

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 проєкту чавуноливарного цеху потужністю 9900 тонн
виливків на рік з розвісом лиття до 100 кг.

Виконав:

студент групи МТ-23-1ск

Богдан ГАНОВ

Керівник випускної роботи

Леван САІТГАРЕЄВ

Нормоконтролер

Леван САІТГАРЕЄВ

Т.в.о. завідувача кафедри

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

БОГДАН ГАНОВ ГЕННАДІЙОВИЧ

Тема роботи: Розробка проєкту чавуноливарного цеху потужністю 9900 тонн виливків на рік з розвісом лиття до 100 кг.

керівник роботи: к.т.н., доцент Саїтгарєєв 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
1	Розробка технології виготовлення виливка.	6.04.26 - 16.04.26р.
2	Розрахунки основних відділень цеху.	17.04.26 - 10.05.26р..
3	Виконання спеціальної частини роботи.	10.05.26 - 15.05.26р.
4	Виконання графічної частини роботи.	15.05.26 - 25.05.26р.
5	Підготовка пояснювальної записки роботи та презентації.	25.05.26 - 05.06.26р
6	Перевірка роботи на антиплагіат та підготовка до захисту.	05.06.26 - 10.06.26р.
7		
8		

Дата видачі завдання « ____ » _____ 2026 р.

Здобувач вищої освіти _____ Богдан ГАНОВ

Керівник випускної кваліфікаційної роботи _____ Леван САІТГАРЕЄВ

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота викладена на 71 сторінці і містить 5 рисунків, 24 таблиць, 14 джерел літератури, , графічну частину у вигляді креслень та презентації.

Бакалаврська робота присвячена розробці технологічного процесу виготовлення виливка «Корпус» із високоміцного чавуну марки ВЧ50 в умовах серійного виробництва на автоматичній лінії імпульсного формування «АЛФ».

У роботі проведено аналіз конструкції деталі та її технологічності, обґрунтовано вибір способу виготовлення виливка, визначено групу складності та положення виливка у формі. Виконано конструювання стрижнів і розрахунок їх маси, розраховано припуски на механічну обробку та коефіцієнт використання металу.

Особливу увагу приділено розрахунку ливникової системи за методом Озана–Дітерта, вибору складу формувальних і стрижневих сумішей, а також опису технології виготовлення форм і стрижнів на автоматичній лінії. Наведено характеристику модельного комплекту та основного технологічного обладнання.

Ключові слова: ВИСОКОМІЦНИЙ ЧАВУН, ВИЛИВОК, ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО, ІМПУЛЬСНЕ ФОРМУВАННЯ, ЛИВНИКОВА СИСТЕМА, СТРИЖЕНЬ, ФОРМУВАЛЬНА СУМІШ, АВТОМАТИЧНА ЛІНІЯ,

,

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.Р		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Ганов. Б.Г.			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Сайтгареев Л.Н.				1	1
Н. Контр.		Сайтгареев Л.Н.			РЕФЕРАТ		
Затверд.		Бабошко Д. Ю.					
					МТ-23-1ск		

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Загальна характеристика литої деталі	9
1.1.1 Вибір та обґрунтування обраного способу виготовлення виливка	13
1.2 Розрахунок групи складності виливка	13
1.3 Обґрунтування положення виливка у формі	15
1.4 Конструювання стрижня	16
1.4.1 Розрахунок маси стрижня №1	17
1.4.2 Розрахунок маси стрижня №2	17
1.5 Розрахунок кількості виливків у формі	19
1.6 Розрахунок припусків на механічну обробку за ГОСТ 26645–85 маси виливка	19
1.6.1 Визначення точності виливка	20
1.6.2 Визначення припусків на механічну обробку	21
1.6.3 Визначення маси припусків	21
1.6.4 Визначення маси напусків	23
1.6.5 Визначення коефіцієнта використання металу	25
1.7 Розрахунок ливникової системи та маси ливникової системи	26
1.7.1 Розрахунок ливникової системи за методом Озана–Дітерта	26
1.8 Формувальні та стрижневі суміші	27
1.8.1 Обґрунтування обраних складів	27
1.8.2 Характеристика та марки пісків, глин, сполучних	28
1.8.3 Технологія приготування сумішей	30
1.9 Розрахунок маси форми до заливки і після заливки	31
1.10 Характеристика модельного комплекту	33
1.11 Опис технології	34

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.3		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Ганов. Б.Г.</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Світгарєєв Л.Н.</i>			1	1	2
<i>Н. Контр.</i>		<i>Світгарєєв Л.Н.</i>			ЗМІСТ		
<i>Затверд.</i>		<i>Бабошко Д. Ю.</i>			МТ-23-1ск		

1.11.1	Порядок операцій при формуванні	34
1.11.2	Технологія виготовлення стрижнів	40
1.11.3	Технологія вибивання форми. Зачищення і обрубки лиття	42
1.13.	Вибір плавильного агрегату, його характеристика	42
1.12	Розрахунок маси пригруза	42
1.13.	Вибір плавильного агрегату, його характеристика	42
1.14.	Опис технології плавлення	42
2.	Організаційна частина	46
2.1	Розрахунок виробничої програми та кількості обладнання	49
2.2	Компонування ливарного цеху	54
2.3	Характеристика будівлі	55
3.	АНАЛІЗ СЛУЖБОВИХ І ЛИВАРНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЧАВУНІВ	58
3.1.	Характеристика службових та ливарних властивостей чавуну.	58
3.2.	Вплив хімічного складу на властивості чавуну	64
3.3.	Оцінка впливу хімічного складу за допомогою вуглецевого еквівалента та ступеня евтектичності.	67
	ВИСНОВКИ	68
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	71

ВСТУП

Ливарне виробництво є однією з базових галузей сучасної металургії та машинобудування, що забезпечує виготовлення широкого спектра деталей складної конфігурації з необхідними експлуатаційними властивостями. Серед різноманітних ливарних сплавів особливе місце займає високоміцний чавун, який завдяки поєднанню високої міцності, пластичності, зносостійкості та добрих ливарних властивостей широко застосовується для виготовлення відповідальних деталей машин і механізмів.

Сучасні умови виробництва вимагають підвищення якості виливків, зниження матеріаломісткості продукції, скорочення виробничих витрат та впровадження високопродуктивних автоматизованих технологій. Одним із ефективних напрямків розвитку ливарного виробництва є використання автоматичних формувальних ліній, які забезпечують стабільність технологічного процесу, високу точність виготовлення форм та покращення якості готової продукції.

Метою роботи є розробка раціональної технології виготовлення виливка, що забезпечує отримання якісної продукції при мінімальних витратах металу та високій продуктивності виробництва. Для досягнення поставленої мети виконано аналіз конструкції деталі та її технологічності, обґрунтовано вибір способу виготовлення виливка, визначено положення виливка у формі, виконано розрахунки стрижнів, припусків на механічну обробку, ливникової системи та формувальних матеріалів.

					КНУ.РБ.136.26.112с-03 В		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Ганов Б.Г.</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Сайтгарежев Л.Н.</i>				<i>1</i>	<i>1</i>
<i>Н. Контр.</i>		<i>Сайтгарежев Л.Н.</i>			МТ-23-1ск		
<i>Затверд.</i>		<i>Бабошко Д.Ю.</i>					
ВСТУП							

1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Загальна характеристика литої деталі

В якості завдання на розробку ливарної технології видано креслення деталі «Корпус». Деталь виготовляється з чавуну марки ВЧ50 ГОСТ 72 93 – 85. Хімічний склад ВЧ 50 наведено в таблиці 1.1. Деталь являє собою корпус з габаритними розмірами 273x580·x328 мм. Маса деталі 54 кг. Середня товщина стінки 22 мм.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад ВЧ50 ГОСТ 7293–85

Масова частка елементу, %				
C	Si	Mn	S	P
3,2–3,7	1,9–2,9	0,3–0,7	до 0,02	до 0,1

Зовнішня конструкція деталі забезпечує зручність вилучення моделі з форми. Відливці присвоєно 4 групу складності. Виробництво – серійне, режим роботи – двозмінний паралельний. Корпус виготовляють для екскаваторного підприємства, для складання екскаваторів. У корпусі є отвори, куди вставляються шестерні.

Механічні та експлуатаційні вимоги, що пред'являються до якості деталі, визначаються механічними властивостями сплаву ВЧ50 ГОСТ 7293 – 85, а також вимогами точності розмірів і шорсткості поверхні. Спосіб формування – машинний на обладнанні автоматичної лінії «АЛФ» в опоках з габаритними розмірами 960x700x·300/300 мм, по-сирому, з використанням єдиної формувальної суміші. Спосіб формування – імпульсне ущільнення.

У таблиці 1.2 представлені механічні властивості високоміцного чавуну.

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.01 ТЧ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Ганов. Б.Г.			ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Сайтгарєєв Л.Н.					1	36
						МТ-23-1ск		
Н. Контр.		Сайтгарєєв Л.Н.						
Затверд.		Бабошко Д. Ю.						

Таблиця 1.2 – Механічні властивості ВЧ50 ГОСТ 7293–85

Межа міцності σ_B , МПа	Межа плинності σ_T , МПа	Відносне подовження δ , %	Відносне звуження ψ , %	Ударна в'язкість КСУ, кДж / м	Твердість за Брінеллем НВ, од.
500	310	7	не регламентується	не регламентується	153–245

Виливок «Корпус 314 – 02 – 72. 51. 050» виготовляється з високоміцного чавуну марки ВЧ50 ГОСТ 7293–85. Чавун цієї марки має перлинно-феритну структуру, тому володіє високою міцністю. Високі властивості обумовлені кулястою формою графіту, яка в меншій мірі послаблює металеву основу.

