МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
**Національний університет «Запорізька політехніка»**

Інженерно-фізичний факультет
(повне найменування інституту, факультету)
Інтегровані технології зварювання та моделювання конструкцій
(повне найменування кафедри)

**Пояснювальна записка**
до дипломного проєкту
магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему Відновлення робочих коліс і лопаток насоса, працюючого під кавітаційним впливом кислоти

Виконав: студент(ка) II курсу, групи ІФ – 412м
Спеціальності 131 Прикладна механіка
(код і найменування спеціальності)
Освітня програма Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій

Капустян О.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник Білоник І.М.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Мітяєв О.А.
(прізвище та ініціали)

2023 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
**Національний університет «Запорізька політехніка»**
(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Інженерно-фізичний факультет

Кафедра Інтегровані технології зварювання та моделювання конструкцій

Ступінь вищої освіти магістр

Спеціальність 131 Прикладна механіка

Освітня програма Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри**
к.т.н, доц.
О.Є. Капустян
«21» грудня 2023 року

# З А В Д А Н Н Я
# НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТА(КИ)

Капустян О.Є.
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту: Відновлення робочих коліс і лопаток насоса, працюючого під кавітаційним впливом кислоти
Керівник проєкту канд., техн. наук, доц., Білоник І.М.
( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом закладу вищої освіти від «16» грудня 2023 р. № 509
2. Строк подання студентом проєкту 20 грудня 2023 р.
3. Вихідні дані до проєкту креслення виробу

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ, Літературний огляд, матеріали, методика проведення досліджень, проведення досліджень, аналіз і обробка результатів досліджень, технологія, обладнання, Висновки
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
відцентровий насос, робоче колесо, кавітаційно-корозійне зношування, лопатка, дослідження, кавітаційно-корозійна стійкість, технологія відновлення робочого колеса та лопаток відцентрового насосу

6. Консультанти розділів проєкту

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---|---|---|---|
| | | завдання видав | прийняв виконане завдання |
| 1-7 | Білоник І.М. доц. | | |
| Нормоконтроль | Корнієнко О.Б., старш. викл. | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

7. Дата видачі завдання «16» жовтня 2023 року.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| № з/п | Назва етапів дипломного проєкту | Строк виконання етапів проєкту | Примітка |
|---|---|---|---|
| 1. | Вступ | | |
| 2. | Літературний огляд | | |
| 3. | методика проведення досліджень | | |
| 4. | проведення досліджень | | |
| 5. | аналіз і обробка результатів досліджень | | |
| 6. | Висновки | | |
| 7. | Виконання креслень та додатків | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

**Студент(ка)** _____ О.Є. Капустян
( підпис ) (прізвище та ініціали)

**Керівник проєкту** _____ І.М. Білоник
( підпис ) (прізвище та ініціали)

# РЕФЕРАТ

ПЗ: 58 с., 8 рисунків, 12 таблиць, 33 посилань.

ВІДЦЕНТРОВИЙ НАСОС, КАВІТАЦІЯ, КОРОЗІЯ, ЗНОШЕННЯ, НАПІР, УСТАНОВКА ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ, НАПЛАВКА

Об'єкт – відновлення відцентрових насосів по перекачуванню сірчаної кислоти.

Мета роботи – дослідити вплив кавітаційно-корозійного руйнування робочих вузлів відцентрового насосу, розробити: методи підвищення строку служби гідравлічного обладнання і технологічний процес відновлення відцентрового насосу МТН-16.

В ході роботи виконано:

– проведено кавітаційно-корозійні випробування, що показали характер і причини руйнування матеріалів, що використовуються для виготовлення гідравлічного обладнання;

– обрано матеріали для відновлення робочого колеса і лопаток відцентрового насосу;

– описано технологічний процес відновлення робочих вузлів відцентрового насосу МТН-16;

– дано технічні характеристики стандартного обладнання і пристосувань.

# REPORT

E.n.: 58 with., 8 figure, 12 tables, 33 sources.

CENTRIFUGAL PUMP, KAVITATION, CORROSIONWEAR PROCESS the PRESSURE, PRESSURE VANE SCROLL, WELDING

Object of the project - restoration of centrifugal pumps on swapping petroleum and petroleum products with designing a site for welding

The purpose of work - to investigate influence cavitetion-corrosion destructions of working units of the centrifugal pump to develop: methods of increase of service life of the hydraulic equipment and technological process of restoration of centrifugal pump MTN-16.

During work it is executed:

– the cavitetion-corrosion tests which have shown character and the reasons of destruction materials used for manufacturing of the hydraulic equipment are carried out (spent);

– methods of increase of reliability and durability of work of centrifugal pumps on swapping petroleum and mineral oil are developed;

– technological process of restoration of working units of centrifugal pump MTN-16 is described;

– characteristics of the standard equipment and adaptations are given;

– the new process equipment for welding is developed;

– the site for realization of regenerative works is designed;

– economic benefit is designed.

# ЗМІСТ

Перелік умовних позначень ..... 8
Вступ ..... 9
1 Конструкція, матеріал і умови роботи відцентрового насосу по перекачуванню $H_2SO_4$ ..... 10
2 Причини виходу з ладу відцентрових насосів ..... 13
2.1 Вплив кавітації на процес руйнування ..... 13
2.2 Механізм корозійного руйнування матеріалів, що працюють в сильноагресивних середовищах ..... 16
2.3 Спільна взаємодія кавітації і корозії ..... 19
3 Шляхи підвищення роботоздатності деталей, що працюють в умовах кавітаційно-корозійного впливу ..... 23
3.1 Конструктивні та експлуатаційні методи підвищення стійкості, матеріали деталей ..... 23
3.2 Вибір матеріалів для роботи в $H_2SO_4$ під дією кавітації ..... 23
3.2.1 Використання зносостійкого наплавлення ..... 24
4 Методика дослідження кавітаційно-корозійної стійкості сталей і сплавів ..... 27
4.1 Аналіз існуючих установок для кавітаційних і кавітаційно-корозійних випробувань ..... 27
4.2 Методика проведення випробувань ..... 30
4.3 Результати кавітаційно-корозійних випробувань ..... 32
5 Технічні умови на відновлення лопастей і робочого колеса ..... 33
5.1 Вимоги до поверхні ..... 33
5.2 Вимоги, що висуваються до зварювальних матеріалів ..... 33
5.2.1 Вимоги, що висуваються до зварювального дроту ..... 34
5.2.2 Вимоги до захисного газу ..... 35
5.3 Вимоги до процесу наплавлення ..... 35

5.4 Вимоги по контролю якості ..... 37
6 Технологічний процес відновлення робочого колеса і лопастей відцентрового насосу МТН-16 ..... 38
6.1 Вибір способу відновлення ..... 38
6.2 Вибір наплавочних матеріалів ..... 40
6.3 Вибір параметрів режиму наплавлення ..... 41
6.4 Загальна схема технологічного процесу ..... 42
6.5 Техніка і технологія наплавлення ..... 43
6.6 Контроль якості наплавленого шару та виробу ..... 45
6.6.1 Ультразвуковий контроль ..... 46
6.7 Прогнозування стійкості відновленого насосу ..... 48
7 Вибір стандартного обладнання і його технічні характеристики ..... 50
7.1 Мультисистема зварювальна ВДУ-508 ..... 50
7.2 Випрямляч зварювальний ВДМ-6303С ..... 51
7.3 Шліфувальна машина ..... 52
7.4 Позиціонер П - 0,25 ..... 53
Висновок ..... 55
Перелік джерел посилання ..... 56

# ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

грн. – гривня

див. – дивись

рис. – рисунок

табл. – таблиця

# ВСТУП

Кавітаційно-корозійне зношення розвивається у високошвидкісній гідротехніці, що працює в агресивних середовищах, і спостерігається на основних вузлах технологічного обладнання харчових, титано-магнійових, хімічних виробництв.

Розвиток процесу кавітації в корозійному середовищі звичайно призводить до інтенсивного руйнування окремих ділянок робочої поверхні деталей (конуса, ротори хлорних компресорів, запорна арматура, уліти і лопатки насосів і т.д.).

Даний вид зношення металу стає розповсюдженим явищем і завдає великий збиток народному господарству в різних галузях промисловості. Причиною цьому служить передчасний вихід з ладу технологічного обладнання, його простої і значні затрати на ремонт. У ряді випадків кавітаційно-корозійний вплив стає серйозною перешкодою у створенні високовиробничих машин і агрегатів, призводить до різкого зниження строку їх служби і К.К.Д.

Повністю уникнути кавітаційного впливу корозійно-активної рідини практично не представляється можливим, ось чому раціональний вибір кавітаційно-корозійностійкого матеріалу у всих випадках є обов′язковим. Розробка теоретичних передумов спільної дії двох руйнуючих факторів таких, як кавітація і корозія, а також впливу кожного з них на процес руйнування матеріалів є дуже важливим етапом при виборі зносостійкого матеріалу і при експериментальному підтвердженні його стійкості.

# 1 Конструкція, матеріал і умови роботи відцентрового насосу по перекачуванню $H_2SO_4$

Відцентрові насоси для хімічної промисловості випускаються по ГОСТ 10168-75. Типів відцентрових насосів багато. Не дивлячись на принциповий збіг конструкції, відцентрові насоси різних типів мають ряд особливостей, що дозволяють експлуатувати їх в різних умовах. Такими особливостями є конструкція і матеріал, що використовується для виготовлення насосу [1].

Відцентрові насоси для хімічної промисловості призначені для перекачування хімічно активних і нейтральних рідин густиною не більше 1850 кг/м$^3$, що містять тверді включення концентрацією не більше 0,1 %, розміром не більше 0,2 мм, при температурі від –40 до +105° С. Насоси даного типу забезпечують подачу до 500 м$^3$/год., напор до 240 м. Принципова схема відцентрового насосу зображена на рис. 1.1.

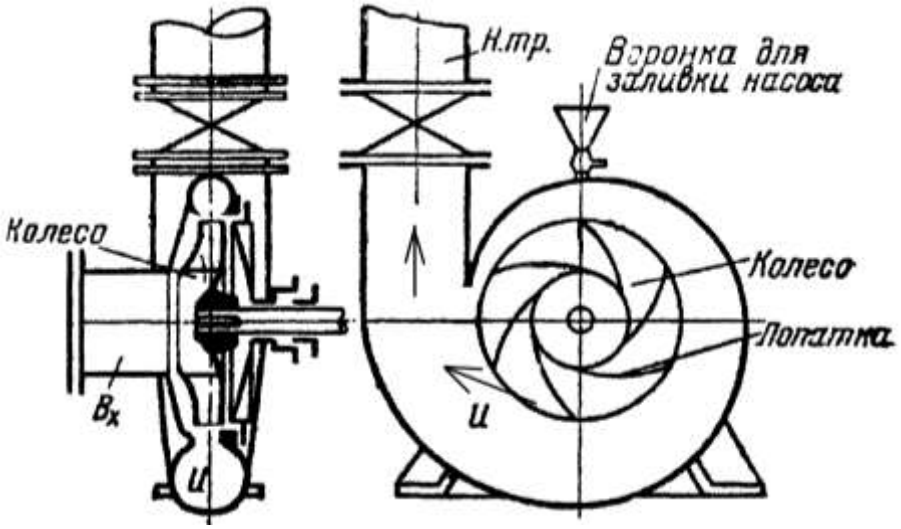



Рисунок 1.1 — Принципова схема відцентрового насосу [1]

Деталі відцентрових хімічних насосів, що перекачують кислоти, лужні розчини, рідкий кисень, агресивні і вибухонебезпечні рідини, виготовляють із різних легованих і високолегованих сталей (20Х13Л, 15Х28, 10Х12НДЛ, 90Х28ФТАЛ, 12Х18Н9Т). У нашому випадку для роботи в 92% сірчаної кислоти використовується відцентровий насос МТН-16. Температура перекачувальної

рідини досягає 60 °С, подача 1,1 м$^3$/год., напор 80 м. Насос виготовляється із сталі 12Х18Н9Т (ГОСТ 5632-72). Хімічний склад і механічні властивості сталі наведено в табл. 1.1 і 1.2, відповідно [2].

