки таких сталей є те, що їх потрібно піддати обробці холодом не пізніше 2 год. після гартування, тому важливо, щоб гартувальні печі та криогенні камери знаходилися недалеко одна від одної.

Гартування – вид термічної обробки металів та сплавів, що полягає в їх нагріванні вище критичної точки (температури зміни типу кристалічної решітки, тобто поліморфного перетворення, або температури, при якій у матриці розчиняються фази, що існують при низькій температурі), з наступним швидким охолодженням. Матеріал, що зазнав загартування, набуває більшої твердості, але

стає крихким, менш пластичним і менш в'язким [27].

Мета гартування сталей – одержати мартенситну структуру з рівномірним розподілом вуглецю й підвищити твердість та міцність сталі. Гартування сталі проводять спочатку нагріванням виробу вище від температури фазового перетворення у структуру аустеніту, після чого виріб охолоджують зі швидкістю, достатньою для переходу у нерівноважну структуру (мартенсит), яка виключає можливість дифузійного розпаду аустеніту в перлітній і бейнітній областях. Найменша швидкість охолодження, що забезпечує розвиток мартенситного перетворення, називається критичною і залежить від вмісту у сталі вуглецю та легувальних елементів (чим складнішим є хімічний склад сталі, тим нижчою є критична швидкість охолодження). Мінімальна швидкість охолодження вуглецевих сталей, при якій не відбувається розпад аустеніту (критична швидкість), становить 150-300 °C/с. Мартенситне перетворення відбувається в умовах безперервного охолодження в інтервалі температур початку та кінця перетворення [27].

Обробка холодом або криогенна обробка металів – це процес обробки металевих заготовок і готових металевих виробів при наднизьких температурах (нижче -153 °C) з метою зняття залишкових напруг і підвищення зносостійкості деталей. Даний вид термічної обробки сприяє збільшенню твердості, зносостійкості та міцності металів у результаті трансформації залишкового аустеніту в мартенсит [27].

Згідно ОСТ 1 90090-79 [28] на сталі ВНЛ-1, рекомендований для неї режим термічної обробки полягає в гартуванні, обробці холодом та відпуску (рис. 5.1).

Відпуск – технологічний процес, що полягає в термічній обробці загартованого на мартенсит металу або сплаву, при якій основними процесами є розпад мартенситу, а також полігонізація і рекристалізація. Відпуск проводять з метою отримання більш високої пластичності та зниження крихкості матеріалу при збереженні прийняттого рівня його міцності [27].

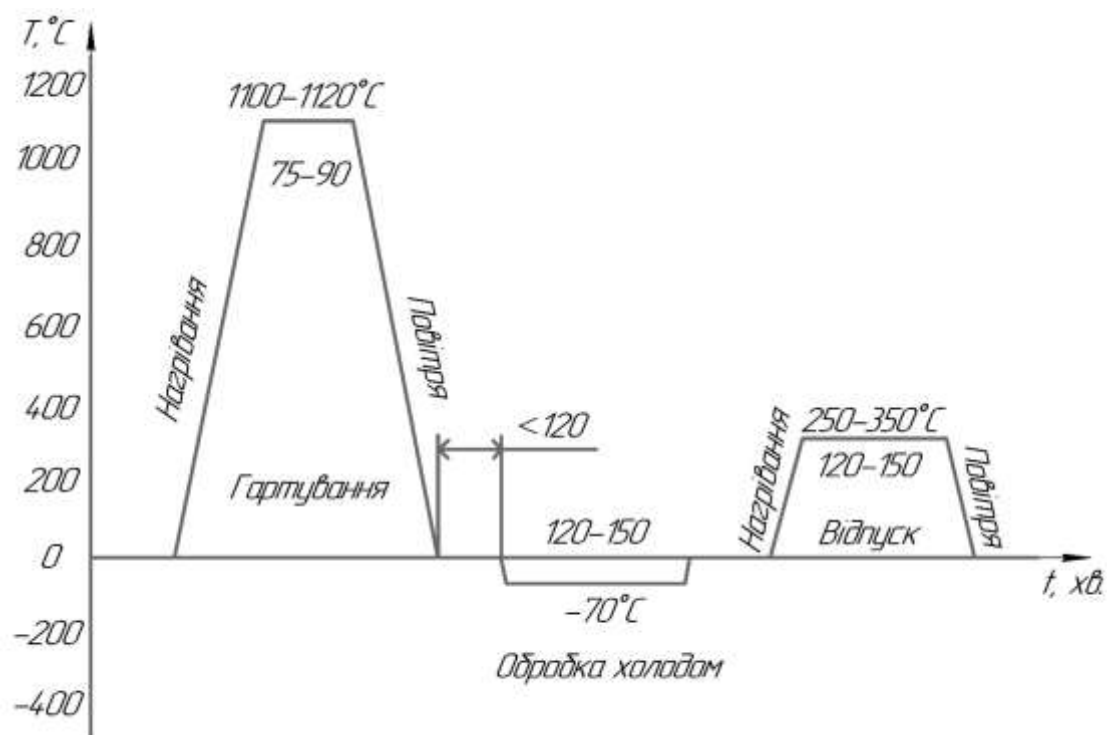


Рисунок 5.1 – Графік термічної обробки сталі 08X14H7МЛ (ВНЛ-1)

Гартування сталі ВНЛ-1 було проведено при температурі  $1100-1120^\circ\text{C}$  з витримкою  $75-90$  хвилин. Зазвичай при гартування сталь охолоджують в воді або маслі, але оскільки дана сталь є складною за хімічним складом та містить  $0,08\%$  вуглецю, то її охолоджують на повітрі. Даний метод охолодження також зазначений в ОСТ 1 90090-79 [28]. Оскільки в сталі 08X14H7МЛ міститься  $0,08\%$  вуглецю, то після гартування структура сплаву складається з голчатого мартенситу. Після охолодження виліток до температури цеху, але не пізніше ніж через 2 години, виліток потрібно піддати обробці холодом.

