

Центральноукраїнський національний технічний університет  
Механіко-технологічний факультет  
Кафедра Матеріалознавства та ливарного виробництва

«Допущено до захисту»  
Завідувач кафедри М та ЛВ  
к.т.н., доц. Олександр КУЗИК  
(прізвище та ініціали)  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 \_\_ р

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти  
на тему:

**«Ливарний комплекс машинобудівного заводу з  
розробленням процесу виготовлення виливків із сталі  
35Л методом лиття в піщаноглинисті форми»**

**«The foundry complex of the machine-building plant with  
the development of the process of manufacturing castings  
from 35L steel by the method of casting in sand-clay  
molds»**

Виконав: здобувач вищої освіти 4-го курсу  
групи ПМ(ОЛ)-23М-1

Андрій Янко

(прізвище та ініціали)

ОПП «Прикладна механіка»

спеціальності 131 «Прикладна механіка»

Керівник роботи:

к.т.н., доц.

Олександр СКРИПНИК

(прізвище та ініціали)

Рецензент:

к.т.н., доц.

Віктор ПУКАЛОВ

(прізвище та ініціали)

Центральноукраїнський національний технічний університет

|                              |                                            |
|------------------------------|--------------------------------------------|
| Факультет                    | Механіко-технологічний                     |
| Кафедра                      | Матеріалознавства та ливарного виробництва |
| Рівень вищої освіти          | другий (магістерський)                     |
| Галузь знань                 | 13 Механічна інженерія                     |
| Спеціальність                | 131 Прикладна механіка                     |
| Освітньо-професійна програма | Прикладна механіка                         |

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри М та ЛВ

Олександр КУЗИК

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ  
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ  
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Янко Андрій Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Ливарний комплекс машинобудівного заводу з розробленням процесу виготовлення виливків із сталі 35Л методом лиття в піщаноглинисті форми

керівник роботи доц., к.т.н. Скрипник Олександр Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “\_7\_”\_08\_2024 року № 30-13

2. Строк подання студентом роботи 15.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи – завдання на дипломне проектування,

– матеріали переддипломної практики;

– державні стандарти та технічні нормативи

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Загальна частина, технологічна частина, конструкторська частина

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Кришка нижня допоміжного насосу;

Ліва напівформа;

Права напівформа;

Стержневий ящик;

Форма в зборі

Барабан

Привод барабана

Корпус барабану

Натяжний ролик

## 6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|        |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
| 1      | Скрипник О.В., доц.                       |                |                  |
| 2      | Скрипник О.В., доц.                       |                |                  |
| 3      | Скрипник О.В., доц.                       |                |                  |

7. Дата видачі завдання 9.09.2024

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного проекту        | Строк виконання етапів проекту | Примітка |
|-------|----------------------------------------|--------------------------------|----------|
| 1     | Загальна частини                       | 21.09                          |          |
| 3     | Розрахунки по технологічній частині    | 13.10                          |          |
| 4     | Креслення по технологічній частині     | 21.10                          |          |
| 5     | Розрахунки по конструкторській частині | 7.11                           |          |
| 6     | Креслення по конструкторській частині  | 17.11                          |          |
| 10    | Оформлення пояснювальної записки       | 12.12                          |          |
| 11    | Оформлення рецензії                    | 16.12                          |          |
| 12    | Захист дипломного проекту              | 20.12                          |          |

Дата видачі завдання « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024\_\_ р.

Керівник роботи \_\_\_\_\_ (Олександр СКРИПНИК)  
(підпис)

Завдання прийнято до виконання « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024\_\_ р.

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_ (Андрій ЯНКО)  
(підпис)

## АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка викладена на 93 стор. друкованого тексту і містить 18 табл. та 26 рис.

Завданням даної кваліфікаційної роботи є організація роботи ливарного комплексу машинобудівного заводу з розробленням процесу виготовлення виливків із сталі 35Л методом лиття в піщаноглинисті форми.

В першому розділі пояснювальної записки описано відділення ливарного цеху (плавильне, формувальне, стержньове, очисне, обрубне) і вибрано основні типи обладнання для виконання технологічних операцій.

В другому розділі приведено аналіз конструкції деталі, розроблені технічні умови та технологія виготовлення виливка "Кришка нижня Допоміжного насосу СРГ22-00.201", виконано розрахунок ливниково-живильної системи, описано технологію виготовлення форми, наведено характеристику матеріалів, параметри та способи технічного контролю якості виливків.

В конструкторській частині проекту описано і обґрунтовано вибір обладнання для попередньої очистки поверхні виливків, проаналізовано і розраховано робочий процес галтовочного барабану неперервної дії, визначено його основні параметри і розміри, виконані розрахунки основних вузлів на міцність, описані правила і норми безпеки при роботі на галтовочному барабані.

Об'єкт розробки – ливарний комплекс машинобудівного заводу з розробленням процесу виготовлення виливків із сталі 35Л методом лиття в піщаноглинисті форми.

Предмет розробки – визначення конструктивних та технологічних параметрів галтовочного барабану неперервної дії.

Результати проектування – спроектовано галтовочний барабан неперервної дії продуктивністю 5 т/год.

Результати розробки можуть бути рекомендовані для впровадження при попередній очистці поверхні відливків в умовах серійного та масового виробництва.

**ВІДДІЛЕННЯ ЛИВАРНОГО ЦЕХУ, ТЕХНОЛОГІЧНЕ  
ОБЛАДНАННЯ, СТАЛЬ, ФОРМА, ЖИВИЛЬНИК, ПРИПУСК, СТЕРЖЕНЬ,  
ЗАЛИВКА, СПЛАВ, СТЕРЖНЕВА СУМІШ, ГАЛТУВАЛЬНИЙ БАРАБАН**

## **ABSTRACTS**

The explanatory note is presented on a 93 page of printed text and contains 18 tables and 26 figures.

The task of this qualification work is to organize the work of the foundry complex of a machine-building plant with the development of a process for the production of castings from 35L steel by casting in sandy clay molds.

The first section of the explanatory note describes the departments of the foundry (melting, molding, core, cleaning, and stumping) and selects the main types of equipment for performing technological operations.

The second section analyzes the design of the part, develops the technical specifications and manufacturing technology for the CPG22-00.201 casting, calculates the sprue and feeder system, describes the mold manufacturing technology, and provides material characteristics, parameters, and methods of technical quality control of castings.

The design part of the project describes and justifies the choice of equipment for preliminary cleaning of the casting surface, analyzes and calculates the working process of the continuous tapping drum, determines its main parameters and dimensions, performs strength calculations of the main components, and describes safety rules and regulations for working on the tapping drum.

The object of development is a foundry complex of a machine-building plant with the development of a process for manufacturing castings from 35L steel by casting in sandy clay molds.

Subject of development - determination of design and technological parameters of a continuous tapping drum.

**FOUNDRIY DEPARTMENT, TECHNOLOGICAL EQUIPMENT, STEEL, MOLD, FEEDER, ALLOWANCE, CORE, POURING, ALLOY, CORE MIXTURE, TAPPING DRUM**

## ЗМІСТ

|                                                                                  | Стор. |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------|
| ВСТУП.....                                                                       | 9     |
| 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА .....                                                         | 10    |
| 1.1 Вибір та обґрунтування розташування ливарного цеху.....                      | 10    |
| 1.2 Вибір технології виготовлення виливків та характеристика<br>виробництва..... | 11    |
| 1.3 Структура ливарного комплексу машинобудівного заводу.....                    | 12    |
| 1.4 Плавильне відділення.....                                                    | 13    |
| 1.4.1 Характеристика сплаву, який виплавляється.....                             | 13    |
| 1.4.2 Вибір плавильних агрегатів.....                                            | 16    |
| 1.4.3 Конструкція і принцип дії печі.....                                        | 19    |
| 1.4.4 Плавка.....                                                                | 19    |
| 1.4.5 Розрахунок балансу металу.....                                             | 20    |
| 1.4.6 Складання шихти.....                                                       | 21    |
| 1.5 Формувально-заливно-вибивне відділення.....                                  | 26    |
| 1.5.1 Ковшова дільниця.....                                                      | 28    |
| 1.6 Сумішоприготувального відділення.....                                        | 28    |
| 1.6.1 Вибір формувальної суміші.....                                             | 29    |
| 1.6.2 Вибір обладнання для приготування формувальної суміші.....                 | 30    |
| 1.6.3 Вибір стержньової суміші.....                                              | 31    |
| 1.6.4 Вибір обладнання для приготування стержньової суміші.....                  | 32    |
| 1.7 Стержньове відділення.....                                                   | 34    |
| 1.8 Очисне відділення.....                                                       | 35    |
| 1.9 Відділення термічної обробки лиття.....                                      | 39    |
| 1.10 Площі під лабораторії і комори.....                                         | 40    |
| 1.11 Висновки по розділу.....                                                    | 41    |
| 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....                                                      | 42    |
| 2.1 Аналіз конструкції деталі і технологічних умов на виливок.....               | 42    |

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення виливка.....                               | 43 |
| 2.2.1 Вибір обладнання для виготовлення ливарних форм та стержнів.....                      | 43 |
| 2.3 Визначення положення виливка у формі.....                                               | 46 |
| 2.4 Розрахунок і конструювання ливникової системи.....                                      | 46 |
| 2.4.1 Визначення габаритних розмірів опоки.....                                             | 46 |
| 2.4.2 Визначення оптимальної тривалості заливки.....                                        | 47 |
| 2.4.3 Визначення площі перерізу каналів ливникової системи.....                             | 48 |
| 2.5 Опис технологічного процесу виготовлення форми.....                                     | 51 |
| 2.5.1 Заливка форм.....                                                                     | 52 |
| 2.6 Вибивка і обрубка.....                                                                  | 53 |
| 2.7 Опис процесу проектування ливарного оснащення.....                                      | 54 |
| 2.8 Висновки по розділу.....                                                                | 56 |
| 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....                                                              | 57 |
| 3.1 Аналіз існуючого устаткування для очистки відливки та<br>обґрунтування його вибору..... | 57 |
| 3.1.1 Дробометні барабани.....                                                              | 57 |
| 3.1.2 Дробометний очисний стіл.....                                                         | 61 |
| 3.1.3 Дробометні камери.....                                                                | 62 |
| 3.1.4 Дробострумінні установки.....                                                         | 64 |
| 3.2 Опис конструкції та принцип дії галтувального барабану.....                             | 65 |
| 3.3 Розрахунок галтувального барабану безперервної дії.....                                 | 67 |
| 3.3.1 Розрахунок приводу галтувального барабану.....                                        | 67 |
| 3.3.2 Розрахунок пасової передачі.....                                                      | 72 |
| 3.4 Розрахунок навантажень деталей на міцність.....                                         | 78 |
| 3.4.1 Розрахунок роликів барабану.....                                                      | 78 |
| 3.4.2 Розрахунок корпусу барабану на міцність.....                                          | 82 |
| 3.4.3 Розрахунок корпусу барабану на жорсткість.....                                        | 85 |
| 3.5 Висновки по розділу.....                                                                | 86 |
| ВИСНОВКИ.....                                                                               | 87 |

|                 |    |
|-----------------|----|
| ЛІТЕРАТУРА..... | 88 |
| ДОДАТКИ.....    | 93 |

## ВСТУП

Ливарне виробництво було і залишається кращим (а іноді і єдино можливим) способом виробництва деталей складної конфігурації з потрібним пакетом властивостей за умови максимального, порівняно з іншими способами, одержання промислових заготовок, максимальним коефіцієнтом використання металу. Низька вартість литих заготовок промислового призначення забезпечується тісним співробітництвом вчених, розроблювачів конструкцій виливків, оснащення і устаткування, технологів, виробників та споживачів продукції. Тому стан і перспективи розвитку ливарного виробництва варто розглядати в сукупній діяльності всіх учасників ливарних процесів і ливарного ринку [1].

Сучасний стан парку діючого устаткування викликає серйозні і обґрунтовані побоювання. 70 % парку експлуатується за межею фізичного зношення та морально застаріло (середній вік понад 20 років). З середини 90-х років XX століття на українському ринку ливарного устаткування практично були відсутні нові моделі вітчизняного виробництва.

В Україні ринок ливарної продукції уже фактично сформований. В даний період на ринку ливарної продукції спостерігається підвищений попит на виливки зі спеціальними властивостями; оснащення виробничих процесів комп'ютерно-інформаційним забезпеченням і устаткуванням, що легко вбудовується в існуючі технологічні лінії. Ливарне виробництво в Україні розвивається в напрямку зменшення одиничної маси та енергоємності виробів, підвищення екологічної безпеки ливарних процесів і розширення споживчих можливостей литих виробів.

Прогноз розвитку виробництва до 2035 року передбачає прискорення технічного переозброєння, спеціалізації виробництва, створення і широкого застосування прогресивних ресурсозберігаючих технологій, підвищення механізації та автоматизації [2].

## **1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА**

### **1.1 Вибір та обґрунтування розташування ливарного цеху**

Місце побудови ливарного цеху доцільно вибрати якомога далі від житлових масивів, причому слід враховувати наявність або близькість розміщення джерел енергопостачання, палива, води, трудових ресурсів [3].

Враховуючи близькість проходження транспортних шляхів Одеської залізниці, яка пов'язує місто Олександрія з Донецьким вугільним басейном та Криворізьким металургійним комбінатом, сусідство з автомобільними магістралями, близькість і компактність розташування селищ, дає змогу забезпечити підприємство трудовими ресурсами. Місце побудови заводу доцільно вибрати на околиці міста, що забезпечує збереження навколишнього середовища від забруднень, які пов'язані з переважними напрямками вітру, а саме: взимку – південно-східний, влітку – північно-західний.

Формувальні і стержньові піски передбачається постачати залізницею з Дніпровського кар'єру. Постачання технічної води здійснюється із водоочисних споруд, які знаходяться на сході на відстані 3 км від міста, питна вода надходить з свердловин глибиною 260 м, яка розташована на відстані 4 км від заводу. Енергопостачання здійснюється від енергосистеми через підстанцію 186.135/6 КВ/ГПП і цехові трансформаторні підстанції. Напруга електричної мережі цеху 380/220 В. Розподіл електроенергії здійснюється по радіальним і магістральним схемам.

Забезпечення цеху стисненим повітрям здійснюється за рахунок компресорної станції 4К – 50Л з встановленими 4 компресорними автоматами по 750 м<sup>3</sup>/хв при одному резервному [4].

Теплоносієм для систем опалення і вентиляції є високотемпературна вода з параметрами від 150 до 170 °С, яка подається системою теплопостачання від

котельної. Опалення цеху відбувається за рахунок повітря із системи приточної вентиляції.

Всі ворота цеху забезпечені повітряними тепловими завісами. Все обладнання, що викидає шкідливі речовини оснащено місцевими технологічними відсосами.

## **1.2 Вибір технології виготовлення виливків та характеристика виробництва**

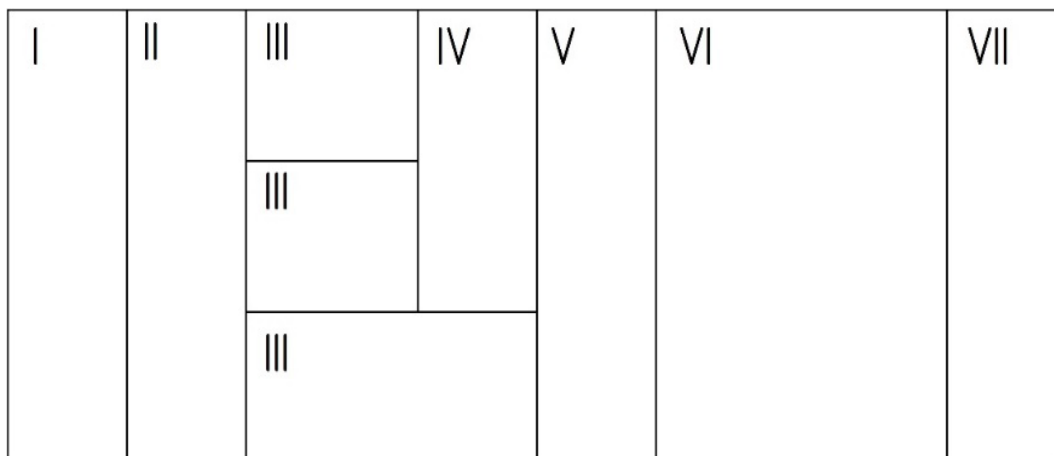
Ливарний комплекс машинобудівного заводу призначений для виробництва виливків із сталі марки 35 Л. За характером виробництва цех великосерійного виробництва. Параметрами відбору технологічного процесу і обладнання для виготовлення виливків є [5]:

- 1 характер виробництва (ливарний комплекс повинен бути оснащений обладнанням, яке забезпечить високу продуктивність і ефективність. Потрібно використовувати автоматизовані системи для підготовки форм, заливки та обробки виливків);
- 2 потужність цеху (визначає необхідність у потужному обладнанні для виробництва та обробки великої кількості виливків);
- 3 габарити та маса виливків (впливає на вибір форм і обладнання);
- 4 клас точності (впливає на технологію виготовлення форм та обробки готових виробів);
- 5 рід матеріалу (впливає на процес лиття, температурні режими та підбір форм);
- 6 екологічні та безпекові аспекти (відповідність екологічним стандартам та безпеці праці).

Беручи до уваги наведене вище, вирішуємо, що в ливарному комплексі машинобудівного заводу литво виготовляється в разових об'ємних піщаноглинистих сирих формах.

### 1.3 Структура ливарного комплексу машинобудівного заводу

Ливарний комплекс за структурною схемою (рис. 1.1) буде включати в себе основні і допоміжні відділення та дільниці [6]:



I – відділення підготовки формувальних і шихтових матеріалів; II – плавильне відділення; III – формувально-заливально-вибивальне відділення; IV – стержневе відділення; V – сумішоприготувальне відділення; VI – відділення фінішних операцій; VII – приміщення для зберігання готової продукції

Рисунок 1.1. – Схема компонування ливарного комплексу

I виробничі:

- формувально-заливально-вибивальне відділення;
- плавильне відділення;
- сумішоприготувальне відділення;
- стержневе відділення;
- відділення фінішних операцій з дільницею термічної обробки;

II допоміжні:

- цехові лабораторії;
- ремонтно-механічні майстерні;
- ремонту та сушки ковшів;
- регенерації суміші;
- ремонтно-механічні майстерні;

III підсобні приміщення та склади:

- приміщення для зберігання шихтових і формувальних матеріалів;
- модельного оснащення;
- готових виливків;

IV адміністративно-побутові приміщення.

## 1.4 Плавильне відділення

**1.4.1 Характеристика сплаву, який виплавляється.** Середньовуглецева лита сталь 35Л без термообробки зазвичай має феритно-перлітну структуру з орієнтованим розподілом фериту і наявністю феритної сітки по кордонах аустенітних зерен. Після нормалізації від 850 до 870 °С, а також після нормалізації і високого відпуску від 620 до 640 °С видно залишки нерівномірного орієнтованого розподілу фериту у вигляді великих виділень і залишків сітки. Після нормалізації від температури 850 до 870 °С з подальшим поліпшенням лита сталь характеризується також великою структурною неоднорідністю. Застосування високотемпературної нормалізації від 950 до 970 °С або нормалізації від 950 до 970 °С з подальшим поліпшенням дозволяє значно подрібнити ферит, ліквідувати його орієнтованість та зменшити загальну неоднорідність структури [7].

Дослідженнями показано, що після фазової перекристалізації з нагріванням вище 850 до 870 °С зазвичай відновлюється вихідне внутрішньозернове орієнтування. Тільки після високотемпературного нагріву від 920 до 960 °С повністю ліквідується спадкова текстура.