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 12Х18Н9Т (ГОСТ 5632-72) [2]

| Вміст елементів, масс. % | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | Mn | Si | Cr | Ni | Ti | S | P |
| | | | | | | не більше | |
| ≤ 0.12 | ≤ 2.0 | ≤ 0.8 | 17,0-19,0 | 9,0-11,0 | 0,50 – 0,70 | 0,020 | 0,035 |

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі 12Х18Н9Т (ГОСТ 5949–75) для сортової сталі (при $\delta_5$ =40%), загартованої з 1020–1100 °С на повітрі, в маслі або воді [2]

| $\sigma_в$ | $\sigma_{0,2}$ | ψ, % |
|---|---|---|
| МПа | | |
| не менше | | |
| 500 | 200 | 55 |

Переваги відцентрових насосів:

– непульсуючий потік рідини;

– висока пристосованість до різних умов завдяки використанню різних коліс;

– практично необмежений набір матеріалів;

– відсутність клапанів або інших вбудованих елементів;

– можливість роботи при закритій напорній лінії.

Недоліками відцентрових насосів є:

– обмежений діапазон подач і напорів;

– низький ККД при недовантаженнях і перевантаженнях, що залежить

від режиму роботи, а також в оптимальній точкі при низьких витратах і високих напорах;

– зниження ККД з ростом в′язкості рідини, що перекачується;

– залежність подачі від протитиску і опору системи;

– неможливість видалення повітря із всмоктуючої лінії без спеціальних пристроїв.

Показники надійності відцентрового насосу МТН-16 такі [1]:

– напрацювання на відмову – 3000 годин;

– ресурс до капітального ремонту – 8000 годин;

– ресурс до списання деталей корпуса – 15000 годин.

# 2 ПРИЧИНИ ВИХОДУ З ЛАДУ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ

Причиною виходу насосів із ладу є різні дефекти, які з′являються як на стадії проєктування, так і в процесі експлуатації насоса. По походженню дефекти діляться на промислові і експлуатаційні.

До експлуатаційних дефектів відносять [1]:

– тріщини втоми (причина – дія високих змінних напружень);
– корозійні ураження (корозія, ерозія);
– кавітаційно-корозійні ураження;
– тріщини термічної втоми;
– механічні пошкодження поверхні.

Найбільш гостро стоїть проблема зношення деталей відцентрових насосів схильних до кавітаційно-корозійного впливу, так як 70 % насосів, які вийшли з ладу, були схильні саме до данного виду руйнування [3].

Розглянемо докладніше механізм кавітаційно-корозійного зношення.

## 2.1 Вплив кавітації на процес руйнування

Деталі технологічного обладнання виробництва магнію, що працюють в контакті з потоком рідини, піддаються своєрідному руйнуванню – ерозії поверхневого шару. Руйнуючою силою в даному випадку є контактуюче середовище. В рухомому потокі рідини при певних гідродинамічних умовах відбувається порушення суцільності потоку з утворенням порожнин, каверн, бульбашок. Потім вони скорочуються і зникають. Це явище, яке протікає в рідкому потоці, носить назву кавітації (від латинського слова cavitas – пустота).

Значну роль у виникненні і розвитку кавітації відіграє стан поверхні твердого тіла, контактуючого з рідиною. Від конфігурації і степені шорсткості поверхні

твердого тіла залежать закрученність потоку, прилипання бульбашок до поверхні, змивання і їх замкнення. Намагаютьсяотримати більш гладкі поверхні твердого тіла, що контактують з потоком (шліфовані і поліровані). При контакті твердої поверхні з потоком рідини встановлюється безперервний процес утворення, росту і скорочення порожнин – бульбашок, який обумовлений гідродинамічними умовами – підвищенням і зниженням тиску в окремих ділянках потоку рідини. Зниження тиску в якійсь частині потоку рідини, контактуючою з твердим тілом при досягненні критичної швидкості, викликає гідравлічну кавітацію. Процес кавітації часто супроводжується вібраціями окремих деталей і вузлів машин, в результаті чого може відбуватися їх втомне руйнування [4]. Однак найбільш небажаним явищем є кавітаційне руйнування робочих поверхонь деталей, що взаємодіють з потоком рідини, що рухається.

На даний час запропоновано ряд теорій, що пояснюють фізичну природу процесів кавітаційних руйнувань. Подібне зношення металу в першому приближенні обумовлене руйнуванням від мікроударного впливу, тобто кавітаційна ерозія містить найбільшу кількість особливостей, характерних в цілому для всього процесу мікроударного руйнування металів і сплавів. Значний вплив на процес мікроударного впливу здійснюють температура, агресивність середовища, наявність в ній зважених частинок, вібрація, електричні
процеси і т.п. [4].

Інші дослідники [5] розглядають кавітацію як двостадійний процес, який включає виділення газової фази при зниженні тиску, і наступний зворотній перехід газової фази в рідку (схлопування кавітаційних бульбашок) при підвищенні тиску після стисненого перерізу. На першій стадії процесу (до стисненого перерізу) відбувається стиснення потоку, при цьому швидкість потоку рідини зворотно пропорційна тиску. Після стисненого перерізу відбувається розширення потоку: кінетична енергія падає, частково переходячи в енергію тиску і під дією диссипативниых сил частково розсіюється. Саме підвищення тиску після стисненого перерізу викликає другу стадію кавітації [5].

Існують і інші погляди [6], що бульбашки в зоні нормального тиску

піддаються багаторазовому стисненню, в результаті чого тиск і температура всередині їх можуть досягати десятків тисяч атмосфер і кількох тисяч градусів відповідно, хоча прямих вимірювань цих показників нікому поки не вдалось виконати. Складність вивчення кавітації, обумовлена швидкоплинністю процесу кавітації і різноманіттям явищ, що мають місце в різних матеріалах, схильних до багаторазового впливу поля бульбашок, що замикаються. Ось чому характер кавітаційних руйнувань з однієї сторони залежить від енергії і концентрації кавітаційних бульбашок та від характеристик міцності матеріалів, з другої сторони. Оцінку рівня енергії, витраченої на утворення одиничних кавітаційних вм′ятин, проводили шляхом визначення величини питомої енергоємності досліджуваних матеріалів. В цьому випадку використовували метод локального динамічного деформування поверхні стальною кулькою, що соударяється зі зразком при швидкості 50-70 м/с. Експериментальне визначення енергоємності ряду матеріалів проводили згідно з методикою [6]. Результати випробувань показали, що для утворення на поверхні зразків ушкоджень у вигляді лунок з середнім об′ємом $4 \times 10^{-3}$ мм$^3$ на алюмінію, АД-1 і $3 \times 10^{-3}$ мм$^3$ на міді марки М1, достатньою є енергія удару величиною $2{,}1 \times 10^{-3}$ і $1{,}98 \cdot \times 10^{-3}$ Дж відповідно. Автори висунули гіпотезу про те, що рівень енергоємності потоку викликає в мікрооб′ємах граничної поверхні напруження дуже широкого діапазону і, зокрема, його значення можуть перевищувати границю міцності матеріалу. В цій роботі встановлена доцільність енергетичного підходу при вивченні проблеми, що дозволяє процес кавітації розглядувати з позицій загального закону збереження енергії, тобто критерій зносостійкості обумовлений здатністю тіла поглинати підведену кавітаційним потоком енергію руйнування.

Для розробки концепції на базі теоретичних викладок та експериментальних результатів безлічі досліджень слід підкреслити, що кавітаційне руйнування містить найбільшу кількість характерних особливостей, справедливих в цілому для всього процесу руйнування металів і сплавів в результаті мікроударного впливу. Умовно процес кавітації можна розділити на дві стадії: стиснення потоку, що супроводжується зниженням тиску і збільшенням кількості бульбашок газів і парів

рідини, і розширенням потоку з підвищенням тиску, за рахунок якого відбувається замикання бульбашок. Температура і тиск всередині бульбашок досягає до декількох тисяч градусів і десятків тисяч атмосфер, відповідно. Характер кавітаційних руйнувань залежить від енергії і концентрації кавітаційних бульбашок, а також від характеристик міцності матеріалів.

Однак, при роботі відцентрових насосів хімічного виробництва присутня сірчана кислота, яка, в свою чергу, здійснює корозійний вплив на поверхню деталей, обумовлений поверхневою плівкою і послабленням границь зерен. Тобто наявність агресивного середовища, в якому працює обладнання, здійснює комплексний (спільно з кавітацією) руйнуючий вплив, ось чому наступним етапом вивчення процесу кавітаційно-корозійного зношення був аналіз впливу сірчаної кислоти на основні деталі відцентрових насосів.

## 2.2 Механізм корозійного руйнування матеріалів, що працюють в сильноагресивних середовищах

Механізм корозійного руйнування матеріалів розглядається на прикладі роботи відцентрових насосів хімічного виробництва. Як згадувалося раніше, в якості робочої рідини у відцентрових насосах використовується сірчана кислота концентрації від 98 % до 92 %.

Сірчана кислота 92 % концентрації є поверхнево-активною при адсорбційному впливу на механічні властивості металу. Концентровані водні розчини сірчаної кислоти містять гомеополярні (ковалентні) зв′язки, і при дії кислоти на метал, частіше за все, відновлення відбувається до утворення чотиризарядних іонів.

Автори роботи [7], досліджували поведінку нержавіючих сталей в сірчаній кислоті. Вони стверджують, що в процесі виробництва сірчана кислота в промивній і сушильній вежах розчиняє в собі сірчаний газ, що підвищує її агресивність і

висуває додаткові вимоги до корозійної стійкості металів. Досліджувалися сталі 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в стані поставки (ГОСТ 5632-72). Поляризаційні і вагові вимірювання проводили на циліндричних електродах в діаерованих очищенних азотом розчинах 20 %-ій при 50° С і 90 %-ій при 80° С сірчаній кислоті. Дослідники встановили, що в 20 %-ій сірчаній кислоті потенціал корозії сталей 12Х18Н10Т і 08Х22Н6Т, як в чистому діаерованому, так і в розчині, що містить $SO_2$, знаходиться в області потенціалів активного розчинення, а швидкість корозії зі зростанням $SO_2$ суттєво збільшується. Високий вміст (більше 5 г/л) розчинного $SO_2$ полегшує пасивацію сталей 10Х17Н13М2Т і 08Х21Н6М2Т в 20%-ій сірчаній кислоті і ускладнює в 90 %-ій $H_2SO_4$. Середня концентрація $SO_2$ (приблизно до 1 г/л) полегшує перехід в пасивний стан всих досліджених сталей в концентрованій 90 %-ій сірчаній кислоті [7].

Згідно адсорбційно-плівковій теорії, виникнення пасивного стану пов’язане з утворенням на поверхні металу адсорбційних, а в деяких випадках, і більш потовщених шарів оксидної плівки [8]. При всьому різноманітті механізмів пасивації, утворення суцільних моно- або полімолекулярних адсорбційних, частіше всього хемосорбційних шарів кисню, має першорядне значення, навіть якщо ця стадія передує утворенню суцільної криючої оксидної плівки, яка в більшості випадків може бути відповідальною за стійкий пасивний стан [8].

В роботі [9] розглядалась природа критичного вмісту хрому, необхідного для перехода сплавів залізо-хром в пасивний стан. Автори стверджують, що переходу сплавів залізо-хром в пасивний стан сприяє підвищення хемосорбційної здатності атомів хрому, внаслідок зменшення степені їх екранування в кристалічній гратці сплаву. Показано, що значення критичної концентрації хрому визначається вірогідністю утворення пар атомів хрому і пов’язане з координаційним числом кристалічної структури сплаву.

В дослідженнях [9], дана характеристика стійкості високолегованих сталей в сірчаній кислоті, із якої видно, що найбільш корозійностійкими є сталі типу 10Х17Н13М3Т (ЭИ-432), 06Х28МДТ (ЭИ-943), а також нікелеві сплави типу

ХН50МД (ЭП-963), що пов’язано з підвищенним вмістом таких елементів, як хром і нікель.

Також вивчалась поведінка високолегованих сталей в сірчаній кислоті, насиченою воднем [10]. Авторами [10], представлені результати корозійних випробувань в 5,7М $H_2SO_4$, насиченою воднем, які показали, що при 60° С стійка лише сталь 06ХН28МДТ. Решта металів (10Х17Н13М3Т, ХН50МД) інтенсивно розчиняються.