Для сталі ВНЛ-1 після завантаження виліток до морозильної камери треба охолодити виліток до температури  $-70^\circ\text{C}$  з витримкою  $120-150$  хвилин. Після проходження цього часу вийняти виліток з морозильної камери та нагріти до температури цеху шляхом самонагрівання на повітрі. Дана операція зменшує залишкові напруження в сталі.

Після обробки холодом починається остання операція термічної обробки – відпуск. Дану операцію проводять для всіх сталей та сплавів, а також вона завжди є останньою. Це пов'язано з тим, що відпуск проводять з метою усунення

внутрішніх напружень в сталі, та робить структуру цієї сталі більш рівномірною. Для сталі ВНЛ-1 було прийнято піддати сталь нагріву до 250-350 °С з витримкою в 120-150 хвилин.

При термічній обробці деталей з ними кладуть так звані зразки-свідки. Це такі невеликі куски такого ж металу як і деталь. Ці зразки використовують як розхідний матеріал, на якому проводять всі експерименти (твердість, пластичність та інші), щоб не зіпсувати саму деталь. Зразки-свідки мають переріз, рівний найбільшому перерізу деталі. Це пов'язано з тим, що чим товще переріз деталі, тим більше часу потрібно для його нормального прогартовування, тому для найбільш правдоподібних даних цей пункт є дуже важливим.

Оскільки дану сталь легували при переплавці для лиття, то особливо важливо після затвердіння вилівка перевірити його фактичний хімічний склад (рис.4.3) та бажано зробити структурний аналіз литої деталі. В таблиці 5.1 наведений фактичний хімічний склад сталі ВНЛ-1. В ОСТ 1 90090-79 [28] наведені допустимі відхилення від норми хімічного складу, тому, щоб уникнути проблем в майбутньому, бажано, щоб фактичний хімічний склад повністю відповідав нормам ОСТу.

Таблиця 5.1 – Фактичний склад сталі ВНЛ-1

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	S	P
Не більше						Не більше	
0,078	0,72	0,77	14,34	6,46	0,87	0,024	0,027

Після затвердіння вилівка було проведено структурний аналіз сталі. На рисунку 5.2 наведені структури сталі ВНЛ-1 до травлення (рис 5.2, а) та після травлення (рис. 5.2, б-ж). На структурі без травлення неможливо розглянути структуру сталі, тому на ній видно лише дефекти лиття (чорні точки). Як видно на рисунку 5.2, б-ж, після лиття ми вже маємо голчасту мартенситну структуру сталі. Також можна побачити, що хоч всі знімки були зроблені з одного зразка, всі вони різні. Це пов'язано з тим, що лита структура є дуже неоднорідною, тому на різних

ділянках ми маємо різні результати. Наприклад на рисунку 5.2, ж, видно великі чорні ділянки. Ці ділянки – це неметалічні включення (бруд) або ж дефекти лиття (усадкові раковини).

Також на рисунках (рис. 5.2, б-ж) видно, що при однаковому збільшенні в  $\times 100$ , голки мартенситу мають різний розмір. Це пов'язано з особливостями затвердіння металу. Як і при гартуванні, швидкість охолодження впливає на розмір зерна, тобто, чим швидше відбувається охолодження сталі, тим більш дрібним буде його зерно. Оскільки вилівки охолоджуються зовні набагато швидше, чим в середині деталі, ми отримуємо результати того, що на невеликій глибині (рис 5.2, б, ж) ми маємо досить таки малий розмір зерна, а ближче до центру деталі ми отримуємо більш крупні зерна.

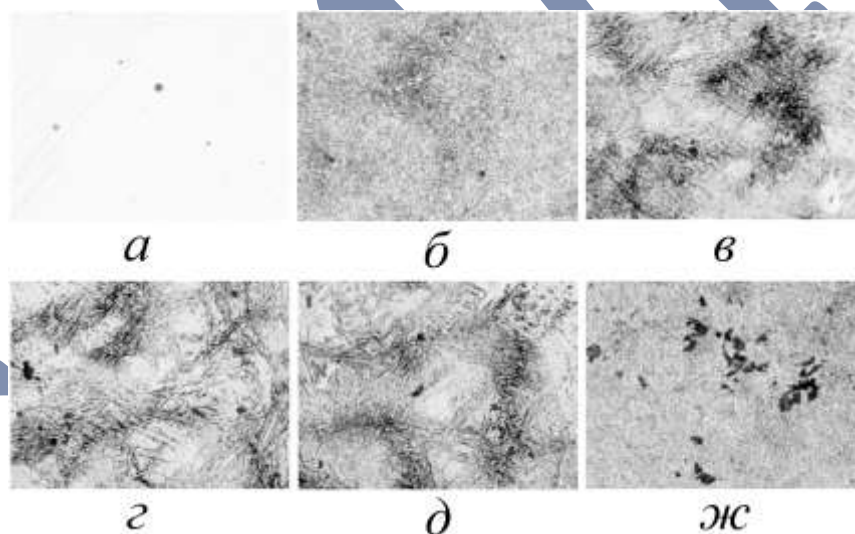


Рисунок 5.2 - Мікроструктура сталі ВНЛ-1 після лиття, збільшення  $\times 100$ : структура до травлення (а); структура після травлення (б-ж)

