

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Кафедра прикладного матеріалознавства та технології  
конструкційних матеріалів**

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

**зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»**

Тема роботи: Вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення заготовки і термічної обробки штока поршневого компресора

Виконав:

студент Швецов Дмитро Віталійович

Керівник:

Берладір Христина Володимирівна

Залікова книжка

№18510286

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.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Студенту Швецову Дмитру Віталійовичу, група МТ-81  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема випускної роботи: Вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення заготовки і термічної обробки штока поршневого компресора

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

3. Перелік обов'язкового графічного матеріалу

- 1) Креслення деталі.
- 2) Графік термічної обробки деталі
- 3) План розробленого термічного відділення.

4. Етапи виконання випускної роботи:

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

5. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 2022 р.

Керівник \_\_\_\_\_  
(підпис)

ст. викладач, Берладір Х. В.  
(посада, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра вміщує 46 сторінок, зокрема 10 рисунків, 4 таблиці та список із 31 літературного джерела на 4 сторінках.

**Мета роботи** – вибір марки сталі, розробка маршрутної технології виготовлення деталі «шток поршневого компресора» та призначення режимів термічної і хіміко-термічної обробки для вибраної марки сталі.

**Для досягнення поставленої мети, у роботі вирішувалися наступні завдання:**

1. Надати характеристику деталі «шток поршневого компресора» та проаналізувати умови її роботи.
2. Провести літературний огляд щодо останніх тенденцій досліджень по азотуванню.
3. Обрати матеріал для виготовлення деталі.
4. Розробити термічну/хіміко-термічну обробку та маршрутну технологію виготовлення деталі «шток поршневого компресора».
5. Обрати обладнання для термічної/хіміко-термічної обробки.

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена розробці маршрутної технології виготовлення деталі «шток поршневого компресора» та призначенню режимів термічної/хіміко-термічної обробки для обраної конструкційної легованої високоякісної сталі 38X2MЮА. Основні операції термічної/хіміко-термічної обробки включають в себе: відпал, термополіпшення, стабілізуючий відпуск і азотування. Методика досліджень включала металографічний аналіз, вимірювання твердості та мікротвердості азотованих шарів. Для проведення термічної/хіміко-термічної обробки було обрано і розрахована кількість основного, допоміжного обладнання та устаткування контролю якості термічної обробки. Сплановану ділянку термічної обробки деталі «шток поршневого компресора».

**ШТОК ПОРШНЕВОГО КОМПРЕСОРА, АЗОТУВАННЯ, СТРУКТУРА, ТВЕРДІСТЬ**

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	3
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛІ.....	6
1.1. Характеристика деталі «шток поршневого компресора».....	6
1.2. Аналіз умов роботи та причини виходу з ладу деталі «шток поршневого компресора».....	9
Висновок.....	12
РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	12
2.1. Методи зміцнення деталі «шток поршневого компресора».....	13
2.1.1 Основи процесу азотування.....	13
2.1.2 Азотовані сталі.....	15
2.1.3 Технологічні методи азотування.....	17
2.2. Огляд останніх досягнення в області азотування деталі «шток поршневого компресора».....	18
Висновок.....	20
РОЗДІЛ 3. ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛУ ДЕТАЛІ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	21
3.1. Вибір матеріалу деталі «шток поршневого компресора».....	21
3.2. Вплив легуючих елементів на структуру, властивості та режими термічної обробки сталей .....	22
3.3 Методика досліджень.....	25
Висновок.....	27
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	28
Висновки.....	30
РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	31
5.1. Розробка методу термічної та хіміко-термічної обробки .....	31
5.2. Розрахунок і вибір основного, допоміжного і додаткового обладнання.....	32
5.3. Проектування термічного відділення та розробка плану розташування обладнання на термічній ділянці .....	35

Висновок.....	37
ВИСНОВКИ.....	38
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	40
ДОДАТОК А.....	44
ДОДАТОК Б.....	45
ДОДАТОК В.....	46

САНД

## РОЗДІЛ 1

### ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛІ

#### 1.1. Характеристика деталі «шток поршневого компресора»

Поршневі компресори обслуговують багато різних галузей нафтової, хімічної та газової промисловості по всьому світу [1]. Ці великі промислові компресори зазвичай використовуються у видобутку нафти та газу на підземних родовищах, їх передачі та зберігання на плавучих виробничих потужностях, а також переробці нафтохімічних продуктів на нафтопереробних заводах [2]. Ця подальша переробка перетворює нафту та газу в продукти, які використовуються в нашому повсякденному житті, такі як паливо, мастила, добрива, гуми, полімери тощо.

Широке застосування також знайшли спеціально розроблені (або модернізовані) поршневі компресори, в яких компресія здійснюється без мастила. Такі компресори несприйнятливі до розчинників, що дозволяє забезпечити необхідну якість кінцевої продукції, а також безпеку при стисканні багатьох агресивних та вибухонебезпечних газів [3]

Схематично будова поршневого компресора представлена на рис. 1.1.

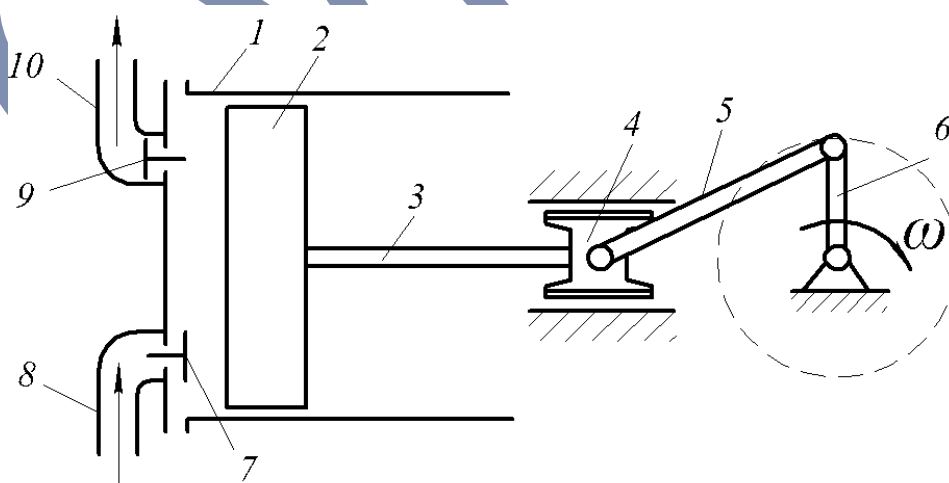


Рисунок 1.1 – Схема будови поршневого компресора [4].

Він складається із циліндра 1, у якому зворотно-поступально переміщується поршень 2, що отримує рух від вала приводного двигуна через кривошипно-шатунну передачу. Ця передача складається із штока 3, повзуна 4, шатуна 5, кривошипа 6. У кришці циліндра розміщуються всмоктувальний 7 та нагнітальний 9 клапани, через які внутрішній простір циліндра сполучається відповідно із всмоктувальним 8 та нагнітальним 10 патрубками [4].

Принцип дії поршневих компресорів полягає у наступному (рис. 1.2).

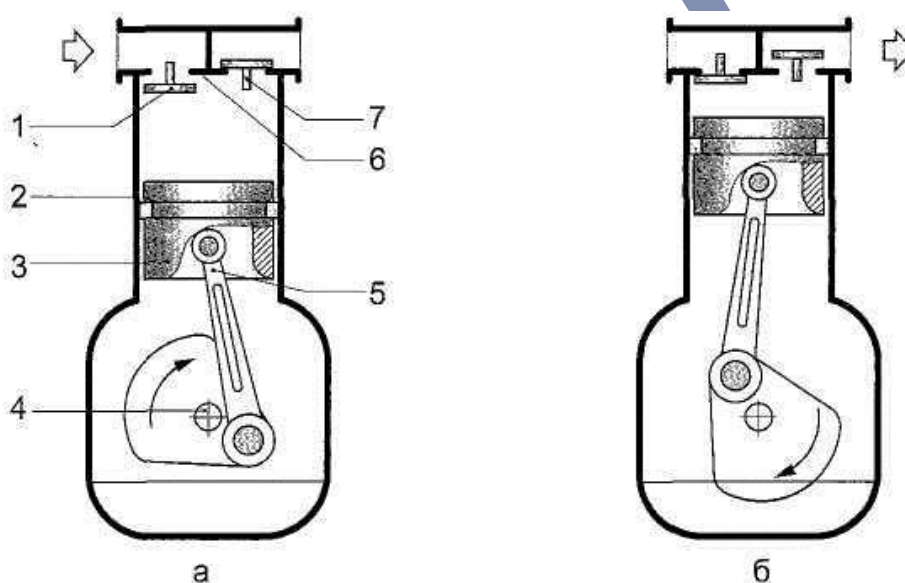


Рисунок 1.2 – Поршневий компресор простої дії: а – зворотний хід; б – прямий хід; 1 – всмоктувальний клапан; 2 – циліндр; 3 – поршень; 4 – приводний вал; 5 – кривошипно-шатунний механізм; 6 – клапанна кришка; 7 – нагнітальний клапан [5].

Під час руху поршня до нижньої «мертвої точки» (зворотний хід – рис. 1.2 а) робоча камера компресора, утворена замкненим об'ємом між поршнем 3 і кришкою 6 циліндра, збільшується, і в ній створюється вакуум. Під дією атмосферного тиску відкривається всмоктувальний клапан 1, через який у циліндр надходить повітря. У цей час нагнітальний клапан 7 утримується в закритому положенні під дією вакууму в робочій камері і високого тиску в нагнітальному трубопроводі. Після досягнення поршнем 3 крайнього нижнього положення починається процес його руху до верхньої «мертвої





його в межах 4-8. Крім того, перевіряють шток на стиск, при цьому запас міцності по відношенню до межі пружності повинен бути не нижчим, ніж прийнятий для поздовжнього вигину [6].

Передній кінець наскрізного штока (з боку механізму руху) навантажений більше заднього, але щоб уникнути сальників різного розміру, обидва кінці штока завжди виконують одного діаметру. Так само штоки багаторядних компресорів зазвичай вибирають рівними по діаметру, якщо навіть за умовами міцності цього не потрібно.

## **1.2. Аналіз умов роботи та причини виходу з ладу деталі «шток поршневого компресора»**

У гідравлічних системах мобільних машин та промислового обладнання широко застосовуються гідроциліндри як джерело приводу або виконавчих механізмів. Існують поршневі, плунжерні, телескопічні та інші циліндри, що мають конструктивні особливості. Перші – найпоширеніші, вони прості та зручні, ефективні у найрізноманітніших сферах експлуатації.