В роботі [11], показано пасивність низьковуглецевих та інших нестабілізованих нержавіючих сталей звичайної виплавки до сірчаної кислоти. Саме в таких сталях сульфід марганцю розчинний набагато менше, ніж сульфіди інших присутніх елементів, і виділяється в структурі найлегше.

Аналізуючи вищевикладене, можна зробити наступні висновки:

- сірчана кислота 92 %-ої концентрації є поверхнево-активною при адсорбційному впливу на механічні властивості металу, так само як інші агресивні середовища в яких працює технологічне обладнання магнієвого, хімічного виробництв, а також виробництв кольорових металів;
- при всьому різноманітті механізмів пасивації утворення суцільних моно- або полімолекулярних адсорбційних, найчастіше хемосорбційних шарів кисню має першорядне значення, навіть якщо ця стадія передує утворенню суцільної криючої оксидної плівки;
- вміст до 1 г/л розчинного в сірчаній кислоті SO2 полегшує пасивацію високолегованих нержавіючих сталей;
- найбільш стійкими, безпосередньо, в сірчаній кислоті є низьковуглецеві та інші нестабілізовані нержавіючі сталі звичайної виплавки типу Ст3, 09Х17Н7Ю та ін.

Однак, складність оцінки стійкості матеріалів в даних умовах полягає в тому, що невідомо який із факторів (кавітація або корозія) здійснює превалюючий вплив на процес руйнування матеріалів, а також дуже мало інформації про спільний вплив і сильноагресивних середовищ на процес руйнування. Тому наступним етапом рішення поставленої задачі буде вивчення сумарного впливу двох руйнуючих

факторів.

## 2.3 Спільна взаємодія кавітації і корозії

Основним недоліком робіт, проведених різними дослідниками, є те, що вони лише в першому наближенні пояснюють фізичний сенс явищ, супутніх кавітації в агресивних середовищах і часто не мають експериментального підтвердження.

На даний час багатьма авторами [12] вивчалося кавітаційне зношення в корозійних середовищах, але в якості агресивної рідини використовували прісну і синтетичну морську воду, а в кращому випадку 3 % розчин NaC1. Лабораторні дослідження виконували на магнітострикційному вібраторі. Автори [12], вивели залежність по зміні швидкості кавітації десяти марок сталей від відносної енергоємності тонких поверхневих шарів в прісній воді. Вони пропонують використання структурно-енергетичної теорії кавітаційно-ерозійного зношення матеріалів в корозійно-активних середовищах, тобто при моделюванні процесів кавітаційної ерозії обладнання виходити з положень структурно-енергетичної теорії зношення матеріалів, до теорії міцності твердих тіл і кінетики хімічних реакцій.

Автори роботи [13] стверджують, що існуюче уявлення про корозійно-ерозійне, корозійно-механічне і кавітаційне зношення матеріалів в недостатній мірі враховують вплив технологічних рідин та перероблюваної сировини. Агресивність середовища вносить свої особливості в процес ерозійного зношення. Вони стверджують, що для розкриття механізму корозійно-механічного зношення матеріалів та покриттів в рідких агресивних середовищах необхідно розглянути термодинамічну систему, яка пов′язує макроскопічні параметри об′єкту і навантажень з електрохімічними процесами внутрішньої взаємодії і руйнування.

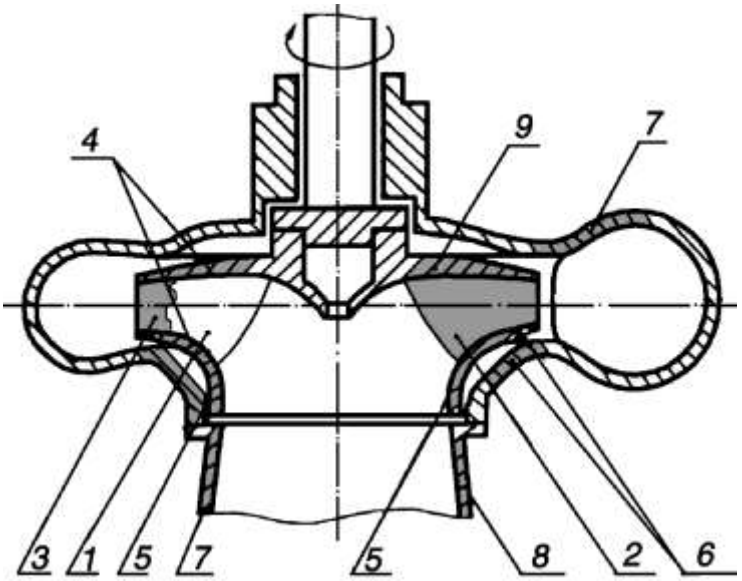
Цікаві дослідження були наведені в роботі [14], де автори стверджують, що для розуміння процесів кавітаційно-механічного зношення необхідно мати точні

дані про співвідношення корозійного і механічного факторів руйнувань в залежності від енергії зовнішнього впливу середовища, його фізико-хімічних характеристик, складнонапруженого положення поверхні, виду її обробки і т.д. Корозійний фактор руйнувань вони визначали по величині току корозії, згідно рівності Тафеля, з урахуванням омного падіння напруги при наявності на поверхні металу окисних плівок або покрить. Дослідження кількісної оцінки корозійного фактору руйнування дозволило розробити спосіб визначення відносної кавітаційно-ерозійної стійкості металів в корозійно-стійкому середовищі. Спосіб базується на інтенсифікації корозійних процесів анодною поляризацією. Змінюючи амплітуду коливань магнітострикційного вібратора і струм поляризації, на їх думку, можна керувати співвідношенням корозійного і механічного факторів руйнувань, чим забезпечується отримання результатів близьких до натурних.

Найбільш близько, в першому наближенні, до пояснень явища кавітаційно-корозійного зношення прийшли автори роботи [15], які стверджують, що ударна корозія металів розвивається в потокі рідини в результаті механічного видалення захисних оксидних плівок, що утворюються на поверхні металу при його пасивації. Багаторазове видалення оксидних плівок, що знов утворюються, призводить до зміни вихідних розмірів деталей.

Відсутність більш конкретної інформації про дану проблему, яка є невирішеною як для хімічного, так і для інших виробництв, де обладнання працює в агресивному середовищі під дією кавітації, наштовхує на доцільність проведення досліджень стійкості матеріалів при впливі кавітаційної ерозії, а випробування необхідно проводити в умовах, найбільш наближенних до натурних з урахуванням (сумарного впливу) кавітації і корозії.

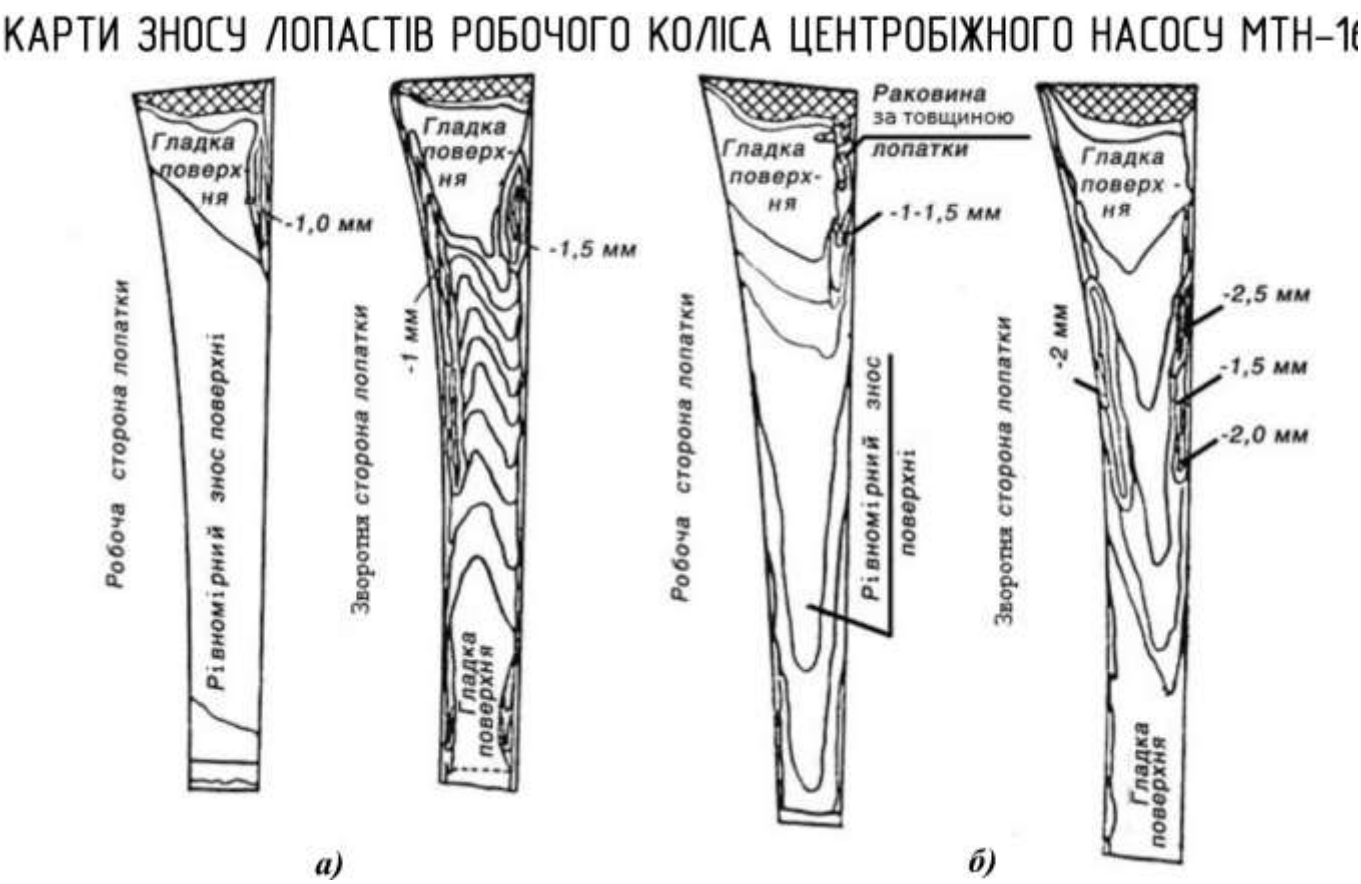
Однією із головних причин виходу з ладу відцентрового насосу є кавітаційно-корозійне зношення його деталей (рис. 2.1). Дослідження мікрошліфів показало, що робоча поверхня деталей відцентрового насосу має вибірковий характер руйнувань в результаті поглиблення і розвитку окремих піттингів з наступним відривом мікро- і макрочастинок, і навіть цілих зерен.




1. – зона руйнування тильної сторони лопатки;
2. – робоча поверхня лопатки;
3. – вихідні кромки лопастей;
4. – зони сполучення лопастей і дисків
5. – внутрішня поверхня зовнішніх дисків;
6. – зовнішня поверхня дисків і внутрішня поверхня корпуса;
7. – вхідні зазори;
8. – внутрішня поверхня патрубка;
9. – внутрішня поверхня лопатки.

Рисунок 2.1 – Схема зношення робочих органів відцентрового насоса МТН-16

Корозійне руйнування, переважно, починається по границям зерен (рис. 2.2) на початкових стадіях мікроударного впливу. В результаті досліджень, зношення робочих поверхонь деталей відцентрового насосу хімічного виробництва встановлено, що колесо з лопастями та уліта піддаються кавітаційній ерозії і електрохімічній корозії, а також незначному абразивному зношенню, в результаті потрапляння на робочі поверхні твердих частинок осаду рідини, що перекачується.




а) подача Q=0,7; б) подача Q=1,1.

Рисунок 2.2 – Карти зношення лопастей робочого колеса відцентрового насоса МТН-16

Як видно із вищеописаного, найбільш важливими факторами, що впливають на довговічність роботи технологічного обладнання хімічного виробництва, є:

- матеріал, що використовується для виготовлення деталей відцентрового насосу;
- сильноагресивна рідина, що перекачується;
- температура рідини, що перекачується.