Внаслідок більш сприятливої форми графіту модуль пружності ВЧ ($E = 140 - 180$ ГПа) в 1,5–2 рази вищий, ніж модуль пружності СЧ з пластинчастим графітом при тій же структурі металевої основи.

Хімічний склад ВЧ характеризується підвищеним вмістом вуглецю, що становить 3,2–3,7%. Це забезпечує хороші ливарні властивості чавуну і, завдяки кулястій формі графіту, не знижує механічних властивостей.

Вміст кремнію не повинен перевищувати 2–2,4%, для того щоб забезпечити хорошу пластичність. Марганець сприяє формуванню перлітної структури, тому його вміст не повинен перевищувати 0,7%. Вміст сірки в ВЧ не повинен перевищувати 0,02%, оскільки вона ускладнює процес модифікації та сфероїдизації графіту.

Кулясту форму графіту в ВЧ отримують шляхом модифікації базового сірого чавуну магнієм або церієм. Для отримання кулястого графіту необхідно суворо дотримуватися хімічного складу чавуну даної марки, також не допускається вміст домішок понад допустимі межі, оскільки домішки сприяють утворенню пластинчастого графіту, що знижує міцність і пластичні властивості високоміцного чавуну.

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.01 ТЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

Сірка належить до категорій шкідливих домішок, присутність якої в залізовуглецевих сплавах зумовлена її наявністю у вихідних шихтових матеріалах. Вона локалізується в структурі переважно у формі сульфідів заліза або у складі низькотемпературної евтектики.

Металургійний та структурний вплив домішки:

- Кінетика графітизації: сірка діє як інтенсивний антиграфітизатор, що суттєво гальмує процес виділення вільного графіту та сприяє стабілізації карбідної фази.
- Деградація механічних властивостей: внаслідок концентрації крихкої сульфідної евтектики по межах зерен відбувається зниження в'язкості та міцнісних характеристик металевої основи.
- Гідродинамічні показники: сульфідні включення підвищують динамічну в'язкість розплаву, що негативно позначається на його рідкоплинності (текучості) та якості заповнення ливарних форм.

Критичні концентрації та дефектоутворення:

При досягненні концентрації сірки на рівні 0,12–0,14% у структурі спостерігається аномальне зростання частки цементиту та перліту. Це ініціює виникнення структурного дефекту — відбілу (локальної кристалізації за метастабільною системою), особливо в тонкостінних перетинах виливків, де швидкість охолодження є максимальною.

Для нейтралізації негативного впливу сірки в технологічному процесі плавки передбачено операції десульфурації та витримування оптимального співвідношення між марганцем і сіркою.

Фосфор зменшує розчинність вуглецю в чавуні і температуру евтектичного перетворення. При вмісті фосфору понад 0,3% утворюється фосфідна евтектика у вигляді окремих включень $Fe_3P - Fe_3C - Fe$, що плавиться при $950^\circ C$. При вмісті понад 0,6–0,7% фосфору фосфідна евтектика виділяється у вигляді суцільної сітки, розташованої по межах кристалів. Тому в чавуні для відповідальних виливків має бути менше 0,2% фосфору.

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.01 ТЧ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Хром збільшує міцність чавуну при підвищених температурах і багаторазових нагріваннях. Хром підвищує твердість, опір зносу, корозії, але збільшує крихкість чавуну.

Ливарні властивості ВЧ значно відрізняються від ливарних властивостей чавунів інших типів. Вони визначаються головним чином підвищеним вмістом вуглецю і кремнію. Рідкоплинність ВЧ краща, ніж рідкоплинність КЧ або СЧ високих марок, що дозволяє виготовляти відповідальні фасонні виливки з мінімальною товщиною стінки до 3-5 мм. На відміну від сірого чавуну, високоміцний має підвищену об'ємну усадку, як і ковкий чавун, тому при литті потрібно встановлювати живильні бобишки.

Застосування ВЧ визначається хорошим поєднанням високих механічних, експлуатаційних і технологічних властивостей. Високоміцний чавун знаходить застосування в різних галузях промисловості для великої номенклатури деталей відповідального призначення масою від декількох кілограмів до декількох тонн, що працюють в умовах високих статичних, ударних і циклічних навантажень, ВЧ застосовують також для деталей, що працюють під великим тиском в насосних, гідравлічних і газових установках.

Аналіз технологічності конструкції деталі:

Конструкція виливка повинна забезпечити зручність вилучення моделей з форми, що досягається при найменшій кількості роз'ємів і від'ємних частин. Конструкція виливка являє собою сполучення простих геометричних тіл. Оскільки вилівок має коробчасту форму, то для того, щоб запобігти викривленню, передбачені технологічні стяжки, які при обрубубанні видаляються.

Модель для відливання «Корпус» може бути вилучена з форми без застосування від'ємних частин і має одну площину роз'єму. Порожнина у виливка виконується за допомогою двох стрижнів з висновками знакових частин, що забезпечує стійке кріплення його у формі. Через ці знакові частини проводиться виведення газів, що утворюються в стрижні при заливці форми розплавом.

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.01 ТЧ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Переходи і кути сполучення стінок виключають ймовірність отримання виливка з усадочними раковинами, пористістю і тріщинами, що досягається за допомогою плавних переходів від тонких перерізів до перерізів більшої товщини, а також радіусів заокруглення, галтелей, плавних сполучень.

На поверхнях, що піддаються механічній обробці, передбачаються припуски на механічну обробку. Припуски на механічну обробку призначаються за ГОСТ 26645-85. Ухили на знакових поверхнях призначаються згідно з ГОСТ 3212-92. Значення технологічних зазорів S1 і S2 призначають згідно з ГОСТ 3212-92. Значення зазору S3 приймають рівним 1,5S1.

1.1.1 Вибір та обґрунтування обраного способу виготовлення виливка

Деталь «Корпус №314–02–72.51.050» виготовляється на автоматичній лінії імпульсного формування «АЛФ», це пояснюється наявністю механізації та автоматизації виготовлення виливків у піщаних формах, що дозволяє отримати виливки необхідної точності при високій продуктивності з дотриманням необхідних санітарно-гігієнічних умов.

Процес виготовлення виливків на автоматичній лінії, в порівнянні з ручним формуванням, є більш швидким, а виливки виходять більш якісними. Для серійного виробництва найбільш вигідно виготовляти виливки на автоматичній лінії. При імпульсному способі формування досягається високе і рівномірне ущільнення суміші. Твердість форми з боку моделі становить 90 - 95 од. Що забезпечує гарну якість виливка, а також виключає деякі види браку з вини форми.

1.2 Розрахунок групи складності виливка

Група складності виливка визначається за прејскурантом 25 – 01. За конструктивно – технологічною складністю виливка поділяються на 6 груп.

У прејскуранті наведено 9 класифікаційних ознак групи складності. За кожною ознакою для даного виливка визначається група складності. Група

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.01 ТЧ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

складності вилівка визначається способом групування ознак. Показники, що використовуються для визначення групи складності, представлені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Група складності вилівка

Основна ознака групи складності	Виливок «Корпус»№314-02-72.51.050	
	Ознака складності	Група складності
1	2	3
Конфігурація литих поверхонь виливків	Циліндричні, сферичні, відкритої, коробчастої форми, зовнішні поверхні прямолінійні та криволінійні з ребрами, бобишками, литими отворами, виступами, поглибленнями тощо	3
Маса, кг	54	1
Максимальний габаритний розмір, мм.	580	1
Товщина основних стінок вилівка мм	22	2
Характеристика виступів, ребер, поглиблень	N=5-10 h≥75	4
Характер механічної обробки, вимоги до шорсткості поверхні	3 6 сторін	6
Кількість стрижнів на один виливок, кг	2	2
Відповідальність призначення	Відповідального призначення	4
Особливі технічні вимоги	Не висуваються	3

Перших груп – 3;

других груп – 2;

третьох груп – 2;

четвертих груп – 2;

п'ятих груп – 0;

шостих груп – 1.

Застосовуючи спосіб групування, виливку присвоюється 4 група складності.

1.3 Обґрунтування положення виливка у формі

Виконаний аналіз конструкції деталі показує її технологічність для лиття в піщано-глинисті форми. Програма серійного виробництва дозволяє розробити проект ливарної технології для автоматизованого виробництва. Деталь формується на автоматичній лінії імпульсного формування «АЛФ».

Для забезпечення високої якості виливка, необхідно правильно вибрати положення виливка у формі і вибрати лінію роз'єму. При заливці порожнини форми, положення виливка повинно бути вибрано таким чином, щоб забезпечити максимально можливий вивід газів, отримання точних розмірів виливка, звести до мінімуму ймовірність утворення усадочних і газових дефектів. Кількість роз'ємів повинна бути мінімальною, а роз'єми повинні бути плоскими.

Роз'єм форми повинен забезпечувати надійне кріплення стрижнів. При визначенні положення виливка у формі слід стежити за тим, щоб загальна висота форми була якомога меншою. Також роз'єм форми повинен забезпечувати найменшу кількість дефектів по перекосах, щоб скоротити обсяг обрубних робіт.

Вибір роз'єму форми і моделі залежить від розмірів литої деталі, її конструкції і характеру виробництва. Основні вимоги до площини роз'єму форми:

- 1) площина роз'єму повинна бути по можливості плоскою;
- 2) роз'єм повинен забезпечувати розміщення стрижня в нижній напівформі;
- 3) роз'єм повинен забезпечити підведення металу по площині роз'єму;
- 4) у разі машинного формування рекомендується мати один роз'єм.