Під впливом робочої рідини, що надходить у порожнину циліндра, він здійснює спрямований зворотно-поступальний рух з певною швидкістю, яка залежить, в основному, від швидкості нагнітання рідини. В результаті переміщення поршня гідравлічна енергія перетворюється на механічну – досягається основна мета роботи гідроциліндра.

Поршень є основною робочою ланкою гідроциліндра. Як передавач зусилля поршня виступає шток, з'єднаний з ним за допомогою пальця (рис. 1.4). Хід поршня обмежується кришками циліндра, у яких є отвори для підведення робочої рідини. Жорсткий контакт поршня та кришок запобігають демпферам (гальмівним пристроям).

Поршень і шток утворюють у робочій камері дві порожнини: відповідно поршневу та штокову. Перша обмежена поверхнями корпусу та поршня, друга – поверхнями корпусу, поршня та штока. Порожнини

гідравлічного циліндра повинні бути герметичними, тому на поршень встановлюються спеціальні ущільнення – манжети з гуми, що перешкоджають протіканню робочої рідини. При одночасному високому тиску з боку штока та поршневої порожнини встановлюється дві манжети, якщо тиск виявляється з одного боку – одна.



Рисунок 1.4 – Основні елементи поршневого гідроциліндра.

Корпус гільзи, поршень і шток зазнають значних навантажень, тому виготовляються з металу. Поршні, що контактують із внутрішніми стінками гільзи всією поверхнею, виконуються з латуні, фторопласту або бронзи – матеріалів з антифрикційними властивостями. Поршні, оснащені спеціальними напрямними та ущільнювальними кільцями – як правило, сталеві.

До поршневих гідроциліндрів пред'являється низка вимог:

- поршні повинні пересуватися рівномірно та плавно по всій довжині ходу;

- штоки не повинні піддаватися бічним навантаженням, оскільки це може призвести до швидкого зношування ущільнень, поршнів та робочої поверхні циліндра;
- не допускається зовнішніх витоків робочої рідини через нерухомі ущільнення; на рухомих поверхнях можлива наявність масляної плівки без краплеутворення;
- внутрішні перетікання рідини з однієї порожнини циліндра в іншу повинні бути мінімальними (існує певна технічна норма);
- для запобігання попаданню бруду та пилу в порожнини циліндрів необхідно застосовувати брудозйомники;
- робочі поверхні деталей циліндра повинні бути стійкими до корозії та зносу, краще, якщо вони матимуть захисні покриття.

Остання вимога актуальна для багатьох виробників деталей гідравлічного обладнання.

Поршневій шток за умов роботи сальника виготовляють з поверхневим зміцненням до твердості HRC 52-62, піддають шліфування і ретельно полірують, забезпечуючи клас чистоти не нижче 10. Найбільш високу поверхневу твердість та зносостійкість отримують азотуванням [6].

Штоки виготовляють із сталей 35, 40, 38ХА або легованих з більш високими механічними властивостями ( $\sigma_b \geq 950 \text{ Мн/м}^2$ ,  $\sigma_t \geq 750 \text{ Мн/м}^2$ ,  $\delta_5 \geq 16\%$ ,  $\alpha_n \geq 900 \text{ кдж/м}^2$ ). Поковки виконують не менше ніж з подвійним уковом і з обов'язковою подальшою поліпшеною термообробкою. Допустимо також застосування прокату. Штоки, що підлягають азотуванню, виготовляють із сталей 35ХМЮА, 38ХМЮА або 35ХЮА [6].

Проблема посиленого зносу циліндрів та поршнів вирішується застосуванням спеціальних конструкційних матеріалів та нанесенням на них антифрикційних покриттів [7].

## Висновок

Компресорні машини використовуються в різних галузях народного господарства, але найбільше застосування знайшли в хімічній промисловості, де в технологічних лініях виробництва мінеральних добрив, стислих газів підвищеної чистоти та поліетилену вони є однією з основних ланок. Відмова у роботі компресорних машин призводить до зниження випуску продукції та великих матеріальних втрат.

Незважаючи на різноманіття марок та конструкцій поршневих компресорів всі вони мають практично однакові основні агрегати (циліндри, поршні, шток, колінчасті вали та ін.).

Шток – це деталь круглого перерізу у вигляді стрижня, що з'єднує поршень з повзуном. Як і інші деталі компресора, що здійснюють рух, шток схильний до зносу. Поршневі компресори, що застосовуються на заводах з переробки нафти, працюють у безперервному режимі, тому штоки цих компресорів зазнають інтенсивного зношування.

Поршневий шток за умов роботи сальника виготовляють з поверхневим зміцненням до твердості HRC 52-62, піддають шліфуванню і ретельно полірують, забезпечуючи клас чистоти не нижче 10. Найбільш високу поверхневу твердість та зносостійкість отримують азотуванням.

## РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

### 2.1. Методи зміцнення деталі «шток поршневого компресора»

#### 2.1.1 Основи процесу азотування

Азотування – феритна термохімічна поверхнева обробка, що представляє собою дифузійне насичення азотом поверхневого шару сталі та чавуну. Цей процес дифузії заснований на розчинності азоту в залізі, як показано на діаграмі рівноваги залізо-азот (рис. 2.1) [8].

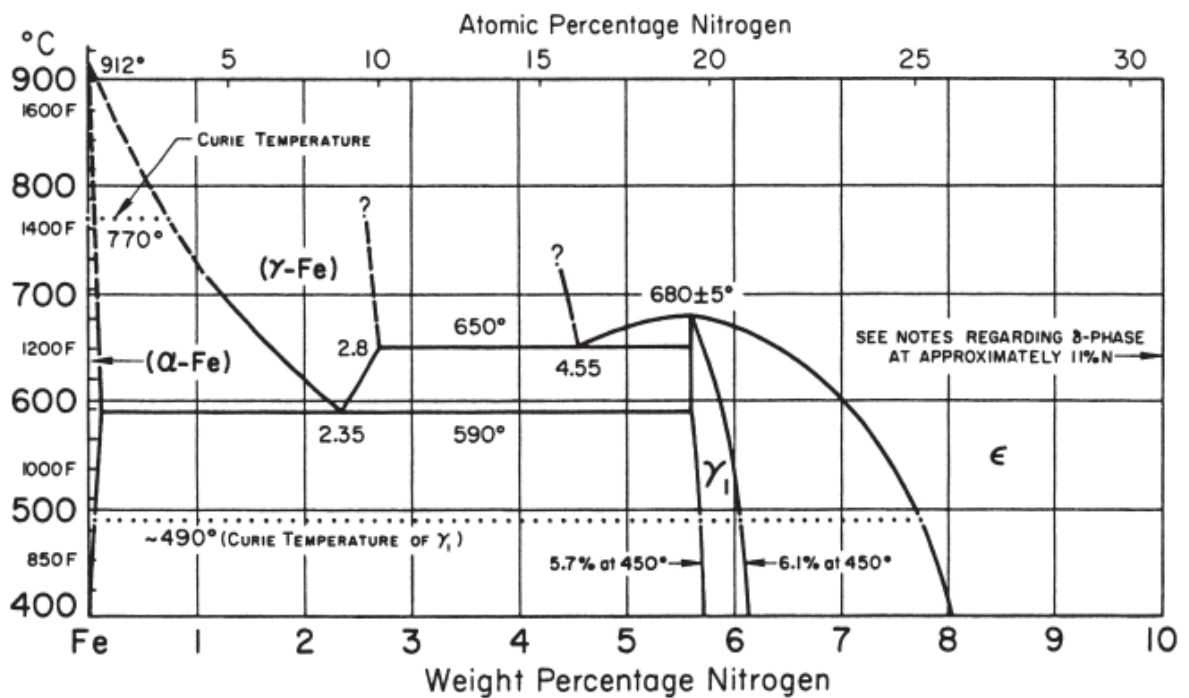


Рисунок 2.1 – Діаграма рівноваги системи «залізо-азот».  $\delta$ -фаза, не показана на цій діаграмі, існує від 11,0 до 11,35% N при температурах нижче приблизно 500 °C

Межа розчинності азоту в залізі залежить від температури, і при 450 °C сплав на основі заліза поглинає до 5,7-6,1% N. Крім цього, утворення поверхневої фази на легованих сталях має тенденцію переважно епсилон ( $\epsilon$ ) фаза. На це сильно впливає вміст вуглецю в сталі; чим більше вміст вуглецю,

тим більше потенціал для утворення  $\epsilon$ -фази. У міру подальшого підвищення температури до температури основної фази гамма ( $\gamma'$ ) при 490 °C, межа розчинності починає зменшуватися при температурі приблизно 680 °C. Рівноважна діаграма показує, що контроль дифузії азоту є критичним для успіху процесу (рис. 2.1).

Механізм азотування в цілому відомий, але не завжди відомі специфічні реакції, що протікають у різних сталях та з різними азотуючими середовищами. Азот має часткову розчинність у залозі. Він може утворювати твердий розчин із феритом при вмісті азоту приблизно до 6%. При вмісті азоту близько 6% утворюється сполука, яка називається гамма-прайм ( $\gamma'$ ), зі складом  $\text{Fe}_4\text{N}$ . При вмісті азоту понад 8% рівноважним продуктом реакції є  $\epsilon$ -сполука  $\text{Fe}_3\text{N}$ . Азотовані шари розшаровуються. Найбільша зовнішня поверхня може бути повністю  $\gamma'$ , і в цьому випадку вона називається білим шаром. Такий поверхневий шар небажаний: це дуже жорсткі профілі, але настільки крихкі, що можуть відколотися в процесі експлуатації. Зазвичай його видаляють; використовуються спеціальні процеси азотування, щоб зменшити цей шар або зробити його менш крихким. Зона шару зміцнюється за рахунок утворення з'єднання  $\text{Fe}_3\text{N}$ , а нижче цього шару відбувається деяке зміцнення твердого розчину азотом у твердому розчині (рис. 2.2) [9].