Безпосередні спостереження структурних змін при нагріванні до 1000 °С сталі 35Л в високотемпературному мікроскопі показали, що в інтервалі від 720 до 800 °С проходить фазова перекристалізація, що супроводжується утворенням великої кількості нових кордонів всередині феритних голок і перлітних колоній. В інтервалі від 900 до 930 °С замість великої кількості дрібних зерен виникають великі зерна. Після 960 °С спостерігається швидкий збірний ріст і утворення

великих зерен. Однак тільки при температурах вище 1050 °С середній розмір зерен аустеніту близький до розміру великого вихідного зерна литої сталі.

Зародження аустеніту відбувається як всередині феритних голок на субграницях, так і в перлітних колоніях на міжфазних межах фериту і карбіду. При нагріванні вище 850° С проходять процеси міграції кордонів зерен аустеніту, які виникли при фазовому перетворенні на місці перлітних колоній. Ці зерна аустеніту ростуть за рахунок поглинання полігонізованих орієнтованих зерен, що виникли в фериті. Руйнування зернистої текстури в литий вуглецевої сталі відбувається в результаті міграції кордонів і збиральної рекристалізації аустеніту, що виник в перлітних колоніях [8].

При нагріванні від 900 до 930 °С проходять також процеси розчинення карбідних часток і домішкових фаз литої сталі, що затримують процеси рекристалізації. Наступна за високотемпературним нагріванням повторна нормалізація або гартування з температур лише трохи вище АС3 (850° С) забезпечує підвищення однорідності і подрібнення структури литої сталі. У результаті такої обробки значно підвищуються характеристики розмірної стабільності і механічних властивостей металу.

Найбільш високі значення характеристик опору мікропластичної деформацій (межі пружності і релаксаційної стійкості) і механічних властивостей отримані на зразках, які були піддані нормалізації від 950 до 970 °С перед остаточною термообробкою. Більш низькі властивості мали зразки після звичайної нормалізації від 850 до 870 °С. Особливо ефективна високотемпературна термообробка зразків після лиття для підвищення межі пружності, релаксаційної стійкості і характеристик пластичності. При цьому після однакових режимів остаточної термообробки в зразках, підданих попередньої високотемпературної нормалізації порівняно із звичайною обробкою, властивості зростають: межа пружності від 10 до 30 %, релаксаційна стійкість від 20 до 100 %, характеристики пластичності від 50 до 100 %. При однаковій пластичності ( $\delta \sim 8 \%$ ,  $- 16 \%$ ) після нормалізації від 950 до 970 °С і поліпшення межа пружності зразків складає від 64

до 66 кгс/мм<sup>2</sup>, а після нормалізації від 850 до 870 °С з подальшим поліпшенням межа пружності не перевищує 50 кгс/мм<sup>2</sup> [9].

Мікропластичні деформації в доевтектоїдній сталі розвиваються насамперед у окремих зернах надлишкового фериту як найменш міцної структурної складової сталі. Вплив розміру феритної складової на опір мікропластичної деформації аналогічно розглянутому вище впливу розміру зерна на релаксаційну стійкість сталі: чим менше розмір феритної складової і рівномірний її розподіл в структурі, тим вище межа пружності і релаксаційна стійкість литої сталі.

Таким чином, застосування попередньої термообробки, приводить до подрібнення структури та підвищенню її однорідності, дозволяє забезпечити оптимальне поєднання властивостей литих сталевих деталей для точного машинобудування і приладобудування. Механічні властивості, ударна в'язкість, фізичні властивості сталі 35Л наведені в табл. 1.1 – 1.3 [11].

Таблиця 1.1

## Механічні властивості сталі 35Л

| Режим термообробки                                           | Переріз,<br>мм | Границя<br>короткочас<br>ної міцності | Відносна<br>довжина<br>при розриві | Відносне<br>звуження | Ударна<br>в'язкість         | Твердість |
|--------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------|------------------------------------|----------------------|-----------------------------|-----------|
|                                                              |                | $\sigma_B$<br>МПа                     | $\delta_5$ , %                     | $\Psi$ , %           | KCU ,<br>Дж/см <sup>2</sup> | HB        |
|                                                              |                | не менше                              |                                    |                      |                             |           |
| Нормалізація від 860 до 880 °С.<br>Відпуск від 600 до 630 °С | До 100         | 500                                   | 15                                 | 25                   | 35                          | -         |
| Гартування від 860 до 880 °С.<br>Відпуск від 600 до 630 °С   | До 100         | 550                                   | 16                                 | 20                   | 30                          | -         |
| Відпал 850 °С, піч                                           | 30             | 530                                   | 19                                 | 34                   | 49                          | 146       |
| Відпал 950 °С, піч                                           | -              | -                                     | 22                                 | 39                   | 64                          | 143       |

Таблиця 1.2

Ударна в'язкість сталі 35Л КСУ, (Дж/см<sup>2</sup>)

| Температура |          |          |          |          | Термообробка                                                                                                                                                                                        |
|-------------|----------|----------|----------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| T= +20°C    | T= -20 C | T= -40°C | T= -50°C | T= -60°C |                                                                                                                                                                                                     |
| 28          | 14       | 10       | 8        | -        | Без термообробки                                                                                                                                                                                    |
| 37          | 28       | 26       | 18       | -        | Відпал 860 °С                                                                                                                                                                                       |
| 56-66       | 31-50    | 23-45    | -        | 10-34    | Нормалізація від 860 до 880 °С, повітря від 300 до 350 °С, потім витримка 2 год від 300 до 350 °С. Відпуск від 600 до 620 °С, витримка 3 год, охолодження 1 год в печі до 500 °С, потім на повітрі. |
| 83-104      | 41-87    | 50-69    | -        | 43-61    | Після нормалізації та відпуску гартування від 860 до 870 °С, в мастилі.                                                                                                                             |

Таблиця 1.3

## Фізичні властивості сталі 35Л

| Температура<br>Т, Град | Модуль<br>пружності<br>першого<br>роду<br>Е 10 <sup>-5</sup><br>МПа | Коефіцієнт<br>температурного<br>(лінійного)<br>розширення<br>α 10 <sup>6</sup> 1/Град | Коефіцієнт<br>теплопровідності<br>(теплоємність<br>матеріалу)<br>λ Вт/(м·град) | Щільність<br>матеріалу<br>ρ кг/м <sup>3</sup> | Питома<br>теплоємність<br>матеріалу<br>С, Дж/(кг·град) | Питомий<br>електроопір<br>R 10 <sup>9</sup> ,<br>Ом·м |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 20                     | 2,12                                                                | -                                                                                     | 53                                                                             | 7830                                          | -                                                      | 172                                                   |
| 100                    | 2,06                                                                | 11,1                                                                                  | 51                                                                             | -                                             | 470                                                    | 223                                                   |
| 200                    | 2,01                                                                | 12                                                                                    | 49                                                                             | -                                             | 491                                                    | 301                                                   |
| 300                    | 1,92                                                                | 12,9                                                                                  | 45                                                                             | -                                             | 512                                                    | 394                                                   |
| 400                    | 1,76                                                                | 13,5                                                                                  | 42                                                                             | -                                             | 533                                                    | 497                                                   |
| 500                    | 1,63                                                                | 13,9                                                                                  | 39                                                                             | -                                             | 554                                                    | 623                                                   |
| 600                    | 1,51                                                                | 14,5                                                                                  | 35                                                                             | -                                             | 580                                                    | 771                                                   |
| 700                    | 1,31                                                                | 14,8                                                                                  | 31                                                                             | -                                             | 613                                                    | 935                                                   |
| 800                    | 1,18                                                                | 11,9                                                                                  | 27                                                                             | -                                             | 710                                                    | 1115                                                  |
| 900                    | -                                                                   | 12,5                                                                                  | 27                                                                             | -                                             | 701                                                    | 1154                                                  |

**1.4.2 Вибір плавильних агрегатів.** Індукційні тигельні печі (ІТП) широко застосовуються в промисловості для плавки чорних і кольорових металів як на повітрі, так і у вакуумі та в захисних атмосферах. В даний час використовуються печі ємністю від десятків грам до десятків тон. Тигельні індукційні печі застосовують головним чином для плавки високоякісних сталей та інших

спеціальних сплавів, що вимагають особливої чистоти, однорідності і точності хімічного складу, що недосяжно при плавці в полум'яних і дугових печах [12].

Переваги індукційних тигельних печей: виділення енергії безпосередньо у завантаженні, без проміжних нагрівальних елементів; інтенсивна електродинамічна циркуляція розплаву в тиглі, що забезпечує швидке плавлення дрібної шихти і відходів; швидке вирівнювання температури за об'ємом ванни і відсутність місцевих перегрівів, що гарантує отримання багатокomпонентних сплавів, однорідних за хімічним складом; принципова можливість створення в печі будь-якої атмосфери при будь-якому тиску (вакуумні або компресійні печі); висока продуктивність, що досягається високим значенням питомої потужності (особливо на середніх частотах); можливість повного зливу металу з тигля і відносно мала маса футеровки печі, що створює умови для зниження теплової інерції печі завдяки зменшенню тепла, акумульованого футеровкою; простота і зручність обслуговування печі, управління і регулювання процесу плавки; широкі можливості для механізації та автоматизації процесу; висока гігієнічність процесу плавки і мале забруднення повітря [13].

Печі цього типу вельми зручні для періодичної роботи з перервами між плавками і забезпечують можливість для швидкого переходу з однієї марки сплаву на іншу.

Для плавки сталі 35Л було обрано індукційну тигельну піч підвищеної частоти GW-5-4000/0.5J (рис. 1.2), технічна характеристика якої приведена в табл. 1.4.

В цих печах високий ККД, втрати металу на угар невеликі, а також вони задовольняють санітарно-гігієнічним умовам праці [14].

Індукційні печі зарекомендували себе як надійні і практичні плавильні установки для ливарної індустрії. При використанні промислової частоти вони особливо ефективні для плавки малорозмірних матеріалів, зокрема, стружки.

Високий ККД, чудова рівномірність температури розплаву і його гомогенність є додатковими перевагами.



Рисунок 1.2 – Індукційна тигельна піч GW-5-4000/0.5J

Таблиця 1.4

Технічні характеристики печі GW-5-4000/0.5J

| Параметр               | Значення    | Одиниці виміру |
|------------------------|-------------|----------------|
| Провідна потужність    | 4400        | кВт            |
| Напруга живлення       | 950         | В              |
| Макс. споживаний струм | 2300        | А              |
| Номінальна потужність  | 4000        | кВт            |
| Робоча частота         | 500         | Гц             |
| Робоча напруга         | 3400        | В              |
| Продуктивність         | 5           | т/год          |
| Енергоспоживання       | 600/550     | кВт/т          |
| Габаритні розміри      | 1,8×3,4×1,4 | м              |

Печі GW-5-4000/0.5J характеризуються надійністю конструкції, низькою вартістю установки і тривалим часом роботи тигля.

Фуטרівка печі – кисла. Виготовляється з кремнеземних вогнетривких матеріалів (кварцового піску, кварциту, меленої динасової цегли) з вмістом окислу кремнію не менше від 93 до 98 % [14].

З'єднуючим матеріалом служить сульфітно-целюлозний екстракт, в якості мінералізатора додається від 1 до 1,5 % розчин борної кислоти. Зерновий склад вогнетривкої маси: 5 % зерен від 3 до 2 мм, 50 % зерен від 2 до 0,5 мм, 45 % зерен < 0,5 мм. Футеровка витримує від 80 до 100 плавов [13].

**1.4.3 Конструкція і принцип дії печі.** Індукційна тигельні піч призначена для розплавлення і перегріву сталі та чавуну. Можлива плавка кольорових металів (бронзи, латуні, алюмінію) і їх сплавів у графітовому тиглі. Застосовується в ливарних цехах металургійних заводів, у цехах точного лиття та ремонтних цехах машинобудівних заводів для отримання сталевих виливків високої якості.

Індукційний нагрів - нагрівання тіл в електромагнітному полі за рахунок теплової дії вихрових електричних струмів, що протікає по нагрівається тілу і збуджується в ньому завдяки явищу електромагнітної індукції. При цьому струм нагрівається у виробі називають індукованим або наведеним струмом. Індукційними установками називають електротермічні пристрої, призначені для індукційного нагріву або плавки металів [13].

Індукційна піч працює за принципом трансформатора, у якого первинною обмоткою є водоохолоджуваний індуктор, вторинним та одночасно навантаженим знаходиться в тиглі метал. Нагрівання і розплавлення металу відбуваються за рахунок протікаючих у ньому струмів, які виникають під дією електромагнітного поля, створюваного індуктором.

**1.4.4 Плавка.** Як правило, попередньо розплавляють шихтові матеріали, які вміщують основний компонент сплаву, а потім в цей розплав вводять інші компоненти шихти.

Якщо метали, які входять до складу сплаву, сильно відрізняються по температурі кипіння та хімічній активності по відношенню до газів, футеровки та флюсів, а попередити взаємодію розплаву неможливо, то одночасне завантаження

їх в піч недопустиме, оскільки це призведе до великих втрат, випаровування та окислення розплаву [15].

Перед плавкою необхідно підготувати тигель. Підготовка тигля проводиться в наступному порядку:

- перед установкою в плавильну піч тигель очищують на галтувальній установці від пригорівшої землі та інших включень;
- тигель встановлюють за допомогою електроталі в піч;
- вмикають піч та виконують нагрів тигля до температури від 150 до 180 °С.

**1.4.5 Розрахунок балансу металу.** За відсутністю даних що до виробничої програми ливарного комплексу баланс металу розраховується загальну масу металевої завалки для плавильних печей, що припадає на 1 т придатного литва:

$$M = \frac{100 \cdot (П + Л + Б)}{100 - y - z}, \quad (1.1)$$

де  $П$  – маса придатного литва;

$Л$  – маса ливників;

$Б$  – маса браку (4 % від маси придатного литва);

$y$  – відсоток угару при плавці (від 2 до 4 % для сталі),

$z$  – відсоток зливів, метал що залишається в ковші та іде на переплав (від 2 до 3 % для сталі).

$$M = \frac{100 \cdot (1,000 + 0,256 + 0,039)}{100 - 3 - 2} = 1,364 \text{ т}$$

Визначаємо відносний вміст складових балансу для сплаву сталь 35Л (придатного литва, ливників та браку):

$$П = \frac{П}{M} \cdot 100\%; \quad Л = \frac{Л}{M} \cdot 100\%; \quad Б = \frac{Б}{M} \cdot 100\% \quad (1.2)$$

$$\Pi = \frac{1,000}{1,364} \cdot 100\% = 73,27\%$$

$$\mathcal{L} = \frac{0,256}{1,364} \cdot 100\% = 18,81\%$$

$$\mathcal{B} = \frac{0,039}{1,364} \cdot 100\% = 2,92\%$$

Визначаємо масу угару, т

$$Y = \frac{y}{100} \cdot M \quad (1.3)$$

$$Y = \frac{3}{100\%} \cdot 1,364 = 0,041 \text{ т}$$

Визначаємо масу зливів, т

$$3 = \frac{2}{100\%} \cdot 1,364 = 0,027 \text{ т}$$

Кількість рідкого металу визначаємо за формулою:

$$Q_p = M - Y \quad (1.4)$$

$$Q_p = 1,364 - 0,041 = 1,323 \text{ т}$$

**1.4.6 Складання шихти.** В залежності від призначення сплаву від наявності шихтових матеріалів співвідношення окремих складових в шихті різне. Шихта може складатися з лише свіжих металів, зі свіжих металевих відходів та лігатур, з відходів та брухту. Найбільш часто зустрічається другий випадок складання шихти,

тому що на будь-якому машинобудівному виробництві є відходи, які необхідно використовувати в якості шихтових матеріалів.

Перед тим, як розпочати виготовлення сплаву, виконують розрахунок шихти, тобто визначають кількість окремих видів шихтових матеріалів, необхідних для отримання сплаву необхідного хімічного складу [16]. Вихідними даними для розрахунку є:

- хімічний склад сплаву по ДСТУ або ТУ;
- оптимальний або розрахунковий склад шихти;
- хімічний склад вихідних шихтових матеріалів;
- угар або пригар окремих складових сплаву в процесі його виготовлення;

Вміст окремих компонентів в сплаві вказує на те, що зазвичай в деяких межах найкращі механічні і технологічні властивості сплав має при оптимальному вмісті компонентів. Величина угару металу залежить від складу шихти, її якості, від типу плавильного агрегату, тривалості плавки і ряду інших причин.

Середній склад шихти при плавці сталі в індукційній печі наведено в табл. 1.5.

Угар (пригар) елементів при плавці у електричній печі складає: С = - 10 %, Si = +10 %, Mn = - 20% [10]. Масову долю елемента в шихті, крім вуглецю та сірки під час плавлення визначаємо за виразом:

$$K_{iu} = K_{ip} \cdot \frac{B}{100 \pm \Delta K_i} \quad (1.5)$$

де  $K_{ip}$  – масова доля в % елемента у розплавленому металі, що відповідає вмісту елемента у відливках;

$B$  – вихід рідкого металу в % від маси металозавалки;

$\Delta K_i$  – угар або пригар елемента.

Мінімальна та максимальна масова доля Si:

$$K_{\min Si} = 0,20 \cdot \frac{96,5}{100 + 5} = 0,183 \%$$

$$K_{\max Si} = 0,52 \cdot \frac{96,5}{100 + 5} = 0,477 \%$$

Мінімальна та максимальна масова доля Mn:

$$K_{\min Mn} = 0,45 \cdot \frac{96,5}{100 - 20} = 0,542 \%$$

$$K_{\max Mn} = 0,9 \cdot \frac{96,5}{100 - 20} = 1,085 \%$$

Необхідна масова доля вуглецю у шихті визначається за таким виразом:

$$K_{\min C} = 0,32 \cdot \frac{96,5}{100 - 10} = 0,343 \%$$

$$K_{\max C} = 0,4 \cdot \frac{96,5}{100 - 10} = 0,428 \%$$

Масова доля сірки і фосфору розраховується за вмістом відповідних компонентів в шихті з урахуванням їх кількості.

Таблиця 1.5

## Розрахунок шихти для сталі 35Л ДСТУ 8781:2018 [17]

| №<br>п/п                 | Найменування<br>матеріалу       | Марка<br>матеріалу                  | Маса<br>компо-<br>нента в<br>шихті на<br>100 кг. | Варіант шихти основний |            |                  |         |                  |         |                |         |                |         |
|--------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------|------------|------------------|---------|------------------|---------|----------------|---------|----------------|---------|
|                          |                                 |                                     |                                                  | C                      |            | Si               |         | Mn               |         | S              |         | P              |         |
|                          |                                 |                                     |                                                  | в мат.                 | в<br>шихті | в мат.           | в шихті | в мат.           | в шихті | в мат.         | в шихті | в мат.         | в шихті |
| 1                        | Сталевий лом                    | ГОСТ 2787-75                        | <b>75,37</b>                                     | 0,2                    | 0,15       | 0,3              | 0,226   | 0,5              | 0,377   | 0,02           | 0,015   | 0,04           | 0,03    |
| 2                        | Відходи власного<br>виробництва | 35Л ГОСТ 977-<br>88                 | <b>23,73</b>                                     | 0,35                   | 0,083      | 0,45             | 0,107   | 0,75             | 0,178   | 0,05           | 0,012   | 0,05           | 0,012   |
| 3                        | Феросиліцій                     | ФС-45-4 ДСТУ<br>4127-02             | <b>0,2</b>                                       | 0,2                    | 0,0004     | 45               | 0,09    | 1                | 0,002   | 0,01           | 0,00002 | 0,03           | 0,00006 |
| 4                        | Феромарганець                   | ФМн-78-4 ДСТУ<br>3547-97            | <b>0,5</b>                                       | 7                      | 0,035      | 4                | 0,02    | 75               | 0,375   | 0,01           | 0,00005 | 0,18           | 0,0009  |
| 5                        | Графіт<br>подрібнений ГИ-4      | ТУ У 26.8-<br>05394618-<br>026:2011 | <b>0,2</b>                                       | 75                     | 0,15       | -                | -       | -                | -       | 0,04           | 0,00008 | -              | -       |
| Всього                   |                                 |                                     | <b>100</b>                                       | 0,418                  |            | 0,443            |         | 0,932            |         | 0,027          |         | 0,042          |         |
| Угар (-), пригар (+)     |                                 |                                     |                                                  | -20                    | -0,084     | -15              | -0,066  | -20              | -0,186  | -5             | -0,001  | -5             | -0,002  |
| Місткість в рідкій сталі |                                 |                                     |                                                  | <b>0,334</b>           |            | <b>0,377</b>     |         | <b>0,746</b>     |         | <b>0,026</b>   |         | <b>0,04</b>    |         |
| Потрібний хімічний склад |                                 |                                     |                                                  | <b>0,32-0,40</b>       |            | <b>0,20-0,52</b> |         | <b>0,45-0,90</b> |         | <b>до 0,05</b> |         | <b>до 0,05</b> |         |

Використовуючи розрахунки балансу металу і складу шихти визначаємо баланс металу на 1 тону придатного литва. Баланс металу для сплаву сталі 35Л на 1 тону придатного литва наведено в табл. 1.6.