У даному випадку лінія роз'єму проходить через вісь симетрії. Оскільки деталь виготовляється з ВЧ50 ГОСТ 7293 – 85, то метал підводимо через бобишку. Форма має мінімальну кількість стрижнів, поверхня роз'єму форми забезпечує вільне вилучення моделі з форми і зручність установки стрижнів.

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.01 ТЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Площина роз'єму забезпечує збірку форми без особливих труднощів, надійне кріплення стрижнів, виключаючи їх деформацію під дією сил тяжіння і тиску рідкого металу. Таке розташування виливка дозволяє здійснити плавне і практично безударне заповнення форми рідким розплавом, що виключає руйнування окремих ділянок форми і стрижня.

1.4 Конструювання стрижня

Стрижень – частина ливарної форми, призначена для отримання порожнини всередині виливка або складної зовнішньої поверхні виливка.

У проектуваному виливку за допомогою стрижнів необхідно отримати центральний отвір. Отвір отримуємо двома стрижнями.

Стрижень №1 має вертикальні знаки, оскільки порожнина у виливку розташована перпендикулярно до площини роз'єму форми. Довжина стрижня 77 мм.

Стрижень №2 має горизонтальні і вертикальні знаки, так як порожнина у виливку розташовується паралельно і перпендикулярно до площини роз'єму форми відповідно. Довжина стрижня 470 мм.

Розміри знаків призначаємо за таблицями ГОСТ 3212 – 92.

Таблиця 1.4 – Довжина стрижневих знаків

Діаметр, мм	Довжина знака, мм
110	15
170	20
400	75

Таблиця 1.5 – Значення технологічних зазорів

Висота знака, мм	h, м	Зазор S1, мм	Зазор S2, мм
75		0,8	-
20		0,6	-
15		0,5	0,8

1.4.1 Розрахунок маси стрижня №1

Тіло конструйованого стрижня складається з 5 частин.

Об'єм стрижня дорівнює:

$$\sum V_{\text{ст}} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5, (1)$$

де $V_1; V_2; V_3; V_4; V_5$ – обсяги відповідних частин стрижня, см^3 .

Знаходимо об'єм кожної частини стрижня

$$V = \pi \cdot R^2 h, (2)$$

де R – радіус відповідної частини стрижня, см ;

h – висота відповідної частини стрижня, см .

$$V_1 = 3,14 \cdot 8,5^2 \cdot 2 = 453,7 \text{ см}^3;$$

$$V_2 = 3,14 \cdot 8,5^2 \cdot 2,2 = 499,1 \text{ см}^3;$$

$$V_3 = 3,14 \cdot 7^2 \cdot 4,9 = 753,9 \text{ см}^3;$$

$$V_4 = 3,14 \cdot 5,5^2 \cdot 2,8 = 265,9 \text{ см}^3;$$

$$V_5 = 3,14 \cdot 5,5^2 \cdot 1,5 = 142,4 \text{ см}^3.$$

Знаходимо загальний об'єм стрижня

$$\sum V_{\text{ст}} = 453,7 + 499,1 + 753,9 + 265,9 + 142,4 = 2115 \text{ см}^3$$

Маса стрижня визначається за формулою

$$M_{\text{ст.}} = \sum V_{\text{ст.}} \cdot \rho_{\text{ст.}}, (3)$$

де $\rho_{\text{ст.}}$ – щільність стрижня, $1,5 \text{ г/см}^3$;

$$M_{\text{ст.}} = 2115 \cdot 1,5 = 3172,5 \text{ г.}$$

1.4.2 Розрахунок маси стрижня №2

Тіло конструйованого стрижня складається з 8 частин.

Об'єм стрижня дорівнює

$$\sum V_{\text{ст.}} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 + V_7 + V_8, (4)$$

де $V_1; V_2; V_3; V_4; V_5; V_6; V_7; V_8$ – обсяги відповідних частин стрижня, см^3 .

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.01 ТЧ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Знаходимо об'єм кожної частини стрижня

$$V_1 = a \cdot b \cdot h, (5)$$

де a – висота відповідної частини стрижня, см;

b – ширина відповідної частини стрижня, см;

h – довжина відповідної частини стрижня, см.

$$V_1 = 22 \cdot 40 \cdot 7 = 6160 \text{ см}^3 ;$$

$$V_2 = \pi \cdot R^2 \cdot h, \text{ см}^3 ;$$

$$V_2 = 3,14 \cdot 5,5^2 \cdot 2,2 = 208,9 \text{ см}^3 ;$$

$$V_3 = 3,14 \cdot 5,5^2 \cdot 1,5 = 142,5 \text{ см}^3 ;$$

$$V_4 = 3,14 \cdot 5,5^2 \cdot 2,2 = 208,9 \text{ см}^3 ;$$

$$V_5 = 3,14 \cdot 5,5^2 \cdot 1,5 = 142,5 \text{ см}^3 ;$$

$$V_6 = 3,14 \cdot 5,5^2 \cdot 1,5 = 142,5 \text{ см}^3 ;$$

$$V_7 = 3,14 \cdot 5,5^2 \cdot 2,2 = 208,9 \text{ см}^3 .$$

$$V_8 = V_A - V_B - V_B - V_{3\text{ст.1}} - V_{4\text{ст.1}} - V_{4\text{ст.1}} , (6)$$

де V_A ; V_B ; V_B – обсяги відповідних частин стрижня, см^3 ;

$V_{3\text{ст.1}}$; $V_{4\text{ст.1}}$; $V_{4\text{ст.1}}$ – обсяги відповідних частин стрижня №1, см^3 .

$$V_A = 30 \cdot 45 \cdot 22 = 29700 \text{ см}^3$$

$$V_{B;B} = S_{B;B} \cdot h, (7)$$

де $S_{B;B}$ – площа відповідної частини, см^2 ;

h – висота відповідної частини, см.

$$S_B = (a \cdot b)/2;$$

$$S_B = (16 \cdot 27)/2 = 216 \text{ см}^2 ;$$

$$V_B = 216 \cdot 22 = 4752 \text{ см}^3 ;$$

$$S_B = (16 \cdot 13)/2 = 104 \text{ см}^2 ;$$

$$V_B = 104 \cdot 22 = 2288 \text{ см}^3 ;$$

$$V_8 = 29700 - 4752 - 2288 - 753,9 - 265,9 - 142,4 = 21497,8 \text{ см}^3 .$$

Знаходимо загальний об'єм стрижня:

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.01 ТЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

$$\sum V_{\text{ст.}} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 + V_7 + V_8$$

$$\sum V_{\text{ст.}} = 6160 + 208,9 + 142,5 + 208,9 + 142,5 + 142,5 + 208,9 + 21497,8 = 28569,5$$

см³

Знаходимо масу стрижня:

$$M_{\text{ст.}} = \sum V_{\text{ст.}} \cdot \rho_{\text{ст.}}$$

$$M_{\text{ст.}} = 28569,5 \cdot 1,65 = 47139,7 \text{ гр}$$

1.5 Розрахунок кількості виливків у формі

При серійному виробництві виливків на автоматичній лінії слід розташовувати моделі на плиті так, щоб максимально використовувати площу опок. Оптимальне розташування моделей на плиті є істотним засобом зниження собівартості лиття.

Занижена кількість виливків у формі призводить до зниження виробництва виливків при одних і тих же трудовитратах на виготовлення форми, до недоцільної витрати формувальної суміші, послідовно і до перевитрати свіжих формувальних матеріалів.

При розташуванні виливків на плитах необхідно правильно визначити товщину шарів формувальної суміші на різних ділянках форми.

У формі розташований 1 вилівок з габаритними розмірами 273x580x328 мм. Залежно від габаритних розмірів моделі, приймаємо наступні розміри:

- від верху моделі до верху опоки допустимий – 70 мм, приймаємо -169 мм;
- від низу моделі до низу опоки допустимий – 90 мм, приймаємо – 169 мм;
- від моделі до стінки опоки допустимий –50 мм, приймаємо – 170 мм;
- між моделлю і шлакоуловлювачем допустимий –40 мм, приймаємо – 40 мм.

1.6 Розрахунок припусків на механічну обробку за ГОСТ 26645–85 маси виливка

Вихідні дані

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.01 ТЧ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Номінальні розміри деталі – 273×580×328;
2. Марка сплаву – ВЧ 50 ГОСТ 1412 – 85;
3. Наявність ТО – ТО не проводиться;
4. Технологічний процес виготовлення виливка – піщано-глиняні форми;
5. Маса деталі – 54 кг;
6. Серійність виготовлення виливків – серійне;
7. Ступінь механізації виробництва – автоматична лінія.

1.6.1 Визначення точності виливка

Точність виливка визначається за ГОСТ 26645 – 85.

Клас розмірної точності визначається за таблицею 9, залежно від габаритних розмірів виливка типу сплаву, наявності термічної обробки, складності виливка, серійності та ступеня механізації: 8; 9; 10; 11; 12; 13 т.

Для виливка середньої складності при серійному виготовленні на автоматичній лінії клас розмірної точності прийнятий – 11.

Ступінь викривлення визначається за таблицею 10, залежно від відношення найменшого габаритного розміру до найбільшого, типу сплаву, наявності ТО, складності, багаторазового використання форми: 3; 4; 5; 6.

Для даного відливання прийнято ступінь викривлення – 5.

Ступінь точності поверхонь визначається за таблицею 11, залежно від технічного процесу виготовлення, найбільшого габаритного розміру, типу сплаву, наявності ТО, складності виливка, серійності та ступеня механізації виробництва: 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18.

Для даного виливка ступінь точності поверхонь прийнята – 15.

Клас точності маси визначається за таблицею 13, залежно від технічного процесу виготовлення, маси, типу сплаву, наявності ТО, складності виливка, серійності та ступеня механізації виробництва: 7т; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14.

Для даного виливка клас точності маси прийнятий – 11.

