

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Гірничо-металургійний факультет
Кафедра металургії чорних металів
і ливарного виробництва

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до випускної атестаційної роботи бакалавра
зі спеціальності 136 – Металургія

на тему: Розробка проекту сталеливарного цеху потужністю 18000 тонн
виливків на рік з розвісом лиття 500 кг.

Виконав:

студент групи МТ-23-1ск

Керівник випускної роботи

Нормоконтролер

Т.в.о. завідувача кафедри

Віталій СТЕПАНЕНКО

Леван САІТГАРЕЄВ

Леван САІТГАРЕЄВ

Дмитро БАБОШКО

Кривий Ріг

2026 р.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: гірничо-металургійний
Кафедра: металургії чорних металів і ливарного виробництва
Освітній рівень: бакалавр
Спеціальність: 136 Металургія

Затверджую

т.в.о. зав. кафедрою

_____ Дмитро БАБОШКО
« ____ » _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

до випускної атестаційної роботи бакалавра
СТЕПАНЕНКО ВІТАЛІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

Тема роботи: Розробка проекту сталеливарного цеху потужністю 18000 тонн
виливків на рік з розвісом лиття 500 кг.

керівник роботи: к.т.н., доцент Саїтгареев Л.Н.

затверджено наказом по КНУ від «__ 19 __» ____ 02 ____ 2026 р. № 112с

2. Строк подання роботи студентом «__ 25 __» ____ 05 ____ 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи:

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

5. Перелік графічного матеріалу: презентація (____ стор. формату А4)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер етапу	Назва етапів виконання випускної кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів
	Розробка технології виготовлення виливка.	6.04.26 - 16.04.26р.
	Розрахунки основних відділень цеху.	17.04.26 - 10.05.26р.
	Виконання спеціальної частини роботи.	10.05.26 - 15.05.26р.
	Виконання графічної частини роботи.	15.05.26 - 25.05.26р
	Підготовка пояснювальної записки роботи та презентації.	25.05.26 - 05.06.26р
	Перевірка роботи на антиплагіат та підготовка до захисту.	05.06.26 - 10.06.26р

Дата видачі завдання « ____ » _____ 2026 р.

Здобувач вищої освіти _____ Віталій СТЕПАНЕНКО

Керівник випускної кваліфікаційної роботи _____ Леван САІТГАРЕСВ

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кіл.	Примітка		
				<u>Документація</u>				
A4			КНУ.РБ.136.26.112с-12.ПЗ	Пояснювальна записка				
A4			КНУ.РБ.136.26.112с-12.ПР	Презентація				
					КНУ.РБ.136.26.112с-12.ВО			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Степаненко В.О.				ВІДОМІСТЬ ОБ'ЄМУ МАТЕРІАЛУ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив	Саїтгарєєв Л.Н.							
Н.контр.	Саїтгарєєв Л.Н.					Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-23-1ск		
Затверд.	Бабошко Д.Ю.							

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота викладена на 118 сторінках і містить 9 рисунків, 58 таблиць, 19 джерел літератури, , графічну частину у вигляді креслень та презентації.

Бакалавоська робота присвячена проектуванню сталеливарного цеху серійного виробництва продуктивністю 18 тис. тон придатного литва на рік. У роботі розглянуто питання організації та розрахунку основних виробничих відділень ливарного цеху, вибору плавильного, формувального, стрижневого та допоміжного обладнання, а також розробки технології виготовлення виливків із різних марок сталей.

У першому розділі виконано обґрунтування виробничої програми, вибір місця розташування цеху, аналіз режимів роботи підприємства та розрахунок фондів часу роботи обладнання і персоналу. Наведено річну програму виробництва виливків за номенклатурою, масовими групами та марками сталей.

У другому розділі виконано розрахунок виробничих відділень ливарного цеху. Розглянуто плавильне відділення із застосуванням індукційних тигельних печей та дугових електропечей постійного струму. Проведено баланс металу, вибір і розрахунок плавильних агрегатів, визначення кількості ковшів, розрахунок площ плавильного та формувального відділень. Окрему увагу приділено організації формувального процесу із застосуванням повітряно-імпульсного ущільнення форм, а також проектуванню стрижневого відділення із використанням Cold-box-amin-процесу. Виконано підбір обладнання для приготування формувальних сумішей, регенерації та очищення литва.

					КНУ.РБ.136.26.112с-12 Р						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РЕФЕРАТ			Літ.	Арк.	Акрушів	
Розроб.		Степаненко В.О.									
Перевір.		Сайтгарежев Л.Н.							1	2	
								МТ-23-1ск			
Н. Контр.		Сайтгарежев Л.Н.									
Затверд.		Бабошко Д.Ю.									

У третьому розділі проведено аналіз конструкції деталі, визначено припуски на механічну обробку, обґрунтовано положення виливка у формі, розраховано ливниково-живильну систему, надливи, тривалість заливки та параметри стрижнів.

Також розглянуто можливі дефекти литва та способи їх усунення.

У результаті виконання проєкту розроблено комплексне технічне рішення сталеливарного цеху з механізованими та автоматизованими виробничими процесами, що забезпечують підвищення продуктивності, покращення якості литва та ефективне використання матеріальних і енергетичних ресурсів.

					КНУ.РБ.136.26.112с-12 Р	Днк
Змч	Днк	№ докум	Підпис	Дод		2

Зміст

ВСТУП	9
1. ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ВИРОБНИЧОЇ ПРОГРАМИ	10
1.1 Вибір та обґрунтування місця будівництва цеху	10
1.2 Виробнича програма ливарного цеху	11
2. РОЗРАХУНОК ВИРОБНИЧИХ ВІДДІЛЕНЬ ЛИВАРНОГО ЦЕХУ	17
2.1 Плавильне відділення	17
2.1.1. Характеристика та вибір типу плавильних агрегатів.	21
2.1.2 Технологія плавлення сталі в різних печах	22
2.1.3 Розрахунок кількості плавильних агрегатів	27
2.1.4 Визначення площі плавильного відділення	29
2.2 Формовочне відділення	30
2.3 Розрахунок парку ковшів	42
2.4 Проектування стрижневого відділення	44
2.4.1 Вибір способу виготовлення стрижнів та обладнання	47
2.4.2 Розрахунок кількості стрижневого обладнання	48
2.4.3 Розрахунок площ стрижневого відділення	51
2.5 Відділення для приготування суміші	52
2.5.1 Вибір матеріалу	52
2.5.2 Вибір обладнання для виробництва сумішей	56
2.5.3 Розрахунок необхідної кількості обладнання	58
Розрахунок систем механічної регенерації	59
2.5.5 Визначення площ відділення приготування сумішей	60

					КНУ.РБ.136.26.112с-12 3						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЗМІСТ	Літ.	Арк.	Акрушів			
Розроб.		Степаненко В.О.									
Перевір.		Сайтгарежв Л.Н.					1	2			
						МТ-23-1ск					
Н. Контр.		Сайтгарежв Л.Н.									
Затверд.		Бабошко Д.Ю.									

2.6	Проектування відділення очищення, обрубки, термообробки та здачі лиття	61
2.6.1	Розрахунок необхідного обладнання	61
	Визначення площі термообрубного відділення	67
2		
2.8	Взаємозв'язок проектованого цеху за відділеннями	69
3	АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ДЕТАЛІ ТА ВИМОГИ ДО НЕЇ	71
3.1	Характеристика деталі, її призначення та умови експлуатації	71
3.2	Можливі дефекти та методи їх усунення	87
4	ДЕТАЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК ШИХТИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ РІЗНИХ СТАЛЕЙ	92
4.1	Розрахунок шихти для плавки сталі 20Х5МЛ	92
4.2	Розрахунок шихти для виплавки сталі 25Л в дуговій печі	93
	ВИСНОВКИ	114
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	116

ВСТУП

Ливарне виробництво як технологічний процес є одним з основних процесів у машинобудуванні. Вага литих деталей становить 50-75% від ваги машин. Литі заготовки за розмірами і конфігурацією найбільшою мірою наближаються до готових деталей, а обсяг механічної обробки менший, ніж на заготовках, отриманих іншими методами.

Розвиток ливарного виробництва нерозривно пов'язаний з проектуванням і реконструкцією ливарних цехів. В даний час машинобудівна галузь висуває все більші вимоги до якості продукції, що застосовується. Поки що виливки, виготовлені в разових піщано-глинистих та смоляних формах, займають значну частку від загального випуску. Робота з ПГС дозволяє досягти високої продуктивності при відносній дешевизні процесу, але якість одержуваної поверхні виготовлюваної деталі залишає бажати кращого.

У розроблюваному проекті виливки будуть виготовлятися методом лиття в піщано-глинисту форму. У виробництві виливків використовують різні сплави металу.

					КНУ.РБ.136.26.112с-12 В							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Степаненко В.О.			ВСТУП			Літ.	Арк.	Акрушів		
Перевір.		Сайтгарежев Л.Н.								1	1	
								МТ-23-1ск				
Н. Контр.		Сайтгарежев Л.Н.										
Затверд.		Бабошко Д.Ю.										

ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТНИХ РІЩЕНЬ НА ПІДСТАВІ ВИРОБНИЧОЇ ПРОГРАМИ

1.1 Вибір та обґрунтування місця будівництва цеху

Сучасне машинобудівне підприємство являє собою складну багатокомпонентну соціотехнічну та виробничу систему. Її архітектура, внутрішня топологія та експлуатаційна діяльність перебувають у детермінованій функціональній залежності від наступних ключових факторів:

- конструктивна складність виробів: визначає кількість рівнів специфікації, точність спряжень та номенклатуру матеріалів.
- диверсифікація продукції: різноманітність асортименту та номенклатурна широта виробів, що безпосередньо впливають на гнучкість виробничих ліній.
- технологічна специфіка: характер, дискретність та наукомісткість процесів заготівельного, обробного та складального контурів.
- масштабність виробництва: сумарний обсяг випуску продукції (річна програма), що визначає тип виробництва (одиничне, серійне, масове) та рівень його автоматизації.

При комплексному інженерному проектуванні машинобудівного підприємства (або окремого ливарного цеху в його структурі) реалізується принцип системного підходу, що вимагає одночасного моделювання та збалансованого вирішення трьох базових груп завдань:

□ Економічні завдання: розрахунок капітальних інвестицій, оптимізація собівартості виробництва однієї тонни придатного литва, мінімізація питомих

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.01 ОП						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТНИХ РІЩЕНЬ НА ПІДСТАВІ ВИРОБНИЧОЇ ПРОГРАМИ			Літ.	Арк.	Акрушів	
Розроб.		Степаненко В.О.								1	7
Перевір.		Сайтгарежев Л.Н.									
Н. Контр.		Сайтгарежев Л.Н.									
Затверд.		Бабошко Д.Ю.									
					МТ-23-1ск						

витрат на енергоносії та сировину, а також визначення інтегральних показників рентабельності й термінів окупності проекту.

□ Технічні завдання: розробка прогресивних технологічних маршрутів, вибір та розрахунок потужності автоматизованого парку обладнання (зокрема, формувальної лінії «Belloi & Romagnoli» та плавильних агрегатів ДППТ), забезпечення прецизійної точності заготовок та проектування систем екологічної безпеки цеху.

□ Організаційні завдання: формування раціональної просторової структури цеху, оптимізація міжцехової та внутрішньоцехової логістики (руху сировини, сумішей, рідкого металу та готових виливків), розробка гнучких графіків планово-попереджувальних ремонтів (ППР), а також забезпечення нормативних санітарно-гігієнічних умов праці персоналу.

Проектування цеху обумовлено наявністю розгалуженої мережі транспортних магістралей, що зв'язують даний район з іншими великими промисловими регіонами країни, наявністю дешевої електроенергії, трудових ресурсів, багатих сировинних джерел, достатнім ринком збуту.

Системи опалення, водопостачання, каналізації централізовані.

До цеху підведена гілка залізничних колій, що дозволяє забезпечувати виробництво шихтовими та допоміжними матеріалами. Цех має зону захисних споруд і віддалений від житлових масивів на певну відстань.

1.2 Виробнича програма ливарного цеху

Проектований цех є цехом серійного виробництва, з річним виробництвом виливків 18 тис. тонн.

Виливки виготовляються за таким технологічним процесом: - лиття в піщано-глинисті форми;

Сплави, що застосовується при заливці форм, - різні марки сталі .

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.01 ОП	Анк
						2
Змч	Анк	№ докум	Підпис	Дат		

Вихідними даними для проектування цеху, вибору обладнання є виробнича програма. Розподіл річної програми виливків за ваговими групами представлено в таблиці 1.1

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.01 ОП	Днк
						3
Змч	Днк	№ докум	Підпис	Дат		

Таблиця 1.1- Виробнича програма цеху

№	Найменування випусків	Марка сплавів, сталь	Річна кількість випусків				Черна маса випуску, кг.	Маса випуску з ливниками і надливками, кг.	Маса випусків на річну програму, кг.	Маса з ливниками і надливками на програму, т.	Вихід придатно го, %
			На основну програму, шт.	% браку на механічну обробку	На брак по механічній обробці, шт.	Всього на програму, шт.					
	Кришка	20Х5МЛ									
	Загартована решітка	15ЛК20									
	Кошик	15Х13Л									
	Трубка	20ГЛ									
	Втулка	20Х5МЛ									
	Клапан	15Х13Л									
	Кришка										
	Зубчасте колесо										
	кран	40Х10С2М									
	Кронштейн	32Х06Л									
	Корпус	20Х5МЛ									
	Наконечник										
	Ребро										
	Корпус										
	Шестерня										
	Труба	15Х13Л									
	Корпус редуктора										
	Кривошип										
	Разом										

На виробництві застосовується паралельний режим роботи, що полягає у виконанні всіх технологічних операцій одночасно на різних виробничих площах і дільницях ливарного цеху різними робітниками і машинами.

Проектований цех працює за двозмінним графіком роботи. Тривалість робочого тижня становить 40 годин.

Календарний фонд часу становить:

$$*365=8760 \text{ год/рік.}$$

Номінальний фонд визначається з виразу:

$$T_n = (D - P) \cdot C \cdot \text{Ч},$$

де D - кількість робочих днів у році;

Ч - кількість робочих годин у зміну;

P - річна кількість передсвяткових, вихідних днів;

C - кількість робочих змін на добу.

$$T_n = (365 - 125) \cdot 2 \cdot 8 = 4100 \text{ год.}$$

Дійсний фонд часу роботи обладнання враховує простої обладнання, пов'язані з плановими ремонтами або хворобою робітника, який обслуговує це обладнання. Цей фонд часу можна розрахувати, використовуючи коефіцієнти простою обладнання різних відділень

Дійсний фонд часу робітників залежить від тривалості відпустки, хвороб, шкідливості виробництва і визначається за формулою:

$$T_d = T_n \cdot K,$$

де K - коефіцієнт втрат;

K = 0,885 - для шкідливих робіт;

K = 0,895 - для стрижневого та формувального відділення;

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.01 ОП	Анк
						5
Змч	Анк	№ докум	Підпис	Дат		

$K = 0,925$ - для інших відділень.

У таблиці 1.2 наведено дійсні фонди часу для різних відділень проектового цеху.

Таблиця 1.2 - Режим і фонди часу роботи обладнання та робітників

Найменування відділення	Кількість робочих змін	Фонд часу роботи обладнання
Плавильне		
Формовочне		
Змішувальне		
Стрижневе		
Вибивне		
Термообрубне		

Розрахунок кількості обладнання.

Розрахунок кількості будь-якого обладнання будемо проводити за формулою:

$$P_1 = \frac{B \cdot K_n}{\Phi_d \cdot \Pi_p},$$

де P_1 - кількість обладнання за розрахунком;

B - річна програма випуску продукції (форм, стрижнів, формувальної суміші тощо);

K_n - коефіцієнт нерівномірності роботи обладнання;

Φ_d - дійсний фонд часу роботи обладнання, год;

Π_p - розрахункова продуктивність обладнання.

$$\Pi_p = \Pi_u \cdot K_v,$$

де Π_u - продуктивність обладнання в цеху;

K_v - коефіцієнт використання обладнання.

Таблиця 1.3 - Коефіцієнт нерівномірності K_n

Обладнання	Коефіцієнт нерівномірності за типами виробництва		
	Одиничне та дрібносерійне	Серійне	Великосерійне, масове
Плавильне			
Формовочно-залівальне			
Змішувальне			
Стрижневе			
Очисне, зачисне			
Термічне ґрунтувальне			

Таблиця 1.4 - Коефіцієнт використання обладнання K_v

Найменування обладнання	Тип обладнання		
	Серійне виробництво	Одиничне виробництво	Великосерійне, масове виробництво
Змішувальне Формовочне Стрижневе Сушильні печі			
Дробеметні Гальтувальне Термопечі Ґрунтувальне			Те ж саме

2. РОЗРАХУНОК ВИРОБНИЧИХ ВІДДІЛЕНЬ ЛИВАРНОГО ЦЕХУ

2.1 Плавильне відділення

Розрахунок плавильного відділення полягає в складанні балансу металу за виплавлюваними марками, виборі типу і визначенні кількості плавильних агрегатів, розрахунку витрати шихтових матеріалів на річний випуск і плануванні дільниці.

Розрахунок плавильних агрегатів та іншого обладнання починається з визначення необхідного обсягу металозавалки за окремими марками металу. Ми вибрали для плавильного відділення різні плавильні печі.

Таблиця 2.1 - Розподіл виливків за масовими групами

Масова група, кг	Річний випуск виливків даної масової групи в базовому цеху, кг.	Річний випуск виливків даної масової групи, %
5—10		
10—50		
50—100		
100—500		
Разом		

За даними таблиці 1.1 складаємо виробничу програму по сплавах, яка відображена в таблицях 2.2-2.5.

Також складається баланс металу по цеху, який відображений в таблиці 2.6.

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.02 РВ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗРАХУНОК ВИРОБНИЧИХ ВІДДІЛЕНЬ ЛИВАРНОГО ЦЕХУ				Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Степаненко В.О.									
Перевір.		Сайтгарежев Л.Н.								1	55
									МТ-23-1ск		
Н. Контр.		Сайтгарежев Л.Н.									
Затверд.		Бабошко Д.Ю.									

Таблиця 2.2 - Виробнича програма цеху для виливків зі сплаву 20Х5МЛ

№	Найменування виливків	Марка сплаву	Річна кількість виливків, шт				Чернова маса виливка, кг	Маса виливка з ливниками і надливами, кг	Маса виливків на річну програму, т	Маса з ливниками і надливами на програму, т	Вихід придатного, %
			На основну програму, шт	% браку на мех. обробку	На брак по мех. обробці, шт	Всього на програму					
	Кришка	20Х5МЛ									
	Втулка	20Х5МЛ									
	Корпус	20Х5МЛ									
Разом на програму											

Таблиця 2.3 - Виробнича програма цеху для виливків зі сплавах 15Х13Л і 32Х06Л

№	Найменування виливків	Марка сплаву	Річна кількість виливків, шт				Чернова маса виливка, кг	Маса виливка з ливниками і надливами, кг	Маса виливків на річну програму, т	Маса з ливниками і надливами на програму, т	Вихід придатного, %
			На основну програму	% браку на мех. обробку	На брак по мех. обробці	Всього на програму, шт					
	Козина	15Х13Л									
	Клапан	15Х13Л									
	Труба	15Х13Л									
	Кронштейн	32Х06Л									
Разом на програму											

Таблиця 2.4 - Виробнича програма цеху для виливків зі сплаву 25Л і 35Л

№	Найменування виливків	Марка сплаву	Річна кількість виливків, шт				Чернова маса виливка, кг	Маса виливка з ливниками і надливами, кг	Маса виливків на річну програму, т	Маса з ливниками і надливами на програму, т	Вихід придатного, %
			На основну програму	% браку на мех. Обробку	На брак по мех. обробці	Всього на програму					
	Кришка										
	Ребро										
	Наконечник										
	Корпус										
	Корпус редуктора										
	Кривошип										
Разом на програму											

Таблиця 2.5 - Виробнича програма цеху для виливків з інших сплавів

№	Найменування виливків	Марка сплаву	Річна кількість виливків, шт.				Чернова маса виливка, кг.	Маса виливка з ливниками і надливами, кг.	Маса виливків на річну програму, т	Маса з ливниками і надливами на програму, т	Вихід придатного, %
			На основну програму	% браку на мех. Обробку	На брак по мех. обробці	Всього на програму					
	Загартована решітка	15ЛК20									
	Труба	20ГЛ									
	Зубчасте колесо										
	Шестерня										
	Кран	40Х10С2М									
Разом на програму											

Таблиця 2.6 - Баланс металу по цеху

Найменування статті балансу	Марка сплаву 20Х5МЛ		Марка сплаву 15Х13Л і 32Х06Л		Марка сплаву 25Л і 35Л		Інші		Всього по цеху	
	т		т		т		т		кг	
Придатні виливки, М _{г.о.}										
Ливники і надливи, М _{л.с}										
Скрап, С _к										
Разом рідкого сплаву										
Угар і безповоротні втрати										
Разом металозавалка, мм										

Таблиця 2.7 - Відомості про витрати металу для індукційної печі

Найменування статті балансу для ІСТ	Всього по цеху	
	т	
1. Придатні виливки, М _{г.о}		
2. Ливники та надливи, М _{л.с}		
3. Скрап, С _к		
4. Разом рідкого сплаву		
5. Випаровування та безповоротні втрати		
6. Разом металозавалка, М _м		
1. Придатні виливки, М _{р.о}		
2. Ливники та надливи, М _{л.с}		
3. Скрап, С _к		
4. Разом рідкого сплаву		
5. Випаровування та безповоротні втрати		
6. Разом металозавалка, М _м		

2.1.1 Характеристика та вибір типу плавильних агрегатів

Індукційна тигельна піч

В якості плавильного агрегату для плавки сталі обрано індукційні печі середньої частоти. Ці Індукційні печі мають безсумнівні технічні та економічні переваги, обумовлені ефектом внутрішнього нагрівання шихти вихровими струмами і втратами на перемагнічування феромагнетиків в сильних електромагнітних полях підвищеної частоти. Завдяки принципу роботи такої печі плавка металу відбуватиметься при рівномірній температурі. Великою перевагою пристрою печі є висока продуктивність і можливість плавки в будь-якому температурному режимі. Такий вид плавки має малий угар металу. Замість шихти в печі можна використовувати спеціальні стружки без брикетування.

Дугові електропечі постійного струму з кислою футеровкою

Принцип роботи заснований на перетворенні електричної енергії в теплову в електричній дузі, що є однією з форм розряду в газовій фазі. У порівняно малому обсязі дуги при такому розряді можна сконцентрувати великі потужності і отримати дуже високі (до 3000⁰ С) температури.