Вивчення умов роботи насоса показало, що найбільш зношуваними деталями, що визначають строк служби обладнання, є колесо з лопастями та уліта. Ці деталі піддаються кавітаційному і корозійному видам зношення.

# 3 ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ ДЕТАЛЕЙ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ В УМОВАХ КАВІТАЦІЙНО-КОРОЗІЙНОГО ВПЛИВУ

## 3.1 Конструктивні та експлуатаційні методи підвищення стійкості, матеріали деталей

Для попередження та зменшення кавітаційно-корозійних руйнувань деталей хімічного обладнання використовуються різні міри конструктивного і експлуатаційного характеру.

Одним із конструктивних методів підвищення стійкості є використання раціональних профілей деталей, що обтікаються потоком рідини [3, 15].

До експлуатаційних методів слід віднести:

- зниження лінійної швидкості деталей, що інтенсивно зношуються;
- зниження температури робочої (руйнуючої) рідини, підвищення якої здійснює суттєвий вплив на процес корозійно-ерозійних руйнувань;
- зіддув повітря в передбачувану зону зношення.

У більшості випадків ці заходи приводять лише до часткового зменшення руйнувань, вимагаючи при цьому значних матеріальних витрат або зниження робочих параметрів установок.

Ефективним способом підвищення строку служби деталей відцентрових насосів вважається використання для їх виготовлення спеціальних матеріалів, що мають високу опірність корозійно-ерозійному руйнуванню.

## 3.2 Вибір матеріалів для роботи в $H_2SO_4$ під дією кавітації

Аустенітні сталі мають високий опір мікроударному впливу завдяки мартенситному перетворенню, що викликає зміцнення поверхневого шару. Відносно невисоку границю текучості сталей, а також труднощі в механічній

обробкі ускладнюють використання їх в якості конструкційного матеріалу. Дисперсійно-твердіючі і мартенситостаріючі сталі мають високі характеристики міцності і кавітаційної стійкості завдяки ефекту старіння мартенситної структури. Однак, опір цих сталей корозійно-ерозійному зношенню до теперішнього часу ще повністю не вивчений, що ускладнює їх використання.

На сьогоднішній день найбільш вивченою і прийнятною сталлю для роботи в умовах кавітаційно-корозійного зношення є сталь 12Х18Н9Т, яка широко використовується в галузях хімічної промисловості. Але автори роботи [16] досягли високих результатів корозійно-ерозійної стійкості наступних сталей і сплавів: 06Х23Н28М3Д3Т, 08Х23Н25М2Т, 10Х25Н30Г10М6Д6, 00Х12Н8МТЮ і 10Х18Н25М6.

Але, як видно, по наявності таких елементів, як хром, нікель, молібден, їх вартість висока і в той же час, враховуючи, що кавітаційні руйнування починаються з поверхні деталі, не можна, мабуть, вважати кращим способом підвищення строку експлуатації деталей – виготовлення їх повністю із дорогих і не завжди технологічних високолегованих сталей.

Нанесення шару зносостійкого матеріалу на поверхню деталі, що виготовлена із звичайних конструкційних матеріалів, або зміцнення її яким-небудь способом дозволяє значно зменшити витрати при виготовленні деталей.

Найкращими корозійно-ерозійними показниками володіють складнолеговані сталі і сплави, а оптимальним варіантом використання є наплавлення їх на більш дешеву сталь.

### 3.2.1 Використання зносостійкого наплавлення

Використання електродних матеріалів на основі низьковуглецевих хромистих і хромонікелевих сталей (ЦЛ-11, ОЗЛ-8, НЗЛ13, ПЛ-41, 08Х18Н10Б та інш.) не викликає яких-небудь ускладнень при наплавленні — вони достатньо

технологічні, але зносостійкість наплавленого ними металу порівняно низька.

Використання високохромистих наплавочних матеріалів з підвищенним вмістом вуглецю збільшує кавітаційну стійкість наплавленого металу, однак, при цьому помітно знижується його технологічна міцність, що пов’язано з появою гартувальних тріщин.

Зварювальні матеріали на основі хромомарганцевих метастабільних сталей типу 30Х10Г10 і 0Х14АГ12 забезпечують наплавлений метал високої кавітаційної стійкості і технологічної міцності, але низькі санітарно-гігієнічні показники [17] обмежують можливість їх використання в ремонтних умовах.

Високу якість та зносостійкість має метал, наплавлений електродними матеріалами на основі низьковуглецевих, хромонікелевих нержавіючих сталей мартенситного класу, що зміцнюються старінням [18].

Значні показники міцності, ударної в’язкості і зносостійкості мартенситостаріючих сталей пов’язані з певним співвідношенням в складі електродів легувальних елементів, котрі забезпечують в наплавленні однорідну структуру мартенситу, що зміцнюється дисперсними інтерметалідними фазами в результаті впливу термічних циклів [19]. Представниками цієї групи наплавочних матеріалів є електроди УПИ-30МС, які забезпечують наплавлений метал, що містить 0,03-0,06 % вуглецю, 11,5-13,5 % хрому, 5,0-8,0% нікелю, 0,3-1,0 % кремнію, 1,0-1,2 % марганцю, 0,8-2,5 % молібдену, 0,3 % титану, 0,04-0,14 % азоту.

На даний час найбільш оптимальними із вивчених наплавочних матеріалів є електроди наступного типу: 10Х18Н25М6, 10Х25Н30Г10М6Д6, 00Х12Н8МТЮ. Як видно, ці матеріали містять дорогі компоненти, що з економічної точки зору обмежує їх використання.

Для дугового наплавлення деталей відцентрових насосів часто використовуються матеріали на основі хромистих або хромонікелевих сталей, що використовуються звичайно для зварювання нержавіючих сталей. Корозійно-ерозійна стійкість деяких нержавіючих сталей наведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Корозійно-ерозійна стійкість деяких нержавіючих сталей [19]

| Наплавлений метал | Втрата ваги в досліджуваному середовищі за 10 год. випробувань, г | |
|---|---|---|
| | Водопроводная вода | 98% серная кислота |
| 12Х18Н9Т (прокат) | 0,68 | 1,95 |
| 10Х18Н25М6 | 0,47 | 1,29 |
| 10Х25Н30Г10М6Д6 | 0,35 | 1,49 |
| 00Х12Н8МТЮ | 0,31 | 1,42 |

Вибір раціонального складу електродних матеріалів для кавітаційно-корозійного наплавлення пов'язаний з рядом складнощів, обумовлених необхідністю одночасного задоволення суперечливим технічним, економічним і санітарним вимогам [4].

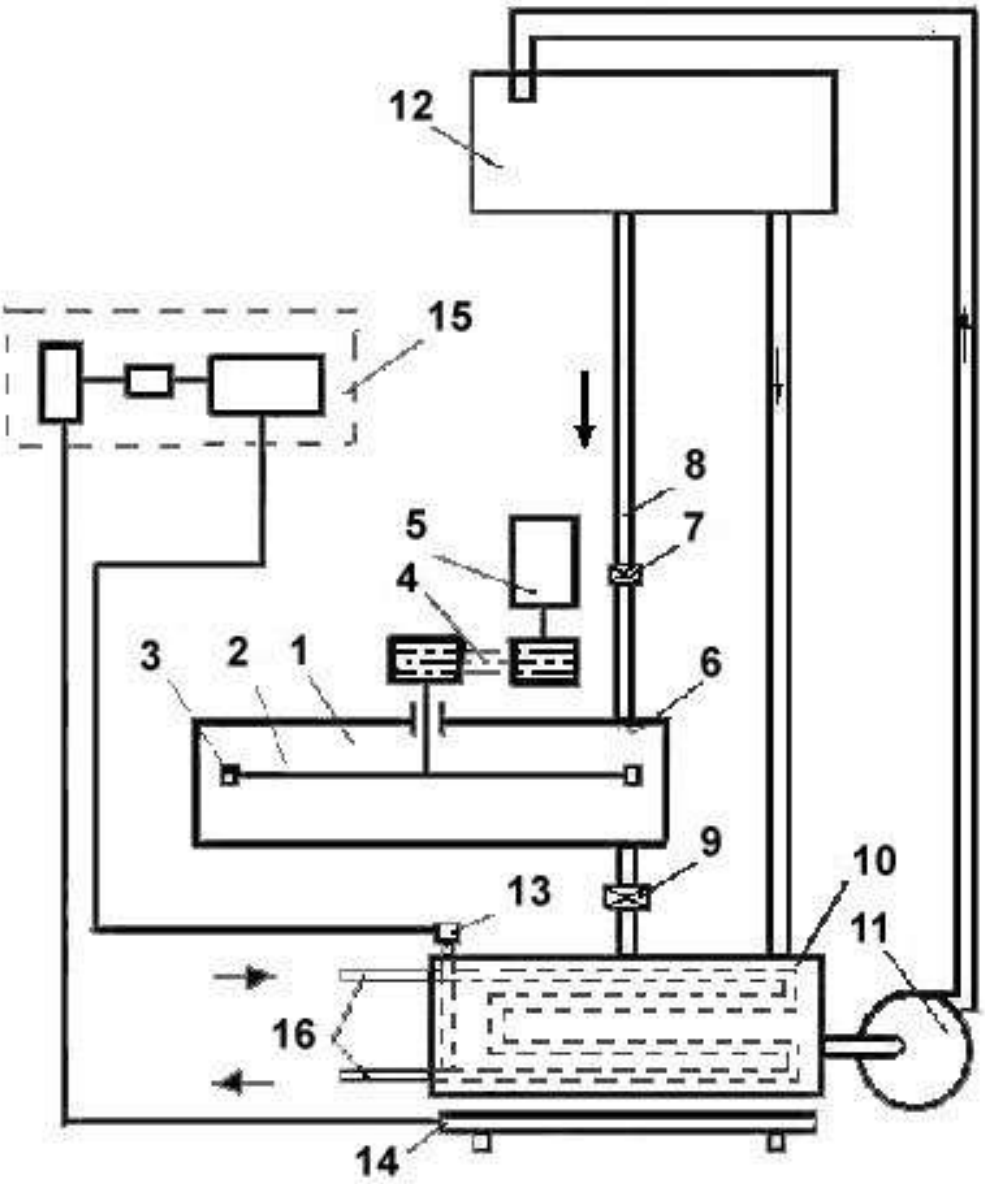
# 4 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ КАВІТАЦІЙНО-КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ

## 4.1 Аналіз існуючих установок для кавітаційних і кавітаційно-корозійних випробувань

Автором роботи [5], створено експериментальний ударно-ерозійний стенд (УЕС), який дозволяє за короткий проміжок часу отримати значні кавітаційні руйнування.

Принцип роботи УЕС наступний – дослуджувані зразки встановлюють на дискі, який обертається з великою швидкістю, і за рахунок багаторазового зіткнення матеріалу об струмінь води зразки піддаються гідроерозії [5]. Основною перевагою даної експериментальної установки є максимальне наближення умов лабораторних випробувань зразків, що повторюють таке промислове обладнання (гребні гвинти, колеса насосів та інш.). Також можна відмітити скорочення тривалості проведення випробувань, простоту, надійність конструкції і спрощення процесу виготовлення зразків. Недоліком УЕС є відсутність можливості використання при експериментах агресивних розчинів.