Після термічної обробки (гартування, обробка холодом, відпуск) було зроблено структурний аналіз сталі ВНЛ-1 (рис. 5.3). Як видно з рисунку 5.3, після термічної обробки структура сталі стала більш рівномірною. Також видно різницю в розмірі зерна. На відміну від структури литої сталі, термічно оброблена має більш малий розмір зерна, що надає сталі більш високу твердість та зносостійкість, що в

свою чергу збільшує термін використання апарата направляючого. Структура складається з голчастого мартенситу та аустеніту. Чорні точки на структурі – це неметалеві включення або раковини. Наявність таких дефектів погіршує механічні властивості сталі, тому часто буває, що такі деталі можуть віднести до браку. На даних структурах така кількість дефектів через те, що зразок-свідок був навмисно вирізаний з верхньої частини прибутку, де присутні найбільші дефекти, для того, щоб показати ці дефекти на прикладі.

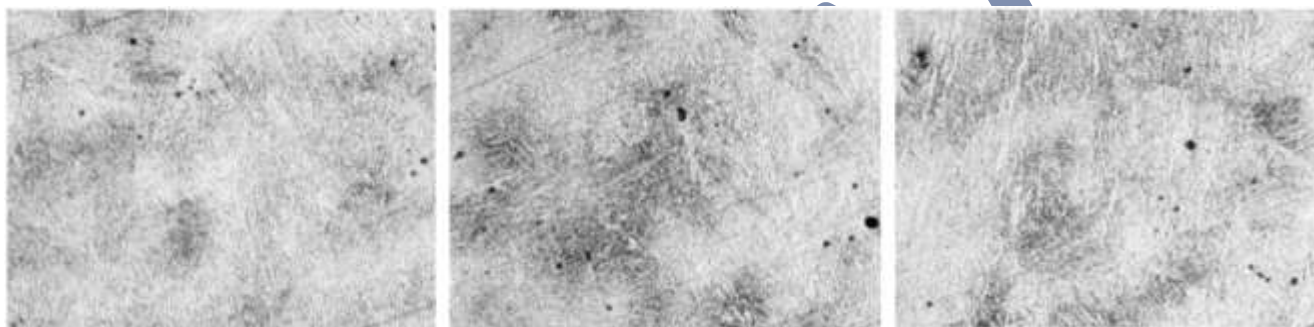


Рисунок 5.3 – Мікроструктура сталі ВНЛ-1 після термічної обробки, збільшення x100

Згідно ГОСТ 8233-56 можна визначити бал зерна сталі. Після лиття зерна сталі досить такі великі, а структура неоднорідна, тому в різних місцях сталь має різний бал зерна. Виходячи з цього, можна сказати, що бал зерна сталі ВНЛ-1 після лиття становить 3-5 бал. Після термічної обробки сталі, її зерна становляться більш дрібними, що покращує її механічні властивості. На розмір зерна впливають швидкість охолодження сталі, а оскільки в нашому випадку після гартування сталь охолоджували на повітрі, то її розмір зерна хоч і став більш дрібним, але не так сильно, як після охолодження в маслі або воді. Бал зерна сталі ВНЛ-1 після термічної обробки становить 6-7 бал [29].

Після проведення термічної обробки твердість сталі становить 36 HRC.

## 5.2 Вибір необхідного обладнання для отримання апарата направляючого насосів типу ЦНС 240-2

Для термічної обробки апаратів направляючих використовують всього два типи печей: камерні печі та криогенну камеру (криогенний процесор).

Камерні печі використовують як для гартування, так і для відпуску металевих деталей, але вони мають різну максимальну температуру нагріву. Тому для гартування використовують камерні печі з температурою нагрівання до 1250 °С, а для відпуску можна використовувати камерні печі з робочими температурами до 600 °С.

Для гартування апарата направляючого можна використовувати камерні термічні печі українського виробництва типу СНО-6.12.4/12,5 (рис 5.4) [30].



Рисунок 5.4 – Камерна електротермічна піч СНО-6.12.4/12,5 [30]

Камерна електропіч СНО-6.12.4/12,5 з вентилятором призначена для промислового використання. Електротермічна піч обладнана системою автоматичного регулювання температури на основі твердотільних безконтактних реле та мікропроцесорного терморегулятора, що задає температуру, час набору температури та час витримки садка при зазначеній температурі. Можливе

встановлення терморегулятора з виходом на комп'ютер за допомогою інтерфейсу та програмного забезпечення для архівування процесів термообробки. Пульта управління роботою печі розміщено на лівому боці печі. Є автоматика безпеки – відключення живлення нагрівачів під час відчинення дверей; при перегріванні печі; при перегріві силових блоків; після закінчення циклу термообробки. Нагрівачі з фехралі розміщені на трубках у пазах бічних та торцевих стін печі, у поду та на дверях. Подові нагрівачі закриті керамічними плитками. Корпус печі виготовлений із конструкційної сталі. Багат шарова футеровка печі виготовлена із сучасних енергозберігаючих вогнетривких та теплоізолюючих матеріалів. В електропечі є припливне та витяжне (з пробкою) вентиляційні отвори для видалення можливих газових виділень [30].