Електричні печі з кислою футеровкою зазвичай використовують у ливарних цехах при плавці сталі для фасонного лиття. Кисла футеровка більш термостійка, ніж основна, що дозволяє експлуатувати піч з перервами, необхідними за умовами роботи багатьох ливарних цехів (робота в одну або дві зміни). Перевагою кислих печей в порівнянні з основними є більш висока стійкість футеровки, тривалість плавлення в кислій печі менше (відсутній відновлювальний період плавлення), низька теплопровідність футеровки, більш низька витрата електроенергії.

У печах постійного струму електрична дуга горить між введеним у робочий простір зверху графітованим електродом (одним, іноді трьома) і рідким металом або твердою шихтою, до яких напругу підводять за допомогою розташованих у

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.02 РВ	ДНК
ЗМК	ДНК	№ докум	Підпис	ДЛ		5

поді спеціальних струмопровідних пристроїв (подових електродів). До верхнього графітованого електрода від джерела живлення підводять негативний, а до металевої ванни - позитивний електричний потенціал.

Переваги:

1. Зменшення питомої витрати електродів на 50%-60%.
2. Збільшення продуктивності печі та зниження витрати електроенергії.
3. Полегшення ведення плавки, оскільки струм, що протікає по об'єму ванни, викликає електромагнітне перемішування металу.
4. Зниження рівня шуму, що створюється дугами.
5. Майже відсутність вібрації електродів.
6. Зменшення приблизно вдвічі зворотного негативного впливу печі на мережу живлення.
7. деяке спрощення конструкції печі у зв'язку з наявністю одного електрода.

Ускладнюється конструкція і експлуатація своду печі у зв'язку з наявністю сводових електродів і необхідністю їх заміни; більш дорогим є джерело електричного живлення печі.

При кислому процесі футерування печі виконують з динасової або хромомагнетитової цегли.

2.1.2 Технологія плавлення сталі в різних печах

При реалізації сталеплавильного процесу в індукційних тигельних печах із кислою футеровкою (на основі кварциту) термодинамічні та кінетичні умови взаємодії в системі «метал–шлак» накладають суворі обмеження на рафінувальні можливості агрегату.

Обмеження рафінувальних процесів:

- неможливість дефосфорації та десульфурзації: Висока активність кремнезему (SiO_2) у кислому шлаку та низька концентрація вільних оксидів

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.02 РВ	Анк
Змк	Анк	№ докум	Підпис	Дат		6

кальцію (СаО) повністю виключають можливість зв'язування та переходу фосфору і сірки з рідкого металу в шлакову фазу. Процеси видалення цих шкідливих домішок потребують високої основності шлаку та окиснювального потенціалу (для фосфору), що є недосяжним у кислих тиглях.

– кінетичні особливості окиснення вуглецю: Особливості індукційного нагріву (виділення тепла безпосередньо в об'ємі металозавалки) зумовлюють специфічний температурний градієнт: температура шлаку є суттєво нижчою за температуру металеві ванни. У поєднанні зі значною відносною глибиною ванни тигля це створює несприятливі умови для дифузії та інтенсивного окиснення вуглецю.

З огляду на відсутність процесів дефосфорації, десульфурації та ускладнену кінетику зневуглецювання, до вихідних шихтових матеріалів висуваються жорсткі прецизійні вимоги:

1. Вміст фосфору і сірки: концентрація у вихідній металошихті повинна бути строго нижчою за гранично допустимі межі, регламентовані ГОСТом (або ТУ) на готову марку сталі (наприклад, 25Л або 35Л).

2. Концентрація вуглецю: попри теоретичну можливість видалення надлишку вуглецю шляхом введення окиснювачів, для запобігання подовженню тривалості плавки та ерозії стінок тигля не рекомендується, щоб вміст вуглецю (С) в розрахунковій шихті перевищував гранично допустиму норму в готовій сталі більш ніж на 0,1%.

Плавлення шихти починається в першу чергу на половині висоти індуктора біля стінок тигля, потім поступово поширюється вниз і вгору. Відповідно до цього шихта повинна мати можливість опускатися і занурюватися в рідкий метал. Однак у верхній частині тигля шматки шихти можуть заклинюватися і зварюватися, утворюючи «мости».

Зависання шихти вкрай небажане, оскільки воно може призвести до

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.02 РВ	Друк
Змн	Друк	№ докум	Підпис	Дат		7

сильного неконтрольованого перегріву рідкого металу і руйнування футеровки. Навіть тимчасове зависання шихти збільшує тривалість плавлення і витрату електроенергії. Для усунення зависання шихту в процесі плавлення необхідно періодично осаджувати за допомогою ломака з гумовою ізоляцією ручки.

Окислення марганцю, кремнію і фосфору при плавленні сталі в індукційній печі відбувається вже в період плавлення. При високому вмісті фосфору в шихті шлак періоду плавлення, щоб уникнути відновлення фосфору при підвищенні температури, необхідно видалити. Новий шлак наводять з вапна, плавикового шпату шамоту. Щоб підвищити активність порівняно холодних шлаків при індукційному плавленні, вміст плавикового шпату в шлаковій суміші збільшують до 20%.

Такі шлаки інтенсивно руйнують футеровку печі, тому в індукційній печі намагаються не застосовувати процеси, що вимагають активної участі шлаку. Щоб поліпшити взаємодію між шлаком і металом, шлак від втрат тепла ізолюють (закривають тигель кришкою) або навіть підігрівають дугою, елементами опору та іншими способами.

Плавка в дуговій печі

Процес виплавки конструкційної сталі в дугових печах із кислою футеровкою підпорядкований суворому пофазному регламенту, що визначається специфікою термодинамічних реакцій у системі «метал–шлак–футеровка».

1. Підготовка плавильного агрегату та заправка вогнетривкого контуру

Перед початком кожної плавки здійснюється обов'язкова підготовка робочого простору печі:

- Санація ванни: механічне очищення подини, укосів та стін від конгломератів застиглого шлаку та металевих залишків попередньої плавки.
- Реновація футерування: заправка та торкретування зношених ділянок

подини й укосів новими вогнетривкими матеріалами. Як заправний матеріал застосовують дрібнозернистий кварцовий пісок із масовою часткою $\text{SiO}_2 \geq 96 \%$ та сумарним вмістом шкідливих домішок (насамперед оксидів заліза та лугів) не більше 1 %.

2. Регламент завалки та вимоги до металошихти

Формування та просторове розміщення шихтових матеріалів у ванні печі реалізується за диференційованою схемою для забезпечення оптимальних умов горіння електричної дуги та захисту вогнетривів:

1. Нижній шар (на подину): завантажується близько 50 % дрібної шихти для амортизації ударів при падінні великих шматків.
2. Середній шар (зона дії дуг): укладається середня та велика металошихта для інтенсивного поглинання теплової енергії.
3. Верхній шар: засипається решта дрібного металобрухту для ущільнення завалки.

Якісні обмеження до компонентів шихти:

– Використання іржавого металобрухту категорично заборонено. Оксиди заліза, що вносяться з іржею, активно розчиняють кремнезем футерування подини, утворюючи низькоплавкі силікати заліза, що призводить до катастрофічного роз'їдання та руйнування ванни печі.

– Розрахунковий вміст вуглецю в шихті повинен бути на 0,2-0,3% вищим за нижню межу його концентрації в готовій сталі для забезпечення інтенсивного кипіння ванни. Навуглецювання здійснюється сумісним введенням у шихту коксу або бою графітованих електродів.

– Кислі шлаки не володіють здатністю видаляти сірку та фосфор. Тому початковий вміст цих елементів у металошихті повинен бути мінімальним — щонайменше на 0,01 % нижчим за гранично допустимі межі, регламентовані для готового виливка.

У період плавлення за рахунок кисню атмосфери печі та оксидів залежа

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.02 РВ	ДНК
						9
ЗМК	ДНК	№ доки	Підпис	ДЗ		

відбувається первинне окиснення кремнію, марганцю, заліза та вуглецю. Продукти окиснення, що утворюються, ініціюють формування первинного кислого шлаку.

3. Окиснювальний період (кипіння ванни)

Для прискорення шлакоутворення після розплавлення певної частини шихти у ванну наводять шлак попередньої плавки, що має наступний раціональний

і Кінетика окиснювальних процесів у період кипіння ванни характеризується такими параметрами:

і – Зневуглицювання: окиснення вуглецю відбувається переважно за рахунок взаємодії з оксидами заліза шлакової фази. Швидкість вигорання вуглецю забезпечує зниження його концентрації на 0,15 -0,2% протягом 25-30 хвилин активного кипіння.

й – Стабілізація кремнезему: для запобігання передчасному та неконтрольованому відновленню кремнію з футерування під час кипіння, у шлак порційно вводять вапняк. Це дозволяє знизити термодинамічну активність та концентрацію SiO_2 у шлаку за рахунок зв'язування його в силікати кальцію.

л Ознакою готовності металу та завершення окиснювального періоду є отримання шлаку світло-зеленого, димчастого або світло-блакитного забарвлення, що свідчить про оптимальне співвідношення оксидів заліза та марганцю.

4. Розкислення та легування сталі

Після досягнення заданого вуглецевого еквівалента та температури приступають до відновлювальних операцій:

– якщо за даними експрес-аналізу вміст кремнію в металі нижчий за проектні вимоги, за 7-10 хвилин до випуску в піч присаджують розрахункову кількість кускового феросиліцію.

– здійснюється безпосередньо в печі шляхом введення феросиліцію або силікомарганцю для зв'язування розчиненого в металі кисню у стійкі оксиди.

– проводиться при випуску сталі шляхом присадки кускового або

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.02 РВ	ДНК
ЗМК	ДНК	№ докум	Підпис	ДЛ		10

дисперсного алюмінію в заливочний ківш. Це забезпечує глибоке дезоксидування сплаву, подрібнення спадкового аустенітного зерна та гарантує високі механічні властивості виливків.

2.1.3 Розрахунок кількості плавильних агрегатів

Для приготування сплавів в індукційній печі встановлюємо індукційну тигельну піч підвищеної частоти серії УІП.

Таблиця 2.8 - Характеристика печі УІП-100-0,5-2,0

Ємність печі, т	Продуктивність печі, т/год	Потужність, кВт	Частота, кГц	Габарити печі/перетворювача
				2000х2000х2000 1330х800х2340

Розрахунок необхідної кількості плавильних печей проводимо за формулою:

$$P_1 = \frac{B \cdot K_n}{\Phi_\partial \cdot P_p} = \frac{11192 \cdot 1,2}{3850 \cdot 2} = 1,7 \text{ шт.}$$

Встановлюємо дві печі УІП-100-0,5-2,0. .

Розрахунок коефіцієнта завантаження:

$$K_3 = \frac{N}{N_\Phi} = \frac{1,7}{2} = 0,85 .$$

Розрахуємо кількість електродугових печей.

Основні переваги печей постійного струму типу ДП перед печами змінного струму типу ДСП:

- 1) Зниження витрати графітованих електродів до 1,5 кг/тонну рідкого металу.
- 2) Зниження випалу металу на 2-4% (збільшення виходу придатного)
- 3) Зниження витрат феросплавів в середньому на 15-20%.
- 4) Зниження кількості пилових викидів в 6-8 разів.

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.02 РВ	ДНК
Змк	ДНК	№ докум	Підпис	Дод		11

- 5) Зниження рівня шуму на 15-20 Дб (тобто до санітарних норм).
- 6) Зниження флікер-ефекту на 50%.
- 7) Високий коефіцієнт потужності (до 0,95).

Переваги сучасних дугових плавильних печей постійного струму типу ДП перед індукційними:

- 1) Використання гарячого активного шлаку для десульфурації, дефосфації та інших металургійних процесів.
- 2) Ліберальні вимоги до використовуваної шихти за вологістю та хімічним складом.
- 3) Вищий тепловий та електричний ККД > 90%, коефіцієнт потужності.
- 4) Нижча питома витрата електроенергії. Висока стійкість футеровки (до 2000 плавов і більше).
- 5) Не потрібно "болото", проста ліквідація "козла".
- 6) Одноразове завантаження всієї шихти без ретельного сортування за розміром.

Таблиця 2.9 - Характеристика електродугової печі ДП - 6

Ємніст ь, т	Продуктивніст ь, т/год	Питома витрата електроенергії кВт.год/т	Потужність джерела живлення кВА

$$P_1 = \frac{B \cdot K_n}{\Phi_d \cdot \Pi_p} = \frac{19126 \cdot 1,2}{3850 \cdot 4,5} = 1,3 \text{ шт.}$$

Розрахуємо коефіцієнт завантаження печі:

$$K_3 = \frac{1,3}{2} = 0,65 .$$

Встановлюємо дві печі ДП- 6.

2.1.4 Визначення площі плавильного відділення

Проектування просторової архітектури та визначення габаритних розмірів плавильного відділення базується на забезпеченні максимальної безпеки, оптимізації внутрішньоцехової логістики та раціональному розміщенні основного і допоміжного обладнання.

Фактори, що детермінують корисну площу відділення:

- робочі та технологічні зони: просторові ділянки, зайняті безпосередньо плавильно-агрегатними комплексами (ДППТ), пультами керування, заливочними прольотами, зонами підготовки та футерування ковшів, а також ділянками тимчасового зберігання та зважування шихтових матеріалів;
- логістичні комунікації: нормативні ширини цехових проїздів для функціонування підлогового безрейкового транспорту (навантажувачів), а також проходи для безпечного переміщення обслуговуючого персоналу згідно з вимогами охорони праці та промислової санітарії.

Для забезпечення максимальної ефективності виробничих потоків плавильне відділення розташовано в поперечному прольоті відносно головного формувального конвеєра. Таке архітектурно-планувальне рішення є найбільш прогресивним у проектуванні ливарних цехів, оскільки воно забезпечує:

1. Ергономічність керування: зручне ведення плавки, завалки шихти та скачування шлаку без перетину основних людських та матеріальних потоків.
2. Логістичну оптимізацію: мінімальну довжину траєкторії та високу швидкість доставки рідкого металу крановими засобами до формувальних ділянок, що критично важливо для запобігання падінню температури розплаву в заливочних ковшах.

Виходячи з розрахованих габаритів плавильних печей, допоміжного парку

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.02 РВ	ДНК
Змк	ДНК	№ докум	Підпис	Дд -		14

машин, нормативних зазорів та трас переміщення вантажів, проектна площа плавильного відділення прийнята і затверджена на рівні 432 м². Цей просторовий фонд гарантує безперебійне функціонування плавильного вузла в режимі заданої серійності цеху.

2.2 Формувальне відділення

Формувальне відділення є базовим і найбільш капіталомістким структурним підрозділом ливарного цеху. У його межах зосереджено комплекс основних формотворчих та фінішних операцій, що охоплює:

- безпосереднє ущільнення та виготовлення напівформ;
- проставляння стрижневих систем, координаційне збирання та спарювання опок;
- заливання робочих порожнин розплавом та контроль термодинамічних параметрів;
- регламентоване технологічне охолодження виливків у піщаній матриці;
- автоматизоване вибивання та деструкцію форм із вилученням гарячих заготовок.

Сумарна трудомісткість зазначених процесів у формувальному відділенні становить до 60% від загальноцехової трудомісткості виготовлення литої продукції, що визначає цей підрозділ як провідний фактор впливу на собівартість та якість придатних виливків.

Техніко-економічні показники функціонування формувального відділення, просторова організація робочих зон та селекція парку основного обладнання детермінуються насамперед обраним способом виготовлення ливарних форм. Системний вибір методу формування базується на аналізі наступної сукупності вихідних інженерно-виробничих чинників:

1. Характер та масштабність виробництва: рівень серійності (серійний та

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.02 РВ	Анк
						15
Змн	Анк	№ докум	Підпис	Лист		

великосерійний тип), що визначає доцільний ступінь гнучкості та автоматизації ліній.

2. Конструкційні параметри заготовок: номінальна маса, габаритні розміри, конфігураційна складність та товщина стінок виливків.

3. Метрологічні вимоги: заданий клас точності розмірів та параметри шорсткості поверхонь за стандартом.

4. Металургійні особливості: рід заливаного металу (ливарна сталь 25Л, 35Л), його рідкотекучість та схильність до усадочних дефектів.

5. Потужність підприємства: обсяг річної виробничої програми (18 000 тонн придатного литва) та загальний режим роботи цеху.

З огляду на диверсифікацію номенклатури деталей-представників та необхідність оптимізації приведених витрат, у проекті цеху закладено диференційований підхід до вибору технології. Для виготовлення основної маси середньо- та великогабаритних виливків серійної програми регламентовано високопродуктивний метод формування в разові піщано-глинисті форми на автоматичній лінії «Belloi & Romagnoli». Одночасно з цим, для отримання дрібних деталей підвищеного класу точності та складної геометричної конфігурації, технологічним процесом передбачено застосування оболонкових форм. Таке комбіноване інженерне рішення гарантує високу технологічну гнучкість, мобільність та загальну рентабельність проектного виробництва.

Ущільнення форм проводиться повітряно-імпульсним методом.

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.02 РВ	Анк
Змн	Анк	№ докум	Підпис	Дат		16

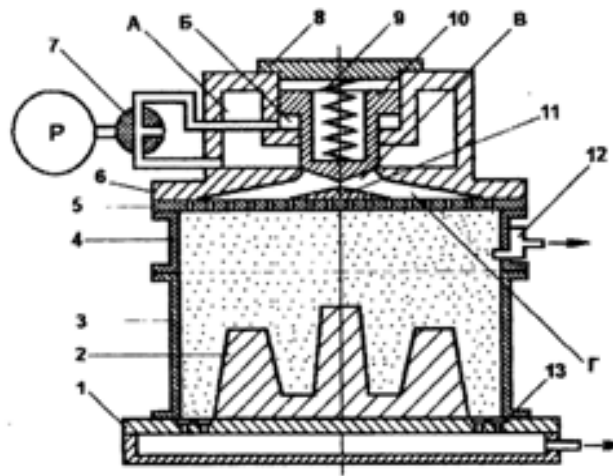


Рисунок 2.1 - Схема установки для повітряно-імпульсного формування:
А, Б, Г - порожнини; В - отвір для виходу повітря.

Аеродинамічний метод формування (повітряно-імпульсне ущільнення) базується на кінетичному та термодинамічному впливі короткочасного хвильового фронту стисненого повітря високого тиску на дисперсний масив формосуміші.

Механізм перерозподілу ущільнення у формі:

1. Динамічний розгін. Під дією високошвидкісного повітряного імпульсу формувальна суміш набуває значного прискорення і переміщається в напрямку модельного комплексу.

2. Інерційне гальмування. При контакті з геометрією моделі та поверхнею модельної плити кінетична енергія нижніх шарів суміші миттєво переходить в енергію деформації.

3. Градієнтне ущільнення. Максимальне ущільнення фіксується в примодельних зонах під дією маси та динамічного напору вищерозташованих шарів суміші. Натомість верхні (периферійні) шари форми залишаються неущільненими, утворюючи так звану пухку зону «контрладу».

Конструктивна архітектура робочої зони автомата охоплює сукупність пневмодинамічних вузлів та елементів технологічного оснащення.

Специфікація конструкції плавильно-формувального вузла:

– Імпульсна головка (поз. 6): силова технологічна місткість, що виконує

функцію акумулятора енергії стисненого повітря.

- Швидкодійний клапан (поз. 10) зворотної дії: обладнаний тарілчастою кришкою (поз. 8) та замикальною пружиною (поз. 9); забезпечує миттєве розкриття прохідного перерізу.

- Аеродинамічний розсікач повітря (поз. 5): перфорована решітка з каліброваними отворами діаметром 5-8 мм, інтегрована з дефлектором (поз. 11). Забезпечує трансформацію концентрованого струменя у рівномірно розподілений плоский фронт тиску по всій площі дзеркала суміші.

- Блок технологічного оснащення: складається з координаційної модельної плити (поз. 1), моделі вилівка (поз. 2), ливарної опоки (поз. 3) та наповнювальної (надставної) рамки (поз. 4).

- Система газодинамічного скидання: більша частина відпрацьованого повітряного об'єму евакуюється з надставної рамки в атмосферу через вихлопний клапан (поз. 12). Залишковий тиск фільтрується крізь систему технологічних вентиляційних отворів — вентів (поз. 13), інтегрованих у тіло модельної плити.

Пневматичне живлення порожнини А головки з ресивером здійснюється через спеціалізований золотниковий розподільник (поз. 7). Робочий тиск у системі підтримується автономною компресорною станцією високого тиску в межах $P = 7\text{--}8$ МПа.

Впровадження повітряно-імпульсної технології дозволяє досягти оптимального диференційованого розподілу твердості форми, що є ідеальним для сталевого литва:

- твердість робочої поверхні: з боку моделі (де формується чисте дзеркало вилівка) становить 90-95 одиниць за твердоміром Гатфілда;

- твердість контрладу: після видалення верхнього пухкого шару товщиною 20-40 мм за допомогою сумішозрізального ножа, твердість становить не менше 70 одиниць, що гарантує високу газопроникність форми при заливанні.

Порівняльний аналіз процесу Серед переваг можна зазначити екстремально

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.02 РВ	ДНК
ЗМК	ДНК	№ докум	Підпис	ДЗ		17

низьку тривалість технологічного циклу, високу рівномірність щільності примодельних шарів, універсальність застосування для складної багатомодельної номенклатури. Недоліки: підвищена питома витрата енергоносіїв (стисненого повітря), значний рівень динамічного шуму (потребує облаштування звукоізоляційних кожухів), необхідність інтеграції в цехову мережу окремого компресорного агрегату та стаціонарних ресиверів високого тиску.

З метою оптимізації роботи імпульсного формувального комплексу та підвищення рентабельності лінії, вся номенклатура заданої серійної програми цеху диференційована на дві технологічні групи.

Для кожної виділеної групи виливків здійснюється індивідуальний розрахунок та підбір оптимального стандартного типорозміру опок у світлі. Базовим критерієм розрахунку є забезпечення нормативного коефіцієнта металоємності форми, що визначається як співвідношення маси рідкого металу в ЛЖС до загальної маси ущільненої формувальної суміші в об'ємі опоки.

Габарити опок вибираємо залежно від граничної маси виливка по групі і визначаємо річну кількість форм.

Для виготовлення напівформ встановлюємо машини низького тиску з рамковим зняттям напівформ. Призначення: для послідовного виготовлення нижніх і верхніх напівформ з піщано-глинистої формувальної суміші. Тип машини - напіваавтоматична.

Поза автоматичним циклом (механізмами, що не входять до складу машини), виконуються операції: установка порожньої опоки на рольганг; заповнення опоки з наповнювальною рамкою формувальною сумішшю; видалення готової напівформи з рольганга.