Таблиця 1.6

Баланс металу на 1 тону придатного литва сплаву сталь 35Л

| №                  | Матеріал                     | Частка від металозавалки |                  |
|--------------------|------------------------------|--------------------------|------------------|
|                    |                              | Відносна частка, %       | Масова частка, т |
| Прибуткова частина |                              |                          |                  |
| 1                  | Сталевий лом                 | 75,37                    | 1,029            |
| 2                  | Відходи власного виробництва | 23,73                    | 0,325            |
| 3                  | Феросиліцій                  | 0,2                      | 0,002            |
| 4                  | Феромарганець                | 0,5                      | 0,006            |
| 5                  | Графіт подрібнений ГИ-4      | 0,2                      | 0,002            |
| Всього             |                              | 100                      | 1,364            |
| Витратна частина   |                              |                          |                  |
| 1                  | Придатне литво               | 73,27                    | 1,000            |
| 2                  | Ливники                      | 18,81                    | 0,256            |
| 3                  | Брак                         | 2,92                     | 0,039            |
| 4                  | Угар при плавці              | 3                        | 0,041            |
| 5                  | Зливи та сплески             | 2                        | 0,027            |
| Всього             |                              | 100                      | 1,364            |

### 1.5 Формувально-заливно-вибивне відділення

В цьому відділенні виконують технологічні і організаційно зв'язані між собою операції формовки, зборки і заливки форм, охолодження і вибивки виливків.

Виливки в ливарних цехах масового і крупносерійного виробництва виготовляють в формах, отриманих методом комбінованого ущільнення з використанням єдиних бентонітових сумішей на автоматичних і комплексно-механізованих формівних лініях, які обладнанні автоматичними і механізованими пристроями заливки.

При виробництві виливків використовується автоматична формувальна лінія моделі АЛ23714 [4], загальний вид якої приведено на рис. 1.3, а технічна характеристика в табл. 1.7.

Автоматичні лінії безопочної горизонтальної формовки, заливки та вибивки моделі АЛ23714 призначені для виготовлення разових безопочних сирих піщаних форм масою від 20 до 50 кг.

Лінії дають змогу отримувати відливки високої якості по чистоті поверхні, розмірної та вагової точності, високу продуктивність праці та економічність процесу.

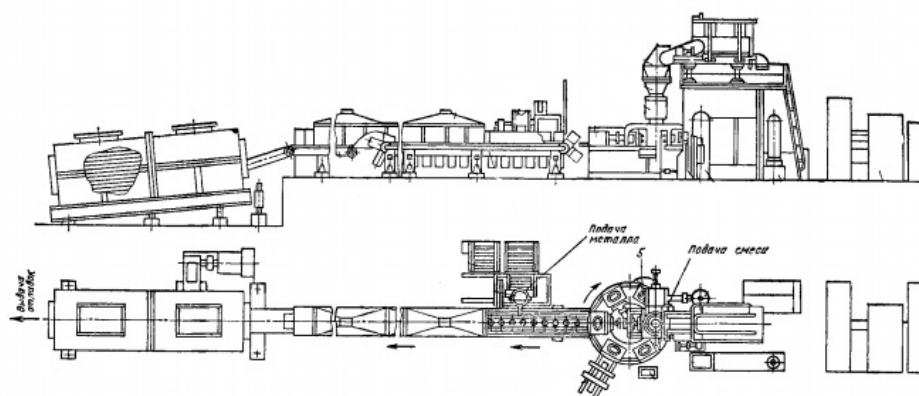


Рисунок 1.3 – Автоматична формувальна лінія АЛ23714

Таблиця 1.7

Технічна характеристика автоматичної формувальної лінії АЛ23714

| Параметр                                                   | Значення          | Одиниці виміру |
|------------------------------------------------------------|-------------------|----------------|
| Продуктивність                                             | 300 - 360         | ф/год          |
| Продуктивність вибивної установки                          | 40 - 50           | т/год          |
| Габаритні розміри форм                                     | 800×600×250 - 400 | мм             |
| Висота модельного комплекту (включаючи підмодельну плиту), | до 200            | мм             |
| Мінімальна товщина підмодельної плити                      | 40                | мм             |
| Металосміст форм:                                          |                   |                |
| середня                                                    | 30                | кг             |
| максимальна                                                | 85                |                |
| Максимальна маса відливка                                  | 50                | кг             |
| Потребуєма кількість розплавленого металу                  | 10                | т/год          |
| Потребуєма кількість формувальної суміші                   | 86,6              | т/год          |
| Габаритні розміри комплексної лінії                        | 53080×5750×6560   | мм             |
| Маса                                                       | 94                | т              |

**1.5.1 Ковшова дільниця.** Залежно від типу плавильної печі та її місткості, марки металу, маси відливків і режиму роботи цеху підбирають тип і визначають пари розливних ковшів.

Якщо відома кількість одночасно працюючих ковшів і тривалість роботи одного ковша, можна визначити число ковшів, яке забезпечить безперебійне розливання металу. Збільшивши розрахункову кількість ковшів на 30 % в ремонті і на 15 % в запасі, визначають необхідну кількість ковшів.

Дані про вибрані ковші приведені в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8

Ковшове господарство цеху

| Тип ковша      | Місткість, кг | Кількість |
|----------------|---------------|-----------|
| Стопорний ківш | 1000          | 10        |

## 1.6 Сумішоприготувального відділення

Загальнорічні витрати формувальних сумішей у масовому, крупносерійному виробництві визначають, виходячи з розмірів і кількості виготовлюваних форм для всієї номенклатури виливків, виключаючи об'єм, зайнятий виливком з ливниковою системою і стержнями.

Витрати стержньових сумішей визначають за технологічною відомістю необхідних стержнів на програму, поділяючи за видами сумішей.

Загально річні витрати формувальних і стержньових сумішей збільшують в межах від 10 до 15 % (ПСС і CO<sub>2</sub>-процес – від 8 до 12 %, ХТС – від 7 до 9 % і РСС – від 5 до 7 %) для врахування витрат сумішей під час транспортування, формування тощо [18]. Знаючи повні річні витрати сумішей і їх склад, розраховують витрати компонентів сумішей. Ці дані використовують у розрахунках складів і сумішоприготувального обладнання.

Готова суміш із змішувачів автоматично видається і доставляється в бункери, а потім розподіляється по бункерах, розміщених над формувальними або над стержньовими машинами. Для розпушування суміші після виходу з бункерів

застосовують аератори. У ливарних цехах великосерійного і масового виробництва виливків формувальні і стержньові суміші виготовляють безпосередньо біля ліній по виготовленню форм і стержнів. Це технологічно необхідно для самотверднучих сумішей, а для піщано-глинистих сумішей дозволяє скоротити витрати на транспортні засоби і зменшити висихання суміші при перевезеннях.

Формівну і стержневу суміш готують у змішувачах різних конструкцій періодичної і неперіодичної дії.

### 1.6.1 Вибір формувальної суміші. Формівні суміші розрізняють [19]:

- 1 за призначенням – для відливків з чавуну, сталі, кольорових сплавів;
- 2 по застосуванню при формовці – єдина, облицювальна, наповнювача;
- 3 в залежності від стану форми перед заливкою в них сплав – для сирих, сухих, підсушених і хімічно-твердіючих форм.

Для виготовлення ливарних форм на автоматичній лінії використовуємо єдину формувальну піщано-глинисту суміш, характеристика якої наведена в таблиці 1.9.

Таблиця 1.9

Склад і властивості єдиної формувальної піщано-глинистої суміші для виготовлення форм

| Склад суміші                        | Значення             | Одиниці виміру      |
|-------------------------------------|----------------------|---------------------|
| Зворотна суміш                      | 98,27                | %                   |
| Кварцовий пісок 2K02A               | 1,5-3,0              | %                   |
| Бентонітова глина                   | 0,15-0,20            | %                   |
| Вода (більше 100%)                  | До вологості 3,0-4,0 | %                   |
| Склад глинястої складової           | 11-12                | %                   |
| Склад активного бентоніту           | 7-8                  | %                   |
| Втрата при проколюванні             | 3-4                  | %                   |
| <b>Фізико-механічні властивості</b> |                      |                     |
| Вологість                           | 3,0-3,5              | %                   |
| Міцність на стиск в сирому стані    | 1,2-1,5              | кгс/см <sup>2</sup> |
| Газопроникність                     | 80                   | одиниць             |
| Текучість                           | 70-80                | %                   |

**1.6.2 Вибір обладнання для приготування формувальної суміші.** Для приготування формувальної суміші застосовуємо вихровий змішувач моделі 15202 (рис. 1.4) [20]. Загальний вид змішувача наведено на рис. 1.4, а технічні характеристики в табл. 1.10.

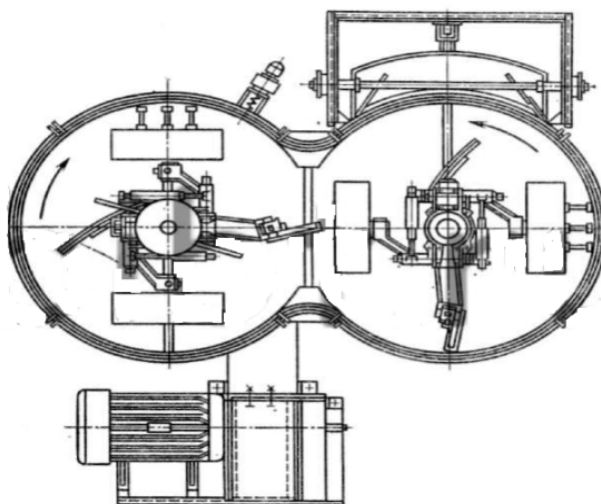


Рисунок 1.4 – Змішувач безперервної дії моделі 15202

Таблиця 1.10

Технічні характеристики вихрового змішувач 15202

| Параметр                              | Значення | Одиниці виміру       |
|---------------------------------------|----------|----------------------|
| Об'єм замісу                          | 0,5×2    | м <sup>3</sup>       |
| Продуктивність                        | 70       | м <sup>3</sup> /год. |
| Кількість катків                      | 4        | шт                   |
| Встановлена потужність електродвигуна | 200      | кВт                  |
| Габаритні розміри:                    |          |                      |
| довжина                               | 4,2      | м                    |
| ширина                                | 3,2      | м                    |
| висота                                | 2,1      | м                    |
| Маса змішувача (без дозаторів)        | 11060    | кг                   |
| Частота обертання вертикального валу  | 38,6     | об/хв                |
| Витрата стисненого повітря            | 1,5      | м <sup>3</sup> /год  |

Змішувачі вихрові призначені для приготування піщано-глинистих формувальних сумішей. Вихровий змішування відрізняється високими лінійними і обертальними швидкостями руху частинок наповнювача. Розподіл сполучного в об'ємі суміші і по поверхні зерен наповнювача відбувається під впливом високих динамічних енергій. Інтенсивний різноспрямований поступально-обертальний рух всієї суміші, її мікро об'ємів і кожної окремої частки забезпечує отримання

високоякісної суміші, що відрізняється високим ступенем гомогенності і бездоганим покриттям кожного зерна. Високі швидкості руху зерен і безперервне зіткнення частинок призводить до так званої механічної активації сполучного комплексу, забезпечуючи тим самим підвищення характеристик міцності суміші. Безперервна аерація суміші під час перемішування покращує її формуємість і ущільненість, дозволяє готувати високоміцні суміші до 2 МПа практично при збереженні продуктивності змішувача.

**1.6.3 Вибір стержневої суміші.** Для виготовлення стержнів використовуємо суміш за Cold-box-amin-процесом, характеристика якої наведена в таблиці 1.11.

Таблиця 1.11

Склад стержневої суміші [21]

| №<br>п/п | Компоненти      | Рецепт 1  |       | Рецепт 2  |       | Рецепт 3  |       |
|----------|-----------------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
|          |                 | Кількість |       | Кількість |       | Кількість |       |
|          |                 | %         | кг    | %         | кг    | %         | кг    |
| 1        | Пісок кварцовий | 100       | 20    | 100       | 20    | 100       | 20    |
| 2        | Газхарц 6348    | 0,8       | 0,160 | 0,7       | 0,14  | 0,6       | 0,120 |
| 3        | Активатор 6324  | 0,8       | 0,160 | 0,7       | 0,140 | 0,6       | 0,120 |

Cold-box-amin-процес розроблений в США в 1968 р. фірмою Ashland. Стержнева суміш містить 100 % кварцового піску, від 0,6 до 0,8 % фенольної смоли (СК1), від 0,6 до 0,8 % поліізоціанату (СК2). Після ущільнення суміші в ящику піскодувні або піскострільним способом стержень продувається сумішшю парів низькокіплячої рідини - третинного аміну (триетиламіну, диметиламіну), з повітрям, і стержень набуває початкову міцність, яка складає 60 % її кінцевого значення. Час продувки від 2 до 5 с, далі від 10 до 20 с стержень продувають повітрям для його очищення від парів аміну. Витрата каталізатора менше 1,5 г на 1 кг стержневої суміші. В результаті взаємодії компонентів сполучного в присутності каталізатора (аміну) утворюється твердий полімер - поліуретан, який і забезпечує високу міцність стержня. Для підготовки, дозування і подачі аміну застосовують

спеціальні газогенератори, які випаровують амін, змішують його з повітрям і подають у стержневий ящик [21].

Суміш аміну з повітрям, після проходження через стержневий ящик, направляється в нейтралізатор, де повністю нейтралізується розведеною сірчаною кислотою з утворенням водорозчинної солі-сульфату амонію. Ступінь очищення повітря в цій системі близька до 100 %. Таким чином, весь тракт подачі аміну повністю герметизований, що забезпечує безпеку процесу. При необхідності готові стержні фарбують протипригарною фарбою.

**1.6.4 Вибір обладнання для приготування стержнєвої суміші.** У технологічному процесі виготовлення ливарних піщаних стержнів важливе місце займає технологія приготування суміші. До стержнєвих сумішей висувають більш високі вимоги, ніж до формувальних по міцності, піддатливості, газопроникності і вогнетривкості. Змішувач повинен забезпечувати швидке і якісне перемішування компонентів стержнєвої суміші зі всілякими технологічними добавками. Крім того, після завершення процесу перемішування, приготована суміш повинна бути вивантажена з змішувача з мінімальними її залишками в змішувачі для запобігання висихання її і забруднення подальшої дози суміші.

Для приготування стержнєвої піщано-смоляної суміші обрано змішуючі бігуни моделі S1110D (рис. 1.5) [22], технічна характеристика яких наведена в таблиці 1.12.



Рисунок 1.5 – Змішуючі бігуни S1110D

Змішувачі ливарні чашкові каткові (бігуни) S1110D періодичної дії, мають нерухому чашу і два гладких вертикальних ковзанки (бігуна). Вертикальні катки (бігуни) переміщуються в чаші по шару завантаженого матеріалу, описуючи коло.

Таблиця 1.12

Технічні характеристики змішувача S1110D

| Параметр                   | Значення | Одиниці виміру |
|----------------------------|----------|----------------|
| Об'єм замісу               | 0,25     | м <sup>3</sup> |
| Сила тиску катка на суміш  | 55       | кГ             |
| Тривалість замісу          | 6-8      | хв             |
| Продуктивність             | 1,25     | т/год          |
| Кількість катків           | 2        | шт             |
| Кількість плужків          | 2        | шт             |
| Швидкість обертання ротора | 28       | об/хв          |
| Потужність електродвигуна  | 4        | кВт            |
| Маса суміші                | 0,3      | кг             |
| Габаритні розміри:         |          |                |
| довжина                    | 1700     | мм             |
| ширина                     | 1700     | мм             |
| висота                     | 2200     | мм             |
| Маса                       | 1000     | кг             |

Замішуємо суміш переміщається під катки (бігуни) за допомогою плужки. При русі ковзанок (бігунів) відбувається рівномірний розподіл і переміщення

частин суміші. Перемішування займає близько 5-10 хвилин, після чого готова суміш видається через розвантажувальний отвір в дно чаші.

Бігуни максимально герметичні, що запобігає поширенню пилу в сумішоприготувальному відділенні. Змішувач оснащено апаратурою управління, яка забезпечує його роботу як в автоматичному, так і поопераційному режимі. Даний вид конструкції забезпечує високий рівень якості перемішування компонентів стержневої суміші.

### 1.7 Стержньове відділення

Для виготовлення стержнів було обрано стержньову машину SIRIO L25 (рис. 1.6). Характеристика стержньової машини наведена в табл. 1.13.



Рисунок 1.6 – Стержньова машина SIRIO L25

Таблиця 1.13

Технічні характеристики стержневої машини SIRIO L25

| Параметр                              | Значення           | Одиниці виміру |
|---------------------------------------|--------------------|----------------|
| Процес                                | cold box / hot box | —              |
| Роз'єм стержневого ящика              | вертикальний       | —              |
| Обсяг пікострільної головки           | 25                 | л              |
| Розміри пікострільної плити           | 680×270            | мм             |
| Розміри стержневого ящика             | 800×600            | мм             |
| Максимальна товщина стержневого ящика | 500                | мм             |

|                                                      |                       |        |
|------------------------------------------------------|-----------------------|--------|
| Максимальна вага стрижневого ящика                   | 1                     | кг     |
| Час циклу (наповнення і затвердіння не враховується) | 20                    | с      |
| Нагрів                                               | Електроенергія та газ | —      |
| Циклова продуктивність                               | 80-90                 | шт/год |
| Габаритні розміри                                    | 2630×1780×2550        | мм     |

Найбільша машина із серії SIRIO, всі характеристики машини SIRIO L12, відрізняються збільшеною потужністю і розмірами піскострільної головки до 25 літрів, надійна машина для виробництва великої і середньої кількості стержнів [23]. Хоча SIRIO L25 переважно для вертикальних стержневих ящиків, це дозволяє використовувати машину для hot box або cold box процесів, машина автоматична і дозволяє швидко і легко проводити зміну стержневого ящика. До стандартних опцій відноситься автоматична система очищення і регульована подача мастила стержневого ящика. Машина також оснащена пристроєм для переміщення стержня до оператора, цей пристрій також використовується для переміщення стержневого ящика при переоснащенні.

## 1.8 Очисне відділення

В очисному відділенні ливарного цеху проводиться остаточна вибивка стержнів, очистка зовнішніх та внутрішніх поверхонь виливків, відрізання ЛЖС та прибутку, термічна обробка виливків, виправлення браку, контроль та випробовування лиття.

Виливки, вибиті з ливарних форм, проходять певний за тривалістю цикл охолодження, після чого їх передають до термообручного відділення, де проведенням ряду операцій покращують їх фізико-механічні властивості і надають їм товарного вигляду. Технологічний процес обробки виливків, який характеризується кількістю, послідовністю і особливостями виконання операцій, установлюють з урахуванням роду сплаву, габаритних розмірів, маси і конфігурації виливків.