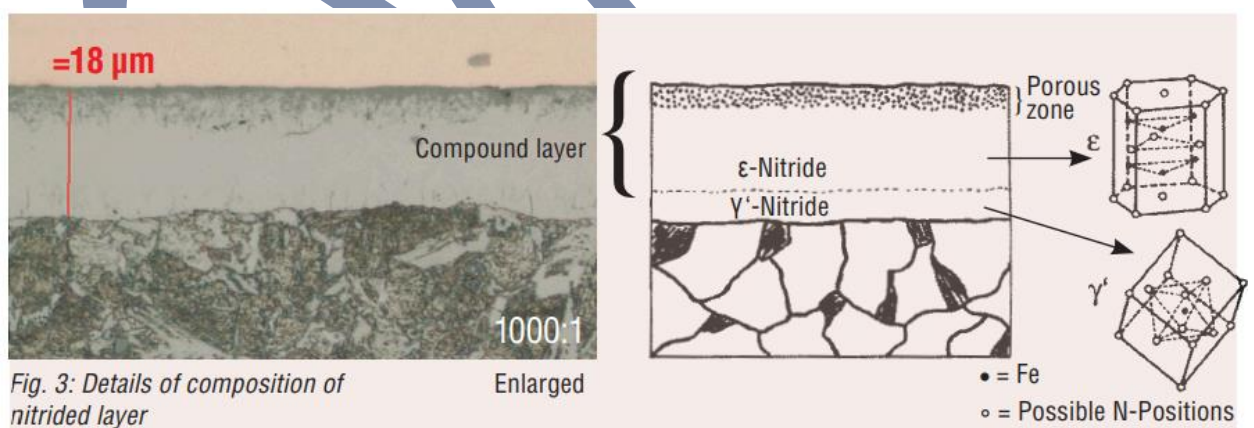


Рисунок 2.2 – Деталізований склад нітридного шару [9]

Для успішного проведення процесу азотування необхідно дотримуватися й контролювати ряд параметрів робочого процесу. Більшість із



цих параметрів можна контролювати за допомогою відносно простих приладів і методів. Приклади параметрів процесу азотування газу включають: температура печі, контроль процесу, час, витрата газу, контроль активності газу, технічне обслуговування технологічної камери.

Всі ці фактори допомагають зменшити викривлення під час процесу, за винятком наведених залишкових напружень. Ще одна перевага азотування полягає в тому, що воно діє як стабілізуючий процес, забезпечуючи додатковий відпуск обробленої сталі.

На відмінну від цементації, що включає ввід вуглецю в аустеніт при високих температурах і саме тому потребує погашення процесу утворення мартенситу, який у свою чергу супроводжується змінами об'єму, азотування проходить з дуже малими викривленнями та розмірними змінами [10].

В результаті азотування оброблюваний сплав має [11]:

- високу твердість на поверхні, що не змінюється при нагріві до 400-450 °C;
- високу зносостійкість та низьку схильність до задирів;
- високу границю витривалості;
- високу кавітаційну стійкість;
- добре протистояння корозії в атмосфері, прісній воді та пару.

В процесі азотування оброблювані вироби піддаються невеликим деформаціям. Азотований шар добре шліфується та полірується.

### **2.1.2 Азотовані сталі**

Азотовані сталі зазвичай є середньовуглецевими (загартовані і відпущені) сталі, які містять сильні нітридоутворюючі елементи, такі як алюміній, хром, ванадій і молібден.

Найбільш значне зміцнення досягається у класу легованих сталей (нітралої), що містять близько 1% Al. При азотуванні цих сталей алюміній утворює частки AlN, які напружують ґратки фериту і створюють зміцнюючі

дислокації. Титан і хром також використовуються для підвищення твердості шару, хоча глибина шару зменшується зі збільшенням вмісту сплаву.

З легуючих елементів, які зазвичай використовуються в комерційних сталях, алюміній, хром, ванадій, вольфрам і молібден є корисними для азотування, оскільки вони утворюють нітриди, які стабільні при температурах азотування. Молібден на додаток до свого внеску як нітридоутворювач також зменшує ризик виникнення крихкості при температурах азотування. Інші легуючі елементи, такі як нікель, мідь, кремній і марганець, мають незначний вплив, якщо взагалі є, на характеристики азотування.

Хоча при відповідних температурах всі сталі здатні утворювати нітриди заліза в присутності азоту, що виникає, результати азотування є більш сприятливими для тих сталей, які містять один або кілька основних легуючих елементів, що утворюють нітриди. Оскільки алюміній є найсильнішим нітридоутворювачем серед звичайних легуючих елементів, алюмінійвмісні сталі (від 0,85 до 1,50% Al) дають найкращі результати азотування з точки зору загального вмісту сплаву.

Наступні сталі можуть бути азотовані газом для конкретних застосувань [12]:

- алюмінійвмісні низьколеговані сталі;
- низьколеговані середньовуглецеві, хромовмісні сталі серії 4100, 4300, 5100, 6100, 8600, 8700 і 9800;
- сталі для гарячої обробки, що містять 5% хрому, такі як H11, H12 і H13;
- низьковуглецеві, хромовмісні низьколеговані сталі серій 3300, 8600 і 9300;
- інструментальні сталі, що зміцнюються на повітрі, такі як A-2, A-6, D-2, D-3 і S-7;
- швидкорізальні інструментальні сталі типу M-2 і M-4;
- нітронна нержавіюча сталь, наприклад 30, 40, 50 і 60;



- феритні та мартенситні нержавіючі сталі серії 400 і 500;
- аустенітні нержавіючі сталі серії 200 і 300;
- нержавіюча сталь, що зміцнюється, наприклад 13-8 PH, 15-5 PH, 17-4 PH, 17-7 PH, A-286, AM350 і AM355.

### 2.1.3 Технологічні методи азотування

Технологічні методи азотування включають:

- газове (ящикова піч або псевдозріджений шар),
- рідинне (сольова ванна),
- плазмове (іонне) азотування.

Переваги та недоліки цих методів подібні до цементації. Однак час газового азотування може бути досить тривалим, тобто від 10 до 130 год залежно від застосування, а глибина шару відносно невелика, зазвичай менше 0,5 мм. Плазмове азотування дозволяє прискорити час азотування, а швидке насичення поверхні плазмового процесу призводить до більш швидкої дифузії. Плазмове азотування також може очистити поверхню шляхом напилення.

Плазмове та іонне азотування – найбільш удосконалена модифікація азотування, що застосовується для сталей та твердих сплавів [13, 14]. Плазмове азотування виконують в вакуумованій холодостінній камері, в якій робоча частина виступає в якості катода, а стінки камери – в якості аноду, та заземляються. Спочатку до камери подається водень з метою нагрівання та очистки робочої поверхні, після чого починається перша стадія азотування: до камери запускається суміш водню з азотом. Завдяки підведенню до робочої поверхні та стінок камери струму утворюється плазма. Плазма, яка складається з іонів, електронів, заряджених, нейтральних атомів і молекул, в комбінації з напругою струму використовується для іонного азотування, породжує пурпурне сяяння навкруги катода. Атоми азоту дифундують в робочу поверхню, яка в цілому нагрівається до температур азотування ударами плазмонеправлених іонів та атомів азоту без використання зовнішніх джерел тепла. Однак новий дизайн системи може використовувати граничне

нагрівання зменшенням часу циклу. Значна перевага плазмового азотування – покращене переміщення маси молекул та іонів азоту з великою енергією вглиб поверхні сталі та твердого сплаву під дією електричного поля. Глибина проникнення атомів азоту в матеріал контролюється дифузією та формуванням нітридів. Іншою перевагою іонного азотування по відношенню до традиційного газового азотування є наступне: безпечність, зниження температури процесу (375 °C), зменшення викривлення форми, споживання газу, енергії в холодостійній печі, менша забрудненість навколишнього середовища та контроль за утворенням крихких нітридів заліза, які інколи формуються на поверхні азотованих деталей.

Не дивлячись на поліпшення зносо- та корозійної стійкості, головною перевагою процесу є висока твердість поверхні після азотування. Інколи в процесі експлуатації відбувається розтріскування та руйнування деталі на границі розділу «покриття – основа». В таких випадках, зменшують твердість азотованої поверхні змінюючи умови проходження процесу.

## **2.2 Огляд останніх досягнення в області азотування деталі «шток поршневого компресора»**

В роботі [15] повідомляється про використання методів PACVD та термічної обробки як потенційних альтернатив хромовому покриттю в якості покриттів поршневих штоків. Комплексна характеристика хромованих та альтернативно оброблених зразків поршневих штоків щодо корозійної стійкості та трибологічної поведінки показала, що термічно оброблені та покриті DLC поверхні відповідають вимогам до покриттів поршневих штоків для певних областей застосування та можуть служити перспективною альтернативою без хрому.

Для обробки поверхні поршневих кілець бензинових двигунів у роботі [16] використовувався процес плазмового азотування. Дослідження проводилися з метою оптимізації металургійних властивостей та покращення

процесу виготовлення кілець. Результати порівнюють із звичайним процесом газового азотування. Вибіркове азотування тонкостінних бензинових поршневих кілець є дуже важливим, оскільки бічні поверхні шкідливі для роботи двигуна. Плазмове азотування довело, що селективне азотування можливе за допомогою простої системи кріплення, що призводить до однорідних властивостей як на внутрішньому, так і на зовнішньому діаметрі поверхонь. Лише зона дифузії, без нітридів меж зерен, складає азотовану мікроструктуру. Твердість поверхні збільшено до 1100 HV<sub>0,1</sub>. Механічні випробування показали, що продуктивність кілець із селективним азотуванням плазмою перевершує аналогі з газовим азотуванням. Швидкість зношування на 30% вище для кілець із плазмовим азотуванням, але прийнятна для практичних цілей.

Nitrex Metal, Сент-Лоран, Квебек, оголошує, що FA Krosno S.A. завершила встановлення системи азотування Nitrex на виробничому підприємстві в одноіменному місті на південному сході Польщі. Протягом останніх кількох років FA Krosno і Nitrex розпочали ініціативу досліджень і розробок, щоб підвищити довговічність поршневих штоків у газових пружинах легкових транспортних засобів. Поршневий шток є найбільш напруженою частиною вузла і схильний до вигину, що негативно впливає на термін служби газової пружини. Завдання полягало в тому, щоб розробити цикл азотування, який дозволив би досягти високої твердості поверхні для покращення зносостійкості та мінімізації тертя, і який в кінцевому підсумку продовжить термін служби газової пружини. «Технології азотування Nitrex були визнані найефективнішими і найкраще відповідають вимогам додатків», – говорить Марцін Стоклоса, менеджер спеціальних проектів Nitrex Metal. «Результати різних металургійних та механічних випробувань, проведених на азотованих поршневих штоках, підтвердили, що задана товщина білого шару, товщина оксиду білого шару, корозійна стійкість та відповідна шорсткість були стабільно отримані після азотування Nitreg, і вони підтримувалися навіть після наступних фінішних операцій» [17].

## Висновок

Азотування – це процес термічної обробки, при якому азот дифундує в поверхню металу для створення загартованої поверхні. Поверхнєве зміцнення, – це процес зміцнення поверхні металевого предмета, дозволяючи металу глибше під ним залишатися м'яким, утворюючи таким чином тонкий шар твердішого металу на поверхні. Застосовується переважно для сталі, а також для титану, алюмінію та молібдену.