Таблиця 2.10 - Програма формувально-заливочно-вибивного відділення

Номер технологічної групи	Найменування виливків	Кількість виливків, шт	Річна кількість форм, шт	Кількість виливків у формі	Габарити опок, мм	Тип обладнання
	Кришка				500 x 400 x 200	2Н380
	Загартована решітка					
	Клапан					
	Кришка					
	Трубка					
	Втулка					
	Разом					
	Кошик				1600 x 1250 x	2Н385
	Зубчасте колесо					
	Кран					
	Кронштейн					
	Корпус					
	наконечник					
	Ребро					
	Корпус					
	Шестерня					
	Труба					
	Корпус редуктора					
	Кривошип					
	Разом					

Таблиця 2.11 - Характеристика машини 2Н380

Модель	розміри опок у світлі, мм	тиск стисненого повітря, Мпа	Продуктивність напівформ/год	встановлена потужність, кВт
2Н380	500x400x200			

$$P_p = P_u \cdot K_u, = 110 \cdot 0,8 = 88 \text{ пф/ч};$$

$$P_1 = \frac{152656 \cdot 1}{3645 \cdot 88} = 0,5 \text{ шт.}$$

Згідно з раніше визначеною одинною потребою у формах, для забезпечення заданої серійної програми обсягом 18000 тон придатного литва на рік прийнято рішення про інтеграцію одного високоефективного формувального автомата моделі 2Н380.

Дійсний коефіцієнт завантаження обладнання η_z визначається як співвідношення розрахункової годинної продуктивності лінії до номінальної паспортної потужності обраного автомата:

$$\eta_z = \frac{N_{\text{розр}}}{N_{\text{ном}}}$$

Враховуючи, що проектний коефіцієнт завантаження $\eta_z < 1,0$, дана автоматизована формувальна лінія має резерв пропускної здатності. Наявний профіцит машинного часу дозволяє використовувати формувальний комплекс 2Н380 для виготовлення сталевих виливків за суміжними замовленнями сторонніх підприємств, що суттєво підвищує загальну рентабельність та техніко-економічні показники ливарного цеху.

Кінематичний розрахунок швидкості переміщення пульсуючого або безперервного заливочного конвеєра (v , м/хв) виконується за базовою залежністю:

$$v = \frac{N \cdot Z}{60 \cdot n \cdot i}$$

де:

- N — фактична годинна продуктивність формувальної машини, шт. форм/год;
- Z — крок платформ (візків) ливарного конвеєра, м;
- n — коефіцієнт корисного заповнення конвеєрних візків готовими формами (приймаємо за нормативними даними $n = 0,8$);
- i — кількість комплектних ливарних форм, що одночасно

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.02 РВ	ДНК
Змк	ДНК	№ докум	Підпис	Дат		20

позиціонуються на одній рухомій платформі, шт.

На основі розрахованої швидкості конвеєра ($v = 1,7$ м/хв) виконується просторове трасування та координаційне проектування довжини окремих технологічних зон.

Повна конструктивна довжина траси ливарного конвеєра (L , м) являє собою аддитивну суму довжин його послідовних функціональних ділянок:

де L_1, L_2, L_3, L_4 — довжини ділянок формування, заливання, ізотермічного охолодження та автоматичного вибивання відповідно.

Довжина зони формування та збирання визначається кількістю формувальних агрегатів та просторовим фондом для проставлення стрижнів:

$$L_1 = M \cdot L_0 + L_{п.с.}$$

де:

M — кількість інтегрованих у лінію формувальних машин ($M = 1$);

L_0 — відстань між геометричними осями суміжних машин (за наявності однієї машини $L_0 = 0$ м;

$L_{п.с.}$ — протяжність технологічної зони оброблення, проставлення Cold-box стрижнів та спарювання напівформ $L_{п.с.} = 20$ м.

$$L_1 = 1 \cdot 0 + 20 = 20 \text{ м}$$

Довжина заливочної зони розраховується виходячи з кінематики руху ковшів місткістю 6 т:

$$L_2 = \tau_3 \cdot v \cdot m$$

де:

τ_3 — максимальна тривалість безперервного заливання форм з одного ковша, хв $\tau_3 = 0,33$ хв;

m — кількість заливочних агрегатів (ковшів), що функціонують на ділянці одночасно ($m = 4$).

$$L_2 = 0,33 \times 1,7 \times 4 = 2,24 \text{ м}$$

З урахуванням нормативних зазорів безпеки та динамічного люфту кранового обладнання, приймаємо конструктивну довжину заливочної ділянки рівною 4 м.

Протяжність зони термостабілізації розраховується за критерієм завершення первинної кристалізації сталі 20Х5МЛ у піщаній формі:

$$L_3 = v \cdot t_{\text{охл}}$$

де $t_{\text{охл}}$ — нормативна тривалість ізотермічного витримування сталевих заготовок «Кришка» у формі до моменту деструкції матриці.

$$L_3 = 1,7 \times 45 = 76,5 \text{ м}$$

З метою уніфікації будівельних прольотів цеху, забезпечення кратності кроку колон та створення демпферного запасу часу на випадок короткочасних зупинок лінії вибивання, приймаємо остаточну довжину ділянки охолодження рівною 100 м.

Згідно з нормами проектування машинобудівних підприємств та габаритами стаціонарних віброрешіток під системою випресовування комів суміші, довжина вибивальної зони приймається конструктивно в межах:

$$L_4 = 8-12 \text{ м}$$

Приймаємо в розрахунку $L_4 = 11 \text{ м}$.

Загальна розгорнута довжина автоматизованої конвеєрної лінії з урахуванням поворотних петель та радіусів заокруглень приводних станцій складає:

$$L_{\text{заг}} = 20 + 4 + 100 + 11 = 135 \text{ м}$$

Отримане значення $L \sim 135 \text{ м}$ є базовим інваріантом для розробки креслення марки ЛТ (планувальні рішення та технологічне компонування формувального відділення ливарного цеху).

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.02 РВ	Анк
Змч	Анк	№ докум	Підпис	Дат		22

Таблиця 2.12 - Характеристика машини 2Н385

Модель	Розміри опок у світлі, мм	Тиск стисненого повітря, Мпа	Продуктивність напівформ/год	Встановлена потужність, кВт
2Н388	1600х1200х500			

$$P_p = P_u \cdot K_u, = 40 \cdot 0,8 = 32 \text{ пф/ч};$$

$$P_1 = \frac{190324 \cdot 1}{3645 \cdot 32} = 1,6 \text{ шт.}$$

Встановлюємо дві формувальні машини і знаходимо дійсний коефіцієнт завантаження:

$$K_3 = \frac{1,6}{2} = 0,8 \text{ \%}.$$

Розрахунок параметрів лінії

Розрахунок швидкості конвеєра:

$$v = \frac{N \cdot Z}{n \cdot 60 \cdot i},$$

де N - продуктивність формувальної машини;

Z - крок платформ конвеєра, м;

- коефіцієнт заповнення візків формами ($n = 0,8$);

- кількість форм, що встановлюються на одну платформу.

$$v = \frac{32 \cdot 2}{0,8 \cdot 60 \cdot 1} = 1,3 \frac{\text{м}}{\text{мин}}.$$

Сумарна довжина конвеєра:

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.02 РВ	Анк
Змч	Анк	№ док.м	Підпис	Дод.		23

де L_1 - довжина ділянки формування, м; L_2 - довжина ділянки заливки форм, м; L_3 - довжина ділянки охолодження виливків, м; L_4 - довжина ділянки вибивання форм.

$$= M L_0 + L_{п.с.} ;$$

де M - кількість машин, шт; L_0 - відстань між осями машин, м; $L_{п.с.}$ - довжина ділянки обробки, простановки, стрижнів і складання форм, м.

$$= 10 + 30 = 30 \text{ м.} \quad T_3 = v m ,$$

де T_3 - максимальна тривалість заливки форм з одного ковша, хв;- кількість одночасно працюючих ковшів.

$$= 1,2 \cdot 1,35 = 3,2 \approx 4 \text{ м.} \quad t_{охл} = v t_{охл} ;$$

де $t_{охл}$ - тривалість охолодження виливків до вибивання, хв.

$$= 1,3 \cdot 120 = 156 \text{ м.}$$

Зазвичай довжина вибивальної зони $L_4 = 8 \text{ год } 12 \text{ метрів.}$

Загальна довжина конвеєрної лінії складе $\approx 200 \text{ метрів}$

Для вибивання форм на лініях встановимо вибивні решітки з пристроєм попередньої регенерації.

Крім розбивання форм і вилучення виливків також відбувається подрібнення грудок форми до початкового розміру зерна. Це означає, що формувальний матеріал може переміщатися за допомогою пневмотранспорту. Це виключає необхідність застосування механічного обладнання, яке збільшує пилоутворення.

Таблиця 2.13 - Характеристика решітки

Найменування моделі		Продуктивність т/год		Габарити, мм	Потужність, кВт	Частота обертання,
КНУ.РБ.136.26.112с-12.02 РВ						24
Змч	Друк	№ докум	Підпис	Дат		

				об./хв
		2700Ч1970Ч1939		

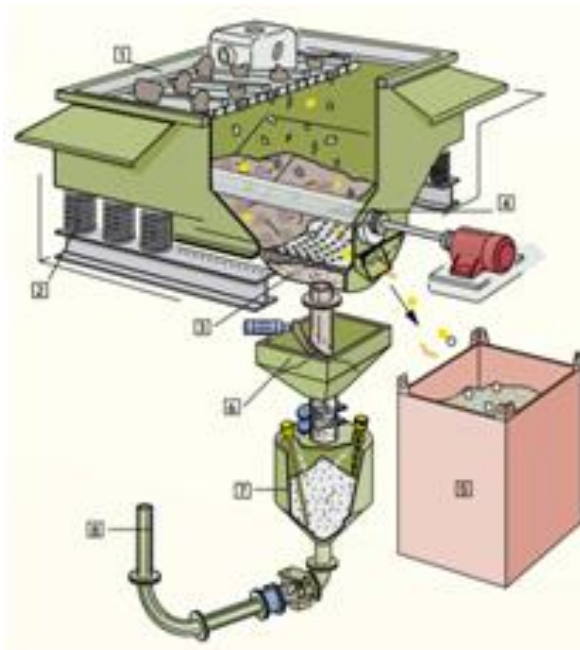


Рисунок 2.2 - Вибивна решітка

1 - основна решітка; 2 - опори пружини, що знижують передачу вібрації; 3 - стадія попередньої регенерації з перфорованою плитою; 4 - обертовий вал з ексцентриком; 5 - розвантаження твердих матеріалів; 6 - завантажувальний бункер нагнітача; 7 - нагнітач; 8 - пневмотранспорт

Параметри будівельної архітектури та просторове планування формувального відділення ливарного цеху встановлюються відповідно до чинних технологічних норм проектування підприємств машинобудування (зокрема, ОНТП-01-86).

Нормативні будівельні характеристики прольоту:

- уніфікована ширина прольоту (прогін): становить 24 м, що є стандартним модулем для інтеграції мостових опорних кранів та розміщення сучасних автоматизованих ліній.
- крок колон за зовнішнім контуром (по зовнішній стіні): прийнято рівним 6 м для раціонального розподілу навантаження від стінових огорожувальних конструкцій та віконних прорізів.
- внутрішній крок колон (всередині цеху): встановлено на рівні 12 м, що

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.02 РВ	ДНК
Змч	ДНК	№ док.м	Підпис	Д.с.		25

дозволяє мінімізувати кількість опорних колон у робочій зоні, розширює корисний простір для монтажу великогабаритного обладнання лінії «Belloi & Romagnoli» та забезпечує гнучкість логістичних маршрутів.

Згідно з нормативною документацією, у сучасних механізованих та автоматизованих ливарних цехах загальна площа формувального відділення не розраховується за укрупненими питомими показниками (як для одиничного чи дрібносерійного виробництва), а детермінується методом безпосереднього планування обладнання.

Такий підхід передбачає розробку детального компоновального плану з урахуванням габаритів усіх агрегатів, технологічних проїздів, зон обслуговування, конвеєрних ліній, а також нормативних зазорів безпеки.

На основі виконаного графічного планування та оптимізації розміщення обладнання у межах обраної будівельної сітки колон, підсумкова корисна площа формувального відділення прийнята і затверджена на рівні 1920 м². Даний просторовий фонд повністю задовольняє вимогам організації безперервного тактового процесу формування, заливання та охолодження форм.

2.3 Розрахунок парку ковшів

Розрахунок парку заливальних ковшів виконується з урахуванням кількості одночасно працюючих ковшів, тривалості роботи ковша до ремонту і тривалості ремонту. Час роботи ковша до ремонту і тривалість ремонту залежить від ємності ковша.

Розрахунок кількості одночасно працюючих заливальних ковшів проводимо за формулою:

$$N = \frac{q \cdot N_n \cdot t_{\text{ц}}}{60 \cdot t},$$

де q - продуктивність плавильної печі, т/год;

N_n - кількість одночасно працюючих печей, шт;

m_m - ємність ковша, т;

$t_{\text{ц}}$ - час обороту ковша, хв.

Виливки масою до 100 кг заливаємо за допомогою поворотного ковша, місткістю 0,25 т.

Розрахунок кількості заливальних ковшів, місткістю 0,25 т:

$$N = \frac{2 \cdot 2 \cdot 12}{60 \cdot 0,5} = 3,2 \text{ шт.}$$

Приймаємо кількість ковшів 4 штуки.

Виливки масою понад 100 кг заливаємо за допомогою поворотного ковша місткістю 0,5 т.

Розрахунок кількості одночасно працюючих заливальних ковшів місткістю 1 т проводимо за формулою:

$$N = \frac{4,5 \cdot 2 \cdot 15}{60 \cdot 1} = 2,3 \text{ шт.}$$

Приймаємо кількість ковшів 3 штуки.

Місткість заливного ковша визначається максимальною металоємністю форми і може бути рівною або кратною їй.

Працюючий ківш поступово виходить з ладу через механічне руйнування футеровки носка, країв, а також роз'їдання внутрішньої футеровки металом і шлаком. Тому періодично ківш повертається на перефутеровку або ремонт.

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.02 РВ	Анк
						27
Змк	Анк	№ док.м	Підпис	Дод.		

Розрахунок кількості ковшів, що знаходяться в ремонті, знаходять шляхом логічних міркувань. Результат розрахунків зводимо в таблицю 2.14.

Таблиця 2.14 - Розрахунок парку ковшів

Ємність ковша, кг	Кількість одночасно працюючих ковшів, шт	Кількість ковшів у ремонті, шт	Запас ковшів 20%, шт	Загальна кількість ковшів, шт
Разом				

2.4 Проектування стрижневого відділення

Стрижневе відділення є важливим заготівельним підрозділом ливарного цеху, що забезпечує формування внутрішніх порожнин, контурів та складної геометрії майбутніх виливків. Організаційна структура відділення, вибір апаратного забезпечення та методів виготовлення стрижнів безпосередньо детермінуються характером, номенклатурою та металургійними особливостями лиття.

У межах стрижневого відділення реалізується повний замкнений цикл обробки, який охоплює такі обов'язкові етапи:

- формування (формування) та ущільнення стрижневих мас у спеціалізованому оснащенні;
- теплова або хімічна сушка (затвердіння) для надання стрижням проектної міцності;
- фінішна обробка (зачищення від заусенців, калібрування) та нанесення захисних вогнетривких покриттів (фарбування);
- спарювання, контрольне складання, верифікація метрологічних параметрів та комплектування готових стрижневих вузлів.

Для забезпечення безперебійного функціонування відділення на його корисній площі розгорнуто допоміжну інфраструктуру: каркасну дільницю (виготовлення армуючих металевих елементів), а також автоматизовані склади та

камери для добового зберігання, кондиціювання стрижневих ящиків, сушильних плит і готової продукції перед передачею на лінію збирання форм.

Сумарний обсяг стрижневих робіт та питома витрата матеріалів залежать переважно від коефіцієнта складності виливків, що визначається кількістю та масою стрижневих елементів, приведених до 1 тонни придатного литва. Своєю чергою, вибір конкретного обладнання (наприклад, піскодувно-піскострільних автоматів) визначається рівнем серійності виробництва.

З метою оптимізації завантаження парку машин та впровадження прогресивних поточно-групових методів роботи, у проекті реалізовано диференціацію всієї номенклатури стрижнів на уніфіковані групи за масогабаритними ознаками. Таке інженерне рішення дозволяє:

1. Агрегувати потоки: точно визначити питомий об'єм кожної геометричної групи стрижнів.

2. Технологічно концентрувати виробництво: звести декілька суміжних груп стрижнів в один стабільний технологічний потік з можливістю їхнього паралельного або послідовного виготовлення на одному високопродуктивному автоматизованому агрегаті без тривалого переналаштування.

Залежно від загальної потреби цеху в стрижнях та кількості виділених масогабаритних груп, у межах відділення організується функціонування декількох паралельних потокових ліній.

Матеріальні розрахунки, визначення годинної продуктивності сушильних печей, формотворчих машин та загального фонду площ ґрунтуються на детермінованих даних розрахунку кількості та сумарної маси стрижневих масивів на 1 тонну придатного литва для кожної виділеної масової групи виливків серійної програми.

Узагальнені результати цих інженерно-технологічних розрахунків, які є базовою матрицею для подальшого планування діляниць, систематизовано та представлено у таблиці 2.15.

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.02 РВ	Дир.
Зм.	Дир.	№ док.	Підпис	Дат.		29

Таблиця 2.15 - Виробнича програма цеху для стрижневого відділення

Групи стрижнів за масою, кг		Групи виливків за масою, кг			Річна кількість стрижнів, шт	Кількість гнізд, шт	Кількість знімків	Габарити ящика
Межі	Середня величина							
≤ 1,0								580 x 580 x 210
Разом								
								1600 x 1180 x 570
Разом								

2.4.2. Вибір способу виготовлення стрижнів і обладнання

Для виготовлення стрижнів у серійному виробництві прогресивним є метод отримання стрижнів з холоднотвердіючих сумішей, що містять як сполучний матеріал синтетичні смоли, які тверднуть при кімнатній температурі або за рахунок продувки затверджувачем.

Застосування прогресивної технології Cold-box-amin-процесу (затвердіння в холодних стрижневих ящиках третинними амінами) дозволяє отримувати стрижні з високими фізико-механічними та реологічними характеристиками. Готові стрижневі елементи мають комплекс суттєвих технологічних переваг:

- низьку питому газотворну здатність при контакті з розплавом;
- високу податливість та відмінну вибиваність на віброрешітках після кристалізації металу;
- тривалий термін зберігання на складах без втрати геометрії та гідрофільності (гігроскопічності).

Робоча стрижнева суміш готується у високошвидкісних лопатевих змішувачах періодичної або безперервної дії. Компонентний склад охоплює:

1. Вогнетривку основу: сухий класифікований кварцовий пісок із масовою часткою вологи не більше 0,5%.
 - Двокомпонентну зв'язувальну систему: (Компонент 1 - розчин синтетичної смоли; Компонент 2 - розчин олігомерного поліізоціанату в органічних розчинниках).

У вільному стані суміш має високу живучість (до декількох діб) та відмінну текучість завдяки відсутності хімічної взаємодії між компонентами без присутності каталізатора.

Технологічний цикл формування стрижня на автоматизованих піскодувно-піскострільних машинах реалізується в холодній оснастці без підведення зовнішньої теплової енергії і складається з наступних послідовних стадій:

1. Заповнення робочої порожнини стрижневого ящика сумішшю під дією піскоструминного (піскострільного) імпульсу стисненого повітря.

2. Крізь ущільнений об'єм суміші під тиском проганяється аерозольна суміш парів низькокиплячих третинних амінів (найчастіше триетиламіну або диметилетиламіну) в носії — осушеному стисненому повітрі або азоті.

3. Аміни виступають як високоефективний каталізатор реакції поліприєднання між фенольною смолою та поліізоціанатом. В результаті реакції безпосередньо у порах суміші миттєво (протягом 2–10 секунд) синтезується високоструктурований, термодинамічно стабільний поліуретановий полімер, що надійно зв'язує зерна піску.

4. Протягом 10–20 секунд стрижневий ящик інтенсивно продувається чистим підігрітим повітрям для повної евакуації та нейтралізації токсичних залишків парів каталізатора в цехову систему скрубєрів-абсорберів.

Внаслідок високої швидкості протікання реакцій утворення поліуретанової сітки, безпосередньо в момент вилучення з оснащення формується висока початкова (розпалубна) міцність стрижня, що становить 50-60% від її кінцевого статичного значення. Це повністю виключає деформацію стрижнів під власною вагою при транспортуванні та дозволяє передавати їх на операції збирання форм без тривалої проміжної витримки.

2.4.2 Розрахунок кількості стрижневого обладнання

Таблиця 2.16 - Технічна характеристика піскоструминних машин

Найменування	Значення	
Максимальна маса стрижня, кг		
Розмір стрижневого ящика, мм	580X580X210	1600Ч1180Ч570
Продуктивність, знімків/год		
Спосіб виготовлення стрижнів	Піскоструминний з відтвердінням в ящику продуванням	

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.02 РВ	Днк
Змч	Днк	№ док-м	Підпис	Дз-		
						32

	газоподібним каталізатором	
Тип приводу	пневматичний	
Встановлена потужність, кВт		
Роз'єм стрижневого ящика	горизонтальний	горизонтальний
Габаритні розміри машини, мм	5800Ч4500Ч3200	5720Х5900Х3925
Маса машини, кг		

Для забезпечення високої продуктивності, стабільності технологічного циклу та дотримання жорстких вимог промислової екології та охорони праці, весь парк сучасних піскодувно-піскострільних машин, що функціонують за Cold-box-amin-процесом, в обов'язковому порядку оснащується комплексом взаємопов'язаних технологічних та захисних систем:

– система газодинамічної локалізації та аспірації: призначена для повного уловлювання, капсулювання та евакуації відпрацьованої токсичної аміно-повітряної суміші (аерозолі каталізатора) з робочої зони автомата після фази дегазації стрижня. Гарантує направлене відведення шкідливих хімічних речовин до цехових абсорбційних установок (скрубєрів) для їх подальшої хімічної нейтралізації.

– система прецизійної герметизації: забезпечує абсолютну щільність стикування та притиску за контуром «стрижневий ящик – надувна плита – продувна плита». Наявність надійних пневмомеханічних замків та еластичних ущільнювачів повністю унеможливорює неконтрольований витік (емісію) парів третинних амінів та вибивання формування суміші в робочий простір цеху під час імпульсного пострілу.