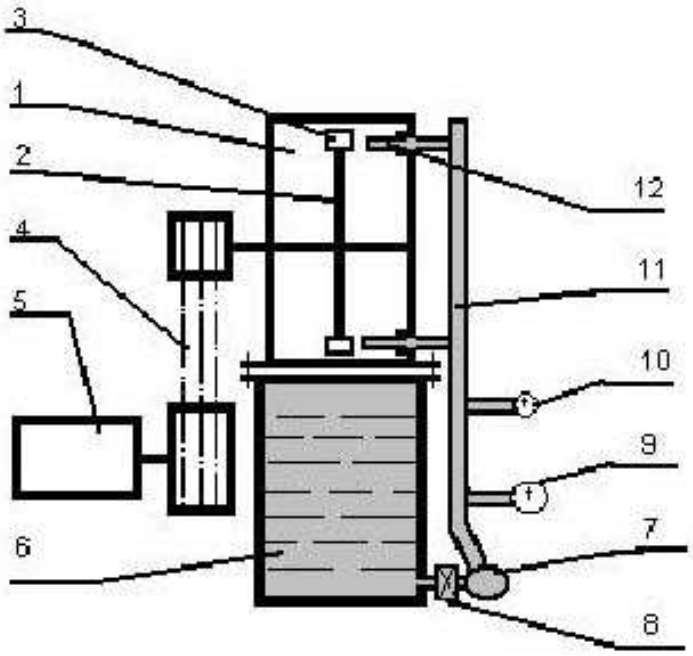
Враховуючи позитивні і негативні якості УЕС, створено експериментальний стенд (УЕС з горизонтальною площиною обертання зразків), схематичне зображення якого представлено на рис. 4.1. Установка відноситься до типу ударно-струменевих, дозволяє змінювати довжину, діаметр струменю рідини, швидкість зустрічі зразка зі струменем і призначена для випробувань різних матеріалів у воді, розчинах кислот, лугів при різних температурах. Однак і в горизонтальному УЕС виникли деякі труднощі в експлуатації. Складність точного балансування коромисла 2 і утворена консоль (вал, на якому кріпиться коромисло, зафіксовано тільки у верхній точкі) призвели до швидкого зношення підшипникового вузла, що обмежує проведення експерименту, а також зношення підшипника призводить до зниження достовірності результатів (змінюється відстань між соплом та двома зразками, яка здійснює вагому роль при зношенні останніх).




1 – робочий бак; 2 – диск (коромисло); 3 – вузол кріплення зразків; 4 – привід; 5 – електродвигун; 6 – сопло; 7,9 – запорний кран; 8 – трубопровід; 10 – зливний бак; 11 – насос; 12 – напорний бак; 13 – термопара; 14 – система підігріву робочої рідини; 15 – пульт управління; 16 – система охолодження робочої рідини.

Рисунок 4.1 – Схема УЕС з горизонтальною площиною обертання

Вказані недоліки установок призвели до створення вдосконаленої установки для кавітаційно-корозійних випробувань різних металів (УККВ) [20]. Загальний вид установки і її схематичне зображення наведені на рис. 4.2.




1 – робоча камера; 2 – диск; 3 – вузол кріплення зразків; 4 – пасова передача; 5 – електродвигун; 6 – бак з робочою рідиною; 7 – насос; 8 – кран; 9 – манометр; 10 – термометр; 11 – трубопровід; 12 – сопло.

Рисунок 4.2 – Схема установки для корозійно-механічних випробувань

Принцип роботи установки заключається в наступному: на дискі 2 встановлюються чотири зразки, які фіксуються за допомогою затискного пристосування 3. Диск приводиться в обертання за допомогою електродвигуна 5 через пасову передачу 4. Частота обертання диску встановлювалась шляхом підбору діаметра веденого шківа до отримання лінійної швидкості обертання зразка 80 м/с (швидкість при якій виникають схлопування бульбашок [5]). Рідина циркулює по замкнутій системі: нижній бак 6 – насос 7 – трубопровід 11 – сопло 12. Для збільшення руйнуючого впливу передбачені два сопла. Підбір насосу здійснювався з урахуванням відновлення струменю (не допускаючи замикання струменю). Для цього в якості аналогу використовувалася УЕС, розроблена в НУ«Запорізька політехніка».

Аналізуючи УКМВ по відношенню до створених до цього часу установок для кавітаційних випробувань, можна виділити такі його переваги:

1. Можливість одночасного випробування декількох зразків (до 4 зразків за

одне випробування).

2. Коротка тривалість випробувань.

3. Простота і надійність пристрою.

4. Випробування можна виконувати в різних корозійних середовищах.

5. Можливість регулювання параметрів випробувань (швидкості руху і температури рідини, відстань від сопла до зразка, діаметра і форми вихідного отвору сопла);

Технічні характеристики установки, наступні:

- номінальна робоча напруга, В …… 380
- потужність електродвигуна (асинхронного), кВт … 4,5
- витрати робочої рідини, м3/с …… $1,2 \cdot 10^{-3}$
- об’єм нижнього баку, л …… 50
- габаритні розміри (довжина х ширина х висота), мм 1550×550×1240
- вага установки, кг …… 82

## 4.2 Методика проведення випробувань

Виходячи з вищесказаного, вивчення початкових стадій кавітаційної ерозії можна проводити з використанням усих розглянутих установок, але кількісну характеристику стійкості металів і сплавів при спільному впливі кавітації і корозії можна визначити тільки на УККВ.

Таким чином, проведення випробувань на спільний кавітаційно-корозійний вплив проводилось на УККВ.

Для визначення корозійної, кавітаційної і кавітаційно-корозійної стійкості використовували стандартні та дослідницькі (наплавлений метал) нержавіючі сталі і сплави, що рекомендовані для роботи в умовах корозійного і ударно-ерозійного впливу розчинів $H_2SO_4$. До цієї категорії відносять аустенітні і аустенітно-феритні сталі (сплави) наступних марок: 12Х18Н10Т (в якості еталона), 06Х23Н28М2Т

(ЭИ-628), 06Х23Н28М3Д3Т (ЭИ-943, ХН28МДТ) и 10Х23Н18 (ГОСТ 5632-72) та інш. Безпосередньо для роботи в умовах впливу сірчаної кислоти різної концентрації найбільш стійкими є сталі 06Х23Н28М2Т (ЭИ-628), 06Х23Н28М3Д3Т (ЭИ-943), 20Х23Н18 і 10Х23Н18 [21, 22, 23]. Сплав типу Х23Н28М3Д3Т рекомендують для роботи в $H_2SO_4$ різної концентрації при робочій температурі до 80° С [23]. В якості стрижнів для електродів використовували зварювальні дроти марок: Св-01Х19Н8, Св-10Х16Н25АМ6, Св-13Х25Н18, Св-01Х23Н28М3Д3Т (ГОСТ 2246-70). Електроди виготовляли методом опресування. В склад покриття дослідних електродів фтористо-кальцієвого типу додатково вводили основні легувальні складові: Cr, Ni, Mo, Cu. При цьому в наплавленному металі отримано, масс. %: 14-24 Cr, 10-30 Ni, 1-6 Mo, 1-3 Cu. Багатошарове наплавлення ($d_{ел}$ = 4 мм, $I_{зв}$ = 110-120 А, $U_{зв}$ = 24-26 В) здійснювали на пластини із сталі 12Х18Н9Т з примусовим охолодженням тильної сторони зразка [24].

Для підбору режима максимального зношення матеріалів використовували зразки із сталі 12Х18Н9Т.

Зразки для кавітаційних випробувань вирізали розміром 10 мм × 10 мм × 24 мм і зачищували дрібним наждачним папером до отримання чистоти поверхні 0.8√, знежирювали ацетоном, промивали дистильованою водою. Перед випробуванням зразки просушували і зважували на аналітичних вагах з точністю ± 0,0001 г.

Зразки в кількості 3-5 шт. піддають випробуванню, а для решти матеріалу (литого або наплавленого, із якого вирізались зразки) визначають механічні властивості.

Відносну кавітаційно-корозійну стійкість визначали кількісними випробуваннями (по втраті ваги зразка за одиницю часу). Для цього знежирені в ацетоні зразки проходять просушування в печі при температурі 150-200 ºС впродовж 15-20 хвилин, зважуються на аналітичних вагах з точністю до 0,0001 г, запис ваги кожного зразка заноситься в журнал. Зважування проводиться через кожні 2 години, при цьому кожен раз зразки промиваються і просушуються. Випробування проводять для 3-5 зразків із кожної серії.

## 4.3 Результати кавітаційно-корозійних випробувань

Результати кавітаційно-корозійних випробувань наплавлених нержавіючих сталей і сплавів (табл. 4.1) дають вже більш повну характеристику стійкості цих металів при спільному впливі кавітації і корозії.

Стандартна нержавіюча сталь 12Х18Н9Т дуже слабо стоїть при спільному впливі цих двох руйнуючих факторів (табл. 4.1), що і передбачалося із-за поганої її стійкості при випробуваннях на корозію і на кавітацію (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Корозійно-механічні властивості нержавіючих сталей і сплавів

| Серія зразків | Тип наплавленного металу | Структурний стан | Втрата ваги зразка за 6 год. випробувань, г | |
|---|---|---|---|---|
| | | | вода | 92% $H_2SO_4$ |
| 1 | 12Х18Н9Т | γ | 2,13 | |
| 2 | 06Х23Н28М2Т | γ | 1,02 | 2,45 |
| 3 | 06Х23Н28М3Д3Т | γ | 0,67 | 1,61 |
| 4 | 20Х23Н18 | δ + γ | 0,97 | 2,33 |
| 5 | 10Х23Н18 | δ + γ | 1,05 | 2,52 |

Примітка. Сталь 12Х18Н9Т в 92 % $H_2SO_4$ не досліджували, так як за 6 годин випробувань відбувається наскрізне руйнування зразків.

Таким чином, найкращі показники стійкості має сталь 06Х23Н28М3Д3Т.

# 5 ТЕХНІЧНІ УМОВИ НА ВІДНОВЛЕННЯ ЛОПАСТЕЙ І РОБОЧОГО КОЛЕСА

## 5.1 Вимоги до поверхні

Деталь, що піддається впливу кавітації, має дефекти, не тільки видні з поверхні, але і ті, що значно простягаються вглиб металу, ось чому необхідне ретельне видалення всього дефектного шару. Деталь не допускається до наплавлення і вважається браком якщо:

- виявлено наскрізні отвори по товщині лопатки або робочого колеса;
- є надколи, надриви, тріщини на відновленій поверхні;
- порушено задані геометричні розміри деталей;
- мінімальна товщина наплавлюваної поверхні менше 3 мм.

Після видалення дефектного шару для відновлювального наплавлення поверхня повинна бути зачищена, для видалення оксидів і грата, до отримання чистоти поверхні $^{6,3}\surd$.

Перед наплавленням поверхня має бути оброблена розчинником.

Для проведення зносостійкого наплавлення поверхня повинна, бути оброблена до чистоти $^{6,3}\surd$ і також оброблена розчинником.

Після проведення наплавочних робіт і шліфування, чистота поверхні повинна бути $^{0,8}\surd$.

## 5.2 Вимоги, що висуваються до зварювальних матеріалів

На сьогоднішній день, при великому різноманітті зварювальних матеріалів можливе забезпечення необхідних властивостей металу шва для всих марок сталі, що застосовуються в металевих конструкціях. Однак велику увагу потрібно приділити якості зварювальних і наплавочних матеріалів, що надходять на

підприємство.

### 5.2.1 Вимоги, що висуваються до зварювального дроту

Стальний зварювальний дріт виготовляється згідно ГОСТ 2246-70 і спеціальним технічним умовам. Основною вимогою до електродних дротів є відповідність їх хімічного складу ГОСТ 2246-70 (див. табл. 6.1). Дріт повинен постачатися в мотках. Зовнішній діаметр мотка повинен відповідати 500-750 мм включно. Дріт в мотках повинен складатися із одного відрізку, звернутого не переплутаними рядами і щільно зв′язаного таким чином, щоб виключити можливість розпушування чи розмотування мотка. Кінці дроту повинно бути легко знайти. Допускається контактне стикове зварювання окремих шматків дроту однієї плавки; при цьому поверхня дроту в зоні зварного з′єднання повинна відповідати вимогам ГОСТ 2246-70. Поверхня дротів повинна бути чистою та гладкою, без тріщин, розшарувань, забоїн, раковин, окалини іржі та інших забруднень.

На поверхні дроту допускаються риски (в тому числі, і затягнуті), подряпини і окремі вм′ятини. Глибина вказаних дефектів не повинна перевищувати граничного відхилення по діаметру. На поверхні дроту не допускається наявність технологічної змазки, за виключенням слідів мильної змазки без графіту та сірки.

Основні вимоги до зварювального дроту [25]:

- граничне відхилення діаметру від номінального 0,16 мм, допустима овальність – 0,08 мм;
- на поверхні дроту не допускається наявність іржі, забруднень, технологічних змазок;
- дріт приймається технічним контролем підприємства.