На сьогоднішній день підвищення експлуатаційних характеристик чорних матеріалів є актуальною проблемою. Одним із добре відомих методів поліпшення зносу та корозійних властивостей є плазмове азотування, при якому елементний азот вводиться на поверхню металевої частини для подальшої дифузії в матеріал. В результаті на поверхні утворюється складний, «білий» шар і зона дифузії.

Було проведено літературне дослідження з метою вивчення механізму азотування та різних методів азотування, які використовуються в промисловості.

Поршневий шток є найбільш напруженою частиною вузла і схильний до вигину, що негативно впливає на термін служби газової пружини. Завдання полягало в тому, щоб розробити цикл азотування, який дозволив би досягти високої твердості поверхні для покращення зносостійкості та мінімізації тертя, і який в кінцевому підсумку продовжить термін служби газової пружини.

### РОЗДІЛ 3

## ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛУ ДЕТАЛІ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 3.1. Вибір матеріалу деталі «шток поршневого компресора»

Для виготовлення штока поршневого компресора обираємо сталь 38X2MЮА. Це конструкційна легована високоякісна релаксаційноста жароміцна хромоалюмінієва з молібденом сталь, яка містить до 0,38% вуглецю, до 2% хрому, до 1 % алюмінію і молібдену, інше – залізо.

Зарубіжні аналоги: A290C1M, C1A, J24056, K24065, K24728 (США), 1.8509, 41CrAlMo7 (Німеччина), SACM645 (Японія), 40CAD6-12 (Франція), 905M39 (Англія), 41CrAlMo7 (Євросоюз) тощо.

Призначення сталі: штоки клапанів парових турбін, що працюють при температурі до 450 °С, гільзи циліндрів двигунів внутрішнього згорання, голки форсунок, тарілки букс, розпилювачі, пальці, плунжери, розподільні валики, шестірні, вали, втулки та інші деталі.

Основні відомості про дослідну сталь представлені в табл. 3.1 – 3.3 [18].

Таблиця 3.1

Хімічний склад сталі 38X2MЮА, %, за ДСТУ 7806:2015 «Прокат із легової конструкційної сталі»

Si	Mo	Cu	Al	Mn	Cr	Ni	S	P
0.20- 0.45	0.15- 0.25	0.30	0.70- 1.10	0.30- 0.60	1.35- 1.65	0.30	0.025	0.025

Температура критичних точок:  $A_{c1} = 800$  °С,  $A_{c3} = 865$  °С,  $A_{r3} = 740$  °С,  $A_{r1} = 665$  °С,  $M_n = 330$  °С.

Таблиця 3.2

## Механічні властивості сталі 38Х2МЮА

Переріз, мм	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_b$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\psi$ , %	КСУ, Дж/м <sup>2</sup>	НВ
Пруток. Гартування 940 °С, вода або масло. Відпуск 640 °С, вода або масло.						
30	835	980	14	50	88	
Поковки. Гартування. Відпуск.						
100-300	590	735	13	40	49	235-277
Гартування 930-950 °С, масло або вода. Відпуск 640-680 °С, повітря.						
60	880	1030	18	52		250-300
100	730	880	10	45	59	
200	590	780	10	45	59	
Гартування 950 °С, масло. Відпуск 550 °С, масло.						
120	780-880	930-1030	12-15	35-45	69-98	285-302

Таблиця 3.3

## Твердість сталі 38Х2МЮА

Стан постачання, режим термообробки	НВ	НВ
Гартування 930-950 °С, масло або вода. Відпуск 640-680 °С, повітря. Азотування 520-540 °С з піччю до 100 °С.	269-300	850-1050

### 3.2 Вплив легуючих елементів на структуру, властивості та режими термічної обробки сталей

Дифузійні процеси в легованих сталях, у порівнянні з вуглецевими, протікають повільніше, тому що легуючі елементи утворюють тверді розчини заміщення, гальмують рух атомів. Крім того, леговані сталі мають знижену

теплопровідність, тому нагрівання під загартування до більш високої температури, що супроводжується більш тривалою витримкою при цій температурі. Це сприяє дисоціації карбідів та кращій розчинності легуючих елементів в аустеніті [19, 20].

В табл. 3.4 показано закономірності впливу легуючих елементів сталей на їх структуру, властивості та режими термічної обробки.

Таблиця 3.4

Вплив легуючих елементів на структуру, властивості та режими термічної обробки сталей

Легуючий елемент	Вплив на фази та властивості	Вплив на режими термічної обробки
C	Збільшення кількості карбідів, підвищення міцності, зниження в'язкості	Знижується температура гартування
Si	Зміцнення твердого розчину без впливу на карбідну фазу, зниження в'язкості та холодостійкості	Підвищується температура гартування та прогартовуваність. При вмісті до 2 % збільшується критична швидкість охолодження. Підвищується температура відпуску на задану міцність
Ni	Підвищення в'язкості та холодостійкості твердого розчину. Практично не впливає на міцність	Значно збільшується загартовуваність і прогартовуваність
Mn, Cr, W, Mo	Зміцнення твердого розчину і підвищення стабільності карбідів типу	Трохи підвищується температура гартування і відпуску, збільшується прогартовуваність



Легуючий елемент	Вплив на фази та властивості	Вплив на режими термічної обробки
	Me <sub>3</sub> C. Невелике підвищення в'язкості	
Cr, W, Mo, V, Ti, Nb	Зміцнення твердого розчину та формування карбідів легуючих елементів високої стійкості. В'язкість підвищується мало	Підвищується температура гартування, трохи збільшується прогартуваність, зменшується схильність до росту зерна при нагріванні, підвищується температура відпуску на задану міцність
Mo, V, Nb, Ti, Al, N	Утворення дисперсних зміцнюючих фаз. Підвищення міцності, зниження в'язкості при незмінному розмірі зерна. При подрібненні зерна підвищення в'язкості	Підвищується температура гартування, регламентуються умови відпуску (температура, тривалість, швидкість охолодження)

Для підвищення корозійної та зносостійкості леговані сталі азотують за температур від 650 до 700 °С. При азотуванні використовують сталі, які містять Al, Cr, Mo для утворення нітридів. Наприклад, сталі 38X2Ю, 35ХМА, 30ХГТ, 36ХНТМФА, що містять хром, марганець, титан, нікель, молібден, ванадій. Найчастіше для азотування використовують сталь 38ХМЮА [19, 21].

Нагрівання легованих сталей до більш високої температури і більш тривалої витримки при гартуванні не супроводжується ростом зерна, тому що легуючі елементи, карбіди і нітриди знижують схильність до росту зерна при нагріванні. Однак потрібно враховувати, що оптимальна дисперсність аустеніту і структур, що формуються в процесі фазових перетворень при



оохолодженні, досягається тоді, коли в процесі нагріву при термічній обробки в аустеніті розчиняється певна кількість карбідів і нітридів [19, 22].

Через утруднену дифузію атомів процеси відпуску легованих сталей протікають повільніше і відпуск, звичайно, проводиться при більш високих температурах. Всі легуючі елементи, особливо хром, молібден, кремній, утрудняють процес розпаду мартенситу при нагріванні. Структура відпущеного мартенситу може зберігатися при 400—600 °С. Леговані карбіди коагулюють також при більш високих температурах. При однаковій температурі відпуску міцність і пластичність легованих сталей вище, ніж вуглецевих [19].

### 3.3 Методика досліджень

Дослідження мікроструктур ведемо за допомогою металографічного мікроскопа, який дозволяє вивчати при збільшенні непрозорі тіла (мікрошліфи) у відбитому світлі [23]. Нами був використаний вертикальний мікроскоп МІМ-7. Цей мікроскоп дає можливість здійснити мікроаналіз, тобто визначити мікроструктуру сталей після різних режимів термічної обробки. Проте для дослідження мікроструктур необхідно приготувати шліфи.

Приготування металографічних шліфів складається з наступних операцій: 1) шліфування; 2) полірування; 3) травлення.

Шліфували і полірували зразки так, щоб на їх поверхні залишався мінімальний шар деформованого металу і не було подряпин, рисок, ямок і забруднень, поверхня шліфа була достатньо плоскою, щоб її можна було розглядати при великих збільшеннях.

Для виявлення мікроструктури на приготованому мікрошліфі використовували травник: 4-ри % розчин азотної кислоти. Кислота викликає виборне розчинення металевих або інших фаз, а також їх прикордонних ділянок унаслідок відмінності фізико-хімічних властивостей. В результаті на поверхні мікрошліфа утворюється рельєф і при спостереженні під

мікроскопом більш ділянки, що сильно розчинилися, із-за тіні або нижчого коефіцієнта віддзеркалення (обумовленого роз'ятреною шорсткою поверхнею) представляються темнішими, а не що розчинилися світлішими.

Твердість після відпалу вимірюваний за допомогою приладу Брінелля (ТШ) [24]. При вимірюванні твердості за Брінеллем сталева кулька діаметром  $D$  (1; 2; 2,5; 5 і 10 мм) вдавлюється у випробовуваний зразок протягом 10 секунд навантаженням  $P$  3000 кгс, після зняття якого вимірюємо діаметр  $d$  відбитку, що залишився на поверхні зразка, за допомогою лупи МПБ-2. Після визначення розміру відбитку знаходимо значення твердості по формулі або за табличними даними.

Твердість після гартування і відпуску вимірюємо за допомогою приладу Роквеллу (ТК). При вимірюванні твердості по Роквеллу індентором є твердосплавний конус з кутом при вершині  $120^\circ$  (HRC), або алмазний конус (HRA) чи сталевий кулька (HRB).

Після азотування твердість поверхневого азотованого шару визначається за допомогою твердоміра Вікерса. При вимірюванні твердості за Вікерсом, наконечник стандартного типу у вигляді алмазної піраміди (з кутом при вершині  $136^\circ$ ) вдавлюється в дослідний зразок під дією навантаження  $P$  (яке вибирається в інтервалі 50 – 1100 Н). Мірою твердості при цьому служить діагональ відбитку. Випробування проводяться на стандартних твердомірах типу ТП.

Для визначення товщини дифузійних шарів і їх твердості застосовується мікротвердомір ПМТ-3. Метод мікротвердості призначений для оцінки твердості дуже малих об'ємів матеріалу: вимірювання твердості поверхневих шарів. Як індентор, так як і при вимірюванні твердості по Вікерсу, використовуємо правильну чотиригранну алмазну піраміду з кутом при вершині  $136^\circ$ . Ця піраміда під дією прямого додатку навантаження 0,05-5 Н плавно вдавлюється в зразок і дає на зразку квадратний відбиток. Число мікротвердості визначаємо по формулі:  $HV = 1,854 P/d^2$ , де  $P$  – навантаження, кгс;  $d$  – діагональ відбитку.