– система швидкої технологічної переналадки (експрес-заміни): комплекс гідравлічних або механізованих захватів, що забезпечує операційне зняття, позиціонування та жорстку фіксацію надувних плит і стрижневих ящиків різних типорозмірів на столі машини. Дане рішення дозволяє мінімізувати простой обладнання при переході на випуск суміжної номенклатури стрижнів.

– автоматизована система керування технологічним процесом

(АСУ ТП): інтегрований цифровий контур на базі сучасних програмованих логічних контролерів (ПЛК / PLC). Вона реалізує в реальному часі гнучке керування всіма фазами циклу (координація рухів, контроль тиску пострілу, дозування аміну, час продування, архівація параметрів), забезпечуючи повну синхронізацію стрижневого автомата з периферійними роботами-маніпуляторами.

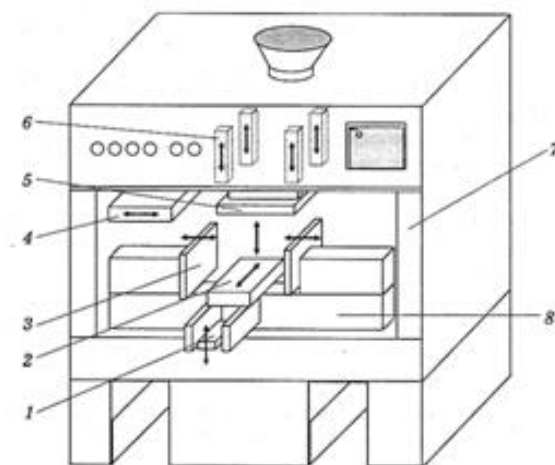


Рисунок 2.3 - Конструктивна схема стрижневої машини

1 - виштовхувач; 2 - механізм переміщення нижньої частини стрижневого ящика, 3 - механізм кріплення і переміщення бічних частин оснащення; 4 - продувна плита; 5 - піскоструйна плита; 6 - механізм кріплення і переміщення верхньої частини стрижневого ящика; 7 - несучі колони; 8 - рухомий стіл-основа

$$P_p = P_u \cdot K_u, = 50 \cdot 0,8 = 40 \text{ съёмов/ч};$$

$$P_1 = \frac{317702 \cdot 1,1}{3645 \cdot 40} = 2,4 \text{ шт.}$$

Встановлюємо три стрижневі машини 4752Б2К1 і знаходимо дійсний коефіцієнт завантаження:

$$K_3 = \frac{2,4}{3} = 0,8 \text{ \%}.$$

$$P_p = P_u \cdot K_u, = 30 \cdot 0,8 = 24 \text{ съёмов/ч};$$

$$P_1 = \frac{147947 \cdot 1,1}{3645 \cdot 24} = 1,8 \text{ шт.}$$

Встановлюємо дві стрижневі машини 4760Б2К1 і знаходимо дійсний коефіцієнт завантаження:

$$K_3 = \frac{1,8}{2} = 0,9 \text{ \%}.$$

2.4.3 Розрахунок площ стрижневого відділення

Параметри будівельної сітки та просторова топологія стрижневого відділення встановлюються відповідно до загальних інженерних нормативів проектування машинобудівних підприємств (зокрема, згідно з ОНТП-01-86 для ливарних цехів).

- Уніфікована ширина прольоту (прогін): становить 24 м , що є оптимальним модулем для інтеграції цехових підйомно-транспортних засобів (мостових кранів, кран-балок) та раціонального розміщення автоматизованих комплексів виготовлення стрижнів.
- Крок колон: прийнято кратним стандартній уніфікованій сітці — 6 м за зовнішніми осями будівельного каркаса та 12 м у внутрішньоцехових зонах. Це забезпечує необхідну жорсткість тримальних конструкцій будівлі при мінімальній кількості опорних елементів у межах робочих зон.

У сучасних високомеханізованих та автоматизованих ливарних цехах загальна площа стрижневого відділення не розраховується за укрупненими питомими індексами, а детермінується методом безпосереднього графічного планування та трасування виробничих потоків.

При визначенні просторових меж відділення враховується сукупність таких інфраструктурних елементів та технологічних зон:

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.02 РВ	Анк
Змч	Анк	№ док-м	Підпис	Дат		35

1. Основне технологічне обладнання та робочі місця: габаритні контури піскодуювно-піскострільних автоматів, що працюють за *Cold-box*-

2. Транспортні комунікації та логістичні вузли: зони інтеграції рольгангів, приводних роликів конвеєрів, маніпуляторів, а також траси для підлогового безрейкового транспорту (електронавантажувачів, штабелерів).

3. Складське господарство цеху: ділянки добового накопичення, кондиціювання та зберігання готових стрижнів, проміжних складів сушильних плит та активного стрижневого оснащення (ящиків).

4. Комунікаційні коридори: нормативні ширини внутрішньоцехових проїздів та проходів, що гарантують безпечне переміщення персоналу та вантажів відповідно до вимог охорони праці.

На основі розробленого компоновального плану, з урахуванням габаритів обладнання та вимог промислової санітарії в межах обраної будівельної сітки колон, підсумкова корисна площа стрижневого відділення прийнята і затверджена на рівні 324 м². Цей просторовий фонд гарантує безперебійне та ритмічне забезпечення формувальної лінії кондиційними стрижневими елементами.

2.5 Відділення для приготування суміші

2.5.1 Вибір матеріалу

Експлуатаційна надійність, годинна продуктивність автоматичних формувальних ліній (АФЛ), а також геометрична точність і якість поверхні отримуваних виливків перебувають у прямій детермінованій залежності від комплексу реологічних властивостей формувальної суміші та ступеня їхньої часової стабільності.

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.02 РВ	Анк
Змк	Анк	№ док-м	Підпис	Дат		36

Високий темп роботи сучасного формування зумовлює специфічний, екстремально інтенсивний режим експлуатації формотворчих матеріалів порівняно з класичним машинним формуванням:

– Через високу швидкість руху конвеєра різко зростає частота переробки та повернення суміші в межах єдиного технологічного кола («головний автомат – заливочна дільниця – вибивання – регенерація – сумішоприготування»).

– Скорочення часу пасивного охолодження оборотної суміші в накопичувальних бункерах призводить до її прогресуючого термомеханічного втомлення, деструкції бентонітової складової та накопичення дрібнодисперсного пилу (неактивного шламу).

Зазначені чинники обумовлюють необхідність застосування високоякісних сумішей, що мають стабільні та тривало відтворювані технологічні параметри, до яких належать:

1. Текучість: здатність дисперсного масиву безперешкодно перерозподілятися та щільно заповнювати важкодоступні зони, глибокі кишені й пази модельного оснащення під дією енергії повітряного імпульсу.

2. Міцність (на стиск у вологому стані та на розрив у зоні конденсації вологи): гарантує збереження цілісності відбитка моделі при її вилученні (розпалубці), транспортуванні та збиранні опок, а також протидію динамічному напору струменя розплаву при заливанні.

3. Газопроникність: здатність пористої структури форми ефективно відводити екзогенні гази, що утворюються внаслідок випаровування вологи та деструкції вуглецевмісних добавок, що повністю нівелює ризики виникнення газових раковин у тілі сталевих виливків.

Обґрунтування вибору єдиної суміші

З огляду на повну автоматизацію пресового та імпульсного обладнання фірми «Belloi & Romagnoli», для виготовлення разових форм у проекті

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.02 РВ	Анк
						37
Змч	Анк	№ докум	Підпис	Дат		

регламентовано використання єдиних піщано-глинистих (бентонітових) формувальних сумішей.

На відміну від двошарового формування (де застосовують окремо лицьову та наповнювальну суміші), єдина суміш повністю заповнює весь конструктивний об'єм ливарної опоки і надставної рамки. Це дозволяє:

- спростити схему цехових комунікацій та виключити необхідність утворення другої паралельної лінії сумішоприготовування;
- забезпечити абсолютну ізотропність та однорідність фізико-механічних властивостей форми за всією її висотою;
- оптимізувати процеси автоматичного дозування компонентів під час регенерації.

Оптимальний рецептурний склад та компонентне співвідношення розробленої єдиної формувальної суміші, що забезпечує безперебійну роботу лінії, наведено у таблиці 2.17.

Таблиця 2.17 - Склад і властивості формувальної суміші

Суміш і спосіб формування	Виливки	Склад формувальних сумішей, мас, %				Фізико-механічні властивості суміші			
		Оборотна суміш	Кварцовий пісок	Глиняний зв'язувальний матеріал	Протипригарний матеріал	Міцність при стисненні, МПа	Вологість, %	Газопроникність, од.	Вміст активної глини, %
Для формування імпульсним способом	Дрібні								

* - каолінова глина

Визначення витрати сумішей

Маючи річну витрату формувальної суміші, розраховуємо витрату компонентів за таблицею з урахуванням втрат при транспортуванні та в процесі формування. Підсумки використовуємо в розрахунках складів і обладнання для приготування сумішей.

Таблиця 2.18 - Витрата формувальної суміші

Характеристика лиття	Вага лиття, в кг	Витрата суміші на 1 т	Кількість виливків, т	Загальна витрата з урахуванням втрат
Дрібне				
Середнє				
Разом				

Вибір матеріалу для виробництва стрижнів

Для виготовлення стрижнів застосовується холоднотверднуча суміш Cold-box-амін-процес Склад стрижневої суміші наведено в таблиці 2.19.

Загальну річну витрату єдиних формувальних сумішей визначаємо виходячи з масової групи. Ці дані наведені в таблиці 2.20.

Таблиця 2.19 - Склад і властивості холоднотвердіючої суміші Cold-box-амін-процес

Найменування суміші	Кількість, % за масою			
	Кварцового піску	Смола БС 40 (рідкий стан);	Поліізоціанат (рідкий стан)	Амін (газоподібний стан)
ХТС				

Витрата стрижневої суміші, складеної за основними компонентами, представлена в таблиці 2..20

Таблиця 2.20 - Річна витрата стрижневої суміші

Групи стрижнів за масою, кг	Групи виливків за масою, кг			Річна кількість стрижнів, шт	Маса суміші з урахуванням втрат (20%), т

Разом					

2.5.2 Вибір обладнання для виробництва сумішей

Процес приготування високоякісних формувальних і стрижневих сумішей у змішувальних бігунах є строго регламентованою послідовністю механічних та фізико-хімічних операцій. Головною метою цього етапу є досягнення абсолютної гомогенізації компонентів, рівномірного розподілу зв'язувальних речовин по поверхні зерен вогнетривкого наповнювача та формування заданого комплексу технологічних властивостей готової суміші.

Змішувальний цикл реалізується у наступній дискретній послідовності:

1. Автоматичне зважування та відмірювання сухих і рідких компонентів (включаючи воду, синтетичні смоли та технологічні добавки) за допомогою вагових та об'ємних дозаторів відповідно до затвердженої рецептури.

2. Введення матеріалів у чашу змішувальних бігунів у строго визначеному порядку. Для піщано-глинистих сумішей спочатку завантажують сухі зернисті матеріали та глинисту складову, проводять їх попереднє сухе перемішування, після чого порційно вводять воду та рідкі сполучні. Така послідовність необхідна для правильної гідратації бентоніту та утворення пластичних оболонок навколо кварцових зерен.

3. Динамічна обробка маси під дією вертикальних ковзаючих катків та лемішів бігунів, де відбувається циклічне стиснення, зсув та розпушення суміші.

Залежно від функціонального призначення ливарних форм та умов їх термічної взаємодії з розплавом, базовий склад сумішей кардинально диференціюється за типом тримального наповнювача:

– Основним об'ємним компонентом є оборотна (гаряча/відпрацьована) суміш, частка якої у загальному об'ємі завалки становить від 85% до 95%. Свіжий кварцовий пісок та бентоніт вводяться в мінімальних кількостях лише для компенсації вигорання активної глини та відновлення зернового складу.

– Стрижневі суміші (зокрема для Cold-box-amin-процесу): Базовим структурним компонентом виступає сухий, класифікований свіжий кварцовий пісок високої чистоти. Оборотна суміш у цьому контурі не використовується через жорсткі вимоги до мінімального вмісту пилоподібних фракцій, оскільки глинистий шлам миттєво абсорбує дорогі рідкі смоли та полізоціанати, блокуючи реакцію їх каталітичної полімеризації.

Сумішлприготувальне відділення випускає тільки один вид суміші, але є можливість змінювати її склад. Для єдиної формувальної суміші у відділенні встановлений вихровий змішувач моделі S1420D у складі автоматизованого Сумішлприготувального комплексу. Призначений для роботи в цехах з серійним і масовим характером виробництва і оснащений вихровим змішувачем, комплектом дозаторів компонентів суміші, комплектом приладів автоматичного контролю властивостей суміші, програмним забезпеченням, що забезпечує роботу комплексу в автоматичному і налагоджувальному режимі, збір і облік статистичних параметрів приготованої суміші.

Вихрове змішування відрізняється високими лінійними і обертальними швидкостями руху частинок наповнювача. Розподіл сполучного в обсязі суміші і по поверхні зерен наповнювача відбувається під впливом високих динамічних енергій, що створюються вихровою головою.

Інтенсивний різноспрямований поступально-обертальний рух всієї суміші, її мікрооб'ємів і кожної окремої частинки забезпечує отримання високоякісної суміші, що відрізняється високим ступенем гомогенності і бездоганим покриттям

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.02 РВ	Анк
Змк	Анк	№ док-м	Підпис	Дат.		42

кожного зерна. Високі швидкості руху зерен і безперервне зіткнення частинок призводять до так званої механічної активації сполучного комплексу, забезпечуючи тим самим підвищення міцності суміші.

Безперервна аерація суміші під час перемішування покращує її формованість і ущільнюваність, дозволяє готувати високоміцні суміші до 2 МПа практично при збереженні продуктивності змішувача.

Встановлюємо змішувач вихровий китайського виробництва моделі S1420D періодичної дії.

Таблиця 2.21 - Характеристика змішувача моделі S1420D

Продуктивність, т/год	
Тип змішувача	Вихровий
Потужність головки, кВт	2 Ч 18,5
Встановлена потужність, кВт	
Режим роботи	Налагоджувальний, автоматичний
Тип суміші, що готується	Формовочна піщано-глиниста
Діаметр чаші, мм	
Маса, кг	

Для приготування стрижневої суміші будемо використовувати змішувач фірми "Laemre". Змішувач складається з трьох основних вузлів: чаші, змішувального елемента і вузла очищення змішувача.

Таблиця 2.22 - Характеристика змішувача моделі LM 9.2

Продуктивність, т/год	
Тип змішувача	Лопатевий періодичної дії
Потужність головки, кВт	2 Ч 18,5
Встановлена потужність, кВт	
Режим роботи	Налагоджувальний, автоматичний
Тип суміші, що готується	Формовочна піщано-глиниста
Діаметр чаші, мм	
Маса, кг	

2.5.3 Розрахунок необхідної кількості обладнання

Кількість змішувачів для ПГС

$$P_p = P_u \cdot K_u, = 30 \cdot 0,75 = 22,5 \text{ т/ч ;}$$

$$P_1 = \frac{114623 \cdot 1,2}{3890 \cdot 22,5} = 1,7 \text{ шт.}$$

Встановлюємо два змішувачі вихрові для ПГС і знаходимо коефіцієнт завантаження:

$$K_3 = \frac{1,7}{2} = 0,85 \text{ \%}.$$

Кількість змішувачів для стрижневої суміші

$$P_p = P_u \cdot K_u, = 9,2 \cdot 0,75 = 6,9 \text{ т/ч ;}$$

Встановлюємо один змішувач для приготування стрижневої суміші і знаходимо коефіцієнт завантаження:

$$K_3 = \frac{0,84}{1} = 0,84 \text{ \%}.$$

2.5.4 Розрахунок систем механічної регенерації

Система регенерації вибираємо механічну.

Суміш від дільниці вибивання до дільниці регенерації доставляється стрічковим транспортером.

Технічні характеристики систем механічної регенерації представлені в таблиці 2.23.

Таблиця 2.23 - Технічна характеристика систем механічної регенерації

Продуктивність з переробки використовуваної суміші, т/год	
Витрата електроенергії, кВт/год	
Кількість, тис. м ³ /год: відсмоктуваного повітря води, що знаходиться в обороті	

Розрахунок систем механічної регенерації 14315 проводиться за формулою:

$$P_p = P_u \cdot K_u, = 60 \cdot 0,85 = 51 \text{ т/ч ;}$$

$$N = \frac{133613,5 \cdot 1,2}{3890 \cdot 51} = 0,8 \text{ шт.}$$

Округляючи отримане число систем регенерації до цілого $N=1$, знаходимо дійсний коефіцієнт завантаження обладнання:

$$K_3 = \frac{0,8}{1} = 0,8 \text{ \%}$$

Приймаємо до установки в сумішоприготувальному відділенні одну систему механічної регенерації.

2.5.5 Визначення площ змішувального відділення

Проектування просторової архітектури сумішоприготувального (змішувального) відділення базується на оптимізації транспортно-технологічних потоків масових матеріалів, забезпеченні умов безпечної експлуатації великогабаритних агрегатів та організації оперативного метрологічного контролю.

Фактори, що визначають корисну площу відділення:

- Робочі зони та габарити обладнання: просторові ділянки, безпосередньо зайняті змішувальними бігунами, автоматичними ваговими та об'ємними дозаторами, розподільчими конвеєрами, а також підсилюсними галереями видаткових бункерів свіжих матеріалів та оборотної суміші.

- Логістичні комунікації: нормативні ширини цехових проїздів для функціонування обслуговуючого транспорту та вільні проходи, що гарантують безпечний доступ до вузлів техобслуговування (ППР) згідно з вимогами охорони праці та промислової санітарії.

Для забезпечення високої стабільності реологічних властивостей формувальних і стрижневих мас в умовах інтенсивного автоматизованого

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.02 РВ	ДНК
Змк	ДНК	№ докум	Підпис	Дат		48

виробництва, безпосередньо в межах просторового контуру змішувального відділення інтегровано експрес-лабораторію.

Таке планувальне рішення дозволяє:

1. Здійснювати миттєвий відбір проб суміші безпосередньо на виході з чаші бігунів або високошвидкісних змішувачів.
2. Оперативно визначати поточні показники вологості, міцності на стиск у вологому стані та газопроникності, передаючи цифрові дані в АСУ ТП змішувального комплексу для автоматичного коригування дози води чи бентоніту в наступному замісі.

На основі детального планування та взаємного ув'язування габаритів змішувальних комплексів, бункерних естакад, лабораторного боксу та нормативних зон безпеки, загальна площа сумішоприготувального відділення цеху прийнята й затверджена на рівні 216 м². Даний просторовий фонд повністю забезпечує технологічну гнучкість та автономність підготовки ливарних мас для потреб формування.

2.6 Проектування відділення очищення, обрубки, термообробки та здачі лиття

2.6.1 Розрахунок необхідного обладнання

Ливарні заготовки після екстракції з піщано-глинистих матриць проходять регламентований за часом цикл первинного охолодження, після чого транспортуються до термообрубного відділення цеху. Функціональним призначенням цього підрозділу є проведення комплексу фінішних, термічних та контрольних операцій, спрямованих на гомогенізацію фазової структури металу, досягнення заданого рівня фізико-механічних властивостей та формування кондиційного товарного вигляду заготовок перед їх передачею споживачу.

Послідовність, числові параметри та специфіка реалізації фінішних операцій

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.02 РВ	ДНК
Змч	ДНК	№ док.м	Підпис	Дз-		46

не є універсальними і детермінуються індивідуально для кожної номенклатурної групи деталей на основі аналізу таких інженерних факторів:

- клас ливарного сплаву: визначає схильність сталі (25Л, 35Л) до утворення тріщин, наклепу, а також диктує конкретні режими термічної обробки та критичні температури вогневого різання.
- масогабаритні характеристики: маса та лінійні розміри виливка, що визначають тип підйомно-транспортного устаткування та місткість очисних агрегатів.
- конфігураційна складність: наявність внутрішніх кишень, розгалужених порожнин та глибоких отворів, що потребують спеціалізованих інструментів для видалення стрижневих залишків.

Для забезпечення максимальної продуктивності та поточності виробництва в термообрубному відділенні впроваджено сувору технологічну послідовність операцій, яку розділено на три базові етапи:

Первинне та фінішне очищення зовнішнього профілю виливків від залишків формувальної суміші, хімічного та механічного пригару, а також видалення окалини після завершення циклу нормалізації реалізується механізованим способом.

Для більшої частини середньосерійної номенклатури деталей проектом передбачено впровадження дробеметних барабанів періодичної дії. Експлуатація агрегатів цього типу забезпечує:

- високу інтенсивність обробки: за рахунок циклічного перекочування (галтування) виливків на гумовій чи металевій стрічці під безперервним високошвидкісним факелом металевого дробу, що викидається турбінами.
- ефективність очищення складної геометрії: повне видалення пригару з важкодоступних поверхонь та радіусів переходу завдяки постійній зміні просторового орієнтування заготовок у процесі обробки.

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.02 РВ	ДНК
ЗМЧ	ДНК	№ докум	Підпис	Дат		47

– автоматизацію циклу: можливість точного налаштування часу експозиції та автоматичного вивантаження очищених деталей на приймальні конвеєри обрубної лінії.

Таблиця 2.24 - Технічна характеристика очисних барабанів періодичної дії

Технічна характеристика		
Призначення	Вибивання, очищення	Вибивання, очищення
Об'єм завантаження, м ³		
Найбільша маса завантаження барабана, кг		
Продуктивність т/год		
Найбільша маса очищуваного виробу, кг		
Найбільша об'ємна діагональ очищуваного виробу, мм.		
Маса дробу, що викидається дробеметними апаратами, кг/хв.		
Об'єм відсмоктуваного повітря, м ³ /год		
Габарити, мм: - довжина (L) - ширина (B) - загальна висота (H) - заглиблення	-	-

Розрахунок кількості барабанів 42233:

$$P_p = P_u \cdot K_u, = 4,8 \cdot 0,75 = 3,6 \text{ т/ч};$$

$$N = \frac{6571 \cdot 1,2}{3890 \cdot 3,6} = 0,56 \text{ шт.}$$

Округляючи отримане число до цілого N=1, знаходимо дійсний коефіцієнт завантаження обладнання:

$$K_3 = \frac{0,56}{1} = 0,56 \%$$

Приймаємо 1 очисний дробеметний барабан періодичної дії моделі 42233.

Розрахунок кількості барабанів 42236:

$$П_p = П_u \cdot K_u, = 9,0 \cdot 0,75 = 6,7 \text{ т/ч};$$

$$N = \frac{11433 \cdot 1,2}{3890 \cdot 6,7} = 0,52 \text{ шт.}$$

Округляючи отримане число до цілого N=1, знаходимо дійсний коефіцієнт завантаження обладнання:

$$K_3 = \frac{0,52}{1} = 0,52 \%$$

Залишки від ливників, випорів, вирубка дефектів для заварювання, технологічних ребер у виливках зі сталі виконують пневматичними рубальними молотками з зубилами (моделі МР-4, МР-5, МР-6) або повітряно-дуговим різанням, або за допомогою механічних різьблених інструментів типу «болгарки».