Після видалення елементів ливникових систем подальша обробка виливків полягає в наступному:

- а) поверхню виливків очищають від формувальних і стержньових сумішей;
- б) видаляють залишки (сліди) ливникових систем, підживлювачів;
- в) усувають нерівності на поверхні виливків;
- г) проводять гартування виливків;
- д) фарбування (грунтовка) виливків.

Очищення поверхні виливків від формувальної і стержньової сумішей, які пристали і пригоріли, придання їй товарного вигляду – важлива технологічна операція, що забезпечує отримання виливків високої якості.

Існує багато способів очищення поверхні виливків, з яких найбільше розповсюдження отримали очищення в барабанах, дробострумінний і дробометний способи [24].

Для попереднього очищення поверхонь литих і кованих деталей, які не піддаються бою та деформації при очистці, від формувальної суміші, пригару і окалини, вибивки нескладних стержнів і відбиття літників використовують галтувальний барабан.

Для очищення відливків обрано галтувальний барабан безперервної дії моделі 41212, який наведено на рис. 1.7, а технічна характеристика в табл. 1.14.

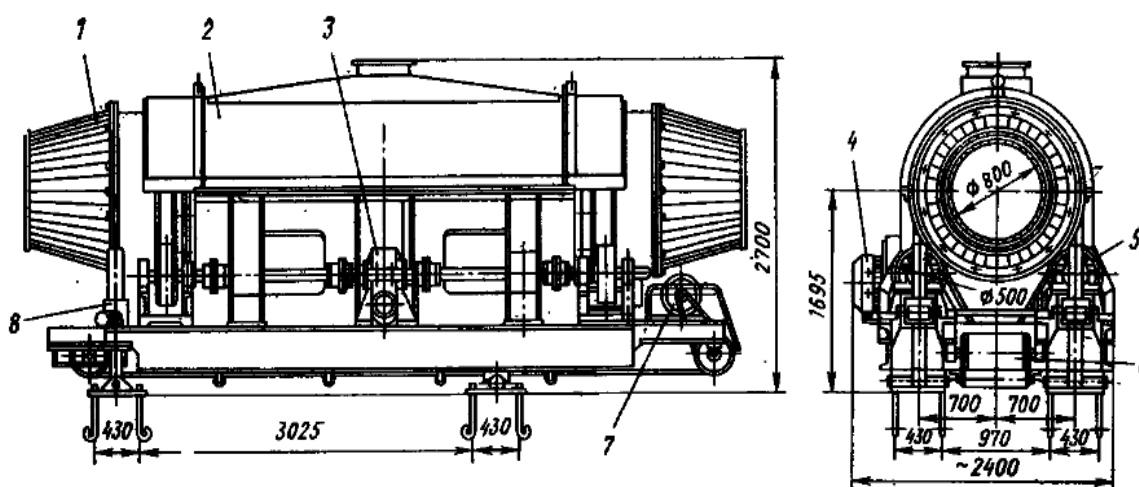


Рисунок 1.7 – Галтувальний барабан безперервної дії 41212

Таблиця 1.14

## Технічна характеристика галтувального барабана 41212 [24]

| Параметр                              | Значення         | Одиниці виміру |
|---------------------------------------|------------------|----------------|
| Найменування                          | Безперервної дії | –              |
| Модель                                | 41212            | –              |
| Габаритні розміри                     | 7,6×2,5×2,4      | м              |
| Продуктивність                        | 7                | т/год          |
| Маса                                  | 15,6             | т              |
| Встановлена потужність електродвигуна | 22               | кВт            |

Деталі подають в галтувальний барабан, який обертається. Для поглинання окалини і частинок металу в барабан в невеликій кількості завантажують тирсу. Обкатка заготовок може також проводитися в барабанах зі щебенем або синтетичним окисом алюмінію і мильною водою (мокре галтування). Недоліком мокрою галтування є те, що знімається не тільки окалина, але й основний метал.

При очищенні в барабанах на деталях забиваються кути і ребра і змінюються їх розміри. Забиваються також і поверхневі дефекти (волосні тріщини), які потім неможливо виявити. Тому очищення в барабанах допускається застосовувати тільки для невеликих деталей і для деталей, які не мають гострих кутів і тонких ребер.

Барабани для очищення слід встановлювати в ізольованому приміщенні, так як при роботі вони створюють сильний шум, а при сухому галтуванні виділяє багато пилу.

Для фінішного очищення виливків обираємо дробометний барабан безперервної дії моделі 42322М (рис. 1.8), технічна характеристика якого приведена в таблиці 1.15.



Рисунок 1.8 – Дробометний барабан безперервної дії моделі 42322М

Таблиця 1.15

Технічна характеристика дробометного барабана 42322М [25]

| Параметр                              | Значення    | Одиниці виміру |
|---------------------------------------|-------------|----------------|
| Продуктивність                        | 6-8         | т/год          |
| Найбільша маса очищуваної деталі      | 25          | кг             |
| Об'ємна діагональ очищуваної деталі   | 700         | мм             |
| Часова витрата дробу                  | 500         | кг             |
| Встановлена потужність електродвигуна | 65          | кВт            |
| Габаритні розміри                     | 7,6×4,5×7,1 | м              |
| Маса барабана                         | 29          | т              |
| Кількість дробометних апаратів        | 2           | шт             |

Очистка відливків в дробометних барабанах отримала широке розповсюдження. Такі установки високо механізовані, забезпечують очищення від легко видаляемого пригару і доводять поверхню до металевого блиску.

В якості абразивного матеріалу застосовується чавунний чи сталевий дріб розміром від 0,2 до 4,5 мм. Дробометні барабани періодичної і безперервної дії застосовуються для очищення дрібних та середніх виливків різних вагових груп. Конструктивне виконання дозволяє вбудовувати барабани в поточні лінії.

Дробометні барабани безперервної дії використовуються в масовому та крупносерійному виробництві.

Для зачистки виливків від залишків ЛЖС, заусениць обрано верстат моделі 3К634 (рис. 1.9), технічна характеристика якого приведена в таблиці 1.16.



Рисунок 1.9 – Стаціонарний верстат моделі 3К634

Таблиця 1.16

Технічна характеристика стаціонарного верстату моделі 3К634 [25]

| Параметр                  | Значення      | Одиниці виміру |
|---------------------------|---------------|----------------|
| Клас точності верстата    | Н             | —              |
| Розмір шліфувального кола | 400×50×203    | мм             |
| Швидкість обертання       | 1440          | об/хв          |
| Потужність                | 4             | кВт            |
| Габарити                  | 1000×680×1230 | мм             |
| Маса                      | 385           | кг             |

### 1.9 Відділення термічної обробки лиття

З метою одержання твердої, міцної мартенситної структури, сталь піддають гартуванню. Гартування здійснюють для отримання нерівноважної структури. Для конструкційних та інструментальних сталей гартування проводять з метою зміцнення та підвищення твердості і зносостійкості. Після гартування

проводять відпуск або старіння. Гартування може бути об'ємним (нагрів та перетворення в усьому об'ємі виробу) та поверхневим (нагрів і перетворення в поверхневому шарі).

Для гартування сталі 35Л було обрано термічну піч з висувним подом СДО-30,56 [26], технічна характеристика якої приведена в табл. 1.17.

Таблиця 1.17

Технічна характеристика термічної печі СДО-30,56

| Параметр                  | Значення     | Одиниці виміру |
|---------------------------|--------------|----------------|
| Маса осадки               | 40000        | кг             |
| Розміри робочого простору | 3,0×5,6×2,0  | м              |
| Габаритні розміри         | 5,9×19,0×5,4 | м              |
| Маса                      | 61,4         | т              |
| Потужність                | 752          | кВт            |

### 1.10 Площі під лабораторії і комори

Приймаємо площі під лабораторії:

|                                            |                   |
|--------------------------------------------|-------------------|
| Лабораторія формівних матеріалів і сумішей | 60 м <sup>2</sup> |
| Спектральна лабораторія                    | 40 м <sup>2</sup> |
| Пробопідготовча лабораторія                | 30 м <sup>2</sup> |
| Хіміко-аналітична лабораторія              | 50 м <sup>2</sup> |
| Металографічна і механічних випробувань    | 50 м <sup>2</sup> |

Інструментальна ремонтна майстерня розраховується виходячи з кількості одиниць технологічного і підйомно-транспортного устаткування, встановленого в цеху. Площа, яка приходить на 1 верстат від 8 до 12 м<sup>2</sup>, і місце слюсаря буде знаходитися в межах від 4 до 6 м<sup>2</sup> [5].

Ковшова ділянка призначена для капітального ремонту і футеровки ковшів, а також для ремонту плавильних печей. Для футеровки ковшів застосовують вогнетривкі матеріали. Ці матеріали зберігають на складі, а маси для футеровки готують на спеціальній ділянці підготовки ковшів. Цю ділянку найчастіше розміщують у плавильному відділенні, у тому самому прольоті, де розливають

рідкий метал. Площу ділянки беруть із розрахунку від 8 до 10 м<sup>2</sup> на 1000 т придатного литва на рік [5].

### **1.11 Висновки по розділу**

- 1 Обґрунтовано розташування та режим роботи ливарного цеху.
- 2 Описано роботу плавильного, формувально-заливно-вибивного, стержньового, сумішоприготувального, очисного відділень, ділянок обробки виливків, модельного оснащення та готової продукції, визначені площі під лабораторії та комори, адміністративних та побутових приміщень.
- 3 У відповідності з технологічним процесом виготовлення виливків, підібрано обладнання плавильного, формувально-заливно-вибивного, стержневого та очисного відділень.
- 4 Приведено опис процесів плавки сталі 35Л, приготування формувальних і стержневих сумішей, виготовлення ливарних форм і стержнів.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Аналіз конструкції деталі і технічних умов на виливок

Виливок відноситься до XI класу точності за ДСТУ 8981:2020 [27], виготовляється із сплаву Сталь 35 Л за ДСТУ 2770-94 [28]. Невказані ливарні ухили  $3^\circ$ , неказані радіуси від 2 до 6 мм. Базові поверхні повинні бути чистими без напливів та наростів. Виливок повинен бути очищений до металевого блиску від формувальної суміші, пригару та звільнений від живильника, прибутку, задири та нарости повинні бути видаленими. Корозія не допускається. Допускаються окремі раковини, які не виходять за краї:

- а) на поверхнях які оброблюються – голубиною не більше  $2/3$  припуску на механічну обробку, діаметром до 1 мм, в кількості до 10 шт на відстані один від одного 5 мм не менше;
- б) на необроблюваних поверхнях допускаються чисті раковини, які не виходять за кромки глибиною до 1 мм, діаметром до 2 мм, в кількості до 10 шт на відстані один від одного не менше 5 мм.

Виливок "Кришка нижня Допоміжного насосу СРG22-00.201".призначений для сівалки СЗТ – 3,6 А і виконує функції кришки нижньої для допоміжного насосу. Внутрішні отвори отримуємо за допомогою стержня та болванів. Даний виливок є технологічним. Зовнішні поверхня виливка представляє собою циліндричні контури, зчленовані плавними переходами, які забезпечують деяку деформацію виливка при його усадці під час охолодження у формі. Виливок немає з'ємних частин, роз'єм моделі і форми один. Маса виливка 5,9 кг, твердість матеріалу від 314 до 412 НВ ДСТУ 2770-94 [28].

## **2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення виливка**

### **2.2.1 Вибір обладнання для виготовлення ливарних форм та стержнів.**

Для виготовлення даного виливка застосовуємо автоматичну ливарну лінію АЛ23714 На цій лінії весь процес отримання виливка, від операції формовки до вибивки готової форми, автоматизовано.

Основою лінії є шестипозиційний карусельний стіл, поворот якого здійснюється від приводу через мальтійську передачу. На кожній позиції стіл жорстко фіксується. Спресована форма притискається до раніше виготовлених формам, в результаті чого утворюється горизонтальна стопка безопочних форм з вертикальною площиною роз'єму [4].

Технологічний цикл виготовлення виливків включає наступні операції: дозування і подачу формувальної суміші в бункер, засипку дози суміші в гільзу піскодувні головки, обдув і обприскування модельного комплекту, надування суміші в формувальну камеру, двостороннє пресування, витяжку моделей, огляд форми і постановку стержнів, виштовхування форми і збирання горизонтальної стопки, заливку форм, охолодження та транспортування їх на вибивку.

Оператор, виявивши на робочих позиціях браковану форму, має можливість передати її на холосту позицію і виштовхнути в спеціальний прямокутник для повернення в систему сумішеприготування.

Дистанційне керування лінією зосереджено на центральному пульті. Дозатор підключений до системи управління спеціальним перемикачем, розміщеним в шафі керування дозатора. Вибивними решітками керують як з місцевого, так і з центрального пульта лінії. При пуску решіток перед включенням електродвигуна автоматично включається сирена. Якщо решітка вимкнена, то на центральному пульті горить попереджувальна червона лампа.

Спосіб ущільнення форм - піскодувно-пресовий з двостороннім пресуванням. Стержні проставляють у форму вручну.

Висока якість форм забезпечується закріпленням на центральній нерухомій станині поворотного столу, жорсткої рами механізму пресування з напрямними колонками і пресовими циліндрами. На пресових плитах закріплені плити з нагрівальними елементами для підігріву модельного оснащення. Один з пресових циліндрів суміщений з циліндром збирання форм.

Крокуючий конвеєр призначений для прийому готового кому (брикету з двостороннім відбитком), який циліндр збирання виштовхує з формувальної камери і притискає до раніше виготовленого кому. Рух крокуючого конвеєра синхронізовано з роботою циліндра-складальника, що забезпечує нерозривність стопки, щільність стику і відсутність руйнувань. Виштовхування готової форми і переміщення конвеєром стопки форм на один крок відбуваються одночасно, при цьому звільняється місце для вільного повороту каруселі та подачі на позицію виштовхування наступної форми. При кожному кроці конвеєра готові форми переміщуються на позицію заливки, потім до стрічкового конвеєру охолодження залитих форм і передачі їх на вибивну решітку. Гідроциліндри приводять в синхронний рух конвеєри: крокуючими-циліндрами - підйом і переміщення, стрічковим-гідроциліндром з храповим пристроєм - привідний барабан. Крокуючий конвеєр має дуже жорстку конструкцію з точним напрямом переміщень, що запобігає деформації, зміщення і руйнування форм в стосі.

Лінія працює в автоматичному, напівавтоматичному і налагоджувальному режимах. Є також режим доопрацювання-звільнення конвеєрів лінії від готових і залитих форм без приведення в рух механізмів каруселі.

В автоматичному режимі відбуваються наступні основні рухи механізмів. Попередньо, при перемиканні режиму на автоматичний готують піскодувні гільзу: заповнюють її сумішшю з дозатора до сигналізатора рівня, після чого шибер гільзи автоматично закривається. Рама крокуючого конвеєра піднімається, вирівнюючи площадку прийому готової форми.

Під час заливки форми необхідно слідкувати за рухом розплаву з ковша у форму. У початковий момент заливки необхідно повертати ківш плавно, без ривків,

однак достатньо швидко, щоб заповнити ливникову систему і чашу. Після заливки форми, відливки охолоджуються і твердіють, разом з формою пересуваючись по рольгангам з ділянки заливки до ділянки вибивки.

Виливки потрапляють в барабан для остаточного відділення від суміші. Із барабанів відливки направляються на пластинчатий транспортер і подаються ним у очисне відділення для очищення, обрубки і обробки [5].

Перед очищенням відливки попередньо оглядаються, брак видаляється і не надходить на очистку.

Технологічний процес очищення виливка складається із наступних операцій:

- видалення стержнів із виливків;
- відділення ливників, випорів;
- очищення виливків від механічного пригару та прилиплої формувальної суміші в дробометних барабанах;
- остаточного контролю якості виливків після очищення і обрубки.

Виливки зачищаються абразивними кругами з метою видалення заливів, заусениць, перекосів і нерівностей поверхонь.

Контроль якості виливків здійснюється зовнішнім оглядом БТК цеху. Після виправлення знайдених недоліків знову контроль якості - БТК цеху. Грунтовка виливків здійснюється для захисту від корозії при зберіганні на складі і в процесі механічної обробки.

Виливки перед фарбуванням промиваються в двокамерній машині і потім сушаться теплим повітрям. Далі виконується грунтовка виливків з зануренням у ванну і просушуванням у камері при 60 °С на протязі 10 хв. Після фарбування виливки направляються на склад готових виробів.

## 2.3 Визначення положення виливка у формі

Положення виливка у формі в період заливки вибираємо вертикальним, так як оброблювані поверхні – посадочні місця повинні бути розташовані вертикально, для запобігання отримання раковин, дефектів із-за забруднення, рихлості. Поверхня роз'єму моделі і форми при цьому займає вертикальне положення і є єдиною для даного виливка, що полегшує застосування машинної формовки. Поверхня роз'єму розташовується так, що модель не має з'ємних частин. Роз'єм моделі і форми розташовується таким чином, що виливок знаходиться в нижній і верхній напівформах симетрично. Такий роз'єм забезпечує хорошу набивку форми, її складання, надійність встановлення стержнів, зручність контролю розмірів форми, вільне вилучення моделі із форми.

## 2.4 Розрахунок і конструювання ливникової системи

**2.4.1 Визначення габаритних розмірів опоки.** Габарити опок визначаються габаритами виливка, кількістю виливків в одній опоці, розмірами ливникової системи, правильністю розміщення моделей на підмодельній плиті.

Правильність розміщення моделей на підмодельній плиті для даного розміру опок визначається коефіцієнтом металоємності, тобто співвідношенням загальної ваги металу у формі до ваги формувальної та стержнєвої маси опоки. Коефіцієнт металоємності залежить від складності, товщини тіла і габаритів виливка і знаходиться у межах від 0,25 до 1,2 [29].

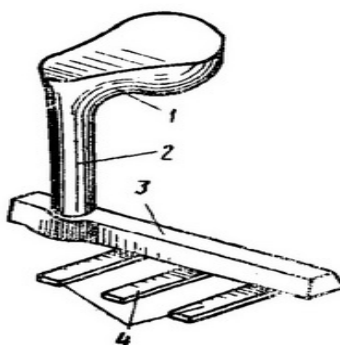
Відстань між окремими моделями дорівнює  $(0,3 \dots 0,5) \times h$ , де  $h$  – висота моделі у верхній та нижній напівформах, відстань від моделі до верху форми та від моделі до низу форми. При формуванні в одній опоці декількох виливків, залитих через загальну ливникову систему, відстань в площині роз'єму між ними повинна бути  $\leq 20 \dots 25$  мм. Відстань від тіла відливка до стінок опок складає від 50 до 100 мм, від стержневого знаку до бокової стінки опоки від 0 до 50 мм.

Відстань від моделі до верхньої і нижньої площини дорівнює 100 мм. Враховуючи, що для виготовлення виливка застосовуємо автоматичну лінію АЛ23714 з розмірами кому 800×600×250 мм, кількість виливків в комі приймаємо 4 шт.

**2.4.2 Визначення оптимальної тривалості заливки.** Ливниково-живильна система служить для забезпечення заповнення ливарної форми металом з оптимальною швидкістю, що виключає утворення у виливку недоливів і неметалічних включень, і об'ємної усадки в період затвердіння виливка.

Ливникова система - це поєднання каналів, які служать для заливки розплаву в форму і для затримання шлаку.

На рис. 2.1 показана найчастіше вживана при виробництві виливків з сталі 35 Л ливниково-живильна система.



1 - чаша, 2 - стояк, 3 - шлаковловлювач, 4 – живильники

Рисунок 2.1 – Горизонтальна ливникова система

В даному дипломному проекті було обрано ком з габаритами 800×600×250 мм, в якому розміщується 4 виливка заданої конфігурації.