## Висновок

Для підвищення корозійної та зносостійкості леговані сталі азотують за температур від 650 до 700 °С. При азотуванні використовують сталі, які містять Al, Cr, Mo для утворення нітридів. Наприклад, сталі 38X2Ю, 35ХМА, 30ХГТ, 36ХНТМФА, що містять хром, марганець, титан, нікель, молібден, ванадій. Найчастіше для азотування використовують сталь 38ХМЮА.

Для виготовлення штока поршневого компресора обираємо сталь 38Х2МЮА. Це конструкційна легована високоякісна релаксаційноста жароміцна хромоалюмінієва з молібденом сталь, яка містить до 0,38% вуглецю, до 2% хрому, до 1 % алюмінію і молібдену, інше – залізо.

Через утруднену дифузію атомів процеси відпуску легованих сталей протікають повільніше і відпуск, звичайно, проводиться при більш високих температурах. Всі легуючі елементи, особливо хром, молібден, кремній, утрудняють процес розпаду мартенситу при нагріванні. Структура відпущеного мартенситу може зберігатися при 400—600 °С. Леговані карбіди коагулюють також при більш високих температурах. При однаковій температурі відпуску міцність і пластичність легованих сталей вище, ніж вуглецевих.

Методика досліджень включає металографічний аналіз з використанням вертикального мікроскопа МІМ-7. Приготування металографічних шліфів складається з наступних операцій: шліфування; полірування; травлення.

Для виявлення мікроструктури на приготованому мікрошліфі використовували травник: 4-ри % розчин азотної кислоти.

Твердість після гартування і відпуску вимірюємо за допомогою приладу Роквеллу (ТК). Після азотування твердість поверхневого азотованого шару визначається за допомогою твердоміра Вікерса. Для визначення товщини дифузійних шарів і їх твердості застосовується мікротвердомір ПМТ-3.

## РОЗДІЛ 4

### РОЗРОБКА МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

Маршрутна технологія виготовлення деталі «шток поршневого компресора» представлена на рис. 4.1.

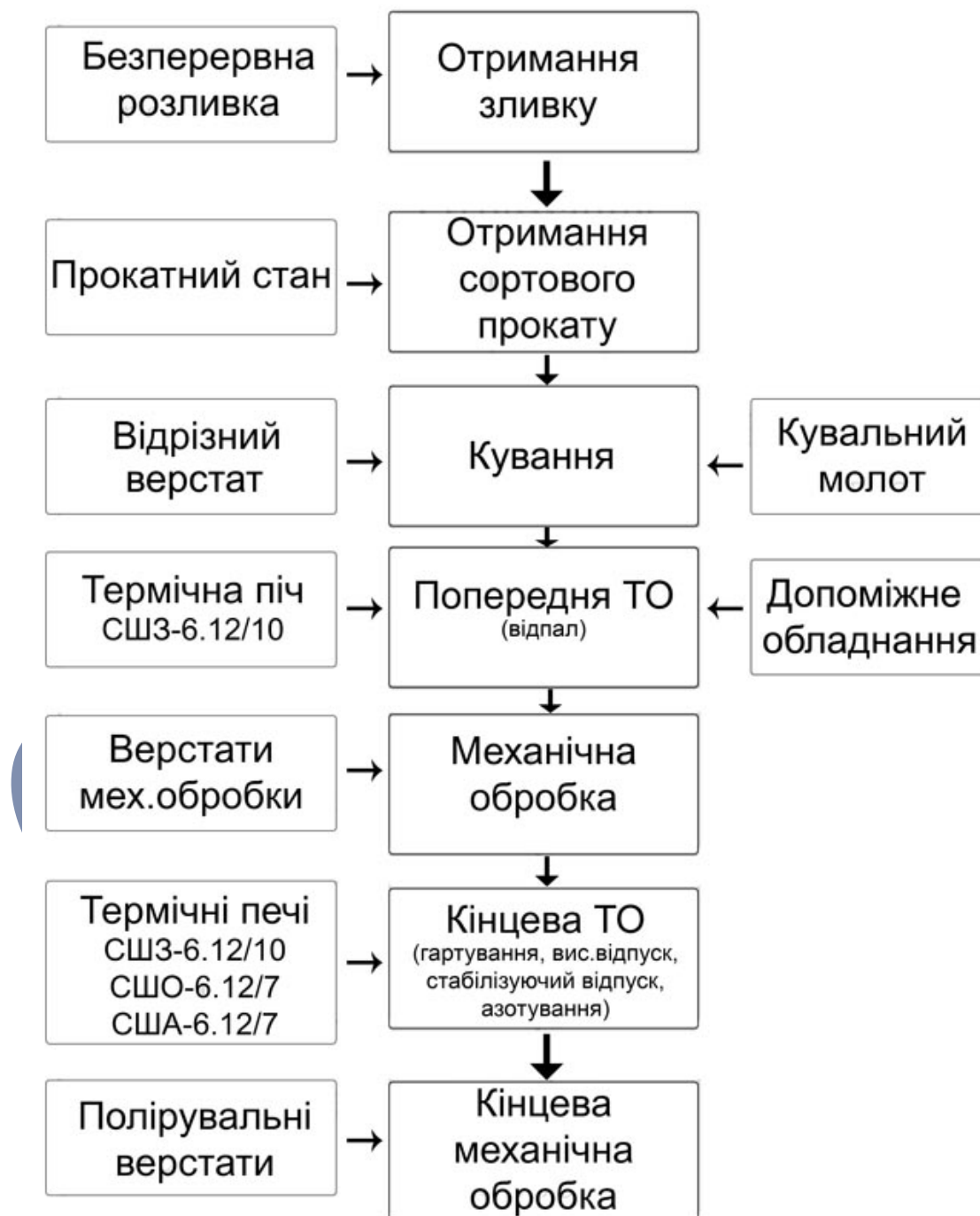


Рисунок 4.1 – Маршрутна технологія виготовлення деталі «шток поршневого компресора».

Шток одержують методом кування при температурах  $T_{\text{поч}} = 1180 \text{ }^{\circ}\text{C}$  і  $T_{\text{кінець}} = 850 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Покувальні приводні пневматичні молоти призначені для виготовлення поковок малої ваги із прокатних заготовок [25]. Допускають також кування у підкладних штампах. Виготовляють пневматичні молоти одностійкового типу з паралельно розташованими робочим та компресорним циліндрами (в одному виливку зі станиною). Управління здійснюється двома кранами (золотниками) з окремим (середнім) краном для холостого ходу.

Кування виконують на плоских або інших бойках із застосуванням різноманітного ковальського інструменту, переважно універсального [26]. При цьому верхній боек здійснює зворотно-поступальний рух. Оброблена заготовка отримує задану форму поступово при обтисканні її частинами. Продукт кування – кована поковка будь-яких розмірів, простої або складної форми – не має достатньо чистої та рівної поверхні та точних розмірів. Для отримання з неї готової деталі зазвичай потрібно поковку обробити з усіх боків на металорізальних верстатах.

В якості попередньої термічної обробки проводимо відпал для отримання рівноважної структури [27]. Після відпалу проводимо термополіпшення. Спочатку гартування для отримання у сплаві максимально нерівноважної структури та відповідно аномального рівня властивостей. Штоки завантажують в піч при температурі  $700 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , нагріваємо до  $930\text{-}950 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , витримуємо 90 хв і охолоджуємо у маслі.

Потім проводимо високий відпуск для поєднання високої ударної в'язкості та достатньої міцності деталі машин, що працюють з ударними та знакозмінними навантаженнями [28]. Завантажуємо деталь у піч при температурі  $590 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , нагріваємо до  $600\text{-}630 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , робимо витримку 3-4 год. та охолоджуємо на повітрі. Надалі ми проводимо механічну обробку, необхідно зробити стабілізуючий відпуск при температурі  $620\text{-}640 \text{ }^{\circ}\text{C}$  з витримкою 2-3 год і охолодженням до  $400 \text{ }^{\circ}\text{C}$  з піччю, а потім на повітрі. Кінцевою термічною обробкою штока є азотування [29].

## Висновок

Шток одержують методом кування. Покувальні приводні пневматичні молоти призначені для виготовлення поковок малої ваги із прокатних заготовок. Допускають також кування у підкладних штампах.

Кування виконують на плоских або інших бойках із застосуванням різноманітного ковальського інструменту, переважно універсального.

Продукт кування – кована поковка будь-яких розмірів, простої або складної форми – не має достатньо чистої та рівної поверхні та точних розмірів. Для отримання з неї готової деталі зазвичай потрібно поковку обробити з усіх боків на металорізальних верстатах.

В якості попередньої термічної обробки проводимо відпал для отримання рівноважної структури. Після відпалу проводимо термополіпшення.

Спочатку гартування для отримання у сплаві максимально нерівноважної структури та відповідно аномального рівня властивостей.

Потім проводимо високий відпуск для поєднання високої ударної в'язкості та достатньої міцності деталі машин, що працюють з ударними та знакозмінними навантаженнями.

Надалі ми проводимо механічну обробку, необхідно зробити стабілізуючий відпуск при температурі 620-640 °C з витримкою 2-3 год і охолодженням до 400 °C з піччю, а потім на повітрі. Кінцевою термічною обробкою штока є азотування.

## РОЗДІЛ 5

### РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 5.1 Розробка методу термічної та хіміко-термічної обробки

Метою і завданням дослідницької частини було проведення і аналіз лабораторних експериментів:

1. Підготовка матеріалів – сталь 38Х2МЮА.
2. Проведення термічних операцій – відпал, термополіпшення, стабілізуючий відпуск.
3. Проведення хіміко-термічної операції – азотування.
4. Виготовлення мікрошліфів, аналіз отриманих мікроструктур.

Для проведення експерименту нами були виготовлені зразки 10x10x15 із сталі 38Х2МЮА. Графік термічної та хіміко-термічної обробки для деталі «шток поршневого компресора» представлений на рис. 5.1 та додатку Б.