### 5.2.2 Вимоги до захисного газу

Захисний газ подається в зону зварювання (наплавлення) під тиском більшим, ніж атмосферний, завдяки чому він витісняє повітря від плавильного простору, забезпечуючи необхідну захисну атмосферу – в даному випадку інертну. Для забезпечення задовільних властивостей наплавленного металу доцільно використовувати в якості захисної атмосфери суміш: Ar+5%$O_2$. Домішки кисню і аргону знижують критичний струм, при якому крапельне перенесення переходить в струменеве, сприяє отриманню більш щільного наплавленного металу, покращує сплавлення, зменшує підрізи та збільшує продуктивність зварювання [26, 27]. Використовується аргон першого гатунку (ГОСТ 10157-79).

Технічні умови, що висуваються до аргона наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Технічні вимоги до захисного газу [26]

| Гатунок | Вміст, об. % | | | | | Температура насичення, К |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ar | пара $H_2O$ | $CO_2$ | $N_2$ | $O_2$ | |
| Перший | 99,98 | 0,03 | 0,005 | 0,01 | 0,003 | 223 |

## 5.3 Вимоги до процесу наплавлення

Наплавлення робочого колеса і лопастей, як відновлювальне, так і зносостійке, виконується напівавтоматичним способом.

Для проведення робіт необхідно використовувати тільки справне, атестоване обладнання.

До роботи допускається тільки зварювальний персонал, що має відповідну кваліфікацію.

Коливання зварювального (наплавочного) струму $I_{зв}$ і напруги $U_д$ не повинні перевищувати 35 А і 8 В відповідно.

Накладення валиків при наплавленні відбувається таким чином, щоб кожен наступний валик перекривав попередній в середньому на 1/3 ширини. Тоді крок наплавлення буде 2/3 ширини валика [28]. Форма і розміри наплавленної поверхні колеса і лопатки насоса повинні відповідати та бути в діапазоні заданих розмірів (рис. 5.1).

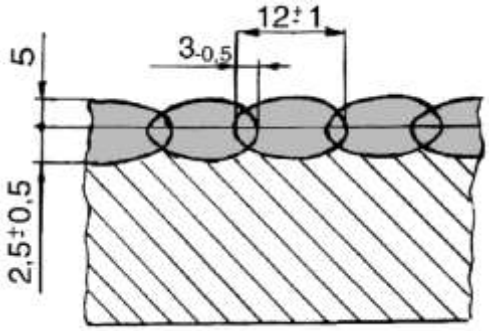



Рисунок 5.1 – Форма і розміри наплавленої поверхні колеса і лопатки насоса

По зовнішньому вигляду наплавленні валики повинні задовольняти наступним вимогам:

а) мати гладку або рівномірно полущену поверхню (без напливів, прожогів, звужень і перерв); валики повинні мати плавні обриси;

б) наплавлений метал повинен бути щільним, не мати дефектів, що виходять за межі, вказані в п. 5.4;

в) пропуски між валиками допускаються шириною не більше 1-2 мм;

г) допускаються окремі шлакові включення або пори, або скупчення їх розміром по діаметру не більше 10% товщини стінки труби, але не більше 3 мм;

д) допускаються шлакові включення або пори, розміщенні ланцюжком вздовж наплавленого валика, при сумарній їх довжині, що не перевищує 200 мм на 1 м наплавленого валику;

е) допускається скупчення газових пор і шлакових включень на окремих ділянках наплавленого валика в кількості не більше 5 шт на 1 см$^2$ площі валика при діаметрі одного дефекту не більше 1,5 мм;

ж) тріщини всих видів та розмірів, що виходять на зовнішню поверхню, не допускаються.

## 5.4 Вимоги по контролю якості

Якість наплавленого шару лопастей робочих коліс відцентрового насосу відбувається шляхом:

- систематичного контролю підготовки відновлюваної деталі, правильності виконання технології наплавлення;
- візуального огляду наплавленого шару;
- використання ультразвукової дефектоскопії.

Перед оглядом наплавлений метал очищують від шлаку та бризків. Якщо здійснюється термічна обробка металу, то зовнішній огляд роблять до і після її проведення, так як при нагріві і наступному охолодженні дефекти можуть розкритися.

Не допускаються зовнішні дефекти у вигляді не заплавлених кратерів, пористості, тріщин, напливів. Перехід від наплавленого металу до основного повинен бути плавним.

Візуальний контроль проводиться для 100 % наплавлених деталей, УЗК – кожна третя деталь із партії.

Наплавлена поверхня вважається бракованою, якщо будуть знайдені: тріщини будь-яких розмірів, кратери більше 1 % від товщини відновлюваної деталі, шлакові включення і пори розмірами 10 % від товщини відновлюваної деталі або скупчення шлакових включень і пор сумарною тривалістю більше 20% від загальної довжини лопасті [29, 30].

# 6 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧОГО КОЛЕСА І ЛОПАСТЕЙ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСУ МТН-16

## 6.1 Вибір способу відновлення

Лопатку і робоче колесо можна відновлювати різними способами: ручне дугове покритими електродами, автоматичне наплавлення під шаром флюсу, напівавтоматичне наплавлення в середовищі захисних газів і т. д.

Самим розповсюдженим і недорогим методом наплавлення є електрична дуга. Ручне наплавлення зносостійкими електродами відзначається високою універсальністю, можливістю наносити шар на вироби складної форми різних розмірів. На сьогоднішній день ручне дугове наплавлення покритими електродами широко використовується по наступним причинам: ручне наплавлення електродами легше всього пристосувати до положення деталі; наплавлення відбувається порівняно швидко і економічно; номенклатура складів, що використовуються при ручному електродному наплавленні, більш обширна, ніж при інших процесах, що дає можливість більш точно відповідати характеру зносу; обладнання для цього процесу використовується в звичайних ремонтних майстернях, ось чому не потрібно додаткових витрат, не потрібно спеціального обладнання, дорогих і дефіцитних матеріалів. Однак, після такого наплавлення, шар наплавленого металу відрізняється низькою якістю, невисоким рівнем механічних властивостей, потрібна механічна обробка покриття, що знижує коефіцієнт використання наплавленого металу, збільшує час простою насосів в ремонті. Однак, треба відмітити її низьку продуктивність 1-3 кг/год, важкі умови праці, підвищенну небезпеку утворення тріщин і великі витрати наплавлюючого матеріалу за рахунок огарків.

Ряд переваг в порівнянні з ручним наплавленням має автоматичне наплавлення під флюсом. Головною його перевагою є неперервність процесу, висока продуктивність, можливість наплавлення при великій силі струму і високій погонній енергії забезпечує цьому способу високу продуктивність при хорошій

якості наплавляємого металу, і завдяки цьому даний спосіб займає домінуюче положення в області автоматичного наплавлення. Дугове наплавлення під флюсом має наступні переваги: незначні втрати електродного металу, простота процесу, яка не потребує високої кваліфікації зварювальника, відсутність відкритого випромінення дуги, що значно покращує умови праці електрозварювальників, можливість введення до 30 % легувальних елементів в наплавлений метал, а також можливість наплавлять за один прохід валик шириною до 100 мм; можливість отримання хорошого зовнішнього виду валика; хороші умови праці, пов'язані з відсутністю розбризкування електродного металу (оскільки дуга схована під шаром флюсу). Разом з тим цьому способу наплавлення притаманні наступні недоліки: більш висока вартість обладнання, ніж для ручного дугового наплавлення покритими електродами [28].

Процес відновлення зношеної лопатки і робочого колеса до вихідних розмірів не може бути виконаний автоматичним наплавленням внаслідок нерівномірності зношення по поверхні деталі. Також використання автоматичного наплавлення ускладнене, так як деталь є не розбірною та дуже важко спроєктувати слідкуючий пристрій, який би в точності повторював контури відновлювальної деталі.

На основі критичного аналізу, альтернативних варіантів, обрано оптимальний технологічний процес нанесення зносостійкого шару на лопатки і робоче колесо, способом напівавтоматичного наплавлення в середовищі захисного газу. Даний спосіб має ті ж переваги, що і ручне дугове наплавлення, але має деякі переваги над автоматичним наплавленням. Зокрема, підвищує продуктивність праці, покращує якість наплавленого металу, зменшує штучний час на наплавлення, зменшує час простою насосів в ремонті.

## 6.2 Вибір наплавочних матеріалів

Виходячи з даних таблиці 4.1, найкращими характеристиками володіє наплавлений метал марки 06Х23Н28М3Д3Т.

Для отримання заданого хімічного складу використовуємо дріт марки Св-06Х23Н28М3Д3Т по ГОСТ 2246-70. Хімічний склад наплавленого металу і його механічні властивості наведено в таблиці 6.1 і таблиці 6.2.

Таблиця 6.1 – Хімічний склад наплавленого металу дротом марки Св-06Х23Н28М3Д3Т, масс. % (ГОСТ 2246-70) [2].

| Si | Mn | Cr | Ni | Mo | Cu | C | S | P |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | не больше | | |
| 0,7-0,9 | 0,7-0,9 | 22-24 | 27-29 | 2,5-3,2 | 3.0-3.4 | 0,06 | 0,018 | 0,030 |

Таблиця 6.2 – Механічні властивості наплавленого металу дротом марки Св-06Х23Н28М3Д3Т

| Механічні властивості | | | |
|---|---|---|---|
| $\sigma_B$, МПа | $\sigma_{02}$, МПа | δ, % | KCU, кДж/м$^2$ |
| 550 | 200 | 35 | 2200 |

Для забезпечення задовільних властивостей наплавленого металу доцільно використовувати в якості захисної атмосфери суміш: Ar+5%$O_2$. Домішки кисню і аргону знижують критичний струм, при якому крапельне перенесення переходить в струменеве, сприяє отриманню більш щільного наплавленого металу, покращує сплавлення, зменшує підрізи та збільшує продуктивність зварювання [26].

## 6.3 Вибір параметрів режиму наплавлення

Для відновлення лопастей відцентрового насосу використаємо напівавтоматичний спосіб наплавлення. Для проведення розрахунку параметрів режиму наплавлення необхідно задати вихідні дані:

- діаметр дроту – 2 мм (обмежений можливостями механізму подачі напівавтомату);
- рід струму – постійний прямої полярності (так як глибина проплавлення менша, ніж на зворотній);
- захисний газ – Ar + 5 % O2 (див. п. 6.2);
- виліт електроду – 10-15 мм [27];
- витрата аргону – 8-10 л/хв [31];
- розміри наплавленого металу наведені на рис. 6.1.

Струм наплавлення визначаємо по формулі [31]:

$$I_{СВ} = \frac{d^2 \cdot j \cdot \pi}{4}, \quad (6.1)$$

де $d_e$ – діаметр зварювального дроту, $d_e$ = 2 мм;

j – густина струму, для дроту діаметром 2 мм j = 80 А/мм$^2$.

$$I_{СВ} = \frac{2^2 \cdot 80 \cdot 3.14}{4} = 251.2\ A$$

Для прийнятого діаметру електроду і сили зварювального струму визначаємо оптимальну напругу дуги:

$$U_Д = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d_Э}} \cdot I_{СВ} \pm 1, \quad (6.2)$$

$$U_Д = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{2}} \cdot 251,2 - 1 = 28 \ B$$

Обрані параметри наведені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Режим наплавлення робочого колеса і лопастей відцентрового насосу

| Діаметр дроту, мм | Рід струму, полярність | Зварювальний струм, А | Напруга дуги, В | Швидкість подачі дроту, м/год | Виліт електроду, мм | Витрати аргона, л/хв |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | Постійний струм, пряма полярність | 210-250 | 24-32 | 80 | 10-15 | 8-10 |

6.4 Загальна схема технологічного процесу

Загальна схема технологічного процесу наплавлення робочих коліс і лопаток відцентрового насосу складається з наступних основних задач:

- вхідний контроль основних і зварювальних матеріалів;
- підготовка основних і зварювальних матеріалів до наплавлення;
- наплавлення робочого колеса і лопастей;
- технічний контроль наплавлених деталей та виправлення дефектів.

Вхідний контроль основних і зварювальних матеріалів здійснюється ОТК підприємства при отриманні матеріалів на склад згідно з вимогами п. 5.2.