Для зачищення виливків від задирок, заливів, перекосів і нерівностей, а також поверхонь виливків (ужимин, пригарів, місць зварювання тощо) застосовують абразивний механізований інструмент, підвісні верстати.

В якості зачисних верстатів використовуються обдирочно-шліфувальні верстати моделі 3374К.

Далі очищення виливків здійснюється в очисних дробеметних барабанах. Технічна характеристика барабана наведена в таблиці 2.24.

Наступним етапом фінішного циклу є термічна обробка сталевих заготовок. Проведення цієї технологічної операції є критично важливим для литих заготовок, оскільки нерівномірне охолодження металу в піщаній формі призводить до

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.02 РВ	ДНК
Змк	ДНК	№ докум	Підпис	Дат		49

утворення крупнозернистої, відносно крихкої та структурно неоднорідної макроструктури (структури Відманштеттена), яка не задовольняє вимогам надійності.

Фундаментальні цілі термічної обробки сталевих литва:

- повне зняття внутрішніх термічних та фазових макронапружень, які виникають у процесі нерівномірного охолодження виливка у формі та під час наступного вогневого відрізання елементів ливниково-живильної системи. Це мінімізує ризики жолоблення (деформації) деталей при подальшому зберіганні та експлуатації.

- перебудова кристалічної матриці та зниження мікротвердості до оптимальних меж, що суттєво покращує показники оброблюваності заготовок на металорізальних верстатах (фрезерування, свердління, точіння) у механообробному цеху, знижує знос інструменту та підвищує чистоту обробленої поверхні.

- гомогенізація хімічного складу, подрібнення спадкового аустенітного зерна та перетворення литої структури на рівноважну перліто-феритну матрицю.

- забезпечення нормативних показників міцності, пластичності та ударної в'язкості відповідно до вимог конструкторської документації.

При розробці планувальних та конструкторських рішень для термообробного відділення сталеливарного цеху, вибір типів термічних печей (камерних, шахтних чи прохідних) та конкретних режимів термообробки (відпал, нормалізація, гартування з відпуском) призначають диференційовано.

Матриця режимів детермінується на основі технічних умов (ТУ), державних стандартів (зокрема, ГОСТ 977-88 для сталевих литва) та експлуатаційного призначення деталей-представників.

Для середньовуглецевих сталей (марок 25Л, 35Л), передбачених програмою проєктованого цеху, як базовий режим регламентується нормалізація (або

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.02 РВ	ДНК
Змк	ДНК	№ докум	Підпис	Дат		50

нормалізація з наступним високим відпуском), що забезпечує найкраще співвідношення між високою продуктивністю термічного відділення та механічною міцністю готових деталей.

Встановимо печі термічні з вкатним подом і газовим нагріванням компанії "Керамаш"

Особливості печей:

- мінімальні витрати газу та електроенергії на термообробку;
- автоматизація процесу термообробки і нагріву;
- повна відповідність печей всім вимогам промислової безпеки;
- низькі витрати на технічне обслуговування.

Таблиця 2.25 - Технічна характеристика камерної термічної печі з висувним подом моделі Термогаз К-24.30.10/1150

Т _{макс} , °С	Робочий простір, (довжина*ширина*висота) мм	Корисне навантаження на під, т	Кількість/потуж- ність пальників, шт/кВт	Маса печі, кг
	3000*47,5*1000*2,500			

Розрахунок продуктивності печі:

$$P = \frac{m}{t},$$

де m - садка печі, т;- тривалість циклу обробки виливків, год.

$$P = \frac{84,3}{18} = 4,7 \text{ т/ч.}$$

Розрахунок кількості печей для термообробки

$$P_p = P_u \cdot K_u, = 4,7 \cdot 0,75 = 3,5 \text{ т/ч};$$

$$N = \frac{18000 \cdot 1,1}{3850 \cdot 3,5} = 1,5 \text{ шт.}$$

$$K_3 = \frac{1,5}{2} = 0,75 \text{ \%}.$$

Кількість печей приймаємо рівною двом.

2.6.2 Визначення площі термообрубного відділення

Проектування просторових меж та внутрішнього планування очисної ділянки (як структурного компонента загального термообрубного комплексу) базується на забезпеченні безперервного потоку литих заготовок, мінімізації зворотних логістичних петель та раціональному розміщенні високопродуктивних очисних агрегатів.

Фактори, що детермінують корисну площу ділянки: габаритні контури дробеметних барабанів періодичної дії, камер галтування, гідропіскоочисних установок, пускових шаф, а також робочих зон операторів та ділянок проміжного накопичення литва перед завантаженням; просторові зони інтеграції пластинчастих конвеєрів, роликів столів (рольгангів), підвісних монорейкових шляхів, а також траєкторії маневрування цехових автотранспортувачів; нормативні ширини магістральних проїздів і пішохідних проходів, що розраховані відповідно до вимог охорони праці, промислової безпеки та пожежної охорони.

На основі детального графічного компонування обладнання, з урахуванням габаритних розмірів дробеметних комплексів та нормативних зазорів для їх технічного обслуговування (ППР), розрахункова корисна площа очисної ділянки цеху прийнята і затверджена на рівні 432 м². Даний просторовий фонд гарантує високу пропускну здатність контуру фінішного оброблення в режимі заданої серійності виробництва.

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.02 РВ	ДНК
Змк	ДНК	№ док-м	Підпис	Д-р		52

2.7 Складське господарство

Всі формувальні та шихтові матеріали зберігаються в закритих приміщеннях (формувальні матеріали при температурі не нижче $+5^{\circ}\text{C}$), приміщення для зберігання шихтових матеріалів не опалюються.

Формовочні піски зберігаються в залізобетонних засіках, заглиблених в землю на 2,5 м. Глина зберігається в металевих ємностях.

Формовочні матеріали зберігаються на складі 3 місяці в засіках площею: 170 м^2 для піску, $62,25\text{ м}^2$ для глини.

Сталь і лом зберігаються на майданчиках, відходи сталевих сплавів зберігаються в металевих бункерах, що закриваються.

Вогнетриви зберігаються в закритих холодних контейнерах, пакетах або штабелях на мощених майданчиках.

Для сушіння піску і глини на складі передбачається діляниця, обладнана барабанним сушилом. Основне паливо - природний газ. Барабанне сушило виконано з паралельним попутним рухом топкових газів і просушеного матеріалу. Гарячі гази стикаються з більш вологим піском і тому зерна піску і глинисті складові будуть захищені від перегріву.

Таблиця 2.26 - Характеристика барабанної сушарки

Діаметр барабана, м	
Продуктивність по піску, при початковій вологості 10%, кінцевій вологості 0,5 т/год	
Довжина корпусу барабана, мм	
Кут нахилу корпусу барабана до горизонту, град	
Частота обертання барабана, об/хв.	
Потужність двигуна, кВт	
Об'єм корпусу барабана, м^3	
Маса, кг	
Матеріал корпусу барабана	Сталь 09Г2С, товщина 8-10 мм
Привід обертання	Цевочне колесо, вальний

	привід
--	--------

Таблиця 2.27 - Характеристика електровагового візка

Показники	Тип візка
	71ЕВТ-3

× 2300× 2300

р

× 1550× 1550

а

Таблиця 2.28- характеристика полігонального сита моделі 174М

Н

И

ч

н

е

Продуктивність, м ³ /год	Розміри отворів полотна сита, мм	Габаритні розміри, мм	Вага , т	Встановлена потужність, кВт

2.8 Взаємозв'язок проектного цеху за відділеннями

н Транспортна система проектного ливарного цеху інтегрована в загальнозаводську логістичну інфраструктуру підприємства та забезпечує безперервну, ритмічну доставку масових сипучих матеріалів, енергоносіїв, шихти, а також внутрішньоцехове переміщення напівфабрикатів і готової продукції.

н Доставка первинних шихтових матеріалів (сталевого брухту, регенерату, феросплавів, коксу) та великогабаритних вантажів у цех здійснюється через розвинену мережу залізничних колій підприємства безпосередньо до закритих естакад ділянки підготовки шихти.

е Подача свіжих кварцових пісків, бентоніту та меленого вугілля з базисного загальнозаводського складу до видаткових силосів сумішеприготувального відділення реалізується за допомогою замкненої системи пневмотранспорту (для дрібнодисперсних матеріалів) та паралельних стрічкових конвеєрів (для вогнетривкого наповнювача). Це повністю виключає пилоутворення та втрати сировини при транспортуванні.

т Взаємодія між основними заготівельними, формотворчими та фінішними підрозділами цеху базується на розведенні матеріальних потоків та використанні

Г

спеціалізованих підйомно-транспортних засобів:

Готові кондиційні стрижні після Cold-box-amin-процесу та контролю ВТК доставляються зі стрижневого прольоту до дільниці збирання та спарювання АФЛ у формувальному відділенні за допомогою підвісного вантажобічного конвеєра. Це гарантує збереження цілісності складних стрижневих систем та мінімізує динамічні удари.

Екстрактовані та первинно охолоджені сталеві заготовки за допомогою автоматизованого рейкового передавального візка направляються за найкоротшою траєкторією до термообрубного відділення цеху для проведення фінішних та термічних операцій.

Повернені відходи виробництва диференціюються за типом:

- металеві відходи (елементи ливникових систем, випори, прибутки після обрізки та технологічний брак) зворотно транспортуються на дільницю підготовки шихти (шихтовий двір) для повторного переплавлення в ДППТ;
- деструктована горіла суміш після вибровибивання вловлюється нижніми збірними бункерами і через систему підземних конвеєрів надходить до цехової дільниці регенерації для відновлення зернового складу та повторного повернення у сумішеприготувальний контур.

3. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ДЕТАЛІ ТА ВИМОГИ ДО НЕЇ

3.1 Характеристика деталі, її призначення та умови експлуатації

Деталь "Кришка" являє собою ступінчастий циліндр, діаметром 500 мм. Циліндр має внутрішню порожнину діаметром 280 мм і глибиною 202 мм. У денці циліндра розташовані 2 наскрізні отвори діаметром 85 мм, відстань між центрами яких 155 мм. На фланці завтовшки 75 мм розташовані 12 отворів діаметром 41 мм. Лита деталь "Кришка" представлена на рис 3.1.

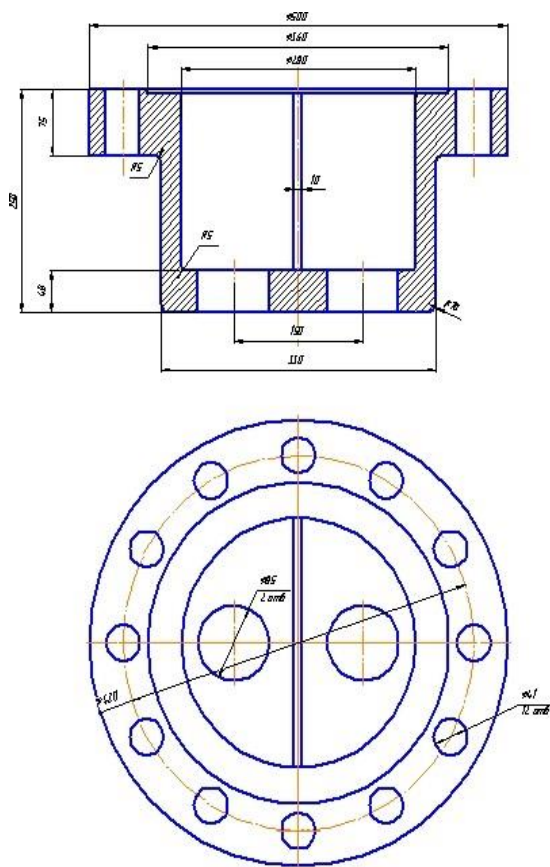


Рис. 3.1. Лита деталь "Кришка"

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.03 АК		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ДЕТАЛІ ТА ВИМОГИ ДО НЕЇ		
Розроб.		Степаненко В.О.					
Перевір.		Сайтгарежєв Л.Н.			Літ.	Арк.	Акрушів
						1	21
Н. Контр.		Сайтгарежєв Л.Н.			МТ-23-1ск		
Затверд.		Бабошко Д.Ю.					

Вибір матеріалу виливка

Лита деталь "Кришка" під час роботи зазнає середніх статичних і динамічних навантажень, тому доцільно виготовити її з нелегованої конструкційної сталі 25Л, яку піддають термообробці: нормалізація 860-880 °С, відпуск 600-630 °С. Сталь цієї марки має такі властивості: Або ж с чавуну

Обґрунтування способу отримання виливки

Під час вибору способу отримання виливки необхідно співвідносити можливості кожного способу лиття і вимоги, які висувають до литого виробу: розмірна точність, шорсткість поверхні, механічні та експлуатаційні властивості, структура виливки, допустимі дефекти.

Литий виріб "Кришка" має масу 116 кг і габаритні розміри 500× 250 мм. Необхідна розмірна точність - 14 квалітет, чистота поверхні - R_a10 мкм.

Ці вимоги можуть бути забезпечені такими способами лиття: литтям у кокіль, литтям у керамічні форми, литтям за виплавлюваними моделями, литтям у піщано-глинисті форми. Оскільки весь виливок підлягає механічній обробці, його недоцільно отримувати литтям у кокіль через відносно низьку стійкість кокілів. Литтям у керамічні форми і литтям за виплавлюваними моделями можна отримувати складні виливки практично з будь-яких сплавів. При цьому досягається висока геометрична і розмірна точність виробу, чиста поверхня за мінімальних припусків на механічну обробку. Однак виготовлення виливки "Кришка" в керамічній формі та ЛВМ призведе до підвищеної витрати формувальних матеріалів, що, своєю чергою, призведе до підвищення витрат на виробництво, а отже, до підвищення собівартості лиття. Завдяки низькій собівартості, універсальності процесу, швидкій підготовці виробництва, а також з огляду на те, що до виливки не висувають особливих технологічних вимог, а також

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.03 АК	ДНК
Змк	ДНК	№ докум	Підпис	Дат		2

через високу шорсткість поверхні R_{a10} мкм, раціонально вибрати гравітаційне лиття в піщано-глинисті форми.

Оцінка технологічності литої деталі. Визначення групи складності

Технологічною називають таку конструкцію виробу або складових її елементів (деталей, вузлів, механізмів), яка забезпечує адані експлуатаційні властивості продукції і дає змогу при даній серійності виготовляти її з найменшими витратами.

Основними показниками, що дають змогу оцінити технологічність конструкції виливків, є:

коефіцієнт використання матеріалу (КВМ)

К

Де $Q_{(дет)}$ (.)- маса готової деталі, кг; И

(р) м) (- маса металу, що витрачається для отримання однієї литої заготовки, кг.

$$\frac{Q_{дет.}}{Q_{р.м.}} \times 100\%$$

На початкових стадіях проєктування

К

коефіцієнт необроблюваних поверхонь (КНП)

М К

Де S_n - площа необроблюваних поверхонь, м²;

$S_{от}$ П

площа поверхонь усієї виливки, м². $\frac{S_n}{S_{от}} \times 100\%$ К

Н

Крім цих показників для кількісної оцінки технологічності конструкції виливки використовують такі критерії:

коефіцієнт конструктивної складності

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.03 АК	Друк
						3
Змк	Друк	№ докум	Підпис	Дат		

$$0 \leq \mu \leq 1$$

Цей виливок може бути вписаний у габаритний циліндр, тоді

$$\mu = 2 - \delta_{\text{пр.}} \cdot (1/R + 1/l); \quad (4)$$

де R - радіус габаритного циліндра, м;

- довжина твірної габаритного циліндра, м;

$$\delta_{\text{пр.}} = \frac{V_{\text{ом}}}{S_{\text{ом}}} = \frac{Q_{\text{ом}}}{\rho S_{\text{ом}}}$$

$V_{\text{ом}}$ - об'єм відливки, м^3 ; $S_{\text{ом}}$ - площа поверхні відливки, м^2 ; $Q_{\text{ом}}$ - маса відливки, кг;

ρ - густина матеріалу виливки, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$$\delta_{\text{пр.}} = 0,01617 / 7,1 \times 0,023835 = 2,6 / 0,311 = 0,0071 \text{ м};$$

μ

-коефіцієнт габаритності

$$K_v = \frac{V_{\text{габ}}}{Q_{\text{ом}}}, \frac{\text{дм}^3}{\text{кг}}$$

Де $V_{\text{габ}}$ - об'єм габаритного тіла описаного за габаритними розмірами виливки, дм^3

$Q_{\text{ом}}$ - маса виливки, кг.

Чим менше коефіцієнт габаритності, тим технологічно раціональніша конструкція виливки.

$$\frac{\text{дм}^3}{\text{кг}}$$

-коефіцієнт точності обробки

K

де $IT_{\text{ср}}$ - середній квалітет точності обробки

$$IT_{\text{ср}} = \Sigma(IT_i \times n_i) / n_{\Sigma} = 14 \quad (8)$$

де IT_i - квалітет точності;

n_i

кількість розмірів, що мають точність відповідного квалітету;

n_{Σ} - загальна кількість взятих до уваги розмірів деталі.

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.03 АК	Анк
						5
Змч	Анк	№ докум	Підпис	Дат		

-коефіцієнт шорсткості поверхні

K

де $R_{\text{аср}}$ - середнє числове значення параметра шорсткості поверхні для всіх оброблюваних поверхонь, мкм.

$$a_{cp} = \sum (R_{ai} \times m_i) m_{\Sigma} = 10 \quad (10)$$

де R_{ai} - числове значення параметра шорсткості поверхні, мкм;

кількість поверхонь, що мають відповідну шорсткість;

Σ - загальна кількість, взятих до уваги поверхонь.

Значення коефіцієнтів точності обробки і шорсткості поверхні представлені в табл.

Таблиця 3.1 - Технологічна характеристика деталі "Кришка"

Поверхня оформлення	Квалітет точності	Шорсткість поверхні R_a , мкм
	<i>IT14</i>	10
Діаметр		
500	14	10
420	14	10
360	14	10
330	14	10
280	14	10
85	14	10
41	14	10
Лінійний розмір		
250	14	10
155	14	10
75	14	10
48	14	10
5	14	10
110	14	10
75	14	10
45	14	10
32	14	10
25	14	10
Фаска		
10×45°	14	10
5×45°	14	10
Разом:		
n, m	19	19
$IT_i \times n_i$	266	-
$R_{ai} \times m_i$	-	190
	$IT_{cp}=14$	$R_{acp}=10$
	$K_{т.ч}=0,92$	$K_{ш}=0,83$

Враховуючи отримані значення коефіцієнтів можна зробити висновок, що конструкція цього виливка низько-технологічна.

Групу складності виливків, виготовлених литтям у ПГФ, визначають за

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.03 АК	ДНК
Зм.	ДНК	№ докум.	Підпис	Дат.		
						6

десятьма класифікаційними ознаками. Аналіз цих ознак наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Група складності виливки

Основні ознаки складності	Групи складності
1) Конфігурація поверхні	1
2) За масою	2
3) За максимальним габаритним розміром	1
4) За товщиною основних стінок	1
5) Характеристика виступів, ребер, заглиблень, отворів	1
6) Кількість від'ємних частин моделі	1
7) Кількість стрижнів у формі	2
Характеристика мех. обробки литої деталі і наявність вимог щодо шорсткості обробки поверхонь	2
9) Група за призначенням	1
10) Особливі технічні вимоги	1

За сукупністю представлених у табл. 3 класифікаційних ознак груп складності, можна зробити висновок, що ця конструкція виливки належить до 1 групи складності.

Вибір положення виливки у формі

Під час вибору положення виливки у формі під час заливки і затвердіння основними правилами є забезпечення гарного живлення і отримання виливки без усадочних і газових раковин.

Положення виливки у формі залежить від вимог, що висуваються до виливки за щільністю металу і шорсткістю поверхонь. У даному виливку $L/B > 1$, характеризується своєю протяжністю порівняно з шириною, має плоску поверхню, виходячи з цього доцільно використовувати форму з горизонтальним роз'ємом.

При розташуванні виливки в нижній напівформі, зростає геометрична точність виливки, зменшується можливість появи ливарних дефектів. З урахуванням цього,

а також конструкції та параметрів виливки слід розташувати її в нижній напівформі (Рис. 3.2.).