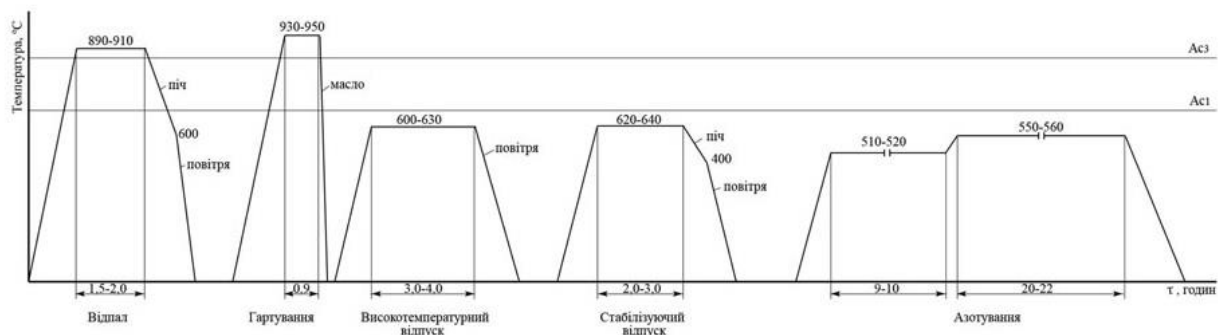
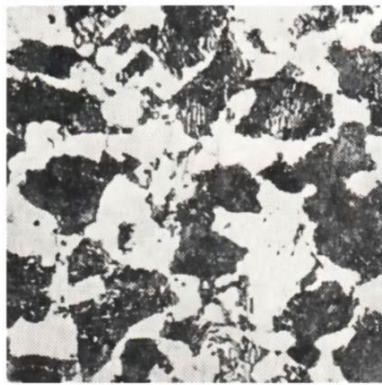


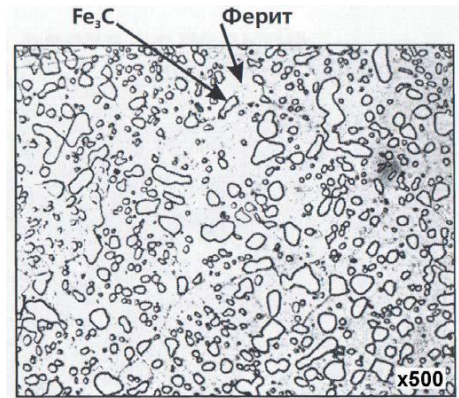
Рисунок 5.1 – Графік термічної та хіміко-термічної обробки штока поршневого компресора.

Виходячи з технологічного процесу деталей вироблена куванням, тому був проведений відпал. Структура зразків після відпалу – Ф+П, твердість 200 НВ (рис. 5.2, а). Далі, відповідно технологічного процесу, передбачена термічна обробка для надання необхідних властивостей серцевині. Було проведено гартування і високотемпературний відпуск. В результаті такої обробки отримали сорбіт з твердістю 33 HRC (рис. 5.2, б).





а)



б)

Рисунок 5.2 – Мікроструктура сталі 38X2МЮА: а) після відпалу, x100, після термічного поліпшення, x500.

Після стабілізуючого відпуску мікроструктура сталі практично не змінюється, спостерігається незначне укрупнення (коагуляція) карбіду заліза  $Fe_3C$  і зменшення твердості до 30 HRC. Кінцевою термічною обробкою для надання деталі високої поверхневої твердості є азотування (рис. 5.4).

Поверхнева твердість після азотування складає 900 HV.

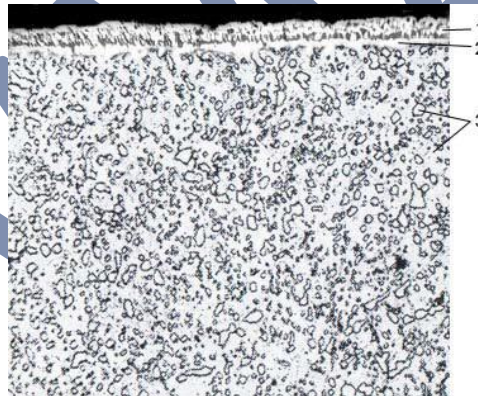


Рисунок 5.4 – Мікроструктура сталі 38X2МЮА після азотування, x100, 1–  $Fe_{2-3}N$ ; 2 –  $Fe_4N$ ; 3 – сорбіт.

## 5.2 Розрахунок і вибір основного, допоміжного і додаткового обладнання

Основне обладнання вибирають, керуючись такими критеріями [30]:

- обладнання має забезпечити виконання розроблених технологічних режимів термічної обробки і визначається типом виробництва;



- характер обладнання, який залежить від річної програми термообробки, а також від маси, розмірів та форми деталей, що обробляються;
- можливість застосування захисних та контрольованих середовищ;
- можливість застосування засобів механізації та автоматизації під час виконання операцій завантаження та вивантаження, переміщення виробів під час нагрівання та охолодження, передачі деталей з однієї операції на іншу;
- порівнявши два – три варіанти обладнання, перевагу віддати більш високопродуктивному, простому в обслуговуванні, більш надійному в експлуатації, яке займає мінімальні виробничі площі, вимагає мінімальних витрат енергії, допоміжних матеріалів.

Річна програма для штока, виготовленого із сталі 38Х2МЮА та масою 18,7 кг складає 300000 шт./рік. Річний випуск:  $\Pi = \frac{300000}{18,7} = 16042$  кг/год.

Для проведення відпалу і гартування вибираємо шахтну електропіч опору СШЗ-6.12/10 [31]. Розраховуємо кількість обладнання:

$$N = \frac{\Pi}{P \cdot \Phi} = \frac{300000}{150 \cdot 3910} = 0,51$$

де N – кількість необхідного обладнання;  $\Pi$  – річний випуск продукції, кг; P – продуктивність обладнання, кг/год;  $\Phi$  – річний ефективний фонд часу устаткування.

Обираю шахтну електропіч опору СШЗ-6.12/10 продуктивністю 150 кг/год у розмірі 2 штуки.

$$\text{Коефіцієнт завантаження печі: } N = \frac{N}{\text{Кількість печей}} = \frac{0,51}{2} = 0,26$$

Для проведення відпуску вибираємо шахтну відпускну піч СШО-6.12/7 [31]. Розраховуємо кількість обладнання:

$$N = \frac{\Pi}{P \cdot \Phi} = \frac{300000}{100 \cdot 3910} = 0,77$$

де N – кількість необхідного обладнання;  $\Pi$  – річний випуск продукції, кг; P – продуктивність обладнання, кг/год;  $\Phi$  – річний ефективний фонд часу устаткування.

Обираю шахтну відпускнуну пiч СШО-6.12/7 продуктивнiстю 100 кг/год у розмірі 2 штуки.

$$\text{Коефіцієнт завантаження печі: } N = \frac{N}{\text{Кількість печей}} = \frac{0,77}{2} = 0,38$$

Для проведення азотування вибираємо шахтну електропiч опору США-6.12/7 [31]. Розраховуємо кількість обладнання:

$$N = \frac{\Pi}{P \cdot \Phi} = \frac{300000}{26 \cdot 3910} = 2,95$$

де N – кількість необхідного обладнання;  $\Pi$  – річний випуск продукції, кг; P – продуктивність обладнання, кг/год;  $\Phi$  – річний ефективний фонд часу устаткування.

Обираю шахтну електропiч опору США-6.12/7 продуктивнiстю 26 кг/год у розмірі 4 штуки.

$$\text{Коефіцієнт завантаження печі: } N = \frac{N}{\text{Кількість печей}} = \frac{2,95}{4} = 0,73$$

В якості допоміжного обладнання для охолодження вибираємо вертикальний гартувальний бак з поворотною траверсою. Габаритні розміри: діаметр 1200 мм, висота 2500 мм.

Деталі, загартовані в маслі, перед відпусткою очищення від масла. Для цього деталі промиваємо в гарячому (80-90°C) 10% водному розчині  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  за допомогою конвеєрної мийної машини або в металевому баку шириною (діаметром) 1200 мм, висотою 2000 мм. Для перемішування розчину в бак подається стиснене повітря.

Контроль на твердість піддаємо деталі після відпалу, гартування і відпуску за допомогою твердомірів ТШ-2 і ТК-2. На ділянці по одній одиниці приладів ТШ-2 та ТК-2. Контроль мікроструктури після ХТО здійснюємо у ЦЗЛ підприємства.

### 5.3 Проектування термічного відділення та розробка плану розташування обладнання на термічній ділянці

Планування термічної ділянки – це графічне розташування приміщень та обладнання, основного та допоміжного, приладів, підйомно-транспортного обладнання, комунікацій.

Для складання планування потрібна відомість на всі види обладнання та інші засоби оснащення з габаритними розмірами, потужністю, місцями підключення. На кресленнях приміщень вказують ширину прольоту, крок колон, вікна, ворота, підвал. Побутові приміщення, склади продукції та сировини, проходи, площа виробничих приміщень, розраховану за укрупненими нормативами, розраховані на окремі види термічного обладнання або знімання продукції з 1 м<sup>2</sup>.

Проїзди та проходи становлять 25-30 % від усіх виробничих площ.

Площа підсумовують і розбивають по довжині сітки колон. Ширина прольотів 6, 12, 15, 18, 24 м. Якщо термічна зала двостороння, то всередині зали може встановлюватися ряд колон. Висота цеху для аерації 6-10 м, із краном 6-8 м.

Планування обладнання ведуть з раціональною організацією робочого місця, що відповідає безпеці, ефективне використання площ, забезпечення зв'язку з іншими виробництвам, з урахуванням охорони навколишнього середовища, зручність виконання операції.

Проектована ділянка розміщена в одноповерховій будові прямокутної форми, це забезпечує ефективне відведення шкідливих газів та пари природним шляхом (аерацією).

Основною несучою частиною цього цеху є колони, виготовлені із залізобетонних конструкцій. Зверху колон встановлюються та нерухомо кріпляться залізобетонні ферми, що мають трикутну форму.

Загальна площа розраховується за такою формулою:

$$P_{\text{заг}} = P_{\text{вироб}} + P_{\text{додат}} + P_{\text{служ}},$$

де  $P_{\text{вироб}}$  – виробнича площа, необхідна для розміщення обладнання;

$P_{\text{додат}}$  – додаткова площа, необхідна для розміщення технологічної оснастки, деталей до і після термічної обробки, технологічних та допоміжних матеріалів для організації складів, місць для формування садок тощо;

$P_{\text{служ}}$  – кабінети керівного складу, а також приміщення для технологів, конструкторів, лічильно-контрського персоналу, роздягальні, туалети, душові, кімнати відпочинку.

Виробнича площа, необхідна для розміщення обладнання:

$$P_{\text{вироб}} = 4 \cdot (25-30) + 100 = 200-220 \text{ м}^2$$

Загальну площу встановлюють за нормативами площі за одиницю устаткування, допоміжна площа становить 25-30% від виробничої.