Підготовка основних і зварювальних матеріалів здійснюється цехом підготовки виробництва підприємства і заключається в наступному:

- шар, що піддається кавітаційно-корозійному зношенню – видаляється;
- поверхню деталей зачищають від оксидів і грату шліфувальною машиною;

- перед відновлювальним наплавленням поверхню обробляють розчинником;
- перед проведенням зносостійкого наплавлення поверхня також оброблюється шліфувальною машиною і розчинником;
- основні і зварювальні матеріали передають на дільницю наплавлення.

Наплавлення робочих коліс і лопаток відцентрового насосу здійснюють безпосередньо на ділянці наплавлення.

Технічний контроль якості наплавлених деталей здійснюється ОТК підприємства в об′ємі і відповідності з п. 5.4.

Візуальний огляд і огляд геометрії розмірів виконується на робочому місці після виконання наплавочних робіт.

У випадку знайдення дефектів наплавленного шару відбувається їх виправлення на робочому місці наплавщика.

## 6.5 Техніка і технологія наплавлення

Деталь, що піддається впливу кавітації, має дефекти, не тільки видимі з поверхні, але і ті, що простягаються в глибину металу, ось чому необхідне ретельне видалення всього дефектного шару. Для цього використовується електроповітряна стружка з використанням графітових пластинчатих електродів шириною 20-23 мм і товщиною 6-8 мм при силі струму 400-700 А. При цьому за один прохід утворюється канавка на 2-3 мм більше ширини електроду і глибиною 4-6 мм. Після цього поверхня повинна бути оброблена абразивним кругом для видалення оксидів і грату.

Перед наплавленням поверхня повинна бути оброблена розчинником.

Процес відновлення зношеної лопатки і робочого колеса до вихідних розмірів, не може бути виконано напівавтоматичним наплавленням внаслідок нерівномірності зношення по поверхні деталі.

Наплавлення здійснюється на позиціонері П-0,25, який можна повертати

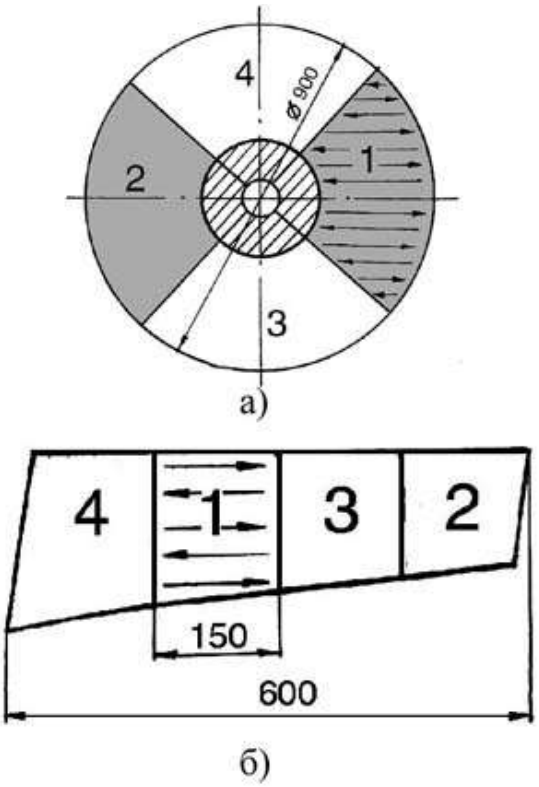
навколо горизонтальної осі, що дає можливість обирати найбільш зручне положення для формування наплавленого металу.

Наплавлення здійснюється окремими валиками з проміжним куванням їх для часткового зняття внутрішніх напружень.

Після проведення відновлювальних робіт поверхня повинна бути підготовлена для зносостійкого наплавлення. Для цього вона оброблюється за допомогою шліфувальної машини і витирається розчинником.

На кожному етапі технологічного процесу проводиться візуальний контроль поверхні (див. п. 5.4 і п. 6.6)

Поверхню робочого колеса розбивають по периметру на ділянки шириною 150-400 мм. Починають наплавлення і, рухаючись догори, ведуть в межах кожної ділянки горизонтальними валиками в напрямку туди і назад (рис. 6.1).




а) схема наплавлення робочого колеса; б) схема наплавлення лопастей

Рисунок 6.1 — Схема наплавлення робочого колеса а) і лопастей б) насоса МТН-16 з розбиттям на сектори

При наплавленні лопастей поверхню розбивають на ділянки розміром по

150 мм, наплавлення кожної ділянки виконують так само, але послідовність наплавлення встановлюється із умов мінімальних деформацій (наплавлення ведеться врозкид). Контроль профілю здійснюється дерев′яними шаблонами. Після закінчення наплавлення виконується механічна обробка поверхні, причому чим ретельніше та точніше вона оброблена, тим вище її кавітаційна стійкість [5, 32].

Накладання валиків при наплавленні тіл обертання виконується таким чином, щоб кожен наступний валик перекривав попередній в середньому на 1/3 ширини. Тоді крок наплавлення буде 2/3 ширини валика (рис. 5.1).

Для збільшення ширини наплавлюваного валика використовуються коливальні рухи робочого кінця електроду [31] (рис. 6.2), що також сприяє збільшенню продуктивності наплавлення.

Рисунок 6.2 – Траєкторія руху робочого кінця електроду

## 6.6 Контроль якості наплавленого шару та виробу

Якість продукції – це сукупність властивостей продукції, котрі надають їй здатність задовольняти споживача у відповідності з призначенням. Контроль якості продукції – це перевірка відповідності показників якості вимогам, встановлених в

стандартах, технічних умовах та інших нормативних документах.

Контроль якості вирішує дві основні задачі:

1) виявлення дефектів з метою вилучення браку;

2) відпрацювання технологічного процесу виробником продукції з метою зниження рівня браку.

З метою визначення можливості виконання наплавлення, після токарного оброблення колеса необхідно виконати контроль основного і наплавленого металу на наявність дефектів. Контроль якості наплавлюваної поверхні і наплавленого металу проводиться методами неруйнуючого контролю для виявлення дефектів різних видів і напрямків.

Якість наплавленого шару лопастей робочих коліс відцентрового насосу проводиться шляхом:

- систематичного контролю підготовки відновлюваної деталі, правильності виконання технології наплавлення;
- візуального огляду наплавленого шару;
- використання ультразвукової дефектоскопії.

Перед оглядом наплавлений метал очищують від шлаку та бризгів. Якщо відбувається термічна обробка металу, то зовнішній огляд роблять до і після її проведення, так як при нагріві і наступному охолодженні дефекти можуть розкриватися [29].

### 6.6.1 Ультразвуковий контроль

Ультразвуковий контроль – це вид неруйнуючого контролю, заснований на реєстрації параметрів пружних хвиль, збуджуваних і виникаючих в контролюючому об′єкті.

Ультразвуковим називають акустичні коливання, частота яких знаходиться в діапазоні від 20 кГц до 1000 МГц. Для ультразвукового контроля промислової

продукції використовують коливання в діапазоні частот від 0,8 МГц до 10 МГц. За допомогою ультразвукового неруйнуючого контролю [30]:

а) виявляють дефекти – порушення суцільності металу (раковини, пори, неметалічні включення, тріщини, непровари);

б) контролюють геометричні розміри виробів (товщину основного і наплавлюваного металу);

в) визначають фізико-механічні властивості і структуру матеріалу.

Усі методи ультразвукового контролю засновані на загальному принципу оцінки виявлених дефектів, який заключається в порівнянні амплітуд сигналів від дефекту з сигналом від контрольного відбивача, відомого розміру. Природні відбивачі (дефекти) у виробі мають відмінності від контрольного відбивача, який є в даному випадку ідеальним. Відбиваюча здатність дефекту залежить від його розміру, конфігурації, координат, матеріалу, який заповнює порожнину дефекту (газові і шлакові включення) [30].

При ультразвуковому контролі використовуються різні способи для найбільш вірогідного виявлення дефектів. Для виявлення дефектів кранового колеса використовуємо ехо - імпульсний ультразвуковий контроль.

Використання ультразвукового контролю дозволяє виявляти дефекти, які неможливо виявити іншими методами контроля. При зростанні чутливості приладу можливо виявити дефекти незначних розмірів, аж до неоднородності структури основного або наплавленого металу. Недоліком є збільшення часу контролю.

Ультразвуковий контроль лопастей і робочого колеса насоса проводять після механічної обробки наплавлюваної, наплавленої і сполучених з ними поверхнями, по яким проводять контроль. А також після візуально-оптичного і капілярного контроля. Шорсткість поверхні регламентується в межах 10 ÷ 40 мкм. Застосована частота ультразвукового контролю 5 МГц, використана контактна рідина – мінеральне машинне масло. В якості контактної рідини допускається використовувати солідол, обойний клей, змазки типу ЦИАТИМ. Контактна рідина не повинна містити механічні домішки. Контроль проводиться прямим роздільно – суміщеним перетворювачем та похилим суміщеним перетворювачем, з кутом

введення ультразвукової хвилі в метал 73 ÷ 40 градусів. В якості регістратора виявлених дефектів використовується ехо - імпульсный дефектоскоп УД 2-12 або аналогічного типу.

Технологічний процес ультразвукового контролю складається з наступних операцій:

а) оцінка контролепридатності деталі.

б) перевірка технічного стану дефектоскопу (на початку зміни).

в) налаштування дефектоскопу на робочі режими по стандартним (контрольним або робочим) зразкам підприємства зі штучним відбивачем згідно вимог НД.

г) проведення сканування колеса по контролюючим поверхням для виявленя дефектів.

д) визначення координати розміщення дефекту і його розміри.

е) відмічення крейдою або швидковисихаючою фарбою дефектного місця.

є) занесення результатів контролю в Журнал контролю або оформлення «Висновку» про результати контроля, з вказівками: дати контроля, використаної апаратури, параметрів контроля, номера об′єкту контроля, номера дільниці контроля, характеристики виявлених дефектів, ПІБ дефектоскопіста, який проводив контроль.

По результатам контролю приймається рішення про подальше відновлення або відбракування деталі.

## 6.7 Прогнозування стійкості відновленого насосу

Після якісного проведення наплавочних робіт, можна судити про збільшення строку експлуатації відцентрового насосу МТН-16, виходячи із даних табл. 4.1, так як корозійно-ерозійна стійкість сталі 06Х23Н28М3Д3Т більше, ніж у сталі 12Х18Н9Т.

Визначимо у скільки разів збільшилась корозійно-ерозійна стійкість:

$$k_p = \frac{m_2}{m_1} = \frac{5.11}{1.61} = 3.17 \quad (6.3)$$

де $m_1$ – втрата ваги сталі 12Х18Н9Т (див. табл. 4.1);

$m_2$ – втрата ваги сталі 06Х23Н28М3Д3Т (див. табл. 4.1);

$k_p$ – поправочний коефіцієнт.

Таким чином, можна прогнозувати збільшення строку служби відцентрового насосу в 3.17 рази:

$$R_2=R_1 \cdot k_p=8000 \cdot 3{,}17=25360 \text{ годин}, \quad (6.4)$$

де $R_1$ – ресурс насосу МТН-16 до наплавлення (див. п.1).

# 7 ВИБІР СТАНДАРТНОГО ОБЛАДНАННЯ І ЙОГО ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

## 7.1 Мультисистема зварювальна ВДУ-508

Мультисистема зварювальна ВДУ-508 призначена:

1. для напівавтоматичного дугового зварювання електродним дротом, що плавиться в середовищі захисних газів (режим МИГ/МАГ-DC) при комплектації механізму, що подають.

2. для аргонодугового зварювання неплавким електродом на постійному струмі всих видів металів і сплавів, окрім алюмінію і його сплавів (режим ТИГ-DC).

Переваги:

- плавне регулювання зварювального струму і напруги;
- цифрова індикація величини зварювального струму і напруги;
- наявність встроєнного конвертеру низької напруги (чопер) забезпечує хороші зварювальні властивості, а також допомагає зекономити споживану енергію.
- контактний підпал дуги в режимі ТИГ-DC;
- управління зварюванням в режимі ТИГ виконується з пульта дистанційного управління;
- плавне регулювання струму короткого замикання в режимі ММА;
- попередня установка зварювального струму в режимі ММА і ТИГ;
- 4 ступені регулювання індуктивності дроселю в режимі МИГ-МАГ;
- наявність режиму 2 такта/4 такта в режимі МИГ-МАГ;
- швидкороз′ємні та безпечні роз′єми струму.