Знаходимо масу металу, необхідного для заливання форми:

$$G_{\text{металу}} = 4G + 4(0,3 G), \text{ кг} \quad (2.1)$$

де  $G$  - маса виливка,  $G = 5,59$  кг.

$$G_{\text{металу}} = 4 \cdot 5,9 + 4(0,3 \cdot 5,9) = 30,68 \text{ кг}$$

Для двох виливків:

$$G_{\text{металу}} = 2 \cdot 5,9 + 2(0,3 \cdot 5,9) = 15,4 \text{ кг}$$

Час заливки форми:

$$t = S \cdot \sqrt{G_{\text{металу}}} , \quad (2.2)$$

де  $G_{\text{металу}}$  – маса виливків разом з ливниковою системою, кг.

$S$  – коефіцієнт товщини стінки, мм.  $S = 2$  [30].

$$t_1 = 2 \cdot \sqrt{30,68} = 11,07 \approx 11 \text{ с}$$

$$t_2 = 2 \cdot \sqrt{15,34} = 7,85 \approx 8 \text{ с}$$

**2.4.3 Визначення площі перерізу каналів ливникової системи.** Сумарна площа живильників:

$$\sum F_{\text{жив}} = \frac{G}{\mu \cdot t \cdot \rho \sqrt{H_p}} , \quad (2.3)$$

де  $G$  – маса виливка, кг.

$\rho$  - густина рідкого металу. Приймаємо  $\rho = 7600 \text{ кг/м}^3$  [31].

$\mu$  – коефіцієнт витрати. Приймаємо  $\mu = (0,45 \dots 0,6)$  [31].

$t$  – час заповнення форми, с.

$H_p$  – металостатичний напір, м.

— для верхніх виливків:

$$\sum F_{\text{жив}} = \frac{15,34}{0,55 \cdot 11 \cdot 7600 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,21}} = 1,65 \text{ см}^2$$

— для нижніх виливків:

$$\sum F_{\text{жив}} = \frac{15,34}{0,55 \cdot 7,85 \cdot 7600 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,44}} = 1,29 \text{ см}^2$$

Так як обрано заливку металу по роз'єму форми, то статичний напір розраховується за формулою:

$$H_p = \frac{c}{8}, \quad (2.4)$$

де  $c$  — висота виливка, мм

$$H_p = \frac{177}{8} = 22,12 \approx 22 \text{ мм}$$

Площа живильника, мм:

$$F_{\text{ж}} = \sum F_{\text{ж}} / n, \quad (2.5)$$

де  $n$  — кількість живильників,  $n = 4$

— для верхніх виливків:

$$F_{\text{ж}} = 1,65/2 = 0,825 \text{ см}^2$$

— для нижніх виливків:

$$F_{\text{ж}2} = 1,29/2 = 0,645 \text{ см}^2$$

Приймаємо  $F_{\text{ж}} = 0,9 \text{ см}^2$ ,  $F_{\text{ж}2} = 0,72 \text{ см}^2$

Сумарна площа стояка:

$$\sum F_{\text{ст}} = 1,1 \sum F_{\text{ж}} = 2,57 \text{ см}^2$$

Діаметр стояка  $D_{\text{ст}} = 2,57 \text{ см}$ , приймаємо  $3 \text{ см} = 30 \text{ мм}$

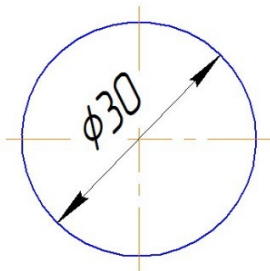


Рисунок 2.2 - Переріз стояка

Розрахунок ливникової воронки:

$$D_{\text{в}} = (2,7 \dots 3) D_{\text{ст}} = 3 \times 30 = 90 \text{ мм}$$

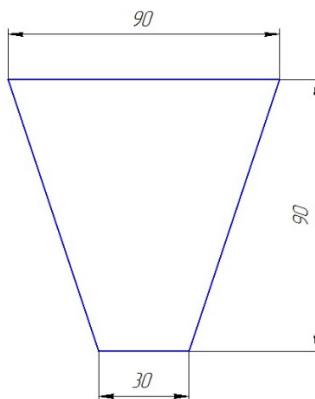


Рисунок. 2.3 - Переріз воронки

В зв'язку з технологічною необхідністю приймаємо переріз живильника 1 площею  $1,8 \text{ см}^2$ , та переріз живильника 2 площею  $1,44 \text{ см}^2$  з розмірами:

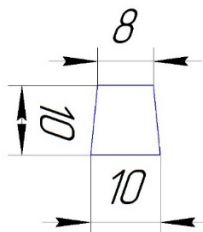


Рисунок 2.4 - Переріз живильника 1

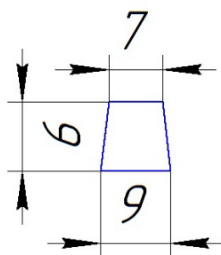
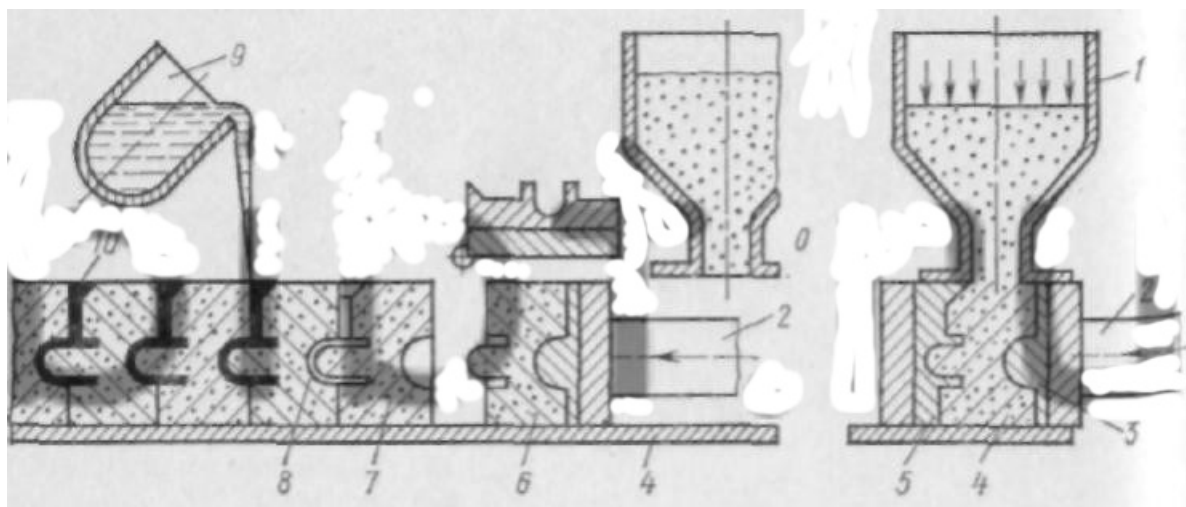


Рисунок 2.5 - Переріз живильника 2

## 2.5 Опис технологічного процесу виготовлення форми

У масовому виробництві виливків застосовують автоматичні формувальні лінії безопочного формування. Ці установки мають продуктивність від 300 до 500 форм на годину і повністю механізують ручну працю. Готові форми (блоки) встановлюються у вертикальні стопки або видаються з формувального автомата у вигляді безперервної горизонтальній стопки.

На рис. 2.6 зображена схема формовки на автоматичній лінії АЛ23714 безопочного виготовлення форм з видачою їх у вигляді горизонтальної стопки [4].



1 - пісководувна головка, 2 - плунжер, 3, 5 - модельні плити, 4 - піддон, 6, 7 - ущільнена блок-форма, 8 - порожнина форми, 9 - ківш, 10 – вилітка

Рисунок 2.6 – Схема автоматичної лінії безопочної формовки АЛ23714

Формувальна суміш з пісководувної головки подається в камеру, утворену модельними плитами і піддоном. Камера має дві робочі поверхні. Одна з них створюється модельною плитою, укріпленою на кінці штока пресового механізму; інша - модельною плитою, що займає при формуванні вертикальне положення, після закінчення формовки ця плита відкидається в горизонтальне положення. Ущільнення суміші відбувається спочатку під дією стисненого повітря, що надходить в пісководувні головку, потім пресуванням.

Після ущільнення суміші в камері відкидна плита переміщається в горизонтальне положення, а виготовлений ком пересувається штоком вліво до стопки раніше виготовленого кому. При цьому блок форм переміщається на товщину одного блоку. Потім шток повертається у вихідне положення, відкидна плита займає вертикальне положення і цикл виготовлення форми повторюється [4].

**2.5.1 Заливка форм.** Заливка може виконуватись з рухомою і нерухомою формою. Розплавлений метал з міксера потрапляє у стопорний ківш ємністю 1 т,

який транспортується краном. Цей ківш встановлюють на спеціальному стенді для подальшої роздачі металу в розливні ковші [32].

Для заливки металу використовують ківш чайникового типу ємністю 250 кг. Перед заливкою металу, потрібно видалити шлак з розливного ковша. Підводимо ківш і встановлюємо носок ковша над ливниковою чашею на відстані від 150 до 200 мм. При заливці необхідно швидко заповнити металом ливникову чашу і тримати її заповненою до кінця заливки форми. Забороняється переливати чашу, недолив чаші дозволяється – 20 мм. Заливка повинна бути безперервною. Після заливки залишки металу повинні зливатись у спеціальні форми. Тип плавильного агрегату вибирають в залежності від роду металу, а також вимог, які висуваються до якості відливки.

## **2.6 Вибивка і обрубка**

Залиті та охолоджені форми подаються на вибивний пристрій. Коливання решітки передається суміші і відливкам. В цих умовах суміш інтенсивно розсипається і провалюється в отвори решітки, та поступає на подальшу переробку. Виливки ковзають на пластинчатий конвеєр рухаючись по якому вони охолоджуються, подаються в галтувальний барабан в якому відділяється ливникова система.

Потім ви виливки поступають в прохідну дробометну камеру де вони очищуються від пригару. Після цієї операції виливки проходять зачистку від заусениць на наждачних верстатах [25].

Далі вони поступають на ділянку контролю - проходять проміжний контроль (по всіх стадіях технологічного процесу) і кінцевий. Перевіряють хімічний склад, структуру, геометричні розміри. Поверхневі дефекти визначають візуально.

## 2.7 Опис процесу проектування ливарного оснащення

При крупносерійному і масовому виробництві для збільшення строку служби моделей, їх необхідно виготовляти металевими. Заготовки металевих моделей отримують литтям у піщані форми по дерев'яним моделям (промоделям). Промоделі виготовляються з припуском на механічну обробку моделі і виливки, а також з урахуванням усадки сплаву моделі. Модель виготовляється із сірого чавуну марки СЧ 20 ДСТУ 8833:2019 [33]. Обробляються моделі вручну, припуск на механічну обробку виливка – 3,5 мм. Товщину тіла моделі визначають із номограми в залежності від габаритів моделі. З урахуванням малих габаритних розмірів відливка модель відливається суцільною. Після механічної обробки моделі монтується на раніше підготовані промодельні плити. При монтажі напівмоделей на плити необхідно враховувати розміри кому. Таким чином обидві промоделі розташовуються на плиті так, щоб відстань від напівмоделей до країв складала не менше 300 мм. Ливникова система монтується у відповідності з кресленням ливникової системи. Кріплення моделей і ливникової виконується гвинтами. Монтаж моделей на плитах виконується за допомогою монтажного шаблону, виготовленого з листової сталі товщиною від 2 до 5 мм [31].

Модельні плити виготовляються із чавуну. Товщина плит складає 50 мм так як вони повинні витримувати навантаження при формовці. Робоча поверхня плит повинна бути оброблена. На підготовлені плити накладається монтажний шаблон, встановлюються напівмоделі і просвердлюють отвори для кріплення. Напівмоделі являються кондукторами, отвори всвердлюються одночасно і в плиті і в моделі. Потім плита з отворами накладається на іншу плиту і в останній просвердлюють отвори. На плиту встановлюються напівмоделі і кріпляться гвинтами. Після кріплення моделей устанавлюється ливникова система. До плити для нижньої напівформи кріпляться моделі живильників, а на плиту верху – моделі шлаковловлювачів. Підмодельні плити повинні мати елементи спарювання з опоками. На одній плиті повинні бути: з однієї сторони – центруючий, з іншої – направляючий штирі. На

другій плиті необхідно мати відповідно центруючий і направляючий отвори. Модельні плити на формувальній машині кріпляться за допомогою болтів.

Для виготовлення стержнів піскострільним способом застосовується алюмінієвий стержневий ящик. Заготовку ящика отримуємо литтям у піщані форми по дерев'яним моделям.

При виготовленні моделі ящика необхідно врахувати усадку алюмінієвого сплаву, яка складає 1,25 %. Також враховуємо припуск на механічну обробку ящика, який при зачистці складає 0,4 мм. Для визначення товщини тіла стержньового ящика необхідно знати габаритні розміри. Товщину стінок ящика визначаємо із номограми [32]. Для стержньових ящиків із алюмінієвих сплавів товщина стінок складає 10 мм. По таблицям [32] визначаємо товщину ребер жорсткості і радіус галтелей. При товщині стінок стержньового ящика 10 мм товщина ребер жорсткості складає 10 мм, а радіус галтелей рівний 5 мм. Стержньовий ящик відливається у відповідності з розмірами і піддається механічній обробці. Площина роз'єму ящика шліфується для якісного прилягання обох половин ящика одна до одної. Половини ящика з'єднуються за допомогою штирів.

Для видалення повітря із ящика при виготовленні стержня, встановлюються венти. Розрахунок вент виконується із співвідношення:

$$\frac{F_{\text{вент}}}{F_{\text{вд.отв.}}} = 0,1 \div 0,9, \quad (2.6)$$

де  $F_{\text{вент}}$  — сумарна площа вент;

$F_{\text{вд.отв.}}$  — сумарна площа вдувних отворів.

$$F_{\text{вент}} = 0,4 \cdot F_{\text{вд.отв}}$$

$$F_{\text{вд.отв.}} = \frac{\pi 31^2}{4} = 750 \text{ мм}^2$$

$$F_{\text{вент}} = 0,4 \times 750 = 300 \text{ мм}^2$$

Площа однієї вентри при діаметрі 6 мм дорівнює 28 мм<sup>2</sup>. Звідси для забезпечення щільної набивки стержня необхідно на один вдувний отвір діаметром 31 мм мати 8 вент. Застосовуємо щільові прорізи.

## 2.8 Висновки по розділу

- 1 В технологічній частині магістерської роботи розроблена технологія виготовлення відливка "Кришка нижня Допоміжного насосу СРG22-00.201".
- 2 Виконано аналіз конструкції деталі і технологічних умов на виливок.
- 3 Розроблено технологічний процес виготовлення виливка.
- 4 Розраховано і сконструйовано ливниково-живильну систему.
- 5 Описано технологічні процеси виготовлення виливка, проектування ливарної оснастки, контролю якості виливків.

### 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

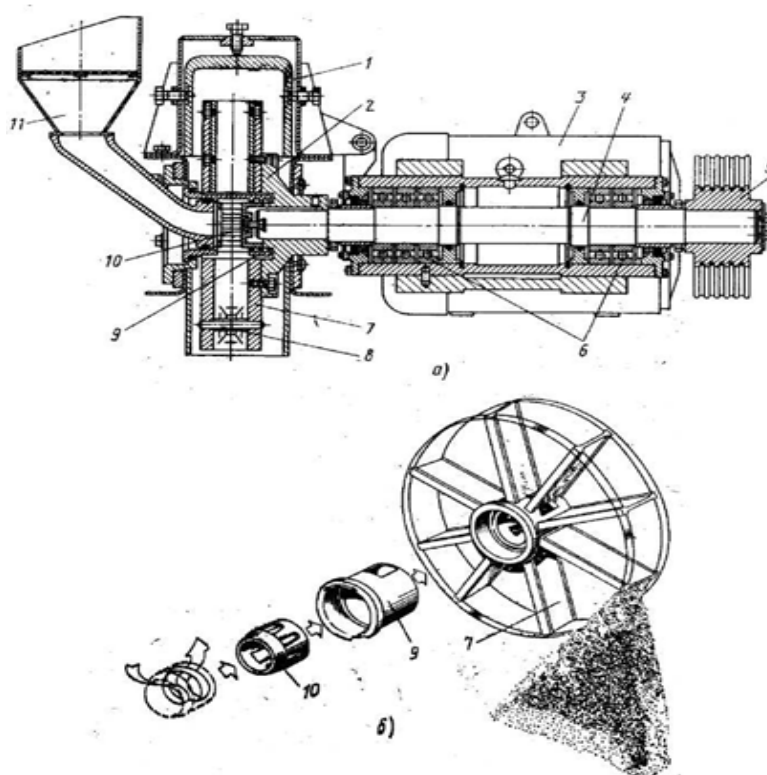
#### 3.1 Аналіз існуючого устаткування для очистки відливок та обґрунтування його вибору

Вибір технологічного процесу очистки відливок і устаткування визначається характером виробництва (одиничне серійне, масове) і характеристикою відливок (маса, стан поверхні, форма) [4]. На вибір технологічного устаткування також впливає вид покриття яке потім буде нанесене на відливки (фарбування, емалювання, гальванічне покриття). Найбільш поширеним методом попередньої очистки відливок є очистка в галтувальному барабані.

**3.1.1 Дробометні барабани.** Сутність дробометного очищення полягає в тому, що на поверхню відливка подається струмінь дробу, який розганяється в дробометному апараті до швидкості від 40 до 100 м/с [34].

На рис. 3.1 показана конструкція і принцип дії дробометного апарата. Основні вузли дробометного апарата: електродвигун приводу 3, шпindel, ротор 2, завантажувальна воронка 11, розподільна коробка 10 і кожух 1.

Шпindel призначений для передачі обертального руху від електродвигуна до ротора. Він включає вал 4, який обертається в підшипниках 6, і шків 5. Ротор складається з двох дисків, радіально розташованих лопат, крильчатки (імпелера) і служить для надання дробу необхідної швидкості. Розподільна коробка має вікно, розташування якого можна змінити при повороті коробки і у такий спосіб змінити напрямок струменя дробу при вильоті з апарата.



а – конструкція; б – принцип дії: 1 – кожух, 2, 6, 8 – привід колеса, 3 – електродвигун приводу, 4 – вал, 5 – шків, 7 – колесо з лопатками, 9 – розподільна коробка, 10 – імпелер, 11 – воронка завантажувальна

Рисунок 3.1 – Дробометний барабан

Завантажувальна лійка служить для подачі дробу із сепаратора в порожнину крильчатки. Кожух запобігає вильоту дробу за межі барабану; він складається з корпусу і кришки. Корпус і кришка усередині облицьовані змінними литими щитами.

Дріб самопливом надходить у крильчатку, розганяється лопатками крильчатки і під дією відцентрової сили викидається через вікно розподільної коробки 9. Потім дріб підхоплюється лопатками дробометного апарата, одержує під час руху по них високу швидкість і направляється в зону очищення. Лопатки кріпляться до дисків спеціальними штифтами 8.