Під склепінням печі поза робочим простором встановлено робоче колесо вентилятора з дифузоровим жаростійкої сталі для зменшення нерівномірності розподілу температури по робочому простору печі [30].

В електропечі передбачена можливість встановлення двох знімних екранів із жаростійкої сталі (3 мм, з ребрами жорсткості) для захисту садка від прямого випромінювання бічних нагрівачів при обробці виробів із алюмінієвих сплавів (до 500 °С) та титанових (до 900 °С). Торцеві та дверні нагрівачі при цьому відключатимуться і їх не потрібно екранувати. В таблиці 5.2 наведені деякі технічні характеристики печі СНО-6.12.4/12,5 [30].

Таблиця 5.2 – Технічні характеристики камерної печі СНО-6.12.4/12,5 [30]

<b>Технічні характеристики</b>	<b>СНО-6.12.4/12,5</b>
Номінальна потужність, кВт	47 ±5
Параметри електроживлення	3×380 В, 50 Гц
Максимальна температура в робочому просторі, °С	1250
Діапазон автоматичного регулювання температури, °С	40 - 1250
Розміри робочого простору, ширина × довжина × висота, мм	600 × 1200 × 400
Габаритні розміри, ширина × довжина × висота, мм	1600 × 2000 × 2350



Продовження таблиці 5.2

Технічні характеристики	СНО-6.12.4/12,5
Середовище у робочому просторі	Повітря
Стабільність регулювання температури в тепловому режимі, що встановився, без садки, °С	± 3
Механізм підйому дверей	Електропривод
Розрахункова вага, кг	2300

Кріогенні камери (кріогенні процесори) використовують для обробки металевих деталей холодом. Вони призначені для проведення термічної обробки металопродукції у температурному діапазоні від +20 °С до -196 °С з метою покращення її експлуатаційних (міцнісних) характеристик.

Кріогенна камера – це ізотермічна ємність, оснащена системою керування процесом термічної обробки, термодатчиком, системою дозованої подачі холодоагенту, кріогенною судиною, системою вентиляції. Склад кріогенної камери визначається специфікацією і складається з (рис 5.5) [31]:

- камери охолодження;
- несучого корпусу;
- кришки камери охолодження;
- системи дозованої подачі холодоагенту;
- системи вентиляції;
- нагрівальних елементів;
- корпуси системи керування;
- системи управління.

Кріогенна обробка металопродукції проводиться за наднизьких температур. Досягнення таких температур (до мінус 196°С) відбувається за рахунок використання рідкого азоту за ГОСТом 9293-74 «Азот газоподібний і рідкий. Технічні умови» [32]. Хладагент зберігається і подається з окремої ємності - кріогенної судини.



Рисунок 5.5 – Складові кріогенної камери [31]

Для обробки апарата направляючого холодом можна використовувати модельну кріогенну камеру (від  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) типу КП-0,2 [31]. В таблиці 5.3 наведені технічні характеристики цієї камери.

Таблиця 5.3 – Технічні характеристики кріогенної камери КП-0,2 [31]

Технічні характеристики	КП-0,2
Максимальна потужність, кВт	4,5
Місткість камери охолодження, л	200
Максимальна загрузка, кг	200
Маса не більше, кг	200
Розміри робочого простору, ширина $\times$ довжина $\times$ висота, мм	500 $\times$ 800 $\times$ 500
Габаритні розміри, ширина $\times$ довжина $\times$ висота, мм	1050 $\times$ 1500 $\times$ 1150
Напруга, В	380

Конструкція кріогенної камери забезпечує перебіг «сухого» процесу обробки. За рахунок випаровування рідкого азоту всередині колектора

відбувається зниження температури усередині камери. У кришці камери змонтовано систему циркуляції (відцентрові вентилятори з електродвигунами). Таким чином, ймовірність контакту рідкого азоту з оброблюваними деталями та виробами повністю виключається. Це дозволяє запобігти термічному удару та появі мікротріщин та деформацій обробленої металопродукції [31].

Система управління процесом обробки розташована на корпусі камери. При роботі камери система контролює відповідність показань термодатчика заданій програмі та при необхідності відкриває електромагнітний клапан для подачі рідкого азоту, що дозволяє контролювати температуру з точністю до 1 °С [31].

Перебіг процесу криогенної обробки можна спостерігати на дисплеї у вигляді графіків, що відображають температурно-часові параметри кожного етапу обробки. На рисунку 5.6 наведена принципова схема камери для криогенної обробки [31].