Використання сучасних схемотехнічних рішень по керівництву зварювальних процесів, дозволило суттєво знизити масогабаритні показники.

Таблиця 7.1 – Технічні характеристики ВДУ-508

| Найменування параметру | ВДУ-508 |
|---|---|
| Напруга мережі живлення, В | 2х380 |
| Частота мережі живлення, Гц | 50 |
| Номінальний зварювальний струм, А ( при ПВ,%) | 500 (60 %)<br>380 (100 %) |
| Межі регулювання зварювального струму, А | 40-500 |
| Напруга холостого ходу, В не більше | 60 |
| Споживана потужність, кВт | 21 |
| Діаметр електроду, мм | ММА 2-6<br>ТИГ 0,8-6<br>МИГ-МАГ 0,8-1,2 |
| Вага, кг, не більше | 130 |

7.2 Випрямляч зварювальний ВДМ-6303С

Випрямляч зварювальний ВДМ-6303С предназначено для комплектації постів ручного дугового зварювання покритими електродами на постійному струмі виробів із вуглецевих і легованих сталей.

Випрямляч не регульований та має жорстку зовнішню характеристику.

Регулювання зварювального струму виконується для конкретного поста незалежно, за допомогою баластного реостату РБ-302.

Проста конструкція забезпечує високу надійність роботи і простоту обслуговування.

Працює при температурах від - 40° С до +50° С.

Максимально пристосований для роботи у важких умовах експлуатації.

Клас ізолювання Н по ГОСТ 8865-70.

Таблиця 7.2 – Технічні характеристики ВДМ-6303С

| Найменування параметру | Значення |
|---|---|
| Напруга живильної мережі, В | 3 × 380 |
| Частота живильної мережі, Гц | 50 |
| Номінальний зварювальний струм, А (при ПВ, %) | 630 (100%) |
| Коефіцієнт одночасної роботи | 0,5 |
| Номінальний зварювальний струм одного посту, А (при ПВ = 60 %) | 315 |
| Кількість одночасно працюючих постів, не більше | 4 |
| Номінальна робоча напруга, В | 60 |
| Напруга холостого ходу, В не більше | 75 |
| Споживана потужність, не більше, кВт | 46 |
| Діаметр електрода, мм | 3 - 6 |
| Габаритні розміри, мм, не більше | 595 × 720 × 630 |
| Вага, кг, не більше | 205 |

7.3 Шліфувальна машина

Зачищення лопаток до і після наплавлення здійснюють ручною шліфувальною машиною ИП-2015. Технічні характеристики шліфувальної машини наведені в табл. 7.3.

Таблиця 7.3 – Технічні характеристики механізовано-ручної шліфувальної машини ИП-2015 [33]

| Технічні дані: | Значення |
|---|---|
| Потужність, кВт | 1,275 |
| Число обертів на холостому ході, об./хв. | 5100 |
| Робоча швидкість шліфувального круга, м/с | 40 |
| Тип робочого інструменту | шліфкруг |
| Номінальні розміри шліф. круга, мм | 150х25х32 |
| Посадковий діаметр абразивного круга, мм | 32 |
| Робочий тиск, МПа | 0,63 |
| Витрати повітря, $м^3$/хв | 1,9 |
| Габаритні розміри, мм:<br>-довжина<br>-ширина<br>-висота | <br>590<br>164<br>130 |
| Вага, кг | 4,2 |

7.4 Позиціонер П - 0,25

Переміщення робочого колеса з лопатками в зручні для наплавлення просторові положення здійснюється позиціонером П-0,25 [33]. Технічні характеристики позиціонера наведені в таблиці 7.4.

Таблиця 7.4 – Технічні характеристики позиціонера П - 0,25

| Технічні дані: | Значення |
|---|---|
| Грузопідйомність, тс | 0,25 |
| Допустимий момент, кгс·м<br>на осі нахилу стола<br>на осі обертання план шайби | <br>250<br>125 |
| Швидкість обертання план шайби, об/хв | 0,77 |
| Кут нахилу столу, град | 135 |
| Габаритні розміри, мм:<br>-довжина<br>-ширина<br>-висота | |
| Вага, кг | |

# ВИСНОВОК

Вивчені умови експлуатації і характер зношення деталей відцентрового насосу. Встановлено, що лопатки і робоче колесо піддаються кавітаційно-корозійному зношенню.

Проведено випробування на кавітаційно-корозійну стійкість сталей і сплавів. Найбільш стійкою є сталь 06Х23Н28М3Д3Т.

Розроблено технологічний процес відновлення робочого колеса і лопаток відцентрового насосу напівавтоматичного наплавлення електродним дротом марки Св-06Х23Н28М3Д3Т в середовищі суміші захисних газів Ar + 5 % $O_2$. Обрано режими наплавлення і обладнання. Визначено необхідну кількість робочих місць, обладнання і транспортно-вантажних пристроїв.

# ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. **Рахмилевич, З.З.** [Текст] Насосы в химической промышленности: справ. изд./З.З. Рахмилевич. – М.: Химия, 1990. – 240 с.

2. **Шишков, М.М.** [Текст] Марочник сталей и сплавов: справочник. / М.М. Шишков. – Донецк: Юго-восток, 1999. – 392 с.

3. **Карелин, В.Я.** [Текст] Износ лопастных гидравлических машин и насосов от кавитации / В.Я. Карелин. – М.: Машиностроение, 1970. – 183 с.

4. **Казинер, Ю.Я.** [Текст] Снижение кавитации в регулирующей арматуре / Ю.Я. Казинер. – М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1988. – 44 с.

5. **Быковский, О.Г.** Исследование кавитационной эрозии, разработка электродных материалов и технологии наплавки гребных винтов судов на подводных крыльях [Текст]: дис…. канд. техн. наук : 05.03.06: защищена : утв. / Быковский Олег Григорович. – К., 1971. – 141 с.

6. **Попов, В.С.** Устройство для определения энергии упругих деформаций материалов при ударном воздействии [Текст] / В.С. Попов, В.А. Гук // Заводская лаборатория. – 1973. – №12. – С. 1524–1525.

7. **Крикун, В.П.** Влияние содержания диоксида серы в 20 и 90 %-ной серной кислоте на анодное поведение нержавеющих сталей [Текст] / В.П. Крикун, В.С. Новицкий, В.С. Кузуб // Защита металлов. – 1985. – т.21. – вып.6 –С. 896–901.

8. **Сухотин, А.М.** Коррозионное поведение и пассивное состояние металлов [Текст] / А.М. Сухотин, Н.К. Хорева. – Л.: ГИПХ, 1977. – 220 с.

9. **Чуланов, О. Б.** О природе критических содержаний хрома, необходимых для перехода сплавов железо-хром в пассивное состояние [Текст] / О. Б. Чуланов, Г. П. Чернова, Т. М. Сердюк // Защита металлов. – 1988. – т. 24. – №1 – С. 98–103.

10. **Розенфельд, И.Л.** Коррозия и защита металлов [Текст] / И.Л. Розенфельд. – М.: Металлургия, 1970. – 375 с.

11. **Фрейман, Л. И.** / Л.И. Фрейман, Г.С. Раскин, Я.М. Колотыркин // Докл. АН СССР. – 1976. – т. 226. – №5. – С. 1140.

12. **Стечишин, М.С.** Закономерности кавитационно-эрозионного изнашивания металлов в коррозионных средах [Текст] / М.С. Стечишин,

А.И. Некоз, Л.И. Погодаев и др. // Трение и износ. – 1990. – т. 11. – №3. – С. 454–463.

13. **Сухенко, Ю.Г.** Технологічні методи забезпечення довговічності обладнання харчової промисловості [Текст] / О.І. Некоз, М.С. Стечишин. – Київ: Елерон, 1993. – 108 с.

14. **Стечишин, М.С.** О коррозионно-механическом изнашивании металлов в агрессивных средах – электролитах [Текст] / М.С. Стечишин, А.Е. Рудык // Проблеми сучасного машинобудування. – Хмельницький, 1996. – С. 113–114.

15. **Хлумский, В.** Ротационные компрессоры [Текст] / В.Хлумский. – М.: Металлургиздат, 1971. – 403 с.

16. **Богачев, И.Н.** и др. Разработка и исследования кавитационно-стойких нестабильных аустенитных сталей [Текст] / И.Н. Богачев // Энергомашиностроение. – 1977. – №12. – С. 28–31.

17. **Фоменко, В.Д.** и др. Материалы для наплавки деталей оборудования, работающего в условиях сернокислотного производства[Текст] / В.Д. Фоменко // Цветная металлургия. – 1979. – №11. – С. 37.

18. **Шумяков, В.И.** Исследование и разработка кавитационно-стойкого металла на Fe-Cr-Mn основе. Автореферат диссертации. Свердловск, 1971. – 21с.

19. **Богачев, И.Н.** Кавитационное разрушение и кавитационностойкие сплавы [Текст] / И.Н. Богачев. – М.: Металлургия, 1972. – 192 с.

20. **Патюпкин, А.В.** Установка для ускоренных кавитационно-коррозионных испытаний материалов [Текст] / А.В. Патюпкин // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2006. – №4. – С. 52–54.

21. **Фоменко, В.Д.** и др. Материалы для наплавки деталей оборудования, работающего в условиях сернокислотного производства [Текст] / В.Д. Фоменко // Цветная металлургия. – 1979. – №11. – С.37.

22. **Строкан, Б.В.** Коррозионная стойкость оборудования химических производств. Способы защиты оборудования от коррозии [Текст]: справ. изд. / Под ред.Б. В. Строкана, А. М. Сухотина. – Л.: Химия, 1987. – 280 с.

23. **Сухотин, А.М.** Коррозия и защита химической аппаратуры. Производство серной кислоты и фосфорных удобрений [Текст] /Под ред. А.М.Сухотина. –Л.: Химия, 1970. – 4.т. – 308 с.

24. **Томашов, Н.Д.** Коррозия и коррозионностойкие сплавы [Текст]
Н.Д. Томашов, Г.П. Чернова. – М.: Металлургия, 1973.– 232 с.

25. **Степанов, В.В.** Справочник сварщика [Текст] / В.В. Степанов. – М: Машиностроение, 1974. – 520 с.

26. **Ольшанский, Н.А.** Сварка в машиностроении: Справочник. Т.1. Под ред. Ольшанского Н.А. – М: Машиностроение, 1979. – 568 с.

27. **Биковський, О.Г** Довідник зварника [Текст] /О.Г. Биковський,
І.В. Піньковський. – К.: Техніка, 2002.— 336с.

28. **Хапсуа, А.** Наплавка и напыление [Текст] /А. Хапсуа, О. Моригаки; пер. с яп. В.Н. Попова; под ред. В.С. Стёпина, Н.Г. Шестёркина. – М: Машиностроение, 1985. – 240 с.

29. **Волченко, В.Н.** Контроль качества сварных соединений [Текст] /
В.Н. Волченко. – М: Машиностроение. 1986. – 172 с.

30. **Ермолов, И. Н.** Алешин Н. П., Потапов А. И. Акустические методы контроля. Книга 2. Под редакцией проф. В. В. Сухорукова. М.: «Высшая школа», 1992 – 283 с.

31. **Акулов, А.И.** Технология и оборудование сварки плавленим [Текст]: Учебник для вузов / А.И. Акулов, Г.А. Бельчук, В.П. Демянцевич. –М.: Машиностроение, 1977. — 432 с.

32. **Попов, В.С.** Восстановление и повышение износостойкости и срока службы деталей машин [Текст] / В.С. Попов. – Запорожье.: Изд-во ОАО “Мотор Сич”, 2000 – 394 с.

33. **Гитлевич, А.Д.** Альбом механического оборудования сварочного производства [Текст] /А.Д. Гитлевич, Л.А. Животницкий, А.И. Клейнер – М.: «Высшая школа», 1975 – 158 с.