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.01 ТЧ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Допуск зміщення вилівка в діаметральному вираженні роз'єму визначається за таблицею 1, на рівні розмірної точності вилівка за номінальним розміром найтоншої зі стінок вилівка, що виходить на роз'єм форми.

1.6.2 Визначення припусків на механічну обробку

Номінальні розміри вилівка, які підлягають механічній обробці, заносимо в таблицю. У дану таблицю заносимо всі показники по кожному розміру.

Таблиця 1.6 – Номінальні розміри

Номінальний розмір на обробку, мм	Допуск на розміру, мм	Допуск форми, мм	Загальний допуск, мм	Ряд припусків	Мінімальний ливарний припуск	Загальний припуск, мм	Прийнятий припуск, мм
Ø 170	5,6	0,5	0,45	8	1,0	1,4	2,4
Ø 110	5,0	0,32	0,32	8	1,0	1,2	2,2
273	6,1	0,8	0,6	8	1,0	1,5	2,5
328	6,1	1,0	1,4	8	1,0	1,5	2,5

1.6.3 Визначення маси припусків

Припуск на розмір Ø170

$$M = V \cdot \rho, \quad (8)$$

де V – об'єм припуску, см^3 ;

ρ – щільність чавуну, $7\text{г}/\text{см}^3$.

$$V = V_2 - V_1$$

$$V_2 = \pi \cdot R^2 \cdot h, \quad (9)$$

де R – радіус оброблюваного отвору, см;

h – висота оброблюваного отвору, см.

$$V_2 = 3,14 \cdot 8,5^2 \cdot 2,2 = 499,1 \text{ см}^3$$

$$V_1 = \pi \cdot (R - \Pi)^2 \cdot h, \quad (10)$$

де Π – припуск на обробку, см.

$$V_1 = 3,14 \cdot (8,5 \cdot 0,24)^2 \cdot 2,2 = 471,3 \text{ см}^3 ;$$

$$V = 499,1 - 471,3 = 27,8 \text{ см}^3 ;$$

$$M = 27,8 \cdot 7 = 194,6 \text{ гр} = 0,194 \text{ кг}.$$

Припуск на розмір $\varnothing 110$ (чотири отвори)

$$M = V \cdot \rho ;$$

$$V = V_2 - V_1 ;$$

$$V_2 = \pi \cdot R^2 \cdot h = 3,14 \cdot 5,5^2 \cdot 2,2 = 208,9 \text{ см}^3 ;$$

$$V_1 = \pi \cdot (R - \Pi)^2 \cdot h = 3,14 \cdot (5,5 - 0,22)^2 \cdot 2,2 = 192,6 \text{ см}^3 ;$$

$$V = 208,9 - 192,6 = 16,3 \text{ см}^3 ;$$

$$M = 16,3 \cdot 7 = 114,1 \text{ гр} = 0,114 \text{ кг} ;$$

$$M = 0,114 \cdot 4 = 0,456 \text{ кг}.$$

Припуск на розмір 328

$$M = V \cdot \rho ;$$

$$V = (V_1 - V_2) \cdot \Pi.$$

$$V_1 = a_1 \cdot b_1, (11)$$

де a_1 – ширина даної поверхні, см;

b_1 – довжина даної поверхні, см.

$$V_1 = 26,2 \cdot 58 = 1519,6 \text{ см}^3$$

$$V_2 = a_2 \cdot b_2, (12)$$

де a_2 – ширина даної поверхні, см;

b_2 – довжина даної поверхні, см.

$$V_2 = 40 \cdot 22 = 880 \text{ см}^3 ;$$

$$V = (1519,6 - 880) \cdot 0,25 = 159,9 \text{ см}^3 ;$$

$$M = 159,9 \cdot 7 = 1119,3 \text{ гр} = 1,1 \text{ кг}.$$

Припуск на розмір 273

$$M = V \cdot \rho ;$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.01 ТЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

$$V = (((a_1 \cdot b_1) \cdot (a_2 \cdot b_2)) - (\text{img})) \cdot \pi / 2, \quad (13)$$

де D_1, D_2 – діаметри даних отворів, див.

$$V = (((12,5 \cdot 29) + (29 \cdot 29,5)) - (\text{img})) \cdot 0,25 / 2 = 278,9 \text{ см}^3 ;$$

$$M = 278,9 \cdot 7 = 1952,3 \text{ гр} = 1,9 \text{ кг.}$$

1.6.4 Визначення маси напусків

Напуск на отвір М8 – 7Н×20/1×45° (шістнадцять отворів)

$$M_1 = V \cdot \rho \cdot 16;$$

$$V = S \cdot h, \quad (14)$$

де S – площа напуску, см^2 ;

h – висота напуску, см.

$$V = 1,0 \cdot 1 = 1,0 \text{ см}^3$$

$$S = (\text{img}), \quad (15)$$

де D – діаметр напуску, см.

$$S = (\text{img}) = 1,0 \text{ см}^2 ;$$

$$M_1 = 1,0 \cdot 7 \cdot 16 = 112 \text{ гр} = 0,112 \text{ кг.}$$

Напуск на отвір $\varnothing 26$ Н14 (чотири отвори):

$$M_2 = V \cdot \rho \cdot 4;$$

$$V = S \cdot h = 2,7 \cdot 2,7 = 7,29 \text{ см}^3 ;$$

$$S = (\text{img}) = (\text{img}) = 2,7 \text{ см}^2 ;$$

$$M_2 = 7,29 \cdot 7 \cdot 4 = 204,1 \text{ гр} = 0,204 \text{ кг.}$$

Напуск на отвір М16 – 7Н (чотири отвори):

$$M_3 = V \cdot \rho \cdot 4;$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.01 ТЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

$$V = S \cdot h = 4,0 \cdot 2,2 = 8,8 \text{ см}^3 ;$$

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{2} = \text{[icon]} = 4,0 \text{ см}^2 ;$$

$$M_3 = 8,8 \cdot 7 \cdot 4 = 246,4 \text{ гр} = 0,246 \text{ кг.}$$

Напуск на отвір М12 – 7Н (сім отворів):

$$M_4 = V \cdot \rho \cdot 7;$$

$$V = S \cdot h = 2,3 \cdot 2,2 = 5,06 \text{ см}^3 ;$$

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{2} = \text{[icon]} = 2,3 \text{ см}^2 ;$$

$$M_4 = 5,06 \cdot 7 \cdot 7 = 247,9 \text{ гр} = 0,247 \text{ кг.}$$

Напуск на отвір М12 – 7Н (три отвори):

$$M_5 = V \cdot \rho \cdot 3;$$

$$V = S \cdot h = 2,3 \cdot 1 = 2,3 \text{ см}^3 ;$$

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{2} = \text{[icon]} = 2,3 \text{ см}^2 ;$$

$$M_5 = 2,3 \cdot 7 \cdot 3 = 48,3 \text{ гр} = 0,048 \text{ кг.}$$

Напуск на отвір $\emptyset 51$ і $\emptyset 30$:

$$M_6 = m_1 + m_2 , (16)$$

де m_1 – маса отвору $\emptyset 51$, кг;

m_2 – маса отвору $\emptyset 30$, кг.

$$m_1 = V_1 \cdot \rho \cdot 2;$$

$$V_1 = S_1 \cdot h_1 = 40,8 \cdot 1,1 = 44,88 \text{ см}^3 ;$$

$$S_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{2} = \text{[icon]} = 40,8 \text{ см}^2 ;$$

$$m_1 = 44,88 \cdot 7 \cdot 2 = 628,3 \text{ г};$$

$$M_3 = 2,3 \cdot 7 \cdot 3 = 48,3 \text{ г} = 0,048 \text{ кг};$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.01 ТЧ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$m_2 = V_2 \cdot \rho \cdot 2;$$

$$V_2 = S_2 \cdot h_2 = 14,13 \cdot 1,1 = 15,5 \text{ см}^3 ;$$

$$S_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{2} = 14,13 \text{ см}^2 ;$$

$$m_2 = 15,5 \cdot 7 \cdot 2 = 217 \text{ г} = 0,217 \text{ кг};$$

$$M_6 = 628,3 + 217 = 845,3 \text{ гр} = 0,845 \text{ кг}.$$

Напуск на отвір $\varnothing 20$:

$$M_7 = V \cdot \rho;$$

$$V = S \cdot h = 6,28 \cdot 1,8 = 11,3 \text{ см}^3 ;$$

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{2} = 6,28 \text{ см}^2 ;$$

$$M_7 = 11,3 \cdot 7 = 79,1 \text{ гр} = 0,079 \text{ кг};$$

$$\sum M_{\text{н.}} = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_6 + M_7 = 0,112 + 0,204 + 0,246 + 0,247 + 0,048 + 0,845 + 0,079 = 1,781 \text{ кг};$$

$$M_{\text{відл.}} = \sum M_{\text{пр}} + \sum M_{\text{н.}} + M_{\text{д.}} = 1,3317 + 1,538 + 28,1 = 30,97 \text{ кг}.$$

Маса виливка

$$54 - 3,65 - 1,781 - 59,431 \text{ ГОСТ } 26645 - 85.$$

1.6.5 Визначення коефіцієнта використання металу

КВМ визначається шляхом відношення маси деталі до маси виливка

$$\text{КВМ} = \frac{G_{\text{д}}}{G_{\text{відл.}}}, (17)$$

де $G_{\text{д}}$ – маса деталі, кг;

$G_{\text{відл.}}$ – маса виливка, кг.

$$\text{КВМ} = \frac{1,781}{30,97} = 0,9$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.01 ТЧ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.7 Розрахунок ливникової системи та маси ливникової системи.