Допоміжна площа розраховується за такою формулою:

$$P_{\text{додат}} = 0,3 \cdot P_{\text{вироб}} = 0,3 \cdot 200 = 60 \text{ м}^2$$

Площа службова становить приблизно 30 % від виробничих площ:

$$P_{\text{служ}} = 0,3 \cdot P_{\text{вироб}} = 0,3 \cdot 200 = 60 \text{ м}^2$$

Загальна площа ділянки:  $P_{\text{заг}} = 220 + 60 + 60 = 340 \text{ м}^2$

Ширину ділянки приймаємо рівною 18 м, отже, довжина дорівнює 24 м.

Схема планування термічної ділянки представлена в додатку В.

## Висновок

Після вивчення технічних умов роботи деталі «шток поршневого компресора» та маршрутної технології його виготовлення вибрали основні операції термічної/хіміко-термічної обробки, тип обладнання, інструменти тощо.

Основні операції термічної обробки включають в себе: відпал, термополіпшення, стабілізуючий відпуск і азотування. Поверхнева твердість після азотування складає 900 HV.

Для проведення термічної/хіміко-термічної обробки деталі «шток поршневого компресора» було обрано і розрахована кількість основного, допоміжного обладнання та устаткування контролю якості термічної обробки.

Обрано шахтну електропіч опору СШЗ-6.12/10 продуктивністю 150 кг/год у кількості 2 штуки для відпалу та гартування, шахтну відпускну піч СШО-6.12/7 продуктивністю 100 кг/год у розмірі 2 штуки для відпуску, шахтну електропіч опору США-6.12/7 продуктивністю 26 кг/год у розмірі 4 штуки для азотування.

При плануванні термічної ділянки необхідно враховувати ширину проходу посередині цеху – 2-2,5 м, проїзду транспорту рівну 3,5 м; відстань між малими камерними печами 1-2 м, між піччю та стіною приймаємо не більше 1,5-2 м; ширина проходу для робочих 1,2 м. У термічній ділянці мають бути 2 виходи: в механічний цех і надвір.

Загальна площа ділянки:  $P_{заг} = 220 + 60 + 60 = 340 \text{ м}^2$

Ширину ділянки приймаємо рівною 18 м, отже, довжина дорівнює 24 м.

## ВИСНОВКИ

В процесі роботи над випускною кваліфікаційною роботою отримані наступні результати:

1) Шток – це деталь круглого перерізу у вигляді стрижня, що з'єднує поршень з повзуном. Як і інші деталі компресора, що здійснюють рух, шток схильний до зносу. Поршневі компресори, що застосовуються на заводах з переробки нафти, працюють у безперервному режимі, тому штоки цих компресорів зазнають інтенсивного зношування.

2) Штоки виготовляють із сталей 35, 40, 38ХА або легованих з більш високими механічними властивостями ( $\sigma_B \geq 950 \text{ Мн/м}^2$ ,  $\sigma_T \geq 750 \text{ Мн/м}^2$ ,  $\delta_5 \geq 16\%$ ,  $\alpha_H \geq 900 \text{ кдж/м}^2$ ). Штоки, що підлягають азотуванню, виготовляють із сталей 35ХМЮА, 38ХМЮА або 35ХЮА

2) Було проведено літературне дослідження з метою вивчення механізму азотування та різних методів азотування, які використовуються в промисловості.

3) Для виготовлення штока поршневого компресора обираємо сталь 38Х2МЮА. Це конструкційна легована високоякісна релаксаційностіка жароміцна хромоалюмінієва з молібденом сталь, яка містить до 0,38% вуглецю, до 2% хрому, до 1% алюмінію і молібдену, інше – залізо.

4) Методика досліджень включає металографічний аналіз з використанням вертикального мікроскопа МІМ-7 та вимірювання твердості за допомогою приладу Роквеллу (ТК), твердоміра Вікерса. Для визначення товщини дифузійних шарів і їх твердості застосовується мікротвердомір ПМТ-3.

5) Шток одержують методом кування. Кування виконують на плоских або інших бойках із застосуванням різноманітного ковальського інструменту, переважно універсального. Продукт кування – кована поковка будь-яких розмірів, простої або складної форми – не має достатньо чистої та рівної

поверхні та точних розмірів. Для отримання з неї готової деталі зазвичай потрібно поковку обробити з усіх боків на металорізальних верстатах.

6) Основні операції термічної обробки включають в себе: відпал, термополіпшення, стабілізуючий відпуск і азотування. Поверхнева твердість після азотування складає 900 HV.

7) Для проведення термічної/хіміко-термічної обробки деталі «шток поршневого компресора» було обрано і розрахована кількість основного, допоміжного обладнання та устаткування контролю якості термічної обробки. Обрано шахтну електропіч опору СШЗ-6.12/10 продуктивністю 150 кг/год у кількості 2 штуки для відпалу та гартування, шахтну відпускну піч СШО-6.12/7 продуктивністю 100 кг/год у розмірі 2 штуки для відпуску, шахтну електропіч опору США-6.12/7 продуктивністю 26 кг/год у розмірі 4 штуки для азотування. Сплановано термічну дільницю загальною площею 340 м<sup>2</sup> з шириною ділянки 18 м, отже, довжина дорівнює 24 м.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Zou, J., Han, N., Yan, J. et al. (2020). Electrochemical Compression Technologies for High-Pressure Hydrogen: Current Status, Challenges and Perspective. In: *Electrochem. Energ. Rev.* Vol. 3, pp. 690 – 729. <https://doi.org/10.1007/s41918-020-00077-0>
2. Sdanghi, G., Maranzana, G., Celzard, A., Fierro, V. (2019). Review of the current technologies and performances of hydrogen compression for stationary and automotive applications. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* Vol. 102, pp. 150 – 170. ISSN 1364-0321. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.028>
3. Budnik, O.A., Sviderskii, V.A., Budnik, A.F. et al. (2016). Composite Material for Chemical and Petrochemical Equipment Friction Assemblies. In: *Chem Petrol Eng.* Vol. 52, pp. 63 – 68 (2016). <https://doi.org/10.1007/s10556-016-0149-x>
4. Холоменюк, М.В. Компресорні установки [Текст]: навч. посібник / М.В. Холоменюк – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 51 с.
5. Конструкції елементів пневмоагрегатів : навчальний посібник / М. Г. Прокопов, С. М. Ванеєв, В. М. Козін, Ю. С. Мерзляков. – Суми : Сумський державний університет, 2020. – 146 с.
6. Френкель М. И. Поршневые компрессоры. Теория, конструирование и основы проектирования. – Л. : Машиностроение, 1969. – 744 с.
7. Mitrofanov, A.V., Baryshov, S.N. Analysis of Failure of Gas Compressor Piston Rod. *Chem Petrol Eng* 49, 594–599 (2014). <https://doi.org/10.1007/s10556-014-9801-5>
8. An Introduction to Nitriding, ASM International, Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing (#06950G), [https://www.asminternational.org/documents/10192/1849770/06950G\\_Chapter\\_1.pdf](https://www.asminternational.org/documents/10192/1849770/06950G_Chapter_1.pdf)
9. Practical nitriding and ferritic nitrocarburizing, David Pye, ASM International, 2003. ASM Handbook, Vol. 9, Metallography and Microstructure, ASM, 2004.



10. Isabella Flodström. Nitrocarburizing and high temperature nitriding of steels for bearing applications. Diploma work No. 76/2012 of Department of Materials and Manufacturing Technology, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 2012.

11. B. Edenhofer, D. Joritz, M. Rink, K. Voges, 13 - Carburizing of steels, Editor(s): Eric J. Mittemeijer, Marcel A.J. Somers, Thermochemical Surface Engineering of Steels, Woodhead Publishing, 2015, Pages 485-553, ISBN 9780857095923, <https://doi.org/10.1533/9780857096524.3.485>.

12. L. Barrallier, 10 - Classical nitriding of heat treatable steel, Editor(s): Eric J. Mittemeijer, Marcel A.J. Somers, Thermochemical Surface Engineering of Steels, Woodhead Publishing, 2015, Pages 393-412, ISBN 9780857095923, <https://doi.org/10.1533/9780857096524.3.393>.

13. Pinedo, C.E., Monteiro, W.A. Surface hardening by plasma nitriding on high chromium alloy steel. Journal of Materials Science Letters 20, 147–150 (2001). <https://doi.org/10.1023/A:1006723225515>

14. Moskvina, V.; Astafurova, E.; Astafurov, S.; Reunova, K.; Panchenko, M.; Melnikov, E.; Kolubaev, E. Effect of Ion-Plasma Nitriding on Phase Composition and Tensile Properties of AISI 321-Type Stainless Steel Produced by Wire-Feed Electron-Beam Additive Manufacturing. Metals 2022, 12, 176. <https://doi.org/10.3390/met12020176>

15. Wagner, A., Übleis, C., Krawinkler, M. et al. Corrosion Resistance and Tribological Behavior of PACVD Coated and Gas Nitrided Surfaces as Alternative to Hard Chromium for Piston Rod Coatings. Berg Huettenmaenn Monatsh 166, 458–471 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00501-021-01148-5>

16. Carlos Eduardo Pinedo, The use of selective plasma nitriding on piston rings for performance improvement, Materials & Design, Volume 24, Issue 2, 2003, Pages 131-135, ISSN 0261-3069, [https://doi.org/10.1016/S0261-3069\(02\)00121-8](https://doi.org/10.1016/S0261-3069(02)00121-8).

17. [https://www.asminternational.org/web/hts/news/newswire/-/journal\\_content/56/10180/39688283/NEWS](https://www.asminternational.org/web/hts/news/newswire/-/journal_content/56/10180/39688283/NEWS)

- 18.Сорокин В.Г. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин. – М. : Машиностроение, 1989. – 640 с.
- 19.Афтанділянц Є. Г.,Зазимко О. В., Лопатько К. Г. Матеріалознавство: Підручник. К.: Вища освіта, 2012.- с 548
- 20.Борисенок Г. В., Васильев Л. а., Ворошнин Л. Г. Химикотермическая обработка металлов и сплавов. Справочник. — М.: Metallurgiya, 1981. — 255 с.
- 21.Лахтин Ю.М. Metallovedenie и термическая обработка металлов / Ю.М. Лахтин. – М. : Metallurgiya, 1984. – 360 с.
- 22.Башнин Ю.а. Технология термической обработки стали / Ю.а. Башнин. – М. : Metallurgiya, 1986. - 424 с.
- 23.Светкіна О.Ю. Фізико-хімічні методи аналізу. Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи «Мікроскопічний метод дослідження металів і сплавів» дисципліни студентами спеціальностей 161 «Хімічні технології та інженерія» та 132 «Матеріалознавство». Упоряд.: О.Ю. Светкіна, А.С. Коверя, О.Б. Нетяга, Г.В. Тарасова. – Д.: НТУ «Дніпровська політехніка», 2020 – 18 с.
- 24.Матеріалознавство : методичні рекомендації до виконання практичних робіт для студентів спеціальності 186 "Видавництво та поліграфія" першого (бакалаврського) рівня [Електронний ресурс] / уклад. С. О. Дитиненко. – Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2017. – 73 с
- 25.Дальский а.М. Технология конструкционных материалов / а.М. Дальский – М. : Машиностроение, 1977. - 664 с.
- 26.Иванов М.Н. Детали машин : учебник для вузов / М.Н. Иванов. - М., «Высш. школа», 1991. – 330 с.
- 27.Гуляев А.П. Материаловедение / а.П. Гуляев. – М. : Metallurgiya, 1976. – 647 с.
- 28.Новиков И.И. Теория термической обработки металлов : учебник для вузов, 4-е изд., перераб. и доп. - Metallurgiya, 1986. - 480 с.