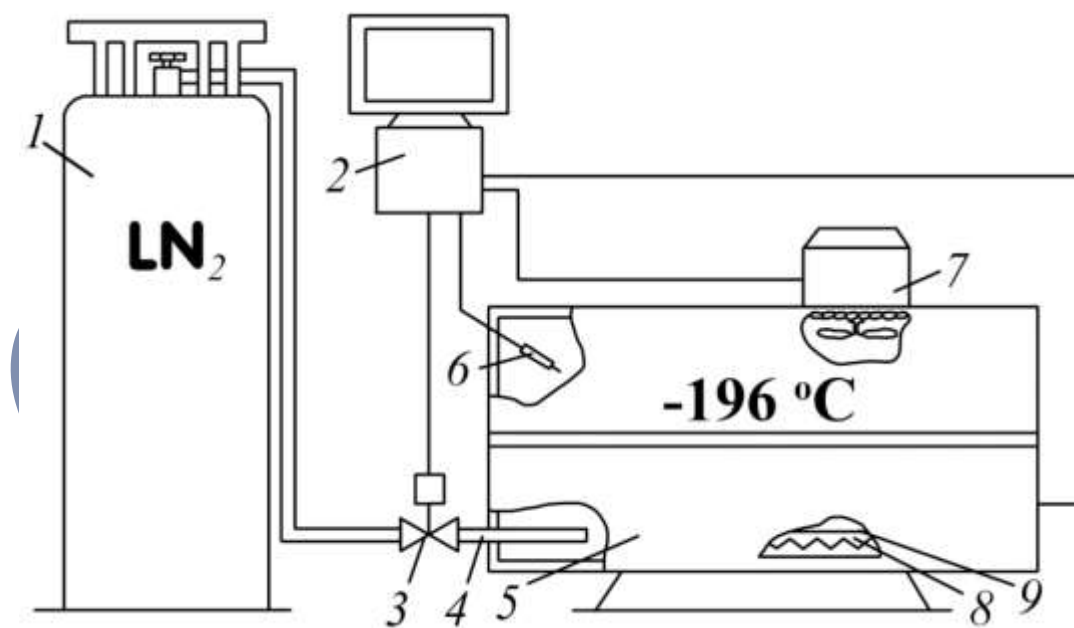


Рисунок 5.6 – Принципова схема для криогенної обробки: 1 – ємність з рідким азотом; 2 – система управління криогенною обробкою; 3 – криогенний електромагнітний клапан; 4 – Трубопровід подачі азоту; 5 – криогенна камера; 6 – термопара; 7 – вентилятор; 8 – електронагрівач; 9 – перфорована площадка об'єкта, що оброблюється [31]

Для відпуску апарата направляючого можна використовувати камерні печі з максимальною температурою нагріву до 600 °С – СДО-7.30.7/6 И2 (рис. 5.7) [33].



Рисунок 5.7 – Піч з висувним подом СДО-7.30.7/6 И2 [33]

Електропіч з висувним подом СДО-7.30.7/6 И2 з вентилятором. Нагрівачі розміщені в нішах бічних стін печі. Робоча камера печі виготовлена із нержавіючої сталі. У печі є припливно-витяжні вентиляційні отвори з шиберами та фланцями для видалення, за необхідності можливих газових виділень. Електропіч обладнана системою автоматичного регулювання температури на основі твердотільних безконтактних реле та мікропроцесорного терморегулятора, що дозволяє задавати температуру, час набору температури та час витримки садка за вказаної температури. Можливе встановлення терморегулятора з виходом на комп'ютер для архівування процесів термообробки. Електропіч футерована волокнистими теплоізоляційними матеріалами та призначена для промислового використання. Шафа управління поміщена на боці печі. Примусова циркуляція повітря здійснюється у горизонтальній площині вздовж виробу трубчастої форми. Можливе виготовлення печі з циркуляцією повітря у вертикальній площині. Відкриття одностулкових дверей і викочування пода виконуються вручну (можливе встановлення електроприводів). В таблиці 5.4 наведені технічні характеристики цієї печі [33].

Таблиця 5.4 – Технічні характеристики камерної печі СДО-7.30.7/6 И2 [33]

Технічні характеристики	СДО-7.30.7/6 И2
Номінальна потужність, кВт	30 ±5
Параметри електроживлення	3×380 В, 50 Гц
Максимальна температура в робочому просторі, °С	600
Діапазон автоматичного регулювання температури, °С	40 - 600
Розміри робочого простору, ширина × довжина × висота, мм	700 × 3000 × 700
Габаритні розміри, ширина × висота × довжина (довжина без зовнішніх рейок), мм	1450 × 1400 × 7500 (4000)
Марка терморегуляторів / тип термопар	ТРП-08-ТП (за замовчуванням) / ТХК
Стабільність регулювання температури в тепловому режимі, що встановився, без садки, °С	± 3
Нерівномірність розподілу температури за об'ємом камери, в постійному режимі, °С, не більше	± 5
Розрахункова вага, кг, ± 15 %	800

## Висновки

Для виготовлення апарата направляючого насосу ЦНС 240-2 було прийнято використовувати холодостійку ливарну сталь 08X14H7МЛ (ВНЛ-1). Вона містить 0,08 % вуглецю, 14 % хрому, 7 % нікелю та молібдену до 1 %. Термічна обробка для даної сталі складається з гартування, обробки холодом і відпуском.