При виборі способу розплаву в форму і розробці конструкції ливникової системи необхідно враховувати, що розплав повинен надходити в форму плавно без ударів об її стінки і стрижні, без завихрень, із заданою швидкістю підйому рівня в формі і послідовним видаленням повітря і газів з форми.

Приймаємо ливник з підведенням розплаву по лінії роз'єму вилівка. При застосуванні цієї ливник слід враховувати масу розплаву і його тиск на стінки форми, яке залежить від висоти стояка.

Звужується литтєва система найбільш проста її застосовують для більшості виливків, що мають глибину форми від лінії роз'єму до 200 мм. (допустима висота з якої вхідний в форму розплав падає на дно форми не завдаючи їй помітних руйнувань). Така литтєва система з послідовним зменшенням площ поперечного перерізу елементів від стояка до живильників не призводить до браку виливків.

Для кращого регулювання швидкості надходження розплаву в форму і кращого затримання шлаку застосовують шлакоуловлювач.

1.7.1 Розрахунок ливникової системи за методом Озана-Дітерга

Знаходимо сумарний перетин живильників

$$\Sigma F_n = G / (\rho \cdot t \cdot v) = G / (\rho \cdot t \cdot \mu \cdot \sqrt{2g \cdot H_p}), \quad (18)$$

де G – маса вилівка, г;

ρ – щільність розплаву, г/см³;

t – тривалість заливки, с;

v – швидкість витікання розплаву, см/с;

μ – коефіцієнт витрати, рівний 0,45;

g – прискорення вільного падіння, см/с;

H_p – розрахунковий статичний напір, см.

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.01 ТЧ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тривалість заливки:

$$t = s \cdot \sqrt{G}, \quad (19)$$

де G – маса виливків, кг;

s – коефіцієнт, що враховує товщину стінки виливка, при товщині стінок 8 – 25 мм s відповідно дорівнює 2,2

$$t = 2,2 \cdot \sqrt{59,469} = 16,97 \text{ с}$$

Розрахунковий статичний напір:

$$H_p = H - P / (2 \cdot C), \quad (20)$$

де H – висота стояка від місця підведення розплаву до форми, см;

C – висота виливка, см;

P – висота виливка від місця підведення розплаву до форми, см.

$$H_p = 30 - 15,96 / (2 \cdot 28,7) = 25,6 \text{ см}$$

Підставляємо отримані значення у формулу (18) і отримуємо:

$$\Sigma F_n = 59431 / (7 \cdot 16,97 \cdot 0,48 \sqrt{2} \cdot 981 \cdot 25,6) = 4,7 \text{ см}^2$$

Розраховуємо площу на один живильник:

$$F_n = 4,7 / 3 = 1,6 \text{ см}^2$$

З співвідношення $\Sigma F_{\text{п}} : \Sigma F_{\text{шл}} : \Sigma F_{\text{ст}} = 1 : 1,2 : 1,4$

$$F_{\text{шл}} = F_n \cdot 1,2 = 4,7 \cdot 1,2 = 5,64 \text{ см}^2$$

Розраховуємо живильник:

$$F_{\text{жив}} = 1,6 \text{ см}^2$$

1.8.Формовочні та стрижневі суміші

1.8.1 Обґрунтування обраних складів

Для виготовлення ливарних форм і стрижнів застосовують формувальні матеріали, які мають хороші технологічні властивості:

- хорошим ущільненням в опоці;
- мають достатню міцність;
- сипучістю;
- здатністю протистояти термічному впливу високої температури;

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.01 ТЧ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- не виділяють пари і газ при заливці;
- здатністю легко видалятися з форми при вибиванні.

Виходячи з перерахованих вище вимог до застосовуваної формувальної суміші для виготовлення форм, застосовуємо єдину піщано-глинисту формувальну суміш.

Таблиця 1.7 – Склад формувальної суміші

Складові	ГОСТ, ТУ	Насипна маса, питома вага, г/см ³	Склад суміші на заміс	
			%	к
Пісок 2К2О2016	2138	1,5	2–3	10
Відпрацьована суміш	-	1,25	95,5–94	477,5–470
Суспензія, у т.ч.		1,12–1,16	2,5–3,0	12,5–15
Кальцій хлористий	45	0,9	0,02–0,025	0,1–0,125
ЕКР	ТУ 18–8–14–86	0,5	0,025–0,03	0,125–0,15
Бентоніт	28177	1	0,41–0,46	2,05–2,3
Вугілля мелене	ТУ 12–01–81	0,6	0,1	0,5
Лігносульфанат	ТУ 13–0281036–05–89	1,23–1,24	0,01	0,05
Вода		1,0	1,93–2,31	9,65–11,55

Таблиця 1.8 – Склад стрижневої суміші (ХТС)

Найменування компонента	ГОСТ, ТУ	Марка	Масова частка, %
Пісок	2138–91	1К03016	96
Смола	ТУ 05–1785–83	КФ-65	2,2
Ортофосфорна кислота	10678–86	Б	1,2
Всього			100

1.8.2 Характеристика та марки пісків, глин, сполучних

Головною складовою формувальної піщано-глинистої суміші є відпрацьована суміш, яка перед подальшим використанням проходить операції, що дозволяють відновити її початкові технологічні властивості.

Кварцовий пісок має високу вогнетривкість, що дозволяє витримувати високі температури при контакті з розплавом. Застосовуємо пісок 2К₂О₂О₂ за ГОСТ 2138–84, з вологістю до 0,5 і температурою не більше 30 С.

Відпрацьована суміш, що пройшла магнітну сепарацію, охолоджена і просіяна через полігональне сито коміркою 14·14 мм з температурою не більше 40 С. Бентоніт із сирою міцністю не менше 0,9 кг/см, марки ПІТ з масовою часткою монтморилоніту не менше 50% і колоїдністю не менше 80% ГОСТ 28177, повинен зберігатися в закритих складських приміщеннях або бункерах.

Фізико-механічні властивості формувальної суміші представлені в таблиці 1.9.

Таблиця 1.9 – Фізико-механічні властивості суміші

Найменування показника	Одиниці виміру	Норма
Вологість		3,0
Міцність при стисненні сирих зразків	МПа	0,95–1,2
Газопроникність, не менше	Одиниць	
Ущільнюваність	%	37
Формованість, не менше	%	65
Вміст активного бентоніту	%	6
Вміст вуглецю	%	1,5–2,0
Вміст дріб'язку	%	10–13
Температура піску, не більше	°	30
Температура відпрацьованої суміші, не більше	°С	40
Щільність суспензії,	г/см	1,12–1,16

Для виготовлення стрижнів застосовуємо холоднотвердну стрижневу суміш. Кварцовий пісок, що використовується в стрижневій суміші, має високу вогнетривкість, що дозволяє стрижню витримувати високі температури при контакті з рідким металом. Використовуємо кварцовий пісок марки 1К₂ О₂ О16 за ГОСТ 2138–84.

В якості сполучного використовуємо смолу КФ – 65, здатну за короткий час тверднути. Для прискорення процесу твердіння використовуємо в якості каталізатора ортофосфорну кислоту. Стеарат кальцію зменшує прилипання і покращує плинність.

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.01 ТЧ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Фізико-механічні властивості стрижневої суміші представлені в таблиці 1.10.

Таблиця 1.10. Властивості стрижневої суміші кислотного затвердіння

Найменування властивості	Одиниці виміру	Значення параметра
Міцність на стиск, через: – 60 – 180 – 1440	МПа	0,3 3,5–4,0 3,5–5,0
Живучість суміші	хвилин	3–5
Тривалість затвердіння в оснащенні	хвилин	10

1.8.3 Технологія приготування сумішей

Готується єдина формувальна суміш у змішувачах вихрового типу з вихровим елементом перемішування. Транспортується системою стрічкових конвеєрів. Подається в бігуни відпрацьована суміш і пісок через течки по реле часу. Початок і закінчення подачі здійснюється пневмозасувками, встановленими на течках. Перемішування сухих складових суміші в бігунах протягом 30 сек.

Суспензія надходить в змішувачі через об'ємний дозатор, перемішується суміш протягом 1,5-2,0 хв. Суміш з бігунів надходить по стрічкових транспортерах ЛК-51, ЛК-52 на формування. В кінці кожної зміни здійснювати чистку бігунів за допомогою скребка і лопати.

Таблиця 1.11 – Склад суспензії

Найменування матеріалів	Насипна вага г/см	Склад суспензії на заміс		
			%	кг
Вода	1,0	78–72,2	1560–1454	1560–1454
Хлористий кальцій	0,9	0,9	18	20–22,2
ЕКР	0,5	0,8–1,0	16	32
Бентоніт	1,0	16	320	320–370
Вугілля	0,6	3,8–5,8	76–116	126,6–193,3

Лігносульфат	1,23	0,5–1,0	10	8,1–16,2
--------------	------	---------	----	----------

Для автоматизованого приготування холоднотвердіючих стрижневих сумішей (ХТС) у складі комплексно-механізованих ліній застосовуються шнекові змішувачі безперервної дії моделі 4727. Конструктивна схема агрегату забезпечує високу гомогенність суміші при мінімальному часовому циклі змішування.

Кінематика та технологічний цикл:

- Дозування наповнювача: сухий кварцовий пісок транспортується з надбункерної естакади до приймальної воронки машини, після чого через прецизійний шиберний дозатор подається в робочу порожнину змішувача.
- Інжекція активних компонентів: у першій секції шнека відбувається послідовне введення рідкого каталізатора та сполучної речовини (реакційної смоли) через систему форсунок.
- Механо-хімічна обробка: під час обертання шнекового вала компоненти піддаються інтенсивному перетиранню та перемішуванню, що забезпечує рівномірне покриття кожної зернини піску адгезійною плівкою сполучного.
- Розвантаження та формоутворення: готова суміш безперервним потоком транспортується до розвантажувального патрубку, звідки під дією власної ваги надходить безпосередньо в стрижневий ящик.