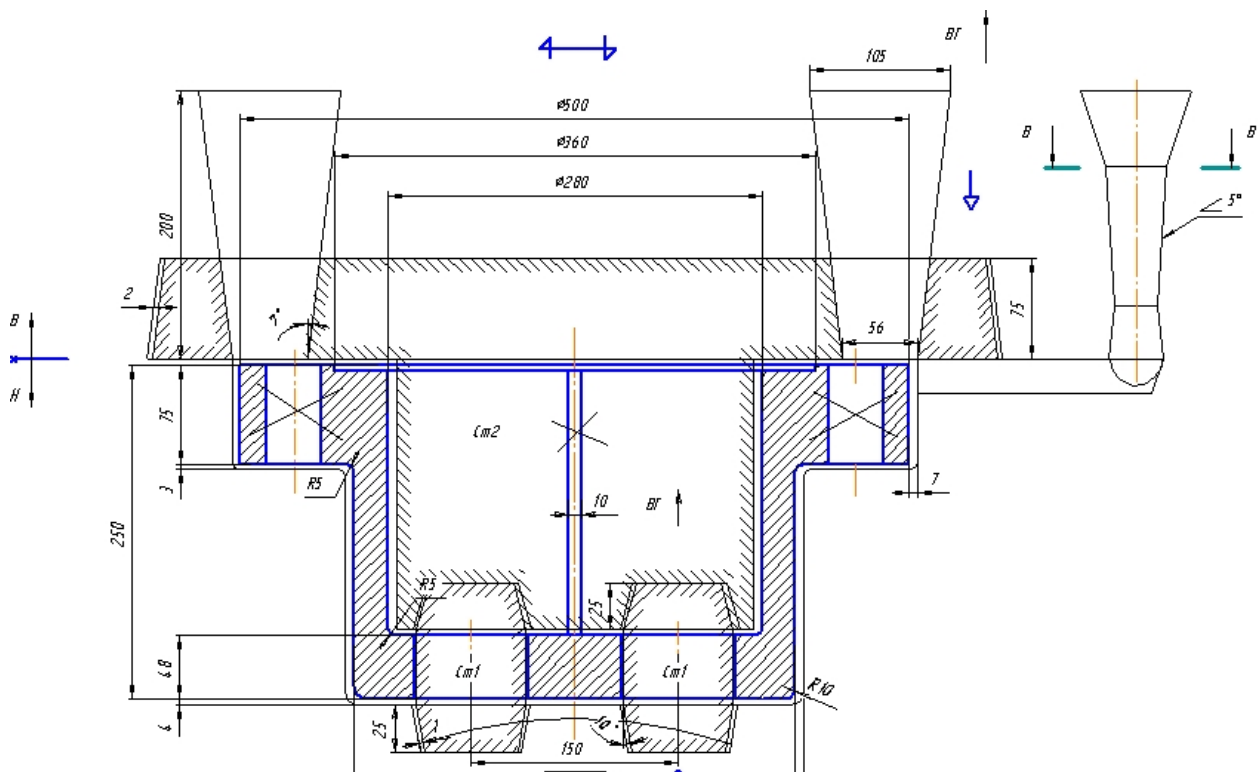


Рис. 3.2. Положення виливки у формі

Число і конструкція стрижнів

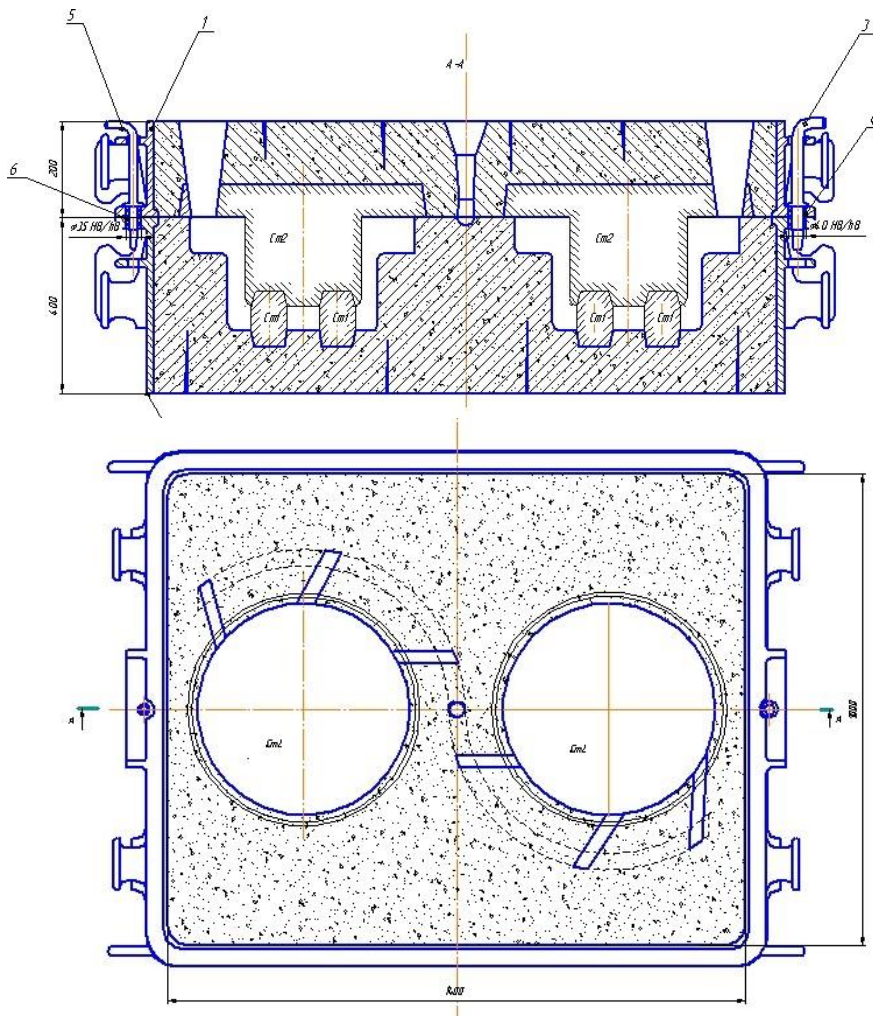
Стрижні, як правило, ставлять у форму після сушіння, щоб збільшити їхню міцність і зменшити газоутворення. Точність фіксації стрижня у формі забезпечується розмірами і конфігурацією його знакових частин, які призначають за ДСТУ 3212-92 з врахуванням розмірів стрижня, способу формування і його положення у формі. Конструкцію і розміри стрижня представлено на рисунку 3.2. Цей стрижень за ступенем складності належить до 4 класу складності - стрижні, що мають нескладну форму з відносно великими стрижневими знаками, застосовуються для оформлення оброблюваних і необроблюваних поверхонь. Для унеможливлення спливання стрижня під час

залівки, він має посилений стрижневий знак. Конструкція стрижня представлена на рис 3.2. .

Визначення кількості виливків у формі. Визначення розмірів опоки

З огляду на габаритні розміри, а також конфігурацію виливки, приймаємо кількість виливків у формі, що дорівнює 2 шт.

Щоб розташувати модель в опоках, потрібно передбачити місце для ливникової системи, а також визначити відстані між моделлю і опокою, моделлю і ливниковою системою. Відстань від моделі або ливникової системи до бічної стінки опоки для середніх виливків становить 100 мм, шар суміші над моделлю - 100 мм, відстань від нижнього знака стрижня до низу опоки - 80 мм.



Згідно з ГОСТ 14985-69 приймаємо 2 суцільнолиті сталеві прямокутні опоки з розмірами у світлі 1400×1000×400 (0272-0169) і 1400×1000×200 (0161).

Виходячи з обраної опоки, згідно з ГОСТ 20118-74, приймаємо модельну

П

Л

Призначення припусків на механічну обробку, визначення формувальних ухилів

Допуск розміру виливки вибирають залежно від номінальних розмірів виливки відповідно до обраного класу розмірної точності, а також залежно від розташування елемента виливки в ливарній формі. Припуски на механічну обробку визначаємо відповідно до ГОСТ 26645-85 (табл. 2.4). За ГОСТ 3212-92 приймаємо формувальні ухили для металевих моделей 0°45'

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.03 АК	ДНК
Змч	ДНК	№ докум	Підпис	Дат		10

Таблиця 3.4 - Припуски на механічну обробку

Послідовність призначення	Оброблювані різанням поверхні виливки					
	A	B	C	D	E	F
Номинальний розмір від бази до оброблюваної поверхні, мм	Ø 85	Ø280	Ø 330	Ø 500	250	75
Вид розміру ВР	1	2	1	1	1	1
Клас точності розміру КР	11	11	11	11	11	11
Допуск розміру виливки	4,4	6,4	6,4	7	5,6	4,4
Допуск форми поверхні (від викривлення):	48	202	175	75	280	220
ном. розмір нормованої ділянки, мм	5	5	5	5	4	5
ступінь викривлення елемента виливки	0,32	0,64	0,5	0,32	0,64	0,64
Ске допуск форми Тф, мм	-	25	-	-	-	-
Допуск зміщення, спричиненого переко- сом стрижня (п. 2.8 ГОСТ 26645-85): ро- змір найтоншої стінки, що формується за участю стрижня, мм	-	11т	-	-	-	-
клас точності розміру КР допуск зміщен- ня Тсм, мм	-	2,4	-	-	-	-
Допуск: розмір базової поверхні, мм	-	330	500	330	-	-
вид розміру ВР клас точності розмі- ру КР	-	2	1	1	-	-
допуски розмірів від бази То, мм позицій- ний допуск Тпоз, мм	-	11	11	11	-	-
	-	6,4	7	6,4	-	-
	-	3,2	3,5	3,2	-	-
Загальний допуск То.общ, мм	5	10	10	10	6,4	4,4
Загальний допуск при призначенні припуску То.общ, мм	2,5	5	5	5	3,2	2,2
Вид механічної обробки: Допуск розміру деталі від бази Тд. мм Відношення Тд/Тотл Відношення Тф.д/Тф.відл	4,4	6,4	6,4	7	5,6	4,4
Вид остаточної механічної обробки повер- хні	0,88	0,64	0,64	0,7	0,88	1
	-	-	-	-	-	-
	Чорнова	Чорнова	Чорнова	Чорнова	Чорнова	Чорнова

Ряд припусків РП	9	9	9	9	9	9
Загальний припуск Зообщ, мм	2,9	13	13	13	3,1	2,7
Розмір виливки, мм	82,1	267	343	513	253,1	77,7
Поле допуску	±5	±8	±8	±8	±6,4	±5

Вибір типу ливниково-живильної системи. Розрахунок усіх елементів лпс

Л.с. повинна сприяти виконанню принципу рівномірного або спрямованого затвердіння виливки. Вона служить для часткового живлення рідким металом виливки в початковий момент її затвердіння.

Оскільки виливок розташовується в нижній частині напівформи, підведення металу здійснюється зверху. Приймаємо верхню бічну ливникову

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.03 АК	ДНК
Змк	ДНК	№ док.м	Підпис	Дат.		11

систему, що забезпечує заповнення нижньої частини виливки зверху.

Розрахунок прибутків

За формулою І. Пржибила проводимо розрахунок прибутків:

де Н - висота прибутку, дм; D - товщина прибутку, дм;

$V_{\text{п.у}}$ - об'єм частини виливки, що живиться цим прибутком, дм³;

β - усадка сплаву під час затвердіння в інтервалі температур: температура лиття - температура солідуса;

коефіцієнт "неекономічності" прибутку, що дорівнює відношенню обсягу прибутку до обсягу зосередженої усадочної раковини;

коефіцієнт, що враховує геометричні параметри прибутку.

$$H = 1,085 \times \sqrt[3]{14,71 \times \frac{10 \times 0,03}{1 - 10 \times 0,03}} = 2,004 \text{ дм}$$

Розрахунок діаметра прибутку:

Звідси D= 1,336 дм.

Приймаємо прибуток: відкритий, кільцевий, що відрізається, який забезпечить гарне живлення виливки і формування усадочної раковини в прибутку. Живлення "поличок" забезпечуємо технологічною перемичкою діаметром 40 мм. Для відведення газів і живлення нижньої "полички" приймаємо живильний випір діаметром 40 мм.

Розрахунок оптимальної тривалості заповнення порожнини форми проводиться за формулою:

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.03 АК	Друк
Змк	Друк	№ докум	Підпис	Дат		12

$$\begin{aligned}
 a &= 26 \text{ мм}, \\
 b &= 20 \text{ мм}, \\
 h &= 26 \text{ мм}. \\
 \sum F_i &= 21\tilde{n}^2 \\
 \text{Кол.} &= 6 \text{ шт.} \\
 F_n &= 3,5\text{см}^2
 \end{aligned}$$

Приймаємо шлаковловлювач трапецієподібної форми (Рис.3.4.). Виходячи з з отриманих значень розміри шлаковловлювача становитимуть:

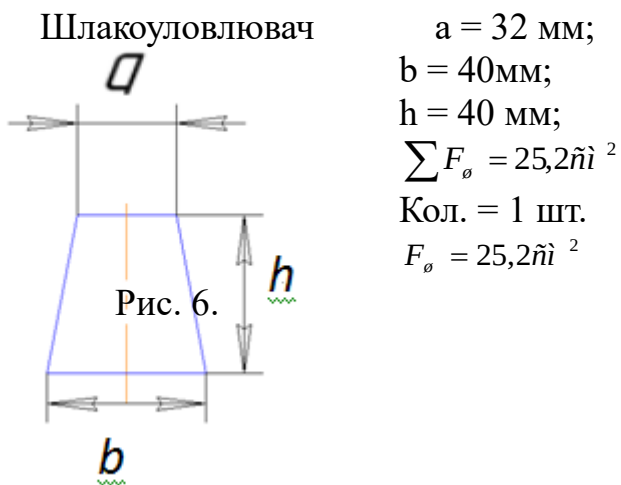
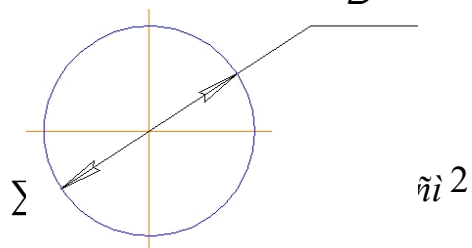


Рис. 3.4

Г Стояк о перерізу (Рис. 3.5.):



$$\sum F_{cm} = 29,4\text{см}^2 \quad \text{Кол.} = 1 \text{ шт.} \quad F_{\text{co}} = 29,4\tilde{n}^2 \quad D = 61 \text{ мм.}$$

Розробка конструкції модельного оснащення. Конструкція стрижневого

ящика

Процес виробництва моделей, стрижневих ящиків та інших елементів модельного комплекту незалежно від роду обраного матеріалу є дуже складним, дорогим і трудомістким.

Для серійного виробництва раціональніше вибирати металеві модельні комплекти, які мають низку переваг порівняно з дерев'яними - це довговічність, точність розмірів, невелика шорсткість робочих поверхонь і відсутність деформації [4].

Різні деталі модельного комплекту виготовляють із різних сплавів. Для найвідповідальніших деталей, таких як моделі та стрижневі ящики, вибирають сплави, що забезпечують максимальну довговічність комплекту. Найпоширенішими матеріалами моделей, призначених для отримання піщано-глинистих форм, є сплави на основі алюмінію і сірі чавуни.

Моделі та стрижневі ящики з легких алюмінієвих сплавів значно полегшують умови праці. При ретельному догляді за алюмінієвими моделями за ними може бути отримано до 40 тис. форм.

Тому для виготовлення моделі обираємо алюмінієвий сплав марки АК9 (сплав на основі Al-Si-Mg) за ГОСТ 1583-93. Враховуючи габаритні розміри моделі, виготовляємо її монолітною.

Формувальні ухили для моделі становлять $0^{\circ}45'$ за ДСТУ 3212-92 (формувальні ухили формоутворювальних поверхонь модельних комплектів, призначених для форм, які тверднуть поза контактом з оснащенням). Розміри знаків мають бути збільшені проти номінальних розмірів на величину зазорів, передбачених кресленням зібраної форми. Креслення металевої моделі передбачає збільшення її розмірів проти розмірів деталі, для відливання якої вона призначається, на величину усадки сплаву, з якого буде відливатися деталь. З огляду на усадку алюмінієвих сплавів, збільшуємо розміри моделі виливки і

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.03 АК	ДНК
Змк	ДНК	№ докум	Підпис	Дат		15

Л

и Монтаж моделей на підмодельних плитах здійснюють за розміткою. На модель і плиту наносять розмічальні риси. При накладенні моделі на плиту риси повинні поєднуватися. Потім просвердлюють наскрізні отвори для фіксувальних штифтів. Розмітку і нанесення рисок слід виконувати не довільно, а приймаючи за базову лінію вісь контрольного штиря кожної плити. Під час монтажу моделей на плити слід враховувати розміри і конструкцію опок, (Рис.2.6.).

В

О

-

Ж

И

В

И

Л

Ь

Н

О

ї

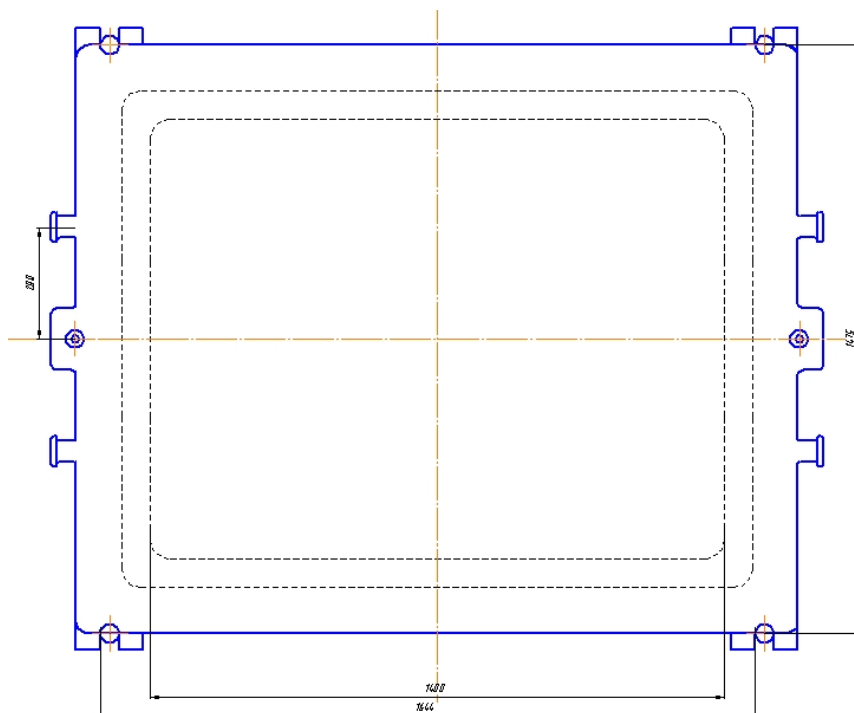


Рис. 3.6.О пока

с

и Незалежно від способу виготовлення стрижнів ящики мають бути якомога легшими. Розміри бортиків і конструкція ребер жорсткості у стрижневих ящиків залежать від товщини тіла ящика. У стрижневих ящиків, що складаються з двох або більше частин, має бути забезпечене точне взаємне фіксування частин ящика і взаємне кріплення їх між собою. Рациональною конструкцією є регульований штир. Ця конструкція дає змогу в процесі експлуатації, у міру зносу штиря і втулки, регулювати установку штиря за висотою, ліквідуючи цим хитання втулки на штирі.

Н					КНУ.РБ.136.26.112с-12.03 АК	ДНК
а						16
Зам.	ДНК	№ док.	Підпис	Д.с.		

Скріплення окремих частин стрижневого ящика здійснюється за допомогою особливих затворів. Найпоширенішими є дві конструкції: затвор із баранчиком і затвор зі скобою. Перевагою баранчикова затвора є його легка вага і простота виготовлення, але його застосування знижує продуктивність робітника стрижневіка, оскільки процес закручування і відкручування баранчиків займає

Можливі дефекти та методи їх усунення

Складний фізико-хімічний та термомеханічний характер процесів, що протікають при високоінтенсивному повітряно-імпульсному формуванні, кристалізації та охолодженні високолегованої сталі 20Х5МЛ, обумовлює ризики виникнення у виливках «Кришка» різних видів технологічних дефектів. Відповідно до класифікації ГОСТ 19200-80, потенційні дефекти для даної номенклатури заготовок диференціюються на три магістральні групи.

1. Дефекти невідповідності геометричних параметрів та форми.

Недолив - макродефект у вигляді незавершеного формування контуру або окремих конструктивних елементів виливка через зупинку фронту розплаву до моменту повного заповнення робочої порожнини форми. Виникає внаслідок дефіциту рідкого металу в ківші, заниженої температури заливання сплаву, недостатнього гідростатичного напору ЛЖС або критичного падіння швидкості заповнення форми.

Стрижневий перекіс - просторове зміщення внутрішньої порожнини, центрального отвору або фланцевих контурів виливка, що формуються стрижнем (виготовленим за *Cold-box-amin*-процесом). Головна причина — неточне базування стрижня у знакових частинах форми, незадовільна фіксація при спарюванні опок або деформація знаків під дією архімедової сили.

Короблення - спотворення проектної конфігурації заготовки, викривлення площини роз'єму або геометричних осей під дією залишкових термічних та

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.03 АК	Анк
Змч	Анк	№ докил	Підпис	Дд-		17

фазових напружень. Розвивається в період нерівномірного охолодження виливка в опоці, при передчасному вибиванні форми, а також у разі конструктивних помилок при виготовленні модельного комплекту.

2. Дефекти поверхні заготовки

Пригар (механічний та хімічний) - утворення на зовнішньому або внутрішньому профілі виливка міцного синектичного конгломерату, що складається з оплавленої формувальної суміші та оксидів заліза і легуючих елементів. Хімічний пригар виникає за наявності надлишку кисню в порах форми та низької стійкості протипригарного покриття; механічний — внаслідок капілярного проникнення рідкої сталі в пори суміші під дією високого динамічного чи гідростатичного тиску.

Засмічення (піщане) - екзогенне включення у поверхневих або підповерхневих шарах виливка, що являє собою конгломерат часток зруйнованої формувальної суміші, захопленої та перенесеної високошвидкісним потоком сталі під час заливання.

3. Несуцільності в кристалічній структурі (тілі виливка)

Гаряча тріщина - міжкристалічний руйнівний надрив тіла виливка усадочного походження, що формується в ефективному інтервалі кристалізації (на стадії солідуса) за наявності високої механічної перешкоди з боку форми чи стрижнів. Характеризується сильно окисленою, нерівною та звивистою поверхнею зламу.

Холодна тріщина - транскристалічний макророзрив тіла вже затверділого виливка, що виникає в області низьких температур під дією залишкових напружень, які перевищують границю міцності сталі, або внаслідок ударів при вибиванні й очищенні. У вершині холодної тріщини фіксується екстремальна концентрація напружень, що створює загрозу її самовільного заглиблення та поширення. Злам має світлий, гладкий, металевий характер.

Усадочна раковина - зосереджена відкрита або закрита внутрішня

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.03 АК	ДНК
ЗМК	ДНК	№ докум	Підпис	ДЗ		18

порожнина з грубою шорсткою поверхнею (іноді покрита дендритними наростами й окисним шаром), що утворюється в термічних вузлах заготовки внаслідок дефіциту живлення металом під час об'ємної усадки.

Усадочна пористість - скупчення мікроскопічних пор у міждендритних просторах, що є наслідком розсіяної усадки сталі за умов недостатнього капілярного живлення з прибутків.

Залитий шлак - ендегенне включення у вигляді часткового або локального заповнення робочого простору форми шлаковою фазою через її незадовільну сепарацію в горизонтальних каналах ЛЖС.

Газова пористість - дрібні сферичні або овальні порожнини у підповерхневій зоні кришки, що утворюються внаслідок інтенсивного виділення розчинених газів з розплаву під час його кристалізації або через низьку газопроникність єдиної суміші.

Для стабілізації технологічного процесу на автоматичній лінії та зведення рівня браку до нормативного мінімуму впроваджено обов'язковий контур операційного контролю:

- безперервний контроль температури випуску та заливання сталі 25Л за допомогою занурювальних термопар (температура заливання у ківші повинна становити не менше 1420°C), що повністю нівелює ризики утворення недоливів та холодних спаїв.
- верифікація цілісності, чистоти порожнин після продування, а також твердості ущільненої суміші (не менше 90–95 одиниць з боку моделі), що запобігає виникненню ужимин, наростів та піщаних засмічень.
- лазерний або шаблонний контроль точності проставляння та фіксації стрижневих систем у нижній напівформі для унеможливлення перекосів.
- контроль зусилля попереднього натягу інтегрованих кліщових захватів формувальної лінії для запобігання підйому верхньої опоки архімедовою силою і розвитку заливів по площині роз'єму.