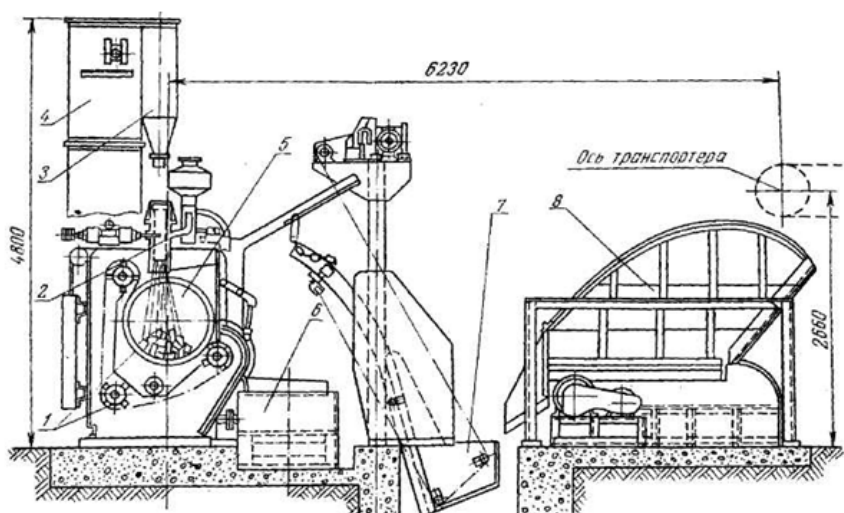
Метод подачі відливків під струмінь дробу, і розміщення очисних апаратів визначають конструкцію дробометного очисного обладнання, яке розділяють на барабани, столи, камери і спеціальні установки.

По характеру роботи перераховане обладнання буває періодичної і безперервної дії.

У дробометному стрічковому барабані періодичної дії відливки очищаються в робочому просторі, утвореному пластинчастим конвеєром і торцевими дисками.

Конвеєр має два напрямки руху – робоче, при якому відливки кантуються в робочому просторі, і зворотне, призначене для вивантаження відливків. Над робочим простором встановлюють один чи два дробометних апарати. Відливки в дробометний стрічковий барабан звичайно завантажують скіповим підйомником.

На рис. 3.2 показана схема барабана періодичної дії, вбудованого в безперервний потік очищення.



1 – корпус з завантажувально-розвантажувальним вікном, 2 – дробометний апарат, 3 – система збору, 4 – елеватор, 5 – торцеві диски з пластинчастим конвеєром, 6 – пластинчастий конвеєр, 7 – скіповий підйомник, 8 – бункер-накопичувач

Рисунок 3.2 – Стрічковий дробометний барабан періодичної дії

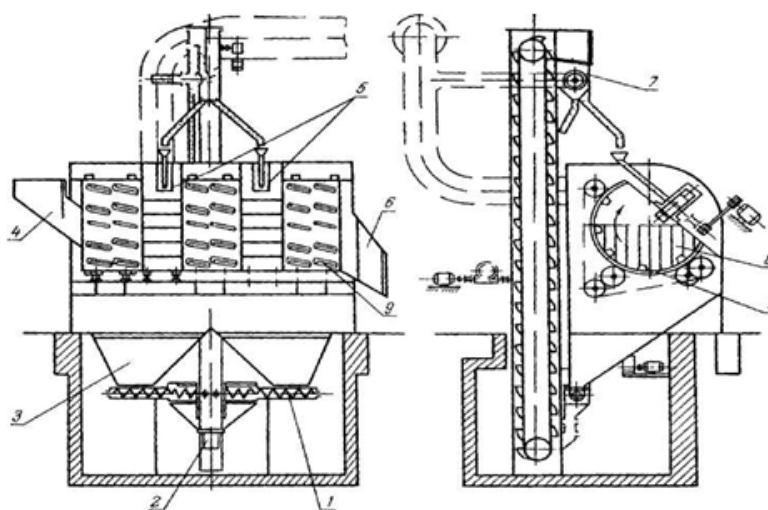
Виливки конвеєром безупинно подаються в проміжний бункер-накопичувач 8, з якого порціями перевантажуються в ківш скіпового підйомника. Скіповий підйомник завантажує відливки у вікно корпусу 1, які потім падають на стрічку конвеєра. Включають привід дробометного апарату, після чого дріб подається в його робочий простір. Включають привід конвеєра, який рухається за

годинниковою стрілкою, захоплює відливки і підіймає їх вгору. При досягненні відливками певної висоти підйому, вони падають і перевертаються. В процесі перевертання під дією струменя дробу проходить їх очищення зі всіх сторін. Після очищення порції (від 10 до 15 хв.) включається рух конвеєра проти годинникової стрілки і відливки пластинчастим конвеєром крізь розвантажувальне вікно подаються на пластинчастий конвеєр 6 і транспортуються на ділянку фінішних операцій [35].

Для очищення відливків з алюмінієвих, мідних та інших кольорових сплавів, випускаються барабани, у яких металевий пластинчастий конвеєр замінений гумовою стрічкою.

Барабани періодичної дії мають високий коефіцієнт ефективного потоку дробу, тому що в них відливки постійно знаходяться в зоні найбільш інтенсивного його потоку. Барабани допускають регулювання тривалості очищення в залежності від виду відливків і вимог до якості обробки. Завдяки відзначеним перевагам вони одержали найбільше поширення в порівнянні з іншими очисними машинами.

Барабани безперервної дії (рис. 3.3) застосовують для очищення відливків масою до 50 кг у поточкових лініях в поєднанні з галтувальними барабанами попереднього очищення, вибивання стержнів і відділення ливників і підживлювачів.



1 – шнек збирання дробу, 2 – елеватор, 3 – бункер, 4 – вікно завантажувальне, 5 – апарат дробометний, 6 – розвантажувальне вікно, 7 – система очищення дробу, 8 – барабан, 9 – привід барабана

Рисунок 3.3 – Стрічковий дробометний барабан безперервної дії

Основні переваги барабанів безперервної дії – висока якість очищення поверхонь відливків, простота конструкції, надійність в роботі, високий рівень механізації.

Барабан безперервної дії з обичайками має наступні основні частини: барабан очисний, розділювальний барабан, два дробометних апарати, повітряно-механічний сепаратор, системи дробоповернення і пиловідсосу.

Очисний барабан циліндричної форми має по торцях конуси, а зовні два бандажі, якими опирається на чотири катки, два з них приводні. Внутрішня порожнина барабана облицьована змінними броньовими плитами. Для зниження рівня шуму порожнина барабана між броньовими плитами і обичайкою заповнена гумою. Розділювальний барабан служить для звільнення відливків від дробу.

**3.1.2 Дробометний очисний стіл.** Деякі відливки, наприклад, плоскі диски, відливки, які мають довгі виступаючі частини, тонкостінні відливки та інші не рекомендується піддавати очищенню в барабанах. Такі відливки очищають на дробометних очисних столах.

Дробометні очисні столи представляють з себе плоску карусель, частина якої закрита і знаходиться в зоні очищення, а друга частина виходить назовні для завантаження, розвантаження і зміни положення відливків. У столів безперервної дії карусель обертається без зупинок, переміщуючи відливки під дробометними апаратами. В столах періодичної дії відливки встановлюються безпосередньо не на карусель, а спеціальні тарілки, які обертаються, число яких на каруселі коливається від 2 до 12.

При роботі такого столу карусель періодично зупиняється, а тарілки обертаються в зоні очищення під потоком дробу. Для прискорення процесу

завантаження і розвантаження тарілки роблять з'ємними [35].

На рис. 3.4 показано дробометний очисний стіл безперервної дії. Стіл, що обертається 4, приводиться в дію через фрикційний привід. Потік дробу направляється на відливки дробометним апаратом 5, який розміщено на кришці кожуха 3. Дріб разом з відходами елеватором 2 підіймається до сепаратора 7 і після очищення розподільником 1 подається в дробометний апарат [18].

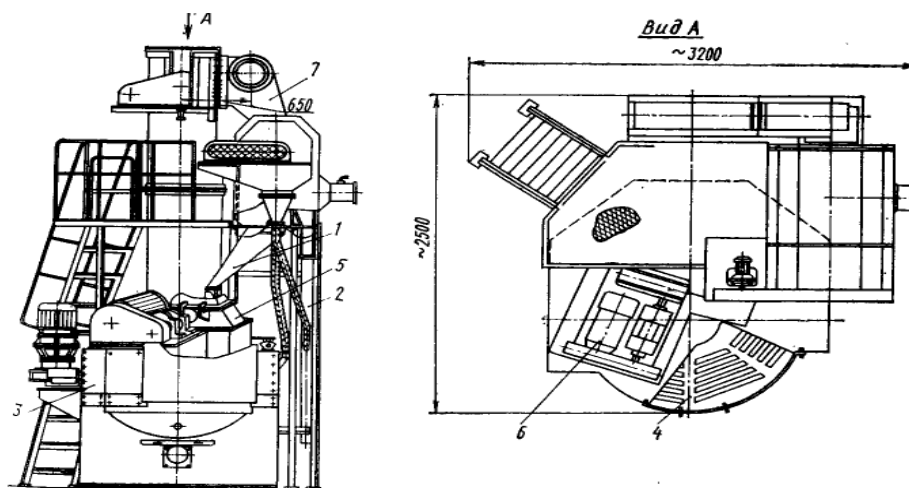


Рисунок 3.4 – Стіл очисний дробометний безперервної дії

**3.1.3 Дробометні камери.** Великі і важкі відливки очищаються в камерах періодичної дії (рис. 3.5).

Відливки в таких камерах встановлюють на рухомі столи 1, які у більшості випадків мають платформи які обертаються 2. Вантажопідйомність столів досягає 50 т і більше. У робочому просторі камери 5 відливки обертаються на платформі, під потоком дробу від декількох дробометних апаратів 3. Камери звичайно оснащують також дробострумінними апаратами 4, за допомогою яких очищають поверхні в карманах і порожнинах, які неможливо очистити дробометним апаратом.

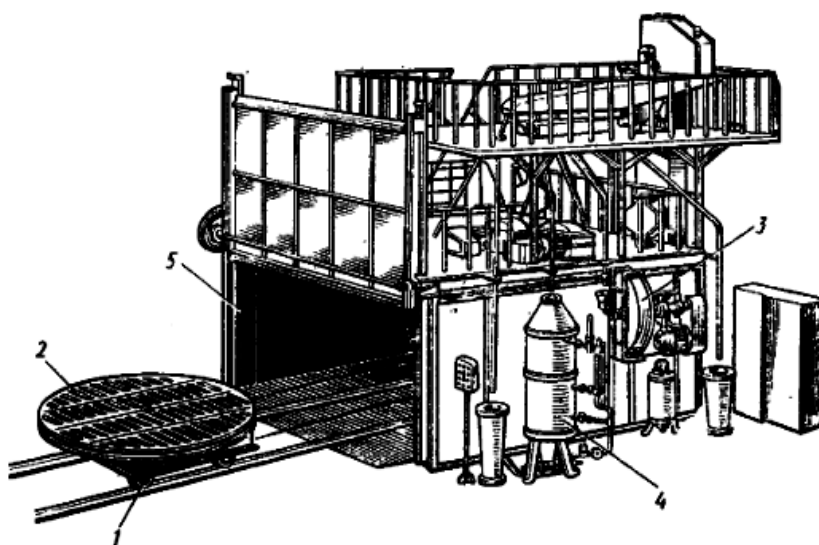
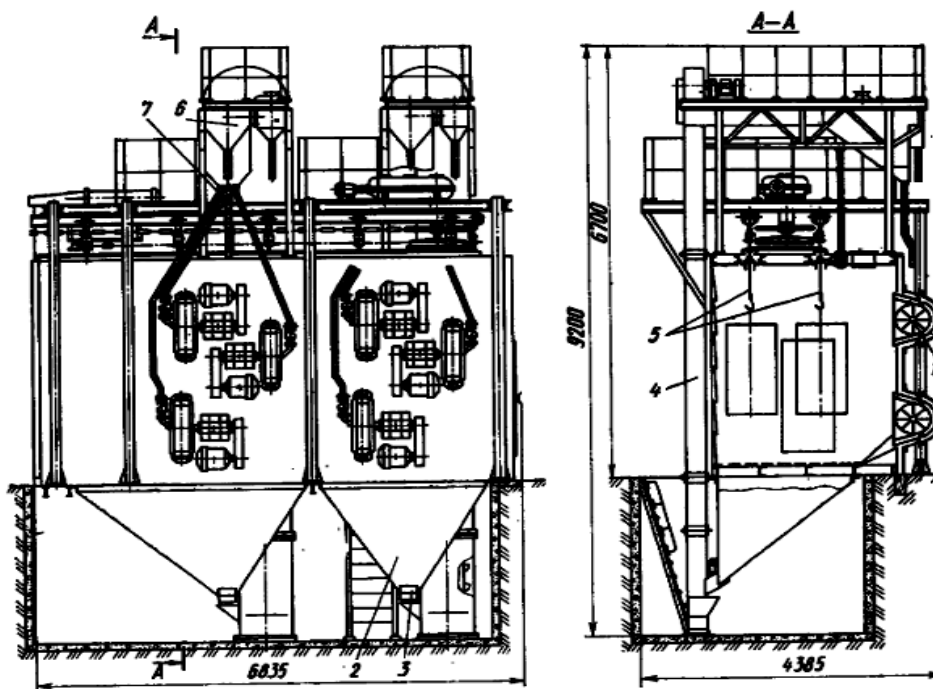


Рисунок 3.5 – Камера очисна дробометна періодичної дії

В умовах великосерійного і масового виробництва широко застосовують камери безперервної дії (рис. 3.6).



1 – дробометні апарати, 2 – бункер, 3 – система збору дробу, 4 – елеватор, 5 – підвіски, 6 – сепаратори, 7 – система розподілу дробу

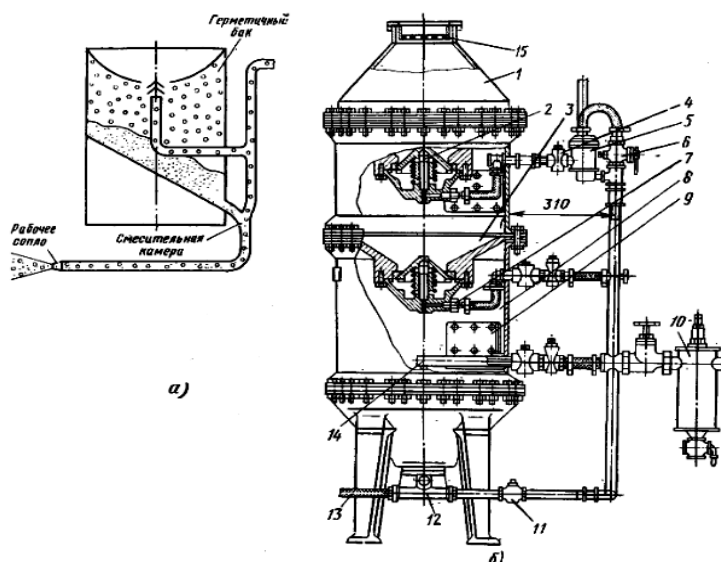
Рисунок 3.6 – Камера очисна дробометна безперервної дії

У цих камерах відливки закріплюються на підвісках 5, які ланцюговим конвеєром подаються в зону очищення і обертаються там під потоком дробу, який направляється дробометними апаратами 1. Камери оснащують потужними системами дробоочищення, які включають бункера 2, грохоти 3, елеватори 4 і повітряні сепаратори 6, і системами транспортування 7 очищеного дробу.

В таких камерах встановлюють 4, 6, 8, 12 і більше дробометних апаратів, в залежності від необхідної продуктивності.

**3.1.4 Дробострумінні установки.** Відливки, які мають глибокі внутрішні кармани в які важко направити струмінь дробу з дробометного апарату, піддають дробострумінній очистці, хоча енергетичні витрати при цьому в декілька разів вище, а санітарно-гігієнічні умови роботи гірші [36].

Для надання швидкості струменю дробу використовують всмоктуючі та нагнітальні дробострумінні апарати (рис. 3.7).



а – принцип роботи; б – конструкція двокамерного апарату, 1 – верхня камера, 2 – клапан, 3 – середня камера, 4 – сітчастий фільтр, 5 – перемикач, 6 – трьохходовий кран, 7 – трубка для подачі повітря в камери, 8 – нижня камера, 9 – кришка люка, 10 – водовідділювач, 11 – запірний кран, 12 – змішувальна камера, 13 – резиновий шланг, 14 – трубка для продувки отвору подачі дробу в змішуючи камеру, 15 – сітка

Рисунок 3.7 – Дробострумінний апарат

Апарат має бак, який герметично закривається, в якому під тиском стисненого повітря знаходиться дріб. Під дією сили тяжіння і тиску стисненого повітря, який в баку вище ніж в змішуючій камері, дріб подається в останню і забирається звідти через шланг до робочого сопла. Для поповнення баку дробом перекривають потік стисненого повітря в порожнину і з'єднують її з атмосферою. При цьому клапан опускається і дріб з завантажуючої воронки через верхню камеру під дією сили тяжіння потрапляє в порожнину бака. Для забезпечення безперервності роботи апарат роблять двокамерним. В такому апараті дріб може завантажуватися у верхню камеру 1, середню камеру 3, а потім перевантажуватися в нижню камеру 8 без зупинки роботи апарату [36].

Проаналізувавши існуючі конструкції обладнання для очищення відливків, оптимальним варіантом в умовах одиничного та мілкосерійного виробництва для попередньої очистки литва є галтувальний барабан безперервної дії, який має ряд переваг:

- відносна простота конструкції
- надійність в роботі
- компактність і достатньо високий рівень механізації
- висока продуктивність та економічні показники роботи

Дані переваги забезпечують ефективність роботи устаткування та його економічну вигідність.

### **3.2 Опис конструкції та принципу дії галтувального барабану**

Галтувальний барабан безперервної дії (рис. 3.8) застосовують у крупносерійному і масовому виробництві для очищення відливків, які мало піддаються бою, наприклад, гальмівних колодок [34].

Даний барабан представляє з себе циліндричний корпус з обичайками. З обох кінців корпусу приварені конуси 1 для завантаження і розвантаження виливків.

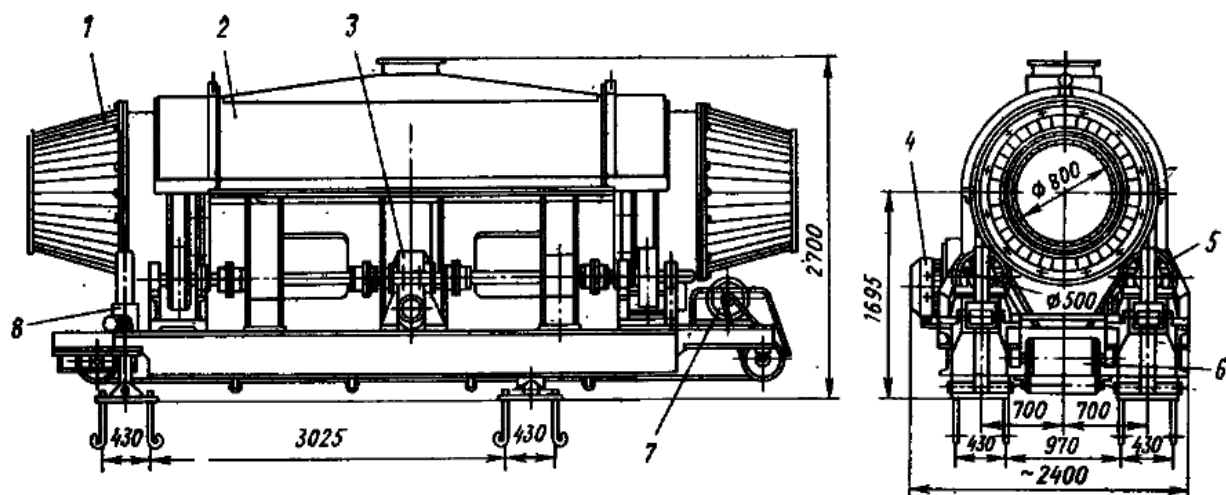


Рисунок 3.8 – Галтувальний барабан безперервної дії

Вісь обичайки має регулюємий нахил до горизонту під кутом від 4 до 10°.

Завдяки нахилу відливки при обертанні корпусу рухаються вздовж нього і очищаються в результаті ударів і тертя один об одного [35].

Частини барабану які обертаються закриті спеціальним кожухом 2, який через патрубок з'єднується з цеховою вентиляцією. Привід барабана здійснюється від електродвигуна 4 через черв'ячний редуктор 3 та привідні катки. Корпус барабану разом з обичайками розміщено на привідних і опорних катках 5. Вздовж барабана проходить конвеєр 6, який приводиться в рух електродвигуном 7. Кут нахилу корпусу барабану регулюється за допомогою механізму підйому 8.