Використання змішувачів безперервної дії дозволяє нівелювати проблему низької «живучості» ХТС, оскільки суміш готується в об'ємі, необхідному для негайного заповнення оснащення.

1.9 Розрахунок маси форми до заливки і після заливки

Розрахунок маси форми до заливки ведеться за формулою:

$$M_{\phi} = M_{\text{опок}} + M_{\text{смеси}}, \quad (23)$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.01 ТЧ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $M_{\text{опок}}$ – маса порожніх опок, 500 кг;

$M_{\text{суміші}}$ – маса формувальної суміші у формі, кг.

Визначаємо об'єм формувальної суміші:

$$V_{\text{форм.суміші}} = V_{\text{опок}} - V_{\text{мет}} - V_{\text{стерж.}}, \quad (24)$$

де $V_{\text{опок}}$ – об'єм опок, см^3 ;

$V_{\text{мет}}$ – об'єм металу, см^3 ;

$$V_{\text{стерж}} = V_{\text{стерж1}} + V_{\text{стерж2}} = 2115 + 28569,5 = 30684,5 \text{ см}^3$$

Розміри опок у світлі 960x700 висота верху / низу 300/300. Отже, об'єм

ОПОКИ визначається:

$$V_{\text{опок}} = 96 \cdot 70 \cdot 60 = 403200 \text{ см}^3$$

$$V_{\text{мет.}} = M_{\text{відл.}} + M_{\text{л.с}} / \rho, \quad (25)$$

де $M_{\text{відл.}}$ – маса виливків у формі, г (див. $M_{\text{відл.}}$ – Розділ 1.6);

$M_{\text{л.с}}$ – маса ливникової системи, г, (див. $M_{\text{лит.сист.}}$ – Розділ 1.7);

ρ – щільність чавуну, $\text{г}/\text{см}^3$, $\rho = 7 \text{ г}/\text{см}^3$.

$$V_{\text{мет.}} = 59431 + 30948 / 7 = 12916,7 \text{ см}^3 ;$$

$$V_{\text{форм.суміші}} = 403200 - 12916,7 - 30684,5 = 359598,8 \text{ см}^3 .$$

Визначаємо масу формувальної суміші:

$$M_{\text{форм.суміші}} = V_{\text{форм.суміші}} \cdot \rho = 359598,8 \cdot 1,65 = 593338 \text{ гр} = 593,338 \text{ кг}$$

$$M_{\text{ст.}} = M_{\text{ст.1}} + M_{\text{ст.2}}, \quad (26)$$

де $M_{\text{ст.1}}$; $M_{\text{ст.2}}$ – маса стрижня №1 і стрижня №2 (див. Розділ 1. 4).

$$M_{\text{ст.}} = 3,489 + 47,139 = 50,628 \text{ кг}$$

Визначаємо загальну масу суміші:

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.01 ТЧ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_{\text{суміші}} = M_{\text{форм.суміші}} + M_{\text{ст.суміші}}, \quad (27)$$

де $M_{\text{ст. суміші}}$ - маса стрижневої суміші, кг (див.Розділ 1.4).

$$M_{\text{суміші}} = 593,338 + 50,628 = 643,966 \text{ кг}$$

Визначаємо масу форми до заливки:

$$M_{\text{ф.д.з.}} = M_{\text{опок}} + M_{\text{суміші}} = 500 + 643,966 = 1143,966 \text{ кг}$$

1.10..Характеристика модельного комплекту

Для виготовлення моделі вибираємо металевий модельний комплект, оскільки при великосерійному і серійному виробництві це є найбільш підходящим, тому що забезпечує отримання виливки певної геометричної форми і розмірів, має високу міцність і довговічність, має мінімальну масу і зручний в експлуатації, зберігає точність розмірів, міцність протягом певного часу експлуатації.

Металевий модельний комплект виготовляється з АІ-го сплаву АК 7 ГОСТ 1583 – 93. Моделі з АІ-го сплаву мають достатню міцність і не схильні до корозії.

Модельний комплект складається з моделі виливків і елементів ливникової системи, стрижневих знаків, модельних плит для установки і кріплення моделі виливка до ливникової системи, сушильних плит пристосувань для доведення і контролю форми і стрижнів.

Металеві моделі, стрижневі ящики, модельні та сушильні плити роблять тонкостінними, підсилюючи їх ребрами жорсткості. Товщину стінок моделі стрижневих ящиків призначаємо за ГОСТ 19370 – 79.

Товщина ребер жорсткості 0,7–0,8 товщини стінок моделі або ящика, товщина бортів 1,25 – 1,3 товщини стінок, відстань між ребрами жорсткості беремо не більше 300 мм. Ребра і стінки моделі виготовляємо з формувальними ухилами в межах норми.

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.01 ТЧ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Точність розмірів і шорсткість поверхні металевих моделей і стрижневих ящиків регламентується ГОСТ 2789 – 95. Шорсткість поверхні моделі другого класу точності зазвичай становить $R_a = 2,5$ мкм за ГОСТ 2789 – 95.

Знакові частини на моделі виконуємо разом з контуром моделі, оскільки розташування знаків на моделі не ускладнює її обробку. Розміри знакових частин виконуємо відповідно до ГОСТ 3601 – 80.

Моделі елементів ливникової системи – живильники, шлаковловлювачі, стояк, виконуємо суцільними і кріпимо на плиті за допомогою гвинтів. Модель кріпимо на плиті за допомогою штифтів і болтів.

Заготовки металевих плит і моделей отримуємо литтям в піщані форми за дерев'яними моделями, так звані промоделі. Промоделі виготовляємо з припусками на обробку різанням. При визначенні розмірів дерев'яної промоделі враховуємо сумарну усадку сплаву моделі і виливка.

Попередньо на кожній плиті робимо монтажні ризики, як правило, від контрольного штиря при монтажі моделі на плитах враховуємо розміри і конструкцію опок.

Модель виконуємо роз'ємною по осі симетрії, що дозволяє нам застосувати нормальну ливникну систему.

1.11.Опис технології

1.11.1 Порядок операцій при формуванні

Формування виливка «Корпус» 314 – 02 72. 51. 050 проводиться на автоматичній лінії «АЛФ».

Перелік складових частин лінії

1. Установа імпульсного формування (2 установки);
2. Механізм видавлювання (2 установки);
3. Механізм виштовхування;
4. Гідрообладнання;

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.01 ТЧ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Електрообладнання.

Пристрій, робота лінії та її складових частин:

1. Лінія призначена для формування піщано-глинистих напівформ (розмір опоки в світлі 960x700, висота верху / низу 300/300) методом імпульсного формування, установки стрижнів, складання форм, заливки форм металом, охолодження і вибивання.

Всі операції на лінії здійснюються в автоматичному циклі, за винятком установки стрижнів і заливки, які здійснюються вручну. Лінія дозволяє застосовувати механізовану і автоматизовану заливку.

Опоки, напівформи і форми транспортуються приводними рольгангами і штовхачами по неприводних рольгангах, візковим конвеєром і транспортером.

Установка імпульсного формування призначена для виготовлення верхніх і нижніх напівформ.

Вибивна провальна решітка призначена для вибивання грудки на вібраційну інерційну вибивну решітку, де проводиться відділення грудки суміші від виливків.

Механізм зіштовхування призначений для передачі залитої форми з візкового конвеєра під механізм видавлювання.

2. Після вибивання порожні спарені опоки конвеєром роликів подаються до рольгангу завдання опок, стикаються на останній штовхач і далі подаються на позицію розпарювання. Тут опоки підйомним столом піднімаються у верхні положення. При опусканні столу вниз опока «верху» зависає на відкидних планках. Потім механізмом переміщення опок передається до позиції імпульсного агрегату. На стіл імпульсного агрегату механізмом подачі підмодельних плит подається модельна плита «верху». При ході столу імпульсного механізму модельна плита знімається з механізму подачі модельних плит, знімає опоку з механізму переміщення опор. При цьому штирі опоки входять у втулки модельної плити.

До цього моменту траверса агрегату імпульсного, що складається з імпульсної головки і дозатора для формувальної суміші, переміщається так, що

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.01 ТЧ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозатор встановлюється над системою підмодельна плита - опока - наповнювальна рамка.

3. Підйомний стіл притискає цю систему (комплект) до дозатора і кінцевий вимикач, що контролює притиск, дає команду відкрити шибер дозатора, потім відкривається жалюзійний затвор – засипається формувальна суміш. Реле часу після необхідної витримки дає команду на закриття до шиберів. Гідроупори віджимають систему (комплект); підмодельна плита, опока, наповнювальна рамка від дозатора траверса переміщається у вихідне положення. При цьому імпульсна головка встановлюється над опокою.

4. Ущільнювальний механізм – імпульсна головка являє собою посудину постійного об'єму, всередині якої знаходиться клапан. Тиск стисненого повітря в імпульсній головці становить 60...120 кгс/см».

Положення імпульсної головки по відношенню до комплекту технологічного оснащення (наповнювальної рамки і опоки, заповнених формувальною сумішшю, підмодельної плити з моделлю, перед ущільненням суміші).

Після заповнення опоки і наповнювальної рамки формувальною сумішшю імпульсна головка притискається до наповнювальної рамки і утримується протягом декількох секунд, поки йде наповнення головки повітрям і ущільнення суміші.

Тиск стисненого повітря, що нагнітається в імпульсній голівці, є єдиним і визначальним фактором для отримання заданого ступеня ущільнення форм.