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.03 АК	ДНК
Змк	ДНК	№ докум	Підпис	Дат		19

Усі виявлені дефекти несущільності та геометрії, які згідно з ТУ відносяться до категорії виправних, піддаються реновації за затвердженими інженерними методиками.

1. Електродугове зварювання (наплавлення)

Застосовується для усунення наскрізних або глибоких усадочних раковин на оброблюваних та необроблюваних поверхнях заготовки. Дефектна порожнина повністю розробляється (вирубується або вишліфовується) до здорового металу. Для заповнення об'єму раковини використовують зварювальні електроди, які за своїм хімічним складом та легуванням є ідентичними сталі 20Х5МЛ. Наплавлення здійснюють пошарово (валіками) з обов'язковим проміжним механічним карбуванням кожного шару для зняття зварювальних напружень. При формуванні зварювальної ванни метал підтримують у рідкому стані протягом часу, необхідного для повної дифузії, спливання залишків флюсу та видалення шлакових мікровключень.

2. Газополум'яне наплавлення

Використовується аналогічно дуговому способу для виправлення поверхневих дефектів невеликої глибини з метою забезпечення плавності термічного циклу. Як горючі гази в проекті регламентовано застосування ацетилену, пропан-бутанової суміші або природного газу в комбінації з чистим киснем.

3. Спеціалізоване зварювання-паяння

Метод орієнтований на виправлення локальних поодиноких раковин на оброблюваних поверхнях кришки середньої складності конфігурації. Операція реалізується як із попереднім загальним (або місцевим) підігрівом заготовки до температури 300-400⁰С (для стабілізації структурних перетворень сталі), так і без нього. Після ретельного механічного очищення дефектної зони проводиться наплавлення. Завершивши процес, зону зварювання негайно засипають сухим кварцовим піском або щільно накривають азбестовим полотном. Це дозволяє

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.03 АК	Анк
Змч	Анк	№ док-м	Підпис	Дд-		20

суттєво знизити швидкість охолодження металу, запобігає утворенню гартівних структур (мартенситу) та виключає появу тріщин у зоні термічного впливу (ЗТВ).

4. Герметизація різьбовими заглушками (пробками)

Застосовується виключно для усунення ізольованих, дрібних усадочних раковин, які не впливають на загальну конструкційну міцність деталі. Тіло раковини розсвердлюють циліндричним свердлом до мінімального чистого діаметра. В отриманому отворі нарізають прецизійну метричну або конічну різьбу. У гніздо з натягом вкручують металеву вставку (заглушку), виготовлену з аналогічної марки сталі, після чого її торцеву частину обварюють по контуру або ретельно карбують. На фінішній стадії виступаючу частину вставки зрізають та зачищають абразивним інструментом врівень із базовою поверхнею виливка.

Важливе інженерне зауваження щодо обробки тріщин: При виявленні виправної холодної тріщини, перед початком її вирубки (оброблення країв під заварку), у вершині тріщини (на відстані 5–10 мм від її видимого кінця) необхідно в обов'язковому порядку просвердлити наскрізний отвір діаметром 4–6 мм. Це повністю перерозподіляє поле напружень, ліквідує концентратор штучного руйнування та зупиняє подальший розвиток і поширення тріщини вглиб тіла виливка під дією механічних чи термічних чинників.

4. ДЕТАЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК ШИХТИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ РІЗНИХ СТАЛЕЙ

Розрахунок шихти для плавки сталі 20Х5МЛ

Для виготовлення виливків використовуються сплави марки 20Х5МЛ за ГОСТ 977-88 і 25Л. Нижче наведено розрахунок шихти для цих сплавів. Застосування для виготовлення виливків саме цих сплавів обґрунтовано тим, що вони задовольняють усім фізико-механічним характеристикам, що пред'являються до виливків.

Для плавлення в індукційній печі сталь 20Х5МЛ шихта складають з відходів цієї марки сталі (0,2% С; 0,4%Si; 0,6% Mn; 6% Cr, 0,4%Mo) - 40%, сталі 30Х13 - 20%, сталі 95Х18 - 20%, сталі 40Х13-10%

Виконаємо розрахунок для печі садкою 1000 кг.

Випаровування окремих елементів при індукційному плавленні:

4-6% Cr; 4-8% Mn; 5-15% Si, 3%Mo;

З урахуванням вигорання хімічний склад металу після розплавлення буде наступним, %:

Таблиця 4.1-Склад і кількість внесених відходами елементів.

Відходи	Маса, кг	Кількість елементів, кг				
		Mo				
20Х5МЛ						
30Х13						
95Х18						
40Х13						
Разом, кг %						

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.04 ДР								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДЕТАЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК ШИХТИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ РІЗНИХ СТАЛЕЙ					Літ.	Арк.	Акрушів	
Розроб.		Степаненко В.О.										1	22
Перевір.		Сайтгарежев Л.Н.											
Н. Контр.		Сайтгарежев Л.Н.											
Затверд.		Бабошко Д.Ю.								МТ-23-1ск			

З урахуванням випаровування хімічний склад металу після розплавлення буде наступним, %

$$Mo\ 0,318 \cdot (100-3)/1000=0,03$$

4.2. Розрахунок шихти для виплавки сталі 25Л в дуговій печі

Сталь 25Л, виплавляється в електродуговій печі.

У дугових печах з кислою футерівкою виплавляють обмежений асортимент сталей, що включає прості середньовуглецеві (0,25-0,40% С), а також хромонікелеві, хромомолібденові та інші середньовуглецеві леговані сталі. Виплавка в таких печах складнолегованих сталей і сплавів, що містять марганець, титан, алюміній, цирконій та ін., практично неможлива.

Внаслідок того, що в процесі кислого виплавлення фосфор і сірка не видаляються, а їх вміст у готовій сталі за рахунок введених добавок може навіть дещо збільшитися, шихтові матеріали повинні містити фосфору і сірки на 0,1% менше, ніж допускається в готовій сталі. Відповідно до цього власні відходи не повинні перевищувати 50% від маси шихти. Решту шихти складають з відходів вуглецевих сталей з низьким вмістом сірки і фосфору.

Шихтові матеріали повинні внести таку кількість вуглецю, щоб його вміст після розплавлення був на 0,10-0,20% більше, ніж у виплавленій сталі. Склад сталі 25Л згідно з ГОСТ 977-88 представлений у таблиці 4.1. У складі шихти використовують такі матеріали:

- відходи ливарного цеху - 30%;
- сталевий брухт - 60%;

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.04 ДР	ДНК
						2
Змк	ДНК	№ докум	Підпис	Дат		

- стружка в брикетах або чавун переробний - 10%;

Таблиця 4.1- Хімічний склад сталі 25ЛІ (ГОСТ 977-88)

Масова частка елементів, %				
С	Мп		Р	

Таблиця 4.2 - Склад шихтових матеріалів

Шихтові матеріали	Масова частка складових, %						
	С	Мп		Р		Al	Зола
Відходи ливарного цеху						-	-
Сталевий брухт						-	-
Стружка в брикетах						-	-
Чавун переробний						-	-
Електроди		-	-	-	-	-	
Феросілій						-	-
Феромарганець						-	-
Алюміній	-	-	-	-	-		-

Решту складає залізо.

Таблиця 4.3 - Склад шлакоутворюючих матеріалів

Шлакоутворюючі матеріали	Масова частка складових, %				
	CaO			Al ₂	Fe ₂ O ₃
Вапно свіжообпалене					
Залізна руда					
Пісок	-	-			
Динас		-			
Зола електродів		-			-

Співвідношення між сталевими компонентами шихти та чавуном можна визначити, використовуючи наступне балансове за вуглецем рівняння:

де $[C]_c$ - нижня межа вмісту вуглецю в заданій марці сталі, %;

$[C]_{\text{пер}}$ - перевищення вмісту вуглецю до кінця періоду плавлення, в кислому

процесі воно зазвичай становить 0,10-0,20%;

$[C]_{ст}$ - вміст вуглецю в сталевій складовій шихти, %;

$[C]_{ч}$ - вміст вуглецю в чавуні, %;

Оскільки в даному розрахунку за 100% прийнята сума тільки компонентів, що містять сталь, то рівняння можна записати наступним чином:

або

і в остаточному вигляді:

звідки $x=4,52$ кг (%).

Перерахувавши знову склад компонентів сталі та чавуну виходячи зі 100%, остаточно отримаємо:

. Відходи ливарного цеху складуть:

$30 \cdot 100 / (100 + 4,52) = 28,7$ кг (%);

. Витрата сталевих брухтів складе:

$60 \cdot 100 / (100 + 4,52) = 57,41$ кг (%);

Витрата чавуну складе:

$5,6 \cdot 100 / (100 + 4,52) = 5,4$ кг (%).

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.04 ДР	ДНК
						4
Змч	ДНК	№ докум	Підпис	Дат		

З метою отримання більш точних розрахунків слід враховувати, що відходи ливарного цеху можуть бути забруднені піском у вигляді пригару (зазвичай від 0,5 до 2,0%). Аналогічні забруднення можуть мати й інші складові шихти. Тоді, якщо прийняти пригар рівним 1%, дійсна кількість відходів ливарного цеху складе

У період плавлення відбувається окислення кремнію, марганцю, вуглецю і заліза. Прийmemo, що окислення цих елементів відбувається в основному киснем атмосфери печі. Окислення елементів металевої ванни, наприклад кремнію, можна представити реакціями:

Таблиця 4.4- Кількість елементів, що вносяться шихтовими матеріалами

Шихтові матеріали	Маса,		Вносять елементів			кг	
	кг	С	Мп		Р		
Відходи ливарного цеху							
Сталевий брухт							
Стружка в брикетах							
Чавун переробний							
Разом: кг							

Причому основним процесом є реакція, оскільки спочатку з киснем реагує залізо (як надлишковий компонент шихти) з утворенням (FeO):

Необхідно також враховувати, що частина (FeO) розчиняється в металі за реакцією $(FeO)=[O]+[Fe]$, збагачуючи тим самим метал розчиненим киснем. Однак

у даному розрахунку ми цей процес не враховуємо, вважаючи, що частка розчиненого в металі кисню в період плавлення невелика.

За період плавлення угар кремнію становить 70%, марганцю - 70%. Випаровування заліза становить 2-3% від маси металу. Причому більша частина цього випаровування (60-80%) є результатом випаровування і окислення заліза в зоні дії електричних дуг. Випаровування вуглецю в цей період незначне, можна прийняти, що його втрата компенсується переходом вуглецю з електродів.

З киснем пічної атмосфери надійде $1,582 \cdot 77/23 = 5,296$ кг азоту, де 77 і 23 - масові відсотки відповідно азоту і кисню в повітрі, які, наприклад, для кисню можна визначити з виразу:

$$\%O_2 = 100 / [1 + \mu_{N_2} \cdot 0.79 / (\mu_{O_2} \cdot 0.21)]$$

д

е

молярна маса кисню. Окрім ендогенних оксидів, що утворюються внаслідок вигорання (окиснення) молярна маса азоту; елементів металеві завалки, вагому частку в процесі формування первинного кислого шлаку становлять екзогенні компоненти. Вони надходять у ванну печі в результаті механічного та хімічного зносу вогнетривкої футеровки, руйнування матеріалу електродів, а також разом із технологічними забрудненнями шихти.

Сумарна потреба в атмосферному кисні для забезпечення реакцій первинного окиснення елементів шихти (згідно з попередніми стехіометричними розрахунками) становить:

$$1,582 + 5,296 = 6,878 \text{ кг}$$

1. Надходження оксидів за рахунок пригару на зворотних відходах шихти

При використанні власного браку та зворотних відходів ливарного цеху в кількості, що еквівалентна наявності 0,29 кг залишків формувальної піщано-глинистої суміші на кожні 100 кг завалки, у ванну печі вноситься:

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.04 ДР	Анк
Змч	Анк	№ докум	Підпис	Дат		6

$$: 0,29 \times 0,96 = 0,2784 \text{ кг}$$

$$: 0,29 \times 0,02 = 0,0058 \text{ кг}$$

$$: 0,29 \times 0,02 = 0,0058 \text{ кг}$$

Разом по джерелу: 0,2900 кг.

Питома витрата вогнетривкої динасової цегли становить 0,2 кг на 100 кг металозавалки. У період плавлення за рахунок термічного розтріскування та дугової ерозії зношується 60 % від загальної маси вогнетривів склепіння. Маса динасу, що переходить у шлакову фазу, становить:

$$0,2 \times 0,60 = 0,12 \text{ кг}$$

Зазначена маса вогнетриву диференціюється за хімічним складом цегли на такі оксиди:

$$\text{CaO: } 0,12 \times 0,013 = 0,0016 \text{ кг}$$

$$: 0,12 \times 0,966 = 0,1159 \text{ кг}$$

$$: 0,12 \times 0,006 = 0,0007 \text{ кг}$$

$$: 0,12 \times 0,015 = 0,0018 \text{ кг}$$

Разом по джерелу: 0,1200 кг .

Наварка робочого контуру подини й укосів здійснюється кварцовим піском. Питома витрата матеріалу становить 1,5 кг на 100 кг шихти. Протягом періоду плавлення під дією механічного впливу завалки та хімічного розчинення залізистими оксидами в шлак переходить 50 % маси наварки, що становить 0,75 кг . Пофазне надходження оксидів з кварцового піску становить:

$$: 0,75 \times 0,96 = 0,7200 \text{ кг}$$

$$: 0,75 \times 0,02 = 0,0150 \text{ кг}$$

$$: 0,7 \times 0,02 = 0,0150 \text{ кг}$$

Разом по джерелу: 0,7500 кг .

Середня питова витрата електродів становить 0,5 кг на 100 кг шихти (або 5 кг/т сталі). Оскільки знос насадок пропорційний споживанню активної електроенергії, приймаємо, що в період розплавлення витрачається 60%

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.04 ДР	ДНК
Зм.	ДНК	№ докум.	Підпис	Дат.		7

загальної маси електродів:

$$0,5 \times 0,60 = 0,30 \text{ кг}$$

Приймаємо допущення, що вуглецева матриця електрода повністю окиснюється киснем внутрішньопічної атмосфери, а утворена зола повністю асимілюється кислим шлаком.

$$\text{Маса вигорілого вуглецю: } 0,30 \times 0,99 = 0,2970 \text{ кг}$$

$$\text{Маса утвореної технологічної золи: } 0,30 \times 0,01 = 0,0030 \text{ кг}$$

Компонентний масовий перехід оксидів із золи електродів у первинний шлак становить:

$$\text{CaO : } 0,003 \times 0,118 = 0,0003 \text{ кг}$$

$$\text{: } 0,003 \times 0,565 = 0,0017 \text{ кг}$$

$$\text{: } 0,003 \times 0,317 = 0,0010 \text{ кг}$$

$$\text{Разом по джерелу: } 0,0030 \text{ кг .}$$

Таблиця 4.5- Склад і кількість шлаку періоду плавлення

Джерело надходження оксидів	Складові, кг						Всього , кг
	SiO ₂			O ₂		CaO	
Метал						-	
Пригар (пісок)			-		---	-	
Звід			-		-		
Підлога та схили						-	
Зола електродів							
Разом: кг							

При моделюванні матеріального балансу газової фази в період розплавлення завалки приймається інженерне допущення, згідно з яким незначний чад (вигорання) вуглецю безпосередньо з рідкої металевої ванни повністю компенсується за рахунок дифузійного розчинення в ній вуглецю графітованих електродів. З огляду на це, масою та об'ємом газів, що утворюються внаслідок окиснення розчиненого в сталі вуглецю, на даному етапі нехтуємо.

Таким чином, розрахунок газоутворення в перший період плавки повністю базується на стехіометричному аналізі кінетики горіння графітованих електродів.

Протягом періоду плавлення витрата графітованих електродів становить 0,30кг на кожні 100кг металозавалки. Враховуючи, що масова частка чистого вуглецю в електродах становить 99%, загальна маса реакційноздатного вуглецю дорівнює:

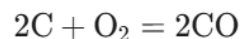
$$M_c = 0,30 \times 0,99 = 0,297 \text{ кг}$$

Згідно з технологічним регламентом плавки в кислій дуговій печі, окиснення вуглецю електродів киснем повітря протікає диференційовано: 90% вуглецю згорає з утворенням монооксиду вуглецю, а решта 10% — з утворенням діоксиду вуглецю.

Маса вуглецю, що бере участь у реакції часткового згоряння:

$$M_{C \rightarrow CO} = 0,297 \times 0,90 = 0,2673 \text{ кг}$$

Реакція протікає за стехіометричним рівнянням:



Виходячи з молярних мас елементів, на окиснення 1 кг вуглецю витрачається 1,333 кг кисню з утворенням 2,333 кг газу CO.

Витрата кисню на реакцію: $0,2673 \times 1,333 = 0,3563 \text{ кг}$

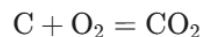
Маса утвореного монооксиду вуглецю:

$$M_{CO} = 0,2673 \times 2,333 = 0,6237 \text{ кг}$$

Маса вуглецю, що бере участь у реакції повного згоряння:

$$M_{C \rightarrow CO_2} = 0,297 \times 0,10 = 0,0297 \text{ кг}$$

Реакція протікає за рівнянням:



На окиснення 1 кг вуглецю до CO₂ витрачається 2,667 кг кисню з утворенням 3,667 кг газу CO₂.

– витрата кисню на реакцію: $0,0297 \times 2,667 = 0,0792 \text{ кг}$

– маса утвореного діоксиду вуглецю:

$$M_{CO_2} = 0,0297 \times 3,667 = 0,1089 \text{ кг}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.04 ДР	Анк
						9
Змч	Анк	№ докум	Підпис	Дат		

Сумарні матеріальні витрати та вихід продуктів газоутворення за рахунок озолення й горіння електродів на 100 кг завалки складають:

- загальна витрата кисню повітря: $0,3563 + 0,0792 = 0,4355$ кг
- сумарна маса виділених пічних газів $M_{\text{газів}} = M_{\text{CO}} + M_{\text{CO}_2}$:

$$M_{\text{газів}} = 0,6237 + 0,1089 = 0,7326 \text{ кг}$$

Отримані масові значення заносяться до відповідних статей розходу загального матеріального балансу плавки сталі 20Х5МЛ.

Таблиця 4.6- Матеріальний баланс періоду плавлення, кг

Надійшло	Отримано
Залізний брухт $28,41+57,41+9,57 = 95,390$	Метал 96,117
Чавун 4,320	Шлак 3,474
Динас 0,120	Гази 7,489
Пригар (пісок) 0,290	Втрата заліза у вигляді Fe_2O_3
Набивка (пісок) 0,750	Нев'язка 0,000
Електроди 0,300	Разом 109,944
Повітря $6,878+1,896 = 8,774$	
Разом 109,944	

Головними технологічними завданнями окиснювального періоду (періоду кипіння ванни) при веденні плавки сталі під кислим шлаком є глибока дегазація металеві ванни (видалення розчинених водню та азоту) за рахунок флотаційного ефекту бульбашок монооксиду вуглецю, а також інтенсивне високотемпературне нагрівання сплаву перед випуском. Протягом цієї технологічної фази вигорання в

у Методи інтенсифікації кипіння та керування окиснювальною здатністю шлаку

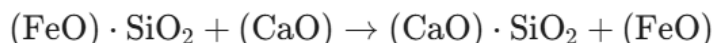
л Для стимулювання кінетики окиснення вуглецю та забезпечення рівномірного барботажу ванни застосовують два базові металургійні прийоми:

ц 1. Порційне введення залізистої руди: Кускова залізна руда
ю присаджується дрібними порціями, маса кожної з яких суворо обмежена і становить не більше 0,2% від маси металозавалки. Це запобігає локальному

С					КНУ.РБ.136.26.112с-12.04 ДР	ДНК
Т						
ЗМЛ	ДНК	№ докум	Підпис	Дат		10

переохолодженню дзеркала ванни та надмірному залістому зносу футерування.

2. Корекція шлакової фази добавками вапна: Введення оксиду кальцію ініціює реакцію заміщення у силікатних комплексах шлаку. Оскільки СаО є більш сильною основою порівняно з оксидом заліза, він термодинамічно витісняє останній із кремнеземистих зв'язків за схемою:

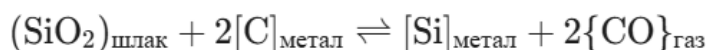


Збільшення концентрації вільного (активного) FeO у шлаку різко підвищує його окиснювальний потенціал на межі розділу фаз «метал–шлак», активізуючи дифузійне окиснення вуглецю, розчиненого в сталі.

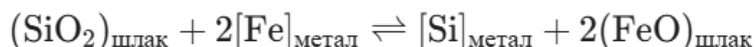
При коригуванні шлаку вапном враховують трибологічну та хімічну стійкість вогнетривкого контуру печі. Наявність надлишкового вільного СаО призводить до утворення низькоплавких силікатів на робочій поверхні тигля та викликає катастрофічне ерозійне роз'їдання кислої кварцитої футерування. З огляду на це, оптимальний вміст оксиду кальцію в кислих шлаках суворо лімітується в межах 6-8% СаО.

У фінальній стадії окиснювального періоду, за умов досягнення високої температури розплаву ($T > 1550^{\circ}\text{C}$) та підвищеної концентрації кремнезему в шлаковій фазі ($\text{SiO}_2 = 56\text{-}60\%$), вектор фізико-хімічних процесів змінюється. Замість окиснення кремнію починається процес його активного відновлення з вогнетривкої матриці та шлаку безпосередньо в рідку сталь за такими основними реакціями:

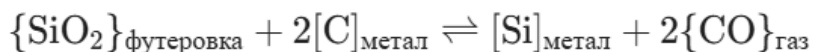
- Взаємодія на межі «метал–шлак» за участю вуглецю металу:



- Взаємодія з вільним залізом металевої ванни (при температурах вище критичної):



- Пряме відновлення твердого кремнезему футерування на межі «метал–стінка тигля»:



Цей процес ендотермічного саморозкиснення (кремнистий хід плавки) є специфічною особливістю кислого процесу. Він дозволяє отримати сталь із низьким вмістом екзогенних неметалевих включень, проте потребує прецизійного контролю тривалості витримки для запобігання надмірному переходу кремнію в сталь понад верхню марку межі за ТУ.

Вміст кремнію в металі в кінці окислювального періоду може досягати 0,2-

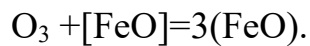
Відповідно до наведених у літературі даних приймаємо наступну зміну складу металу в окислювальному періоді плавки. Вміст вуглецю в кінці періоду повинен бути приблизно 0,22%, або $96,117 \cdot 0,22 / 100 = 0,211$ кг, де 96,117 - вихід рідкого металу , кг. Отже, окислиться вуглецю, в тому числі з урахуванням вуглецю, що пішов на відновлення кремнію, $0,412 - 0,211 = 0,201$ кг.