При включенні приводу, рухомі частини барабану починають обертатися. Крізь завантажувальне вікно безперервно в барабан подаються відливки, які підхоплюються ребром барабана. За рахунок взаємних співударів і тертя відливків об стінки барабану в процесі галтування одночасно з очищенням поверхні відливків відбувається вибивка стержнів і відбивання ливникової системи (для відливків з чавуну). Завдяки нахилу барабану відливки просуваються до розвантажувального вікна і падають на конвеєр.

### 3.3 Розрахунок галтувального барабану безперервної дії

**3.3.1 Розрахунок приводу галтувального барабану.** При проектуванні барабану в залежності від заданих параметрів, визначають швидкість обертання барабану та потужність електродвигуна. Вихідні дані:

- внутрішній діаметр барабану  $D = 1,3$  м;
- маса завантажувальних деталей  $G = 7000$  кг.

Кутова швидкість барабану:

при  $D \geq 0,7$  м

$$\omega_{\delta} \leq \frac{3,14}{\sqrt{D}} \quad (3.1)$$

при  $D \leq 0,7$  м

$$\omega_{\delta} \leq \frac{3,40}{\sqrt{D}} \quad (3.2)$$

Так як в нашому барабані внутрішній діаметр  $D = 1,3$  м, то використовуємо формулу 3.1:

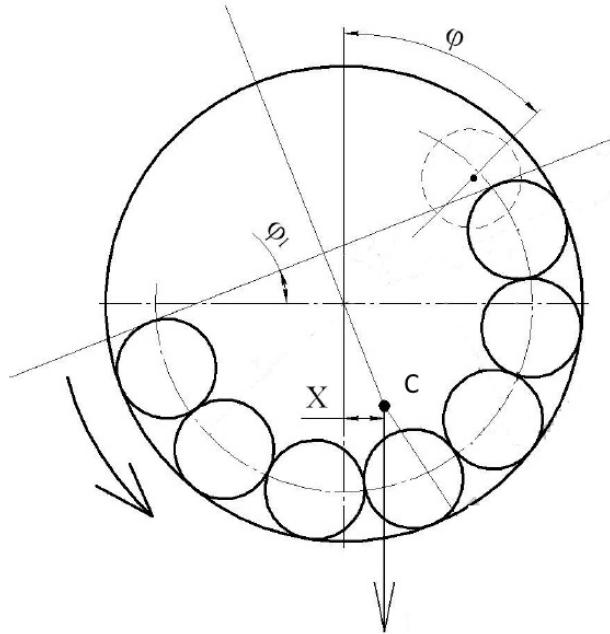
$$\omega_{\delta} \leq \frac{3,14}{\sqrt{D}} = \frac{3,14}{\sqrt{1,3}} = 2,75 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$$

За попередніми даними оптимальною є швидкість обертання, при якій відцентрова сила, діюча на виливку у поверхні барабану складає від 50 до 60 % маси виливок.

При цих умовах відливки не притискаються до стінки весь час під дією відцентрової сили, але і не сповзають без підйому.

Потужність електродвигуна привода обертання барабану можна визначити по моменту який виникає під час обертання.

Зріз барабану, площею перпендикулярною осі обертання, з позначенням величин які приймаються при розрахунку приведено на рис. 3.9.



$\varphi$  – кут розташування вільної поверхні завантаження відносно горизонтальної площини ( $\varphi = 40^\circ$ );  $X$  – зміщення центру тяжіння, кг;  $c$  – відстань від центру тяжіння до центру кола мм

Рисунок. 3.9 – Схема для розрахунку потужності привода галтувального барабану

За рахунок нахилу вільної поверхні завантаження на кут  $\varphi$  центр тяжіння нахилу зміщується від вертикальної осі на величину:

$$X_c = e \sin \varphi \quad (3.3)$$

$$X_c = 0,13 \cdot \sin 40 = 0,083$$

Момент відносно осі обертання барабану:

$$M = X_c \cdot G \quad (3.4)$$

$$M = 0,083 \cdot 3600 = 298,8 \text{ Н}$$

Величина  $e$  обчислюється по формулі:

$$e = \frac{2}{3} \cdot \frac{d \cdot \sin^3 a}{(2d - \sin 2d)}, \quad (3.5)$$

де  $a$  – половина кута сегменту ( $d = 55^\circ$ ):

$$e = \frac{2}{3} \cdot \frac{1,3 \cdot \sin^3 27,5^\circ}{(110 - \sin 110)} = 0,00077 \text{ м}$$

Величину завантаження барабану визначають коефіцієнтом завантаження  $K$ , який вказує відношення об'єму оболонки до об'єму завантаження:

$$K = \frac{S_{\text{н}}}{S_{\text{с}}}, \quad (3.6)$$

де  $S_{\text{с}}$  – площа сегмента, утвореного завантаженням:

$$S_{\text{с}} = \frac{d^2}{8} (2\alpha - \sin 2\alpha), \quad (3.7)$$

де  $S_{\text{н}}$  – номінальна площа перетину барабану:

$$K = \frac{1,367}{23,753} = 0,057$$

$$S_{\text{с}} = \frac{1,3^2}{8} (110 - 0,939) = 23,753 \text{ м}^2$$

Визначаємо залежність  $e$  від  $K$ :

$$e = (1 - K) \cdot D \cdot 0,424 \quad (3.8)$$

$$e = (1 - 0,034) \cdot 1,3 \cdot 0,424 = 0,53 \text{ м}^3$$

Підставляючи вираз 3.8 в вираз 3.4, отримуємо:

$$M = (1 - K) \cdot D \cdot 0,424 \sin \varphi \cdot G \quad (3.9)$$

$$M = (1 - 0,034) \cdot 1,3 \cdot 0,424 \cdot \sin 40 = 0,342 \text{ Н} \quad (3.10)$$

Потужність двигуна приводу барабану:

$$N_6 = \frac{M_{\omega_6}}{n} = \frac{0,424 \cdot (1-K) \cdot \sin \varphi D G \varphi_6}{n} \quad (3.11)$$

$$N_6 = \frac{0,424 \cdot 0,6 \cdot \sin 40 \cdot 1,3 \cdot 3600 \cdot 275}{0,8} = 2,6 \text{ кВт}$$

Визначаємо потужність в умовах навантаження:

$$N_3 = \frac{N_6}{K_3},$$

де  $K_3$  – коефіцієнт завантаження,  $K_3 = 1,15$  [35].

$$N_3 = \frac{2,6}{1,15} = 2,98 \text{ кВт}$$

Згідно з розрахунками обираємо електродвигун АІР 100 S4 (рис. 3.10), технічна характеристика якого наведена в табл. 3.1.

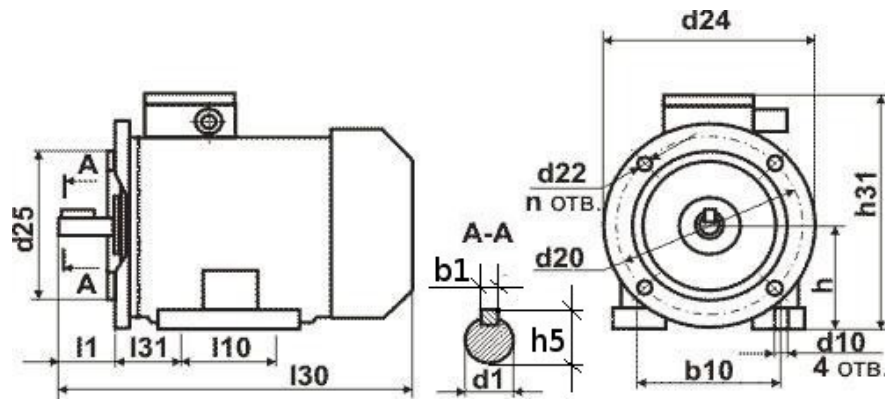


Рисунок 3.10 – Асинхронний електродвигун АІР100S4

Таблиця 3.1

Технічна характеристика асинхронного електродвигуна АІР100S4

| Величина              | Значення | Одиниці виміру   |
|-----------------------|----------|------------------|
| Потужність            | 3        | кВт              |
| Частота обертання     | 1410     | Об/хв.           |
| Струм при 380В        | 7,3      | А                |
| ККД                   | 82       | %                |
| Коефіцієнт потужності | 0,82     | %                |
| Момент інерції        | 0,01     | кгм <sup>2</sup> |
| Маса                  | 34       | кг               |

**3.3.2 Розрахунок пасової передачі.** Визначимо мінімальний допустимий діаметр  $d_{1min} = 125$  мм в залежності від обертового моменту на валу двигуна  $T = 98,1$  Нм.

Розрахунковий діаметр ведучого шківa  $d_1 = 125$  мм. Діаметр ведучого шківa:

$$d_2 = d_1 \cdot u(1 - \varepsilon), \quad (3.13)$$

де  $d_2$  – діаметр ведучого шківa, мм;

$d_1$  – діаметр веденого шківa, мм;

$u$  – передаточне відношення привода;

$\varepsilon$  – коефіцієнт ковзання.

$$d_2 = 125 \cdot 2,8(1 - 0,01) = 346,5 \text{ мм}$$

Визначимо орієнтовану міжосьову відстань:

$$a \geq 0,55(d_1 + d_2) + h, \quad (3.14)$$

де  $a$  – орієнтована міжосьова відстань, мм;

$d_2$  – діаметр ведучого шківa, мм;

$d_1$  – діаметр веденого шківa, мм;

$h$  – висота перетину клинового пасу, мм.

$$a = 0,55(125 + 346,5) + 8 = 259,3 \text{ мм}$$

Визначаємо розрахункову довжину пасу:

$$l = 2a + \frac{\pi}{2}(d_2 + d_1) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4a}, \quad (3.15)$$

де  $l$  – розрахункова довжина пасу, мм;

$$l = 2 \cdot 259,3 + \frac{3,14}{2}(346,5 + 125) + \frac{(346,5 - 125)^2}{4 \cdot 259,3} = 1306,2 \text{ мм}$$

Округлимо довжину пасу до значення з стандартного ряду  $l = 1400$  мм.

Уточнимо значення міжосьової відстані по стандартній довжині:

$$a = \frac{1}{8} \left[ 2l - \pi(d_2 + d_1) + \sqrt{[2l - \pi(d_2 - d_1)]^2 - 8(d_2 - d_1)^2} \right], \quad (3.16)$$

де  $a$  – уточнене значення міжосьової відстані, мм.

$l$  – стандартна довжина пасу, мм;

$d_2$  – діаметр ведучого шківa, мм;

$d_1$  – діаметр веденого шківa, мм.

$$a = \frac{1}{8} \left[ \frac{2 \cdot 1400 - \pi(346,5 + 125)}{+ \sqrt{[2 \cdot 1400 - \pi(346,5 - 125)]^2 - 8(346,5 - 125)^2}} \right] = 416,07 \approx 416 \text{ мм}$$

Кут обхвату пасом ведучого шківa:

$$\alpha_1 = 180 - 57 \frac{d_2 - d_1}{a}, \quad (3.17)$$

де  $\alpha_1$  – кут обхвату пасом ведучого шківa, град.

$$\alpha_1 = 180 - 57 \frac{346,5 - 125}{416} = 149,7^\circ$$

Визначимо швидкість пасу:

$$v = \pi \cdot d_1 \cdot n_1 / (60 \cdot 10^3), \quad (3.18)$$

де  $v$  – швидкість пасу, м/с.

$$v = \pi \cdot 125 \cdot 730 / (60 \cdot 10^3) = 4,77 \text{ м/с}$$

Частота пробігу пасу:

$$U = 1 / u \leq [U], \quad (3.19)$$

де  $[U]$  – допустима частота пробігу ( $30\text{с}^{-1}$ ) [37].

$$U = 1,4 / 4,77 = 0,3 \leq 30$$

Умова дотримується.

Допустима потужність, яка передається одним клиновим пасом:

$$[P_{\Pi}] = [P_0] \cdot C_{\alpha} \cdot C_p \cdot C_l \cdot C_z, \quad (3.20)$$

де  $[P_{\Pi}]$  – допустима потужність, кВт;

$[P_0]$  – допустима приведена потужність, кВт;

$C_{\alpha}$  – коефіцієнт куту обхвату, Вт;

$C_l$  – коефіцієнт впливу довжини;

$C_z$  – коефіцієнт числа пасу;

$C_p$  – коефіцієнт динамічності навантаження.

$$[P_{\Pi}] = 1,61 \cdot 0,9 \cdot 0,89 \cdot 0,95 \cdot 0,86 = 1,184 \text{ кВт}$$

Кількість клинових пасів:

$$z = P_{\text{ном}} / [P_{\Pi}], \quad (3.21)$$

де  $z$  – кількість пасів, шт.;

$P_{\text{ном}}$  – потужність двигуна, Вт;

$[P_{II}]$  – допустима потужність, Вт;

$$z = 7,5 / 1,184 = 6,3 \approx 7 \text{ шт}$$

Сила попереднього натягу:

$$F_0 = \frac{850 \cdot P_{ном} \cdot C_l}{z \cdot v \cdot C_\alpha \cdot C_p}, \quad (3.22)$$

де  $F_0$  – сила попереднього натягу, Н;

$P_{ном}$  – потужність двигуна, кВт;

$z$  – кількість пасів, шт.;

$v$  – швидкість пасу, м/с.

$$F_0 = \frac{850 \cdot 7,5 \cdot 0,95}{7 \cdot 4,77 \cdot 0,89 \cdot 0,9} = 226,4 \text{ Н}$$

Колова сила яка передається комплектом клинових пасів:

$$F_t = P_{ном} \cdot 10^3 / v, \quad (3.23)$$

$$F_t = 7,5 \cdot 10^3 / 4,77 = 1572,3 \text{ Н}$$

Сила натягу ведучої гілки:

$$F_1 = F_0 + F_t / 2z, \quad (3.24)$$

де  $F_1$  – сила натягу ведучої гілки, Н;

$F_t$  – окружна сила, Н;

$F_0$  – сила попереднього натягу, Н.

$$F_1 = 226,4 + 1572,3 / (2 \cdot 7) = 338,7 \text{ Н}$$

Сила натягу ведучої гілки:

$$F_2 = F_0 - F_t / 2z, \quad (3.25)$$

де  $F_2$  – сила натягу ведучої гілки, Н;

$F_t$  – окружна сила, Н;

$F_0$  – сила попереднього натягу, Н.

$$F_2 = 226,4 - 1572,3 / (2 \cdot 7) = 114,1 \text{ Н}$$

Сила тиску на вал:

$$F_{оп} = 2 \cdot F_0 \cdot z \cdot \sin \frac{\alpha_1}{2}, \quad (3.26)$$

де  $F_{оп}$  – сила тиску на вал, Н;

$F_0$  – сила попереднього натягу, Н;

$z$  – кількість ременів, шт;

$\alpha_1$  – кут обхвату ременем ведучого шківа, град.

$$F_{оп} = 2 \cdot 226,4 \cdot 7 \cdot \sin \frac{149,7}{2} = 799,6 \text{ Н}$$

Перевіряємо міцність пасу по максимальному напруженню в перерізі ведучої гілки:

$$\sigma_{\max} = \sigma_1 + \sigma_u + \sigma_v \leq [\sigma]_p, \quad (3.27)$$

де  $\sigma_{\max}$  - максимальне напруження в перерізі ведучої гілки, МПа;

$\sigma_1$  – напруження розтягу, МПа;

$\sigma_u$  – напруження вигину, МПа;

$\sigma_v$  – напруження від відцентрових сил, МПа [38];

$[\sigma]_p$  – допустиме напруження розтягу, МПа [38].

Напруження розтягу:

$$\sigma_1 = \frac{F_0}{A} + \frac{F_t}{2 \cdot A \cdot z}, \quad (3.28)$$

де  $\sigma_1$  – напруження розтягу, МПа;

$F_t$  – колова сила, Н;

$F_0$  – сила попереднього напруження, Н;

$z$  – кількість ременів, шт;

$A$  – площа попереднього перерізу пасу, мм<sup>2</sup> (138 мм<sup>2</sup>) [38].

$$\sigma_1 = \frac{226,4}{138} + \frac{1572,3}{2 \cdot 138 \cdot 7} = 2,45 \text{ МПа}$$

Напруження вигину:

$$\sigma_u = \frac{E_u \cdot h}{d_1}, \quad (3.29)$$

де  $\sigma_u$  – напруження вигину, МПа;

$h$  – висота перерізу клинового пасу, мм;

$d_1$  – діаметр веденого шківa, мм;

$E_u$  – модуль повздовжньої пружності.

$$\sigma_u = \frac{90 \cdot 10,5}{125} = 7,4 \text{ МПа}$$

Напруження від відцентрових сил:

$$\sigma_v = \rho \cdot v^2 \cdot 10^{-6}, \quad (3.30)$$

де  $\sigma_v$  – напруження від відцентрових сил, МПа [39];

$\rho$  – густина матеріалу пасу, кг/м<sup>3</sup>;

$v$  – швидкість пасу, м/с.

$$\sigma_v = 1300 \cdot 4,77^2 \cdot 10^{-6} = 0,03 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\max} = 2,45 + 7,4 + 0,03 = 9,88 \leq [\sigma]_p = 10 \text{ МПа}$$

Умови міцності по максимальним напруженням виконуються.

### 3.4 Розрахунок навантажених деталей на міцність

**3.4.1 Розрахунок роликів барабану.** Вісь ролика розглядається як консольна балка, навантажена на кінці зосередженої силою  $P_1$ , діючою на ролики в положенні завантаження, коли барабан нахилений в кут  $\beta$  до горизонтальної осі.