29.Ляхович Л.С. Химико-термическая обработка металлов и сплавов / Л.С. Ляхович. – М. : Metallurgiya, 1981. – 424 с.

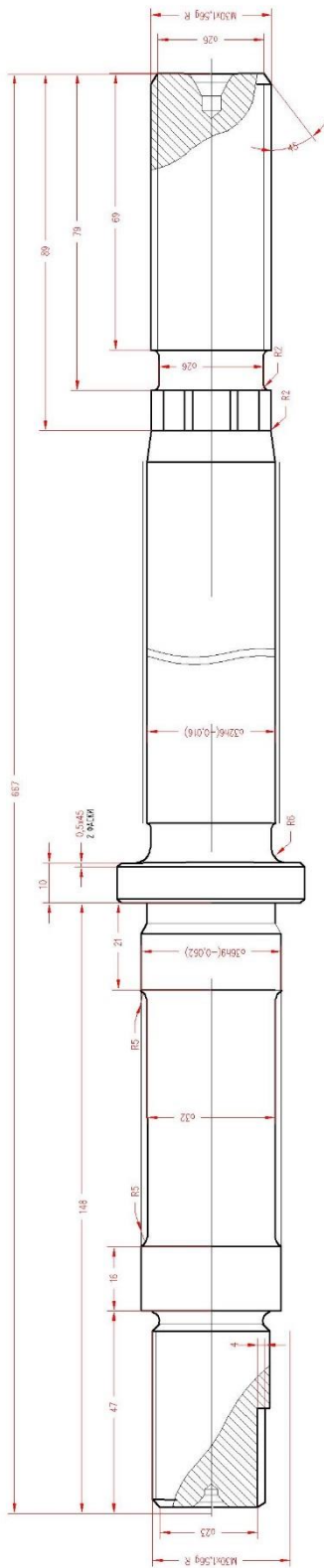
30.Будник А. Ф. Типове обладнання термічних цехів та дільниць [Текст] : навч. посіб. / А. Ф. Будник. — Суми : СумДУ, 2008. — 212 с.

31.Будник А. Ф. Обладнання термічних цехів та дільниць. Атлас конструкцій : навчальний посібник / А. Ф. Будник, А. О. Томас. – Суми : Сумський державний університет, 2014. – 112 с.

СУМДУ

# ДОДАТОК А

Креслення деталі "шток" зі сталі 38Х2МЮА



Хімічний склад і механічні властивості сталі 38Х2МЮА

С	Сu	Mo	Mn	Cr	Al	Si	Ni	S	P
0.35-0.42	не більше 0.3	0.15-0.25	0.30-0.60	1.35-1.65	0.70-1.10	0.20-0.45	не більше 0.3	не більше 0.025	не більше 0.025
Переток, мм	σ <sub>т</sub> , МПа	σ <sub>0.2</sub> , МПа	σ <sub>0.01</sub> , МПа	σ <sub>0.001</sub> , МПа	σ <sub>0.0001</sub> , МПа	σ <sub>0.00001</sub> , МПа	σ <sub>0.000001</sub> , МПа	σ <sub>0.0000001</sub> , МПа	σ <sub>0.00000001</sub> , МПа
60	880	1330	18	52	—	250-310	—	—	—
100	730	880	10	4.5	59	—	—	—	—
200	590	780	10	4.5	59	—	—	—	—

1. Групи кл-705-КСУ 69 ГОСТ 8479-70.
2. Вміст металевих включень по ГОСТ 70074, група 1.
3. Різьблення виконати за ГОСТ 24705-81 методом накатки, вм'ятини, вибоїни, задирки, тріщини, надриви та зриви різьблення не допускаються.
4. Після попередньої механічної та остаточної термобробки контролювати ультразвуковою дефектоскопією в об'ємі 100%. Методика контролю за ГОСТ 6-01-134-81.
5. Дефекти з еквівалентною площею понад 3 мм не допускаються.
6. Контролювати магнітною дефектоскопією за ГОСТ 21105-87 рівень चुлившості А; місце під різьблення контролювати до нарізки різьблення. Тріщини, волосовини та інші дефекти не допускаються.

№	Вид	Мас	Група
1	Мет	100	1
2	Мет	100	1
3	Мет	100	1
4	Мет	100	1
5	Мет	100	1
6	Мет	100	1
7	Мет	100	1
8	Мет	100	1
9	Мет	100	1
10	Мет	100	1
11	Мет	100	1
12	Мет	100	1
13	Мет	100	1
14	Мет	100	1
15	Мет	100	1
16	Мет	100	1
17	Мет	100	1
18	Мет	100	1
19	Мет	100	1
20	Мет	100	1
21	Мет	100	1
22	Мет	100	1
23	Мет	100	1
24	Мет	100	1
25	Мет	100	1
26	Мет	100	1
27	Мет	100	1
28	Мет	100	1
29	Мет	100	1
30	Мет	100	1
31	Мет	100	1
32	Мет	100	1
33	Мет	100	1
34	Мет	100	1
35	Мет	100	1
36	Мет	100	1
37	Мет	100	1
38	Мет	100	1
39	Мет	100	1
40	Мет	100	1
41	Мет	100	1
42	Мет	100	1
43	Мет	100	1
44	Мет	100	1
45	Мет	100	1
46	Мет	100	1
47	Мет	100	1
48	Мет	100	1
49	Мет	100	1
50	Мет	100	1
51	Мет	100	1
52	Мет	100	1
53	Мет	100	1
54	Мет	100	1
55	Мет	100	1
56	Мет	100	1
57	Мет	100	1
58	Мет	100	1
59	Мет	100	1
60	Мет	100	1
61	Мет	100	1
62	Мет	100	1
63	Мет	100	1
64	Мет	100	1
65	Мет	100	1
66	Мет	100	1
67	Мет	100	1
68	Мет	100	1
69	Мет	100	1
70	Мет	100	1
71	Мет	100	1
72	Мет	100	1
73	Мет	100	1
74	Мет	100	1
75	Мет	100	1
76	Мет	100	1
77	Мет	100	1
78	Мет	100	1
79	Мет	100	1
80	Мет	100	1
81	Мет	100	1
82	Мет	100	1
83	Мет	100	1
84	Мет	100	1
85	Мет	100	1
86	Мет	100	1
87	Мет	100	1
88	Мет	100	1
89	Мет	100	1
90	Мет	100	1
91	Мет	100	1
92	Мет	100	1
93	Мет	100	1
94	Мет	100	1
95	Мет	100	1
96	Мет	100	1
97	Мет	100	1
98	Мет	100	1
99	Мет	100	1
100	Мет	100	1





## ABSTRACT

The qualification work of the bachelor contains 46 pages, in particular 10 figures, 4 tables and a list of 31 literature sources on 4 pages.

The purpose of the work is the choice of steel grade, development of route technology for the manufacture of a rod of the piston compressor and the appointment of modes of heat and chemical-thermal treatment for the selected steel grade.

To achieve this goal, the work solved the following tasks:

1. Describe the part «rod of the piston compressor» and analyze the conditions of its operation.
2. Conduct a literature review on the latest trends in nitriding research.
3. Choose the material for the manufacture of parts.
4. To develop thermal/chemical-thermal treatment and route technology of manufacturing the part «rod of the piston compressor».
5. Select equipment for thermal/chemical-thermal treatment.

The qualification work of the bachelor is devoted to the development of route technology for the manufacture of parts «rod of the piston compressor» and the appointment of modes of thermal/chemical-thermal treatment for the selected steel.

Rods are made of steels 35, 40, 38CrA or alloyed with higher mechanical properties ( $\sigma_B \geq 950 \text{ Mn/m}^2$ ,  $\sigma_T \geq 750 \text{ Mn/m}^2$ ,  $\delta_5 \geq 16\%$ ,  $\alpha_H \geq 900 \text{ kJ/m}^2$ ). Rods to be nitrided are made of 35CrMoAlA, 38CrMoAlA or 35CrAlA steels. A literature study was conducted to study the mechanism of nitriding and various nitriding methods used in industry.

For production of a rod of the piston compressor we choose steel 38Cr2MoAlA. This is a structural alloyed high-quality relaxation heat-resistant chromium-aluminum with molybdenum steel, which contains up to 0.38% carbon, up to 2% chromium, up to 1% aluminum and molybdenum, the rest – iron.

The research methodology includes metallographic analysis using a MIM-7 vertical microscope and hardness measurement using a Rockwell instrument (TC),



Vickers hardness tester. PMT-3 microhardness tester is used to determine the thickness of diffusion layers and their hardness.

The rod is obtained by forging. Forging is performed on flat or other strikes using a variety of forging tools, mostly universal. To obtain a finished part from it, it is usually necessary to forge on all sides on metal-cutting machines.

The main heat treatment operations include annealing, thermal improvement, stabilizing tempering and nitriding. The surface hardness after nitriding is 900 HV.

The amount of main, auxiliary equipment and equipment for quality control of heat treatment was selected and calculated for the thermal/chemical-thermal treatment of the part «rod of the piston compressor».

Were chosen the mine electric resistance furnace CIII3-6.12/10 with a productivity of 150 kg/h in the amount of 2 pieces for annealing and quenching, the mine tempering furnace CIIO-6.12/7 with a productivity of 100 kg/h in the amount of 2 pieces for tempering, the mine electric resistance furnace CIHA-6.12/7 with a productivity of 26 kg/h in the amount of 4 pieces for nitriding.

A thermal section with a total area of 340 m<sup>2</sup> with a section width of 18 m is planned, so the length is 24 m.

ROD OF THE PISTON COMPRESSOR, NITRIDING, STRUCTURE,  
HARDNESS