Стиснене повітря високого тиску від компресора через розподільник подається в надклапанну порожнину і через зворотний клапан і трубопровід в порожнину головки.

Після заповнення головки повітрям до необхідного тиску, розподільник з'єднують трубопроводи з атмосферою. При цьому повітря з порожнини скидається в атмосферу. Порожнина при цьому залишається закритою за рахунок зворотного клапана. За рахунок різниці тиску в порожнинах, клапан

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.01 ТЧ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

піднімається і повітря з порожнини через отвір в сидлі подається в технологічну порожнину.

На наступній опоці цикл повторюється, формувальна суміш під дією тиску розпираючого повітря, з великим прискоренням переміщається в бік підмодельної плити з моделлю, при зіткненні з поверхнею моделі або підмодельної плити в результаті різкого гальмування суміш ущільнюється під дією кінематичної енергії стовпа суміші і високого тиску.

Оброблене повітря з порожнини пресування (рівне об'єму наповнювальної рамки) через спеціальні отвори, розташовані біля нижнього фланця наповнювальної рамки, видаляється по повітропроводу за межі робочої зони або цеху.

При наявності вентиляційних отворів в підмодельній плиті в міру фільтрації через ущільнену формувальну суміш повітря видаляється через них.

Тиск повітря в порожнині пресування в початковий момент створюється 10...12 кгс/см і потім зменшується до 2...3 кгс/см в напрямку підмодельної плити.

Тривалість процесу ущільнення становить 0,02.. 0,04 сек, а з урахуванням часу видалення відпрацьованого повітря до однієї секунди.

Після ущільнення формувальної суміші підйомний стіл імпульсного засипного механізму опускається і опока переміщається на рольганг видачі опок.

5. Потім опока верху або низу потрапляє в кантувач, проходячи під механізмом зрізу, який зрізає верхній пухкий шар формувальної суміші. Притискачами, розташованими в рамках кантувача, опока піднімається, рама механізму подачі опок прибирається і комплект кантується. Піднімається стіл кантувача, піднімається до опоки до упору. Притиски, що утримують опоку, розходяться і стіл з опокою «верху» опускається, опока передається по рольгангу видачі опок.

6. Після відходу опоки з кантувача, останній повертається у вихідне положення.

7. Позиція кантувача поєднана з пристроєм фрезерування ливарної воронки, де здійснюється її фрезерування і загладжування напівформи верху.

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.01 ТЧ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потім напівформа верху кантується і подається на рольганг. Напівформа низу, пропускаючи позицію фрезерування, кантується і подається на рольганг, де в неї встановлюються стрижні.

8. Верхня напівформа (опока «верху») в механізмі спарювання форм столом підйомним піднімається вгору, кантується, після чого стіл опускається. Напівформа «верху» перевертається на 180°. Потім стіл підйомний з напівформою «низу» піднімається вгору. При цьому опоки (напівформи) «верху» і «низу» з'єднуються між собою. Здійснюється затиск (кріплення) опоки «верху» і спарені опоки (напівформи) опускаються, і з рольгангу видачі опок передаються на позицію механізму зіштовхування форм, де здійснюється зіштовхування їх на ливарний конвеєр і транспортування на дільницю заливки, потім на дільницю охолодження, далі на дільницю вибивання опок. Цикл роботи повторюється.

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.01 ТЧ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.12 – Основні технічні характеристики лінії

Характеристика	Значення параметра
1	2
Розміри опок у світлі, мм	960x700x300/300
Маса вилівка у формі, кг	до 45
Тиск повітря в імпульсній голівці, МПа	6
Встановлена потужність, кВт	80
Циклова продуктивність, форм ч.	60
Продовження таблиці 13	
1	2
Габарити, мм	13480x6150x6630
Маса, кг	67490
Коефіцієнт використання	0,65
Максимальна висота частини «болвана» над ладом опоки, мм	150
Кількість обслуговуючого персоналу в одну зміну	5
Витрата формувальної суміші, м/год	56
Витрата формувальної суміші:	
а) вологість, %	3 – 3,5
б) сира міцність, кгс см	0,6 – 0,8
в) газопроникність, од	110
Питома маса (маса вилівоків)	222
Електрообладнання:	
а) вид струму мережі живлення	3-фазний змінний
б) частота, Гц	50
в) напруга, В	380
Характеристика напруги електрообладнання лінії:	380
а) електродвигуни (змінного струму), В	110
б) електромагніти (змінного струму), В	24
в) ланцюги управління (постійного струму), В	110
д) ланцюги управління (змінного струму), В е) сигналізація, В	24
Сумарна потужність всіх електродвигунів, кВт	160

1.11.2 Технологія виготовлення стрижнів

Порожнина виливка розташовується перпендикулярно порожнині роз'єму форми, отже, стрижень має у нас горизонтальні знаки. Розміри знаків стрижня призначаємо за ГОСТ 3212–92.

Розміри опорних знаків повинні бути стійкими для забезпечення стійкого положення стрижня в момент складання форми.

Приготування ХТС здійснюється в шнекових змішувачах мод. 4727. Суміш надходить в стрижневий ящик і ущільнюється трамбуванням, зайва суміш зчищається. Ящик скріплюється за допомогою скоб. Витримка стрижневої суміші в ящику 5-10 хв для твердіння. Витягуємо стрижень зі стрижневого ящика.

Щоб суміш не прилипала до моделі і стрижневого ящика, передбачено розділове покриття – графіт, гас.

Для запобігання пригорання на виливках в суміш додаємо протипригарні покриття і добавки. Такі як бентоніт, вугілля гранульоване.

Протипригарні покриття захищають поверхню виливки від пригорання. Для зменшення пригорання застосовують фарби, що містять вогнетривкі матеріали і сполучні речовини.

Протипригарні покриття складаються з вогнетривкої основи, сполучного, розчинника і добавок, що запобігають осаду вогнетривкої основи (стабілізатори), що прискорюють зміцнення фарб (каталізатори). Вогнетривкою основою для фарб, форм і стрижнів чавунних виливків є графіт.

Послідовність операцій при складанні форм: оглядають напівформу, обробляють її, обдувають стисненим повітрям. У напівформі «верху» пробивають випори, газовідводи. Встановлюють заливальну воронку. У напівформу «низу» встановлюють жереб'яки, стрижні, попередньо очистивши їх, закладні закладають формувальною сумішшю, подають на складальник. Збирають форму і подають на дільницю заливки.

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.01 ТЧ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.11.3 Технологія вибивання форми. Зачищення і обрубки лиття

Процес вибивання виливків полягає в тому, що затверділі і охолоджені виливки необхідно витягти з форми.

Розчекати залиту форму.

Зіштовхнути залиту форму з ливарного конвеєра пневмоциліндром на установку вибивання форм.

Увімкнути вібратор і вибити виливок з форми на вибивальну решітку.

Виливок по епрон-конвеєру передати в обрубне відділення, порожні опоки передати на рольганг повернення опок.

Далі виливки піддаються очищенню в дробометному барабані. Для обрубки задирок у виливках передбачені зубила. Зачистка виливків проводиться шліфувальним кругом діаметром 300 мм або шліфмашинкай. Абразивну обробку проводять на обдирних верстатах.

При прийманні виливків застосовують два види контролю: суцільний і вибірковий. Суцільному контролю піддаємо відповідальні виливки, а вибірковий контроль проводимо менш складних виливків.

1.12 Розрахунок маси пригруза

При заповненні форми розплав створює тиск на стінки форми, пропорційний щільності і висоті його стовпа. Це може привести до того, що під тиском розплаву верхня опока піднімається, в результаті по роз'єму верхньої і нижньої напівформ утворюється щілина, через яку розплав може витекти. Щоб виключити це, на зібрану форму встановлюють вантаж.

Для визначення маси пригруза необхідно підрахувати силу дії розплаву на верхню напівформу. Сила дії розплаву складається з сили дії рідкого металу на верхню напівформу і сили тиску від спливання стрижня з металу:

$$P = P_{\text{мет}} + P_{\text{стержня}}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.01 ТЧ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сила дії металу визначається добутком питомого тиску на верхню напівформу, на площу роз'єму, або, це зусилля дорівнює масі уявного металу, розташованого над виливками і ливником до верхнього рівня воронки або чаші.

1.13. Вибір плавильного агрегату, його характеристика

Високоміцний чавун марки ВЧ50 ГОСТ 7293 – 85, механічні властивості $\delta\% = 7\%$, HB 153 – 245 од.

Для плавлення чавуну ми вибираємо індукційну тигельну піч, так як металургійних процесів призводити не потрібно, як наприклад у сталі, а також угар елементів мінімальний, поліпшуються гігієнічні умови праці.



Плавка проводиться в середньочастотній тигельній індукційній печі. Тип печі MFT Ge/St3600 kW /250Hz DUOMELT.

Пічний комплекс призначений для плавки чавуну і сталі. Пічний комплекс розрахований на плавку при максимальній потужності, використовуючи систему розплавлення потужності DUOMELT.

Ємність печі 6000 кг;

Номінальна споживана потужність печі 3600 кВт;

Номінальна частота 250 Гц

Швидкість плавлення чавуну (  С) 7140 кг/год;

Час плавлення чавуну 50,4 хвилин;

Питома витрата електроенергії на виплавку чавуну 520 кВт·год/т;

Витрата води на охолодження печі 6000  /год.

1.14. Опис технології плавлення

Індукційна середньочастотна тигельна піч типу MFT Ge/St3600 kW /250Hz DUOMELT застосовується для плавлення чавуну на твердій закладці, а також для підігріву чавуну і доведення його до необхідного складу. Індукційна піч працює на принципі, при якому електромагнітне змінне поле індукує вихрові

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.01 ТЧ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

струми в металі. Електрична енергія в металі перетворюється на тепло, кількість тепла залежить від електроопору шихти.