Гартування сталі ВНЛ-1 було проведено при температурі 1100-1120 °С з витримкою 75-90 хвилин. Зазвичай при гартуванні сталь охолоджують в воді або маслі, але оскільки дана сталь відноситься до аустенітно-мартенситного класу, то її охолоджують на повітрі.

Для сталі ВНЛ-1 після завантаження виробу до морозильної камери треба охолодити його до температури -70 °С з витримкою 120-150 хвилин. Після проходження цього часу виїняти виріб з морозильної камери та нагріти до температури цеху шляхом самонагріванням на повітрі. Дана операція зменшує залишкові напруження в сталі.

Після обробки холодом починається остання операція термічної обробки – відпуск. Дану операцію проводять для всіх сталей та сплавів, а також вона завжди є останньою. Це пов'язано тим, що відпуск проводять з метою усунення внутрішніх напружень в сталі. Для сталі ВНЛ-1 було прийнято піддати сталь нагріву до 250-350 °С з витримкою в 120-150 хвилин.

Після гартування сталь ВНЛ-1 має голчасту мартенситно-аустенітну структуру, розмір зерна відповідає 6-7 балу, а твердість по Бринеллю становить 36 одиниць НРС.

Для проведення термічної обробки застосовували камерні пічі типу СНО-6.12.4/12,5 та СДО-7.30.7/6 И2, а також модельну криогенну камеру (від +20 °С до -196 °С) типу КП-0,2.

## ВИСНОВКИ

1. В кваліфікаційній бакалаврській роботі було проаналізовано призначення та умови роботи апарата направляючого насосу ЦНС 240-2.

2. Були проаналізовані можливі причини виходу з ладу апарату направляючого насосів типу ЦНС 240-...-2. Основна причина виходу з ладу направляючих апаратів: недостатня захищеність підшипників лопаток і інших елементів апаратів від абразивного пилю; вихід деталі із строю під дією постійного або часткового вологого середовища, тобто в наслідок корозії під дією напруги або води; вихід деталі із строю при агресивному повітряному середовищі; поява пластичних деформацій в результаті великих навантажень на деталь; вихід із строю в наслідок роботи при дуже низьких температурах (холодноламкість); вихід із строю деталі в наслідок втомного характеру; електрохімічна корозія; вихід із ладу через кавітацію.

3. Для виготовлення апарата направляючого було використано холодостійку ливарну високолеговану сталь 08X14H7MЛ (ВНЛ-1). Характерною ознакою холодостійких сталей є низький вміст вуглецю. Зазвичай він становить не більше 0,08 % вуглецю.

4. Для виконання всіх вимог було складено маршрутну карту отримання апарату направляючого. Також було зазначено обладнання для термічної обробки цього апарату. Термічна обробка даної сталі складається з гартування, обробки холодом і відпуску.

5. Після термічної обробки апарата направляючого із сталі ВНЛ-1 отримано твердість 36 HRC, сталь має голчасту мартенситно-аустенітну структуру та розмір зерна відповідає 6-7 балу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