До кінця періоду в металі залишається 0,08-0,12% марганцю . Приймаємо в розрахунку 0,10%, або $96,117 \cdot 0,10 / 100 = 0,096$ кг; окислиться марганцю $0,159 - 0,096 = 0,063$ кг. За рахунок відновлення вміст кремнію в металі в кінці окислювального періоду можна прийняти рівним 0,25%, що складе $96,117 \cdot 0,25 / 100 = 0,240$ кг, тоді відновиться $0,240 - 0,117 = 0,123$ кг кремнію. На відновлення кремнію буде потрібно $0,123 \cdot 24 / 28 = 0,105$ кг вуглецю.

Потреба в залізній руді.

Приймаємо, що окислення вуглецю і марганцю відбувається за рахунок кисню залізної руди. При цьому джерелом кисню є FeO - оксид заліза, який отримується при відновленні Fe₂ O₃ руди залізом:

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.04 ДР	ДНК
ЗМЧ	ДНК	№ докум	Підпис	ДЗ-		12



Витрату залізної руди на плавку визначимо за балансом витрат на окислення елементів і підтримання в шлаку певних концентрацій оксидів заліза.

Потребу в FeO покриваємо присадкою в шлак залізної руди.

Д

Л Для відновлення Fe_2O_3 до FeO потрібно $0,658 - 0,487 = 0,171$ кг заліза. Якщо
 я прийняти, що 10% Fe_2O_3 з руди переходить у шлак, а 90% відновлюється до FeO,
 то витрата залізної руди складе $0,487 / (0,90 + 0,90) = 0,601$ кг.

У

Т

В

О

Р

Е

Н

Н

Я

0

,

6

5

8

К

Г

Р

Е

Таблиця 4.7.- Кількість FeO, необхідна для окислення домішок, кг

Елемент	Надійшло	Окислилося	Залишилося в металі	Потрібно FeO	Відновилося Fe	Утворилося оксиду
C						CO (в газ) $0,096 \cdot 28 / 12 = 0,224$
Mn						MnO (у шлак) $0,063 \cdot 71 / 55 = 0,081$
						CO (в газ) $0,123 \cdot 56 / 28 = 0,246$ Відновилося SiO ₂ зі шлаку $-0,123 \cdot 60 / 28 = -0,264$
P		-		-	-	-
		-		-	-	-
		-		-	-	-
Разом						

*Кількість вуглецю, необхідна для відновлення кремнію з (SiO₂).

**Кількість кремнію, відновленого з (SiO₂).

***Віднесення реакції десульфурзації до окислювального процесу має умовний характер.

Шлак окислювального періоду.

У шлак окислювального періоду надійде:

З металу: 0,081 кг MnO; 0,264 кг SiO₂ (разом 0,183 кг).

Зі шлаку періоду плавлення: 1,7006 кг SiO₂ ; 0,0227 кг Al₂ O₃ ; 0,91 кг FeO;
0,3598 кг Fe₂O₃ ; 0,0019 кг CaO (разом 3,474 кг).

З залізної руди, кг:	
CaO	0,601X0,007=0,004
	0,601X0,003=0,002
	0,601X0,006=0,036
Al ₂ O ₃	0,601X0,003=0,018
	0,601X0,90X0,1 =0,054

Разом 0,114 кг.

З вапна. Витрата вапна в окислювальний період плавки прийнята 0,3 кг на 100 кг садки. Вапно внесено в шлак, кг:

CaO 0,30*0,92=0,276;

Al₂ O₃ 0,30*0,01=0,003;

О Разом 0,300 кг.

З склепіння. В окислювальний період витрачається 20% динасової цегли, що становить, кг:

CaO 0,40*0,0134=0,0006;

А

О Разом 0,040 кг.

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.04 ДР	Днк
Змч	Днк	№ док-м	Підпис	Дат-		15

З підлоги та укосів. У шлак надійде 25% набивної маси, тобто $1,5 \cdot 0,25 = 0,375$ кг. З набивної маси в шлак перейде, кг:

А

О Разом 0,375 кг.

З попелу електродів. Приймаємо, що в окислювальний період витрачається 20% електродів, що становить $0,5 \cdot 0,2 = 0,099$ кг. Вуглець, що міститься в електродах, згорає в атмосфері печі, а зольний залишок переходить у шлак. Окислюється вуглецю електродів, кг: $0,10 \cdot 0,99 = 0,099$. Утворюється золи $0,10 \cdot 0,01 = 0,001$ кг. Складові золи внесуть в шлак, кг:

СаО $0,001 \cdot 0,118 = 0,0001$;

А

Разом 0,001 кг

Таблиця 4.8.- Кількість і склад шлаку окислювального періоду

Джерело надходження	Складові, кг							Всього
		Al ₂ O ₃			МпО			кг
Шлак періоду плавлення							-	
Метал		-	-	-		-	-	
Залізна руда			-		-			
Вапно			-		-			
Звід			-		-		-	
Підлога та схили			-		-	-	-	
Зола електродів			-	-	-		-	
Разом: кг								

--	--	--	--	--	--	--	--	--

Кількість газів окислювального періоду

При окисленні вуглецю металу утворюється $0,201 \cdot 28 / 12 = 0,469$ кг монооксиду вуглецю. При окисленні вуглецю електродів киснем атмосфери утворюється:

$$0,099 \cdot 0,90 \cdot 28 / 12 = 0,208 \text{ кг CO};$$

$$0,099 \cdot 0,10 \cdot 44 / 12 = 0,036 \text{ кг CO}_2 ;$$

де 0,90 і 0,10 - частки окислення вуглецю відповідно до CO і CO₂.

При цьому потрібно $0,208 \cdot 16 / 28 + 0,036 \cdot 32 / 44 = 0,145$ кг, або $0,145 \cdot 22,4 / 32 = 0,102$ м³, кисню повітря. З киснем надійде азоту $0,145 \cdot 77 / 23 = 0,485$

к

г

,

Таблиця 4.9-Кількість і склад газів окислювального періоду

а

б

о

Джерело надходження	Надійшло, кг	Утворилося, кг			
		CO	CO ₂		Всього
Вуглець металу			-	-	
Вуглець електродів					
Повітря		-	-	-	-
Разом: кг					

0

При виплавці конструкційних марок сталі для виробництва фасонного литва (зокрема, високолегованої сталі 20Х5МЛ) технологічний процес здійснюється за скороченим маршрутом — без відновного періоду. Така схема плавки дозволяє суттєво знизити загальну тривалість термічного циклу, мінімізувати ерозію кислій футеровки печі та обмежити насичення розплаву воднем і азотом з атмосфери цеху.

* За умов відсутності дифузійного рафінування під білим (відновним) шлаком, повне дезоксидування металевої ванни реалізується виключно осаджувальним методом — безпосередньою присадкою елементів, що мають вищу термодинамічну спорідненість до кисню, ніж залізо.

4					КНУ.РБ.136.26.112с-12.04 ДР	Днк
Змк	Днк	№ докум	Підпис	Дат		
						17

Введення феросплавів та розкислювальних комплексів підпорядковане суворому часовому графіку для забезпечення максимального засвоєння елементів та повноти спливання утворюваних екзогенних оксидів:

1. Якщо за результатами експрес-аналізу в кінці окиснювального періоду вміст кремнію в сталі є нижчим за проектні вимоги марки 20Х5МЛ, у ванну печі вводять розрахункову кількість кускового. Утворені дрібнодисперсні частки кремензему частково асимілюються кислим шлаком.

2. Феромарганець (FeMn) присаджують у робочий простір печі безпосередньо перед нахилом агрегату або вводять на дно заливочного ковша під струмінь металу під час випуску. Марганець взаємодіє з закисом заліза, знижуючи загальну окисненість сплаву.

Сумісне введення кремнію та марганцю забезпечує утворення рідких силікатів марганцю, які завдяки нижчій температурі плавлення швидко укрупнюються (коагулюють) і ефективно спливають на поверхню ванни.

Кусковий або дисперсний алюміній вводять виключно у заливочний ківш. Це мінімізує його чад (безпосереднє вигорання під дією електричних дуг печі) та забезпечує глибоке зв'язування залишкового кисню.

Утворені високоплавкі включення корунду служать додатковими штучними центрами кристалізації сталі при її наступному затвердінні в піщано-глинистій формі АФЛ, що суттєво подрібнює лите аустенітне зерно та підвищує пластичні й ударні властивості готової «Кришки».

Таблиця 4.10-Матеріальний баланс окислювального періоду, кг

Надійшло		Отримано	
Метал І періоду		Метал	
Шлак І періоду		Шпак	
Залізна руда		Гази	
Вапно		Нев'язка	
Динас			Разом 101,637
Набивна маса			
Електроди			
Повітря			
Разом			

Розкислення металу

Визначимо склад металу, отриманого до кінця окислювального періоду плавки, %:

$$C \ 0,211 \cdot 100 / 96,317 = 0,219 \sim 0,22;$$

$$Mn \ 0,096 \cdot 100 / 96,317 = 0,100;$$

$$P \ 0,046 \cdot 100 / 96,317 = 0,048 ;$$

Розрахунок необхідної кількості розкислювачів проводиться виходячи із середньозаданого вмісту відповідних елементів у готовій сталі з урахуванням їх вигорання: марганцю - $(0,045 + 0,90) / 2 = 0,68\%$; кремнію - $(0,20 + 0,52) / 2 = 0,36\%$.

Оскільки вміст кремнію в металі вище нижньої межі, визначеної стандартом, то можна його вміст не підвищувати, залишивши на рівні, отриманому в процесі кремній-відновної плавки.

Таким чином, розкислення металу в печі проводимо феромарганцем, а в ковші в процесі випуску - алюмінієм.

Необхідну кількість розкислювача можна визначити за такою формулою:

$$q_p = \frac{M_{cm}}{100} \cdot \frac{[E]_{cm} - [E]_{n.p}}{\frac{[E]_p}{100} \cdot \frac{100 - U}{100}},$$

де q_p - кількість доданого розкислювача, кг;

$ст$ - вихід рідкої сталі перед розкисленням, кг;

$[E]_{ст}$ - середньозаданий вміст визначуваного елемента в готовій сталі, %;

$[E]_{п.р}$ - вміст того ж елемента в металі перед розкисленням, %;

$[E]_p$ - вміст відповідного елемента в розкислювачі, %;

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.04 ДР	ДНК
ЗМН	ДНК	№ док.м	Підпис	Дат.		19

випаровування елемента, %.

Визначимо витрату феромарганцю, приймаючи випаровування марганцю рівним 20%:

$$q_{Mn} = \frac{96.317}{100} \cdot \frac{0.68 - 0.10}{\frac{75}{100} \cdot \frac{100 - 20}{100}} = 0.931 \text{ кг.}$$

Феромарганець внесе, кг:

$0.931 \cdot 0.06 = 0.056$ вуглецю;

$0.931 \cdot 0.75 = 0.698$ марганцю;

$0.931 \cdot 0.02 = 0.019$ кремнію;

$0.931 \cdot 0.003 = 0.003$ фосфору;

$0.931 \cdot 0.0003 = 0.0003$ сірки.

Разом 0,7763 кг.

З феромарганцем надійде:

0,155 кг заліза.

При розкисленні металу окислиться:

$0.698 \cdot 0.20 = 0.140$ кг марганцю і утвориться $0.140 \cdot 71/55 = 0.180$ кг MnO.

При цьому потрібно $0.140 \cdot 16/55 = 0.041$ кг кисню повітря, з яким надійде $0.041 \cdot 77/23 = 0.137$ кг азоту.

У період розкислення сталі приймаємо витрату вогнетривів, набивної маси та електродів такою ж, як і в окислювальний період плавки: 0,04 кг динасу; 0,375 кг набивки; 0,10 кг електродів.

					КНУ.РБ.136.26.112с-12.04 ДР	Анк
Змч	Анк	№ док.м	Підпис	Дат		20

Таблиця 4.11-Кількість і склад металу після розкислення феромарганцем

Елемент	Надійшло з металом, кг	Внесено феромарганцем, кг	Перейшло в шлак, кг	Міститься в металі	
				кг	
Вуглець			-		
Марганець					
Кремній			-		
Фосфор			-		
Сірка			-		
Залізо			-		
Разом					

Остаточне розкислення металу проводимо в ковші алюмінієм. Витрата алюмінію становить 0,8-1,2 кг на 1 т сталі. Випаровування алюмінію становить 75-85%. У розрахунку приймаємо витрату алюмінію 1 кг/т, тобто 0,1 кг на 100 кг металу. Тоді фактично потрібно $97,108 \cdot 0,1 / 100 = 0,097$ кг алюмінію.

Алюміній внесе: $0,097 \cdot 0,98 = 0,095$ кг алюмінію; $0,097 \cdot 0,02 = 0,002$ кг заліза, що складе в сумі 0,097 кг. Залишається алюмінію в металі, якщо прийняти його засвоєння рівним 20%, $0,095 \cdot 0,20 = 0,019$ кг.

При окисленні алюмінію утворюється $0,095 \cdot 0,80 \cdot 102 / 54 = 0,144$ кг $Al_2 O_3$. На окислення алюмінію витрачається $0,095 \cdot 0,80 \cdot 48 / 54 = 0,068$ кг кисню повітря, з яким надійде $0,068 \cdot 77 / 23 = 0,227$ кг азоту.

Таблиця 4.12-Кількість і склад шлаку перед випуском металу

Джерело надходження	Складові, кг							Всього, кг
		$Al_2 O_3$		O_2	МпО			
Шлак окислювального періоду -								
Звід					-		-	
Набивка					-	-	-	
Зола електродів			-	-	-		-	
Феромарганець	-	-	-	-			-	
Разом: кг								
				9Д5				

Кількість і склад газу періоду розкислення

Гази цього періоду утворюються в результаті окислення вуглецю електродів і марганцю ферромарганцю киснем атмосфери печі.

Таблиця 4.13 - Кількість і склад газів у період розкислення

Джерело надходження	Надійшло, кг	Утворилося, кг			
		CO	CO ₂		всього
Вуглець електродів					
Повітря		-	-		-
Разом: кг					

Таблиця 4.14 - Матеріальний баланс періоду розкислення, кг

Надійшло	Отримано
Метал окислювального (II) періоду 96,317	Метал $95,976 + 0,512 - 0,171 = 97,129$
Шлак II періоду 4,121	Шлак 4,717
Ферромарганець 0,931	Al ₂ O ₃ після остаточного розкислення алюмінієм 0,144
Алюміній 0,097	Гази $0,866 + 0,227 = 1,093$
Динас 0,040	Нев'язка 0,001
Набивна маса 0,375	Разом 103,084
Електроди 0,100	
Повітря 1,103	
Разом 103,084	

Таблиця 4.15 - Матеріальний баланс плавки, кг

Надійшло	Отримано
Сталевий брухт 95,390	Метал 97,129
Чавун 4,320	Шлак 4,717
Динас 0,200	після остаточного розкислення алюмінієм 0,144
Пригар (пісок) 0,290	Гази $7,489 + 1,198 + 1,093 = 9,780$
Електроди $0,300 + 0,100 + 0,100 = 0,500$	Втрата заліза у вигляді Fe ₂ O ₃ 2,864
Набивна маса $8,774 + 0,630 + 1,103 = 1,500$	Нев'язка 0,002
Залізна руда 0,601	Разом 114,636
Вапно 0,300	
Повітря $0,874 + 0,630 + 1,103 = 10,507$	
Ферромарганець 0,931	
Алюміній 0,097	
Разом 114,636	

ВИСНОВКИ

У роботі був розроблений цех сталевого лиття продуктивністю 18 тон на рік. Проведено розрахунок технологічного обладнання, стрижневих і формувальних матеріалів, а також розрахунок шихти. За результатами проведених обчислень було обрано обладнання та технологічні матеріали, що забезпечують якісний результат. Сучасне обладнання та технології дозволили збільшити продуктивність, підвищити якість, знизити витрати на ремонт, поліпшити умови праці та скоротити термін окупності.

Для забезпечення необхідної продуктивності та якості литва обґрунтовано використання індукційних тигельних печей і дугових електропечей постійного струму. Виконано баланс металу, розраховано необхідну кількість плавильних агрегатів та допоміжного обладнання, що дозволяє забезпечити стабільність технологічного процесу та зниження втрат металу.

У роботі впроваджено сучасні технологічні рішення для формувального та стрижневого виробництва, зокрема повітряно-імпульсне ущільнення форм і Cold-box-атін-процес виготовлення стрижнів. Застосування даних технологій забезпечує високу точність виливків, покращення якості поверхні та підвищення продуктивності праці.

Проведений аналіз конструкції виливка, розрахунок ливниково-живильної системи та визначення можливих дефектів дозволили забезпечити необхідний вихід придатного литва та оптимізувати технологічний процес виготовлення деталей.

					КНУ.РБ.136.26.112с-12 В							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Степаненко В.О.			ВИСНОВКИ			Літ.	Арк.	Акрушів		
Перевір.		Сайтгарежев Л.Н.								1	2	
								МТ-23-1ск				
Н. Контр.		Сайтгарежев Л.Н.										
Затверд.		Бабошко Д.Ю.										

Розроблений проєкт відповідає сучасним вимогам ливарного виробництва щодо механізації, ефективності та якості продукції. Реалізація запропонованих технічних рішень сприятиме підвищенню конкурентоспроможності підприємства, зменшенню виробничих витрат та покращенню умов праці персоналу.

					КНУ.РБ.136.26.112с-12 В	Днк
Змч	Днк	№ докум	Підпис	Дз-		2

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Федоров Г.Є. Проектування ливарних цехів [Текст] : підруч.: у 2 ч. / Г.Є. Федоров, М.М. Ямшинський, В.Г. Могилатенко т ін. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – Ч.1. – Бібліогр.:с. – 582.
2. Технологія ливарної форми (ТЛФ) : навчальний посібник до практичних занять і самостійної роботи для студентів галузі знань 13 "Механічна інженерія", спеціальності 136 "Металургія" спеціалізації "Ливарне виробництво" / А.М. Фесенко ; Міністерство освіти і науки України, Донбаська державна машинобудівна академія, Кафедра технологій і обладнання ливарного виробництва. - Краматорськ : ДДМА, 2017. - 112 с.
3. Пархоменко А.В. Ремонт та експлуатація обладнання ливарного виробництва[Текст]: навч. посібник / А.В.Пархоменко, В.В.Наумик, В.В.Луньов. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2013. – 260с.
4. Формувальні матеріали [Текст] : підручник для студ. спеціальності 136 «Металургія», освітньої програми «Комп'ютеризовані процеси лиття» / Р. В. Лютий, І. М. Гурія ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 257 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 «КПІ», 2011. – Ч.2. – Бібліогр.:с. – 380.
6. Модельна оснастка для виробництва виливків у піщаних формах. Дорошенко С. П., Федоров Г. Є. Навчальний посібник. – К.: Політехніка, 2001. – 108 с., 2003. – 112 с.

					КНУ.РБ.136.26.112с-12 СВД		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		
Розроб.		Степаненко В.О.					
Перевір.		Сайтгарежев Л.Н.					
Н. Контр.		Сайтгарежев Л.Н.					
Затверд.		Бабошко Д.Ю.			МТ-23-1ск		
					Літ.	Арк.	Акрушів
						1	3

7. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Литі заготовки [Текст] : навч. посіб. / Ж. П. Дусанюк., О. П. Шиліна, С. В. Репінський, С. В. Дусанюк ; Вінниц. нац. техн. ун-т. - Вінниця : ВНТУ, 2009. - 198 с.

8. Конструкція і технологія виготовлення ливарних заготовок [Текст] : навч. посіб. / А. С. Аралкін. - Кривий Ріг : Вид. центр КТУ, 2011. - 164 с

9. Іванова, Л. Х., Шапран, Л. О. Ливарне виробництво: технологія фасонного литва: навч. посіб. / Л. Х. Іванова, Л. О. Шапран. – Дніпро: НМетАУ, 2021. – 256 с.Корицький Г. Г., Маняк М. О., Пасічник С. Ю. Технологія ливарного виробництва: навчальн. посібн. для ВНЗ. Донецьк: ДонНТУ, 2008. 175 с.

10. Технології виробництва заготовок литтям [Текст] : навч. посіб. для здобувачів вищ. освіти галузі знань 13 "Механічна інженерія" / Василь Васильків, Лариса Данильченко, Дмитро Радик ; Тернопіл. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя. - Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2023. - 491 с.

11. Проектування і обладнання електросталеплавильних і феросплавних цехів: Підручник / В.А.Гладких, М.І.Гасик, А.М.Овчарук, Ю.С.Пройдак.- Дніпропетровськ: «Системні технології». 2004.- 692 с.Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва [Текст] : навч. посіб. / А. М. Верховлюк, А. В. Нарівський, В. Г. Могилатенко ; за ред. акад. НАН України В. Л. Найдека ; НАН України, Фіз.-технол. ін-т металів та сплавів. - Київ : Вініченко, 2016. - 223 с.

14. Виробництво виливків [Текст] : підручник / О. Л. Голубенко [та ін.] ; Східноукраїнський національний ун-т ім. Володимира Даля, Магдебурзький ун-т ім. Отто-фон-Гюріке. - Луганськ : СНУ ім.В.Даля, 2009. - 328 с.:

15. Виробництво виливків із спеціальних сталей: Монографія / Макаревич О.П., Федоров Г.Є., Платонов Є.О. – К.: Видавництво НТУУ “КПІ”, 2005. – 717 с.

16. Леговані сталі: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів /О.В. Більченко, О.І. Дудка, В.Г. Хижняк, С.М. Чернега; Міністерство

					КНУ.РБ.136.26.112с-12 СВД	Днк
Змч	Днк	№ докум	Підпис	Дд-		2

освіти і науки України, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського". - Київ: Кондор, 2009. - 96 с.

17. Малишев, П. П., Лиття сталі у піщані та оболонкові форми: монографія / П. П. Малишев, С. Г. Ковальчук. – Київ: НУБіП, 2018. – 198 с.

18. Сухоручкін, О. М., Основи лиття сталі: отримання фасонних виливків / О. М. Сухоручкін, Г. М. Мартиненко. – Кривий Ріг: КНУ, 2019. – 278 с.

19. Бабич, В. О., Фасонне литво з легованих і спеціальних сталей / В.О. Бабич, І. О. Харьковський. – Харків: НТУ «ХПІ», 2020. – 312 с.

					КНУ.РБ.136.26.112с-12 СВД	Днк
Змч	Днк	№ докум	Підпис	Дод		3