При цьому навантаження сприймається трьома роликами, на кожен з яких діє сила

$$P_1 = \frac{G_0 \cdot \cos(90^\circ - \beta)}{3}, \quad (3.31)$$

де  $G_0$  – вага завантаження барабану:

$$P_1 = \frac{19200 \cdot \cos(90^\circ - 50)}{3} = 4902,68 \text{ Н}$$

Навантаження в небезпечному перерізі  $l-l$  осі визначаються за формулою:

$$\sigma = K_\partial \frac{P_1 \cdot l}{W}, \quad (3.32)$$

де  $K_\partial$  – коефіцієнт, враховуючий динамічний характер навантаження; для розрахунку можна приймати  $K_\partial = 1,6 \dots 1,8$  [40];

$l$  – плече сили;

$W$  – момент опору небезпечного перерізу.

$$\sigma = 1,7 \cdot \frac{4902,68 \cdot 0,2}{72,9 \cdot 10^{-6}} = 2286572,28 \text{ Н}$$

Перевірка міцності підтримуючого ролика по контактному напруженні визначається за формулою:

$$q_0 = 0,59 K_\partial \sqrt{\frac{P_1 \cdot e}{d_1 \cdot l_1}}, \quad (3.33)$$

де  $l_1$  – довжина контакту, дорівнює ширині ролика;

$d_1$  – найменший діаметр ролика:

$$q_0 = 0,591,7 \sqrt{\frac{4902,68 \cdot 0,33}{0,2 \cdot 0,1}} = 285,26 \text{ Н}$$

Підшипники підтримуючих роликів розраховують на статичне навантаження, яке було викликано дією сили  $P_1$ . Навантаження на правому підшипнику визначається за формулою:

$$R_1 = P_1 \frac{b}{b-a}, \quad (3.34)$$

де  $a, b$  – відстань від лінії дії сили  $P_1$  відповідно до правого і лівого підшипника:

$$R_1 = 4902,68 \frac{0,1}{0,04-0,1} = 122567 \text{ Н}$$

Міцність опорного ролика перевіряють за формулою:

$$q_0 = 0,59 K_d \sqrt{\frac{P_2 E}{l_2} \frac{D_1 + d_2}{D_1 d_2}}, \quad (3.35)$$

де  $P_2$  – зусилля, яке отримує один ролик, яке при двох парах опорних роликів визначається за формулою:

$$P_2 = \frac{G_0}{2 \cos \frac{\gamma}{2}}, \quad (3.36)$$

де  $\gamma$  – кут між радіусами, проведеними з центру обертання барабану до центру роликів;

$l_2, d_2$  – ширина та діаметр ролика;

$D_1$  – діаметр поверхні кочення вінця барабану.

$$q_0 = 0,59 \cdot 1,5 \sqrt{\frac{16842,1 \cdot 0,013 \cdot 2,75 \cdot 0,3}{0,15 \cdot 2,75 \cdot 0,3}} = 33,9 \text{ МПа}$$

$$P_2 = \frac{19200}{2 \cos \frac{110}{2}} = 16842,1 \text{ Н}$$

Підшипники опорних роликів розраховують по коефіцієнту працездатності. Відповідна формула при підстановці величин в системі СІ має вигляд:

$$C_p = 0,0173 K_k K_d R_2 (\omega_p T)^{0,3}, \quad (3.37)$$

де  $C_p$  – розрахунковий коефіцієнт працездатності підшипника;

$K_k$  – коефіцієнт, враховуючий обертання зовнішнього кільця;

$K_d$  – коефіцієнт динамічності навантаження;

$T$  – необхідна довговічність підшипника;

$\omega_p$  – кутова швидкість опорного ролика:

$$\omega_p = \omega_6 \frac{D_1}{d}, \quad (3.38)$$

де  $\omega_6$  – кутова швидкість барабану:

$$C_p = 0,0173 \cdot 1,2 \cdot 1,5 \cdot 41500 \cdot (0,75 \cdot 5000)^{0,3} = 15249,25 \text{ Н}$$

$$\omega_p = 3,04 \cdot \frac{2,75}{0,09} = 0,75 \text{ МПа}$$

Розрахунок відкритої зубчастої передачі привода обертання барабану та по навантаженням згину проводиться за формулою:

$$\sigma_u = \frac{2N_{\text{ел}} \Pi_p K_{\text{нер}} K_{\text{дн}}}{\omega_6 i m^2 z b y}, \quad (3.39)$$

де  $N_{\text{ел}}$  – потужність встановленого електродвигуна;

$\Pi_p$  – коефіцієнт корисної дії редуктора, встановленого перед шестернею;

$K_{\text{нер}}$  – коефіцієнт нерівномірності навантаження, обумовленої консольним розташуванням передачі [40];

$K_{\text{дн}}$  – коефіцієнт динамічного навантаження [40];

$m$  – модуль зчеплення;

$z$  – кількість зубів колеса;

$b$  – ширина колеса;

$y$  – коефіцієнт форми зуба.

$$\sigma_u = \frac{2 \cdot 14 \cdot 0,94 \cdot 1,5 \cdot 1,25}{3,04 \cdot 4,04 \cdot 0,016^2 \cdot 24 \cdot 0,15 \cdot 0,422} = 0,23 \text{ МПа}$$

### 3.4.2 Розрахунок корпусу барабану на міцність. Товщина стінки корпусу:

$$S_1 = (0,007 \dots 0,01) D_a = 11 \dots 16 \text{ мм} \quad (3.40)$$

Приймаємо  $s_1 = 12 \text{ мм}$ .

Товщина обичайки:

$$S_2 = (1,5 \dots 2) S_1 = 24 \dots 32 \text{ мм} \quad (3.41)$$

Приймаємо  $S_2 = 28 \text{ мм}$

Розглянемо корпус як двоопорну балку, яка навантажена рівномірно розподіленим навантаженням (рис. 3.11).

Внутрішній діаметр барабану:

$$D_a = D - 2s_1 \quad (3.42)$$

$$D_a = 1,6 - 2 \cdot 0,012 = 1,576 \text{ м}$$

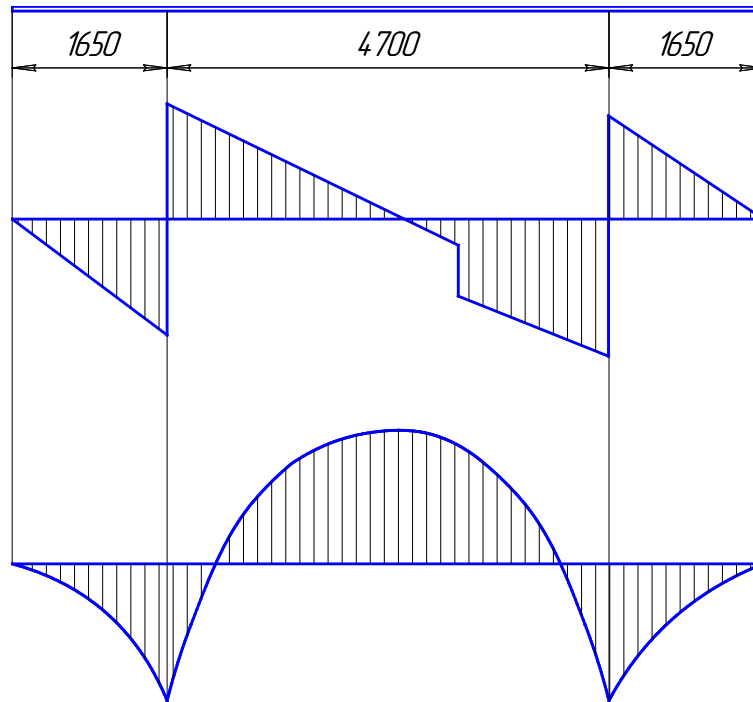


Рисунок 3.11 – Епюра поперечних сил та згинальних моментів

Маса матеріалу, який знаходиться в барабані:

$$m_i = \frac{\psi p_i L \pi D_a^2}{4} \quad (3.43)$$

$$m_i = 0,18 \cdot 760 \cdot 8 \cdot 3,14 \cdot \frac{1,6^2}{4} = 2199 \text{ кг}$$

Масу барабану приймаємо 16000 кг.

Розподілене навантаження:

$$q = \frac{(m+m_i)g}{L} \quad (3.44)$$

$$q = \frac{(16000+2199) \cdot 10}{8} = 22748,75 \text{ Н/м}$$

Реакція на опорах:

$$R_a = \frac{qL}{2} + \frac{Q_a l_1}{l_2}, \quad (3.45)$$

$$R_a = \frac{22748,75 \cdot 8}{2} + \frac{500 \cdot 1,6}{4,7} = 91165,2 \text{ Н}$$

$$R_B = \frac{qL}{2} + \frac{Q_a(l_2 \cdot l_1)}{l_2}, \quad (3.46)$$

$$R_B = \frac{22748,75 \cdot 8}{2} + \frac{500 \cdot (4700 - 16000)}{4700} = 91324,78$$

де  $l_1 = 4700$  мм,  $l_2 = 1600$  мм – довжина ділянок корпусу.

Максимальний згинальний момент, діючий на барабан:

$$M_{max} = \frac{qL(2l_1 - L)}{8} + \frac{Q_a(l_2 \cdot l_1)}{l_2}, \quad (3.48)$$

$$M_{max} = \frac{22748,75 \cdot 8 \cdot (2 \cdot 4,7 - 8)}{8} + \frac{500 \cdot (4,7 - 1,6) \cdot 1,6}{4,7} = 32375 \text{ Нм}$$

Момент опору перетину корпусу барабану:

$$W = \frac{s_a \pi D_{nb}^2}{4} \quad (3.49)$$

$$W = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 3,14 \cdot \frac{1,588^2}{4} = 2,37 \cdot 10^{-2} \text{ Н}$$

Напруження в корпусі барабану:

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W} \quad (3.50)$$

$$\sigma = \frac{32375}{2,37 \cdot 10^{-2}} = 1,37 \cdot 10^6 \text{Па} = 1,37 \text{ МПа}$$

Допустиме напруження для корпусу барабану  $[\sigma] = 20 \text{ МПа}$   $\sigma < [\sigma]$ . Умову виконано.

**3.4.3 Розрахунок корпусу барабану на жорсткість.** Розподілене навантаження від маси барабану:

$$q_1 = \frac{mg}{L}, \quad (3.51)$$

$$q_1 = \frac{16000 \cdot 10}{8} = 20000 \text{ Н/м}$$

Розподілене навантаження від маси матеріалу:

$$q_1 = \frac{m_e g}{L}, \quad (3.52)$$

$$q_1 = \frac{2199 \cdot 10}{8} = 2748 \text{ Н/м}$$

Визначаємо момент інерції одиничного кільця барабану:

$$I_x = \frac{S_a^3}{12} \quad (3.53)$$

$$I_x = \frac{(12 \cdot 10^3)^3}{12} = 1,44 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$$

Сумарний прогин від діючого навантаження:

$$y_{max} = \frac{D_{nb}^3}{8EI_x} (0,04q_1 + 0,002q_2) \quad (3.54)$$

$$y_{max} = \frac{1,588^3}{8 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 1,44 \cdot 10^{-7}} (0,04 \cdot 20000 + 0,002 \cdot 2748) = 0,9 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$$

Відносний прогин:

$$\varepsilon = \frac{y_{max}}{D_{nb}} \quad (3.55)$$

$$\varepsilon = \frac{1,4 \cdot 10^{-2}}{1,588} = 0,0045 \text{ МПа}$$

Умову жорсткості виконано.

### 3.5 Висновки по розділу

- 1 Описано і обґрунтовано вибір обладнання для попередньої очистки поверхні виливків;
- 2 Проаналізовано і розраховано робочий процес галтовочного барабану неперервної дії;
- 3 Проведено розрахунки приводу барабану, пасової передачі, роликів барабану та корпусу на жорсткість і міцність.

## ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі розглянуто організація роботи ливарного комплексу машинобудівного заводу і розроблено процес виготовлення виливків із сталі 35Л методом лиття в піщаноглинисті форми.

В першому розділі пояснювальної записки описано відділення ливарного цеху (плавильне, формувальне, стержньове, очисне, обрубне) і вибрано основні типи обладнання для виконання технологічних операцій.

В другому розділі приведено аналіз конструкції деталі, розроблені технічні умови та технологія виготовлення виливка "Кришка нижня Допоміжного насосу СРG22-00.201", виконано розрахунок ливниково-живильної системи, описано технологію виготовлення форми, наведено характеристику матеріалів, параметри та способи технічного контролю якості виливків.

В конструкторській частині проекту описано і обґрунтовано вибір обладнання для попередньої очистки поверхні виливків, проаналізовано і розраховано робочий процес галтовочного барабану неперервної дії, визначено його основні параметри і розміри, виконані розрахунки основних вузлів на міцність, описані правила і норми безпеки при роботі на галтовочному барабані.

## ЛІТЕРАТУРА

- 1 Гнатуш В. А. Тренди ливарного ринку України в першій чверті ХХІ століття / В. А. Гнатуш, В. С. Дорошенко, С. І. Клименко // Спеціальні методи лиття – Київ: Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України 2023. № 2 (333) – С. 83 - 90.
- 2 Школяренко В. П. Перспективи розвитку ливарного виробництва із застосуванням штучного інтелекту / В. П. Школяренко // Литво. Металургія. 2023 [Електронний ресурс]: матеріали 19-ї, 12-ї Міжнар. наук.-практ. конф., 10-12 жовтня 2023 р. / Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т" [та ін.]; заг. ред. О. І. Пономаренко. – Електрон. текст. дані. – Харків; Київ, 2023. – С. 245 - 249.
- 3 Джур, Є.О. Проектування машинобудівних заводів та цехів. Загальна частина Текст: навч. посіб. /Є.О. Джур, О.В. Бондаренко. – Д.: “Інновація”, 2011. – 109 с.
- 4 Проектування ливарних цехів. Ч.1: підручник / Г. Є. Федоров, М. М. Ямшинський, В. Г. Могилатенко [та ін.]. - Київ: НТУУ «КП», 2011. – 588 с.
- 5 Федоров Г.Є. Проектування ливарних цехів [Текст]: підруч.: у 2 ч. / Г.Є. Федоров, М.М. Ямшинський, В.Г. Могилатенко т ін. – К.: НТУУ «КП», 2011. Ч.2. – 380 с.
- 6 Технологія машинобудівних підприємств: підручник / В. Л. Дикань, Ю. Є. Калабухін, Н. Є. Каличева та ін., за заг. ред. В. Л. Диканя. – Харків: УкрДУЗТ, 2020. – 386 с.
- 7 Анатолій Власенко Матеріалознавство та технологія металів: підручник для здобувачів професійної (професійно-технічної) освіти. – Київ: Літера ЛТД, 2019. – 224 с.
- 8 Матеріали в техніці [Текст]: навч. посіб. / Ю. В. Дзядикевич. - Т.: Економічна думка, 2009. – 204 с.
- 9 Інженерне матеріалознавство: Підручник / О. М. Дубовий, Ю. О. Казимиренко, Н.Ю. Лебедєва, С.М. Самохін. - Миколаїв: НУК, 2009. – 444 с.
- 10 Москалев І. Н. Ливарні сплави та їх плавка: Навчальний посібник. – К.: НМКВО, 1993. – 368с.

- 11 Прикладне матеріалознавство: підручник для вищих навчальних закладів III-IV ступенів акредитації / Авт. колектив: Сушко О. В., Посвятенко Е. К., Кюрчев С. В., Лодяков С. І. - Мелітополь: ТПЦ «Forward press», 2019. – 352 с.
- 12 Сабірзянов Т.Г. Печі ливарних цехів: Навчальний посібник для студентів спеціальності 8.090205 – Обладнання ливарного виробництва. – Кіровоград: КНТУ, 2007. – 281 с
- 13 Конспект лекцій з дисципліни «Устаткування та проектування ливарних цехів». Розділ 1 «Устаткування загального призначення» для студентів напряму 6.050402 - Ливарне виробництво / Уклад. С.А. Стороженко. – Кам'янське: ДДТУ, 2017. – 48 с
- 14 Туманський Б. Ф. Проектування ливарних цехів. – К.: НМКВО, 1992. – 188с.
- 15 Основи металургійного виробництва металів і сплавів / за ред. Д. Ф. Чернеги, Ю. Я. Готвянського. – Київ: Вища школа, 2006. – 503 с.
- 16 Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Металургія чорних металів». Розділ 1 «Теорія та технологія процесів підготовки сировини до плавки» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальності 136. «Металургія» освітньо-професійної програми «Металургія чорних металів» /Укл.: Руденко М.Р. Кам'янське: ДДТУ, 2019. – 59 с.
- 17 ДСТУ 8781:2019. Виливки зі сталі. Загальні технічні умови. – Введ. 2019-01-01. – К.: Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, 2019. – 8 с.
- 18 Технологічний процес виготовлення ливарних форм і виливків. Методичні вказівки до занять з навчальної практики з дисципліни "Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство" для студентів факультетів конструювання та дизайну, механіко –технологічного, лісогосподарського та навчальнонаукового інституту енергетики, автоматики і енергозбереження / Укладачі: Є. Г. Афтандіянц, О. В. Зазимко, Г. М. Похиленко. – К.: Видавничий центр НУБіП, 2020. – 60 с.

- 19 Формувальні матеріали і суміші: лаб. практикум / О. І. Пономаренко [та ін.]; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків : Технологічний Центр, 2019. – 64 с.
- 20 Могилатенко В.Г., Пономаренко О.І., Дробязко В.М., Кочешков А.С., Ямшинський М.М.. Теоретичні основи ливарного виробництва. – Харків.: НТУ «ХП», 2011. – 288 с.
- 21 Кудін Д.А., Кукуй Д.М., Куракевич Б.В., Мельник А.П. Технологія і обладнання для виробництва стержнів методом Cold-box-amin. – К.: Видавництво «Нове знання», 2007. – 352 с.
- 22 Дьомін Д.О. Виробничо-технологічна комплектація ливарних цехів. Довідниковий посібник.– Технологічний Центр. – Х.: Видавництво «Харків», 2012. – 315 с.
- 23 SIMI SRI. PTTERLT URL: [http://www.animisteria-simipeterle.it/index.php?option=com\\_k2&view=item&layout=item&id=54&Itemid=790&lang=ru](http://www.animisteria-simipeterle.it/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=54&Itemid=790&lang=ru)
- 24 Сазонов В.Я. Справочник по литейному оборудованию. – М.: Машиностроение, 1985. – 320с.
- 25 В. П. Сумцов. Устаткування ливарних цехів. – К.: ІСДО, 1993. – 552 с.
- 26 Позапічне оброблення сталі: способи, процеси, технології [Текст] : підручник для студ. спеціальності 136 «Металургія», освітньої програми «Комп'ютеризовані процеси лиття» / В. О. Шаповалов, Ф. К. Біктагіров, В. Г. Могилатенко; за ред. академіка І. В. Кривцуна. – К.: Хімджест, 2023. – 360 с.
- 27 ДСТУ 8981:2020. Виливки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічне оброблення. – Введ. 2021–01–05. – К.: Технічний комітет стандартизації «Ливарне виробництво» (ТК 177), 2020. – 7 с.
- 28 ДСТУ 2770-94 Катанка з вуглецевої сталі звичайної якості. Технічні умови. – Введ. 1997–01–01. – К.: Технічний комітет зі стандартизації «Чавун, прокат

листовий, прокат сортовий термозміцнений, вироби для рухомого складу, металеві вироби, інша продукція з чавуну та сталі» (ТК 4), 1997. – 9 с.

29 Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Литі заготовки: навчальний посібник. / [Дусанюк Ж. П., Шиліна О. П., Репінський С. В. та ін.] – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 199 с

30 Технологія ливарної форми (ТЛФ) [Текст] : навч. посіб. до практ. занять і самост. роботи для студентів галузі знань 13 "Механічна інженерія" спец. 136 "Металургія" спеціалізації "Ливарне виробництво" / А. М. Фесенко ; Донбас. держ. машинобуд. акад., Каф. технологій і обладнання ливар. вир-ва. - Краматорськ : ДДМА, 2017. - 112 с

31 Технологія ливарного виробництва [Текст]: навч. посібник для студ. вищих навч. закл., які навчаються за напрямком 0904 "Металургія" / Г. Г. Корицький [і інші]. - Донецьк: ДонНТУ, 2008. - 176 с.

32 Лабораторний практикум з дисципліни "Технологія процесів ливарного виробництва" [Текст] : навч. посіб. / С. А. Стороженко, А. П. Єременко ; Дніпров. держ. техн. ун-т (ДДТУ). - Кам'янське : ДДТУ, 2019. - 105 с.

33 ДСТУ 8833:2019. Виливки із сірого чавуну з пластинчастим графітом. Загальні технічні умови. – Введ. 2020–01–01. – К.: Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, 2019. – 10 с.

34 Оборудование литейных цехов / П. Н. Аксенов. – М.: Машиностроение, 1977. – 510с.

35 Зейгер И. Б. Оборудование литейных цехов. – М.: Высш. школа, 1980. – 368с.

36 Аксёнов П. А. Оборудование литейных цехов. . – М.: Машиностроение, 1977. – 510 с.

37 Деталі машин: підручник / [Міняйло А. В., Тіщенко Л. М., Мазоренко Д. І. та ін.]. – К.: Агроосвіта, 2013. – 448 с.

- 38 Деталі машин: Навчальний посібник / Г.М. Борозенець, В.М. Павлов., І. В. Семак. – К.: Видавничий дім «Кондор», 2021. – 220 с.
- 39 Гайдамака А. В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків : навч. посібник / А. В. Гайдамака; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків: Планета – Принт, 2020. – 275 с.
- 40 Гевко Р. Б. Деталі машин та основи автоматизованого конструювання : навчальний посібник до лабораторних робіт / Р. Б. Гевко, Н. І. Хомик, О. С. Жаровський, Т. А. Довбуш. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2021. – 256 с.

# ДОДАТКИ