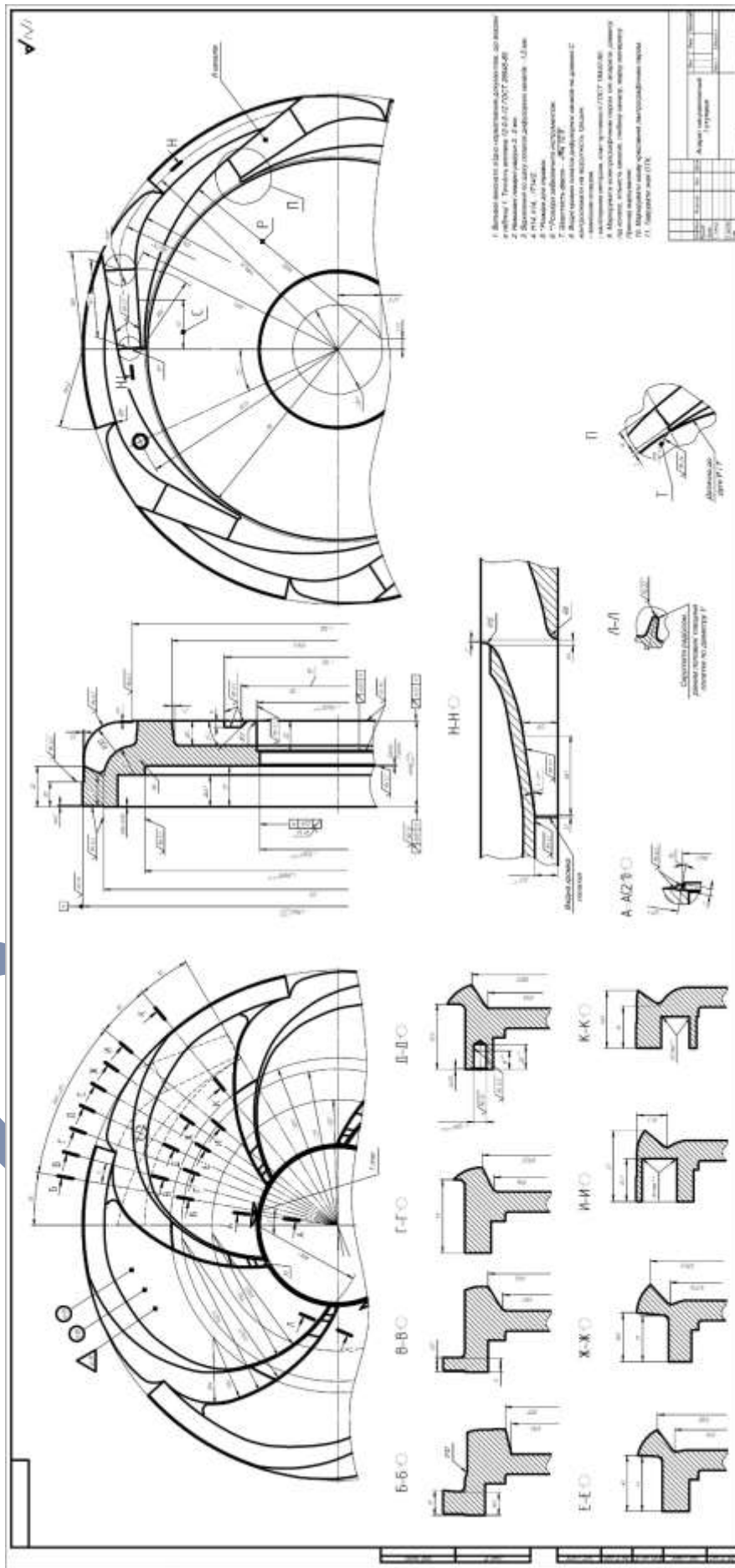
1. ЦНС 240 – Сумська насосна техніка [Електронний ресурс]: <https://sumnt.com/production/nasosy-tipa-cns/nasosy-cns-240/>
2. Насоси ЦНС каталог [Електронний ресурс]: <https://frunze.com.ua/wp-content/uploads/2021/01/nasos-CNS.pdf>
3. Насосне обладнання – АТ «СМНВО-Інжиніринг» [Електронний ресурс]: <https://frunze.com.ua/produkcija-3/nasosi-zagalnopromislovi/>
4. Апарат направляючий до насосів ЦНС – ІНКО [Електронний ресурс]: <https://sealinco.ru/product/stalnoe-lite/nasha-produktsiya/apparat-napravlyayushchiy-k-nasosam-tsns/>
5. Українська асоціація сталеплавильників. Спеціальні методи лиття [Електронний ресурс]: <https://uas.su/books/specialmethodsforcasting/smc.php>
6. Українська асоціація сталеплавильників. Жаростійкі сталі [Електронний ресурс]: <https://uas.su/books/newmaterial/51/razdel51.php>
7. Українська асоціація сталеплавильників. Критерії жаростійкості [Електронний ресурс]: <https://uas.su/books/newmaterial/52/razdel52.php>
8. Українська асоціація сталеплавильників. Вплив структури на жаростійкість сплавів [Електронний ресурс]: <https://uas.su/books/newmaterial/53/razdel53.php>
9. Українська асоціація сталеплавильників. Корозія та корозійностійкі матеріали [Електронний ресурс]: <https://uas.su/books/newmaterial/61/razdel61.php>
10. Українська асоціація сталеплавильників. Холодостійкі метали та сплави. Загальні відомості [Електронний ресурс]: <https://uas.su/books/newmaterial/71/razdel71.php>
11. Українська асоціація сталеплавильників. Холодостійкі сталі. Холодостійкість сталей кліматичного холоду [Електронний ресурс]: <https://uas.su/books/newmaterial/721/razdel721.php>
12. Матеріалознавство та технологія матеріалів. Конспект лекцій /Уклад. Т.М. Курська, Г.О. Чернобай, С.Б. Єрьоменко. Х.: УЦЗУ, 2008. 136 с.



13. Металознавство : навчальний посібник / І. В. Прокопович. Одеса : Екологія, 2020. 308 с.
14. Марочник сталей и сплавов/ Под общ. ред. А.С. Зубченко, 2-е издание доп. и испр. М.: Машиностроение, 2003. 784 с.
15. Руденко Л.Ф. Леговані сталі та сплави: навч. посіб. / Л. Ф. Руденко, Т. П. Говорун. Суми: Сумський державний університет, 2012. 171 с.
16. Зварювання. Різання. Контроль: Довідник. В 2-х томах / Під сп. ред. Н. П. Алешина, Г. Г. Чернишева. – М.: Машинобудування, 2004. Т. 2 / Н. П. Алешина, Г. Г. Чернишева, А. І. Акулов та ін. – 480 с.
17. Шеффлер [Електронний ресурс]: [https://www.ewm-group.com/iframes/rechner/Schaeffler\\_diag\\_ru.html](https://www.ewm-group.com/iframes/rechner/Schaeffler_diag_ru.html)
18. Виробництво виливків із спеціальних сталей / О.П. Макаревич, Г.Є. Федоров, Є.О. Платонов – К.: Видавництво НТУУ «КПІ», 2005. – 712 с.
19. Говорун Т. П. Лабораторний практикум з курсу «Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство». Частина 2 «Матеріалознавство» / укладачі Т.П. Говорун, О.П. Гапонова, В.М. Раб, Н.А. Харченко. Суми: Сумський державний університет, 2011. 86 с.
20. Пчелінцев В.О. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт із дисципліни «Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів» : у 2 частинах. Ч. 1. Випробування металів / укладачі: В.О. Пчелінцев, А. І. Дегула, Т. П. Говорун. Суми : Сумський державний університет, 2015. 53 с.
21. Пчелінцев, В.О., Дегула А.І. Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів : навч. посіб. / Суми: СумДУ, 2012. 247 с.
22. ГОСТ 18442-80. Контроль неруйнівний. Капілярні методи [Електронний ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200004648>
23. Лабораторний практикум із дисципліни "Діагностика та дефектоскопія матеріалів і виробів": для студ. спец. 6.050403 "Інженерне матеріалознавство" усіх форм навчання / Т. П. Говорун, П. Гапонова О. П. О., Н. А. Харченко та ін. — Суми : СумДУ, 2015. — 65 с.

24. Марченко С. В., Гапонова, О. П., Говорун Т. П., Харченко Н. А. Технологія конструкційних матеріалів : навч. посіб. Суми : СумДУ, 2016. 146 с.
25. Матеріалознавство та технологія матеріалів (у схемах і завданнях): навч. посіб. / Т. П. Говорун, О. П. Гапонова, С. В. Марченко. — Суми : СумДУ, 2020. — 163 с.
26. ГОСТ 3212-92. Комплекти модельні. Уклони формувальні, стрижневі знаки, допуски розмірів [Електронний ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200013775>
27. Мохорт А.В., Чумак М.Г. Термічна обробка металів : навч. посіб. Київ: Либідь, 2002. 512 с.
28. ОСТ 1 90090-79. Виливки фасонні з високолегованої сталі з особливими властивостями [Електронний ресурс]: <http://gost.gtsever.ru/Data2/1/4293852/4293852754.htm>
29. ГОСТ 8233-56. Сталь. Еталони мікроструктури [Електронний ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200004654>
30. Термічна камерна піч від виробника «Бортек» [Електронний ресурс]: <http://bortek.ua/promyshlennye-ehlektropechi/kamernye-pechi/heat-treating-furnace>
31. Кріогенна камера [Електронний ресурс]: [https://cryotech.ru/products\\_and\\_services/section/15/](https://cryotech.ru/products_and_services/section/15/)
32. ГОСТ 9293-74. Азот газоподібний і рідкий. Технічні умови [Електронний ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200006220>
33. Піч для нагрівання під гартування, для відпалу, відпуску [Електронний ресурс]: <http://bortek.ua/promyshlennye-ehlektropechi/pechi-vykatnym-podom-600/podovaya-pech-sdo-7-30-7-6>

ДОДАТОК А





## ABSTRACT

**Burlaka Anton Yurievich. 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.

The CNS pump guide device is designed to change the direction of fluid flows and change the speed of pressure energy. The device is made of two fixed disks mounted in the pump housing, equipped with blades similar to the blades of the working unit.

The material for the manufacture of the guide device must be durable, reliable, corrosion-resistant and in some cases cold-resistant. We must also remember that some properties of the material can be acquired only during its heat treatment.

**The purpose of the work** is to create a route manufacturing technology and technological process of strengthening the guide apparatus of pumps type CSP 240 by conducting the latest and technological methods of heat treatment to improve the performance of the part.

**Research methods:** use of standard methods for determining the physical and mechanical properties and structure of steel 08X14H7MJ (BHJI-1) for the manufacture of the apparatus of the guide pump CSP 240-... -2 and modern microscopic and metallographic research methods, including microscopic and macroscopic analysis, theoretical and practical methods, review of literature sources.

**The research objectives** include the following: analysis of literature sources in order to improve the route manufacturing technology and strengthening the heat treatment of the guide apparatus of the pump CNS 240-2 to improve the performance of the part.

In the qualifying bachelor's thesis, the purpose and operating conditions of the CSP 240-2 guide pump apparatus were analyzed.

Possible causes of failure of the guide apparatus pump type CSP 240-... -2 were analyzed. The main reason for the failure of the guide apparatus: insufficient protection

of bearings of blades and other elements of devices from abrasive dust; part failure under the action of a permanent or partial wet environment, that is, due to corrosion under the action of oil or water; failure of a detail at the aggressive air environment; the appearance of plastic deformations as a result of high loads on the part; failure due to operation at very low temperatures (cold brittleness); failure of the part due to fatigue; electrochemical corrosion; failure due to cavitation.

Cold-resistant high-alloy steel 08X14H7MJ (BHJ-1) was used for the manufacture of the guide apparatus. A characteristic feature of cold-resistant steels is low carbon content. It is usually no more than 0.08% carbon.

In order to fulfill all the requirements for the guide apparatus, a route map of its creation was drawn up. Equipment for heat treatment of this device was also mentioned. Heat treatment of this steel consists of hardening, cold treatment and tempering.

After heat treatment of the guide apparatus made of BHJ-1 steel, we obtained a hardness of about 36 HRC, the steel has a needle martensitic-austenitic structure and the grain size corresponds to 3-4 points

**The practical significance of the results obtained.** The material was selected, the route manufacturing technology and technological process of strengthening of the device apparatus of the directing pump of CNS 240-2 for increase of operational characteristics of a detail are offered.

**Keywords: guide device, pump, CNS 240, hardness, casting, model, castings, heat treatment, alloy steel, cold treatment, machining, quenching, tempering.**