Перевагами індукційної печі є:

- 1) низький угар;
- 2) загальний угар металу не перевищує 2-3%;
- 3) можливість поліпшення гігієнічних умов праці.

Підготовка печі до плавлення:

Перед набиванням футеровки тигля необхідно оглянути і випробувати механізм нахилу печі. Перевірити кріплення індуктора, а також перевірити індуктор під заданим тиском води з метою виявлення можливих дефектів.

Футеровка печі набивна, кисла. Вихідні матеріали для набивання футеровки: 48% кварцу (з вмістом не менше 95% SiO_2 і мінімальним вмістом Al_2O_3 і Fe_2O_3), 50% меленого кварцу КП – 3 і 1,8% борної кислоти.

Перед плавкою оглядаємо дно тигля, обмазку між витками індуктора і всі місця між дерев'яними перекладинами і азбестом, пошкодження обмазки між витками замазуємо пастою.

Далі необхідно обкласти внутрішню частину індуктора азбестовим листом товщиною 35 мм. Потім викласти дно тигля азбестовим листом загальною товщиною 6 – 10 мм, а на дно тигля засипати просіяний через сито з коміркою 2 мм дрібнозернистий кварцовий порошок. Під тиглю набивають шарами товщиною 50 – 70 мм. Перед набиванням наступного шару суміші попередній шар суміші розпушуємо на глибину 5 мм, щоб отримати щільне з'єднання окремих шарів. Після набивання футеровку сушимо.

Завантаження печі:

Ефективність індукційної плавки детермінується раціональною схемою розміщення шихтових матеріалів у тиглі, що забезпечує оптимальний електродинамічний зв'язок із магнітним полем індуктора.

1. Порядок формування металеві завалки:

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.01 ТЧ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Механічна безпека: завантаження шихти здійснюється плавно, з виключенням ударних навантажень на вогнетривку футеровку тигля, забезпечуючи максимально можливу щільність укладання.
- Просторова орієнтація: тугоплавкі феросплави позиціонуються в нижній третині тигля — зоні генерації максимальних теплових потоків.
- Розподіл за масою та температурою плавлення: масивні сталеві фракції завантажуються вертикально вздовж стінок тигля для прискорення індукційного нагріву, тоді як компоненти з низькою температурою солідусу розміщуються в осьовій частині (центрі) завалки.

2. Режими енергоспоживання та управління ванною:

- Ініціація процесу: протягом перших 5–10 хвилин агрегат експлуатується на зниженій потужності до стабілізації електричних параметрів та припинення коливань сили струму.
- Інтенсифікація плавлення: після стабілізації потужність доводять до номінального максимуму; процес протікає при герметично закритій кришці для мінімізації теплових втрат.
- Коригування ванни: у міру утворення розплаву проводиться осадження твердої фази та довантаження дрібнофракційною підігрітою шихтою. Сталевий брухт та феросплави вводяться безпосередньо в рідку ванну при досягненні температури 1430–1450 °С.

3. Науглецювання та операції зі шлаком:

- Карбюризація: для досягнення заданого вмісту вуглецю вводиться електродний бій (1–2% від маси завалки): крупна фракція розміщується на поді, дрібна — на дзеркало металу після дешлакації.
- Техніка безпеки: скачування шлаку здійснюється при повному відключенні електроживлення індуктора. Персонал зобов'язаний використовувати засоби індивідуального захисту (окуляри, діелектричні рукавички) та перебувати на ізолюючому гумовому покритті.

4. Позапічна обробка: Фінальною стадією металургійного циклу є модифікування чавуну магнієм у розливному ковші, що проводиться

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.01 ТЧ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

безпосередньо перед заливанням форм для отримання заданої морфології графіту.

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.01 ТЧ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Відносні показники (Графа 3): визначається питома вага кожної групи виливків у загальному обсязі виробництва, виражена у відсотках (наприклад, 20%).

Дана статистична база є основою для подальшого вибору плавильних агрегатів, формувальних ліній та розрахунку потреби в основних матеріалах.

Розрахунок річного випуску зведений у таблицю 20.

Таблиця 2.1 – Річний випуск виливків

Група виливків за масою, кг	Число на річну програму	
	тонни	%
<8	1980	20
8	1980	20
20 – 50	2970	30
50 – 100	2970	30
	9900	100

Таблиця 2.2 – Наведена виробнича програма

Розбивка за вагою	Найменування деталі	Річний випуск, т	Вага однієї відл. кг	Загальний випуск		Наведений коефіцієнт
				шт	т	
1	2	3	4	5	6	7
<8	Кришка У2210.20Н. 202.021		3,5	6500	22,750	14
	Кришка У2210.20Н. 205.003		4,2	650	27	
	Упор вип. БДТ. 01. 301		2,55	700	17	
	Упор вогн. БДТ.01.302		2,45	7000	17,15	
	Кришка БПТД7.04.304		2,8	610	17,08	
	Шпилька БДТ.01.303		4,9	7000	34,3	
		1980		4010	Σ136,43	
8	Губка ТС – 180 / 002		11,77	3500	41,195	5,4
	Губка ТС – 160 / 002		11,4	3500	39,9	
	Губка 7200 – 0225/0024		12	7000	84	
	Губка 7200 – 0220/Т200		9	7000	63	
	Основа 7200–0220 /Т200		9	4000	36	
	Маточина ПСГ 55.205А		14	7000	98	
		1980		320	Σ362,095	
20	Маточина Н129.00.3001		22	50	113,5	3,8
	Корпус У2210. 20Н.202.023		36,5	560	204,4	
	Водило У2210. 20Н.205.209		29	5600	162,4	
Продовження таблиці 21						
1	2	3	4	5	6	7
	Люк гідравл. 600.15		38,7	4300	166,41	
	Люк тротуарний		25	2500	63,75	
	Решітка Д50 Д400 PIPELIFE		27	2600	71,5	
		2970		256	Σ781,96	
50	Корпус 314.02.7251.050		54	2500	135	2,2
	Чаша СЕС.025В.01.001		85	2600	221	
	Кронштейн 015.3000.004		86	3000	258	
	Плита 047.00.00.018		66	320	212,8	
	Корпус Ц2У200.00.001		61	310	190,65	
	Кришка УДА 05.00.10/02		82	4000	328	
		2970		1840	Σ1345,45	

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КНУ.РБ.136.26.112с-03.02 ОЧ

Арк.

4

2.1.2 Розрахунок кількості обладнання

Комплектація парку обладнання для проектного обрубно-очисного відділення базується на диференційованому підході до фізико-технічних характеристик номенклатури виливків. Основними детермінантами при виборі конкретних моделей агрегатів є:

- Матеріалознавчий аспект: врахування фізико-механічних властивостей сплаву (СЧ20), що визначає метод відокремлення ливникових систем та режим абразивної обробки.
- Морфологічні та масові параметри: вибір типорозмірів очисних камер та потужності вантажопідйомних засобів залежно від габаритів, конфігураційної складності та маси заготовок.
- Тип виробництва: орієнтація на високопродуктивне автоматизоване устаткування (барабани безперервної дії, потокові лінії), що відповідає великосерійному та масовому характеру проектного цеху.

Такий підхід забезпечує раціональну інтеграцію обрубних операцій у загальний автоматизований цикл виробництва, мінімізуючи часові витрати на фінішну обробку.

Кількість кожного виду обладнання розраховується за формулою

$$n = \frac{N}{K \cdot T \cdot \alpha}, \quad (30)$$

де n – кількість кожного виду обладнання;

N – кількість виливків кожної вагової групи, т або шт.;

T – дійсний фонд робочого часу роботи обладнання, год;

K – продуктивність обладнання, т/год або шт./год;

α – коефіцієнт нерівномірності завантаження обладнання, рівний 0,7 – 0,85.

Підставляємо числові вирази у формулу і отримуємо кількість галтувальних барабанів моделі ОБ – 900

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.02 ОЧ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n = \frac{M_1}{M_2} = 1,59$$

Розраховуємо коефіцієнт завантаження галтувального барабана моделі ОБ – 900.

$$K_3 = \frac{M_1}{n \cdot M_2}, (31)$$

де M_1 – розраховане число обладнання;

M_2 – прийнята кількість обладнання;

$$K_3 = \frac{1}{1,59} = 79\%$$

Таблиця 2.3 – Технічна характеристика галтувального барабана мод. ОБ-900

Продуктивність, т/год	2,5
Довжина, мм	600
Ширина, мм	4000
Висота, мм	2500
Потужність двигуна, кВт	7

Підставляємо числові вирази у формулу і отримуємо число дробеметних барабанів моделі 42322:

$$n = \frac{M_1}{M_2} = 0,62$$

Приймаємо 1 дробеметний барабан моделі 42322.

Розраховуємо коефіцієнт завантаження дробеметного барабана мод. 42322:

$$K_3 = \frac{1}{1,62} = 62\%$$

Таблиця 2.4 – Технічна характеристика дробеметного барабана мод. 42322

Продуктивність, т/год	4,5
Довжина, мм	50
Ширина, мм	4500
Висота, мм	3000
Потужність двигуна, кВт	7

Підставляємо числові вирази у формулу і отримуємо число дробементних барабанів моделі 42213:

$$n = \text{[Icon]} = 0,79$$

Приймаємо 1 дробементний барабан моделі 42213.

Розраховуємо коефіцієнт завантаження дробементного барабана мод. 42213:

$$K_3 = \text{[Icon]} = 79\%$$

Таблиця 2.5 – Технічна характеристика дробементного барабана мод. 42213

Продуктивність, т/год	1,5
Довжина, мм	500
Ширина, мм	4500
Висота, мм	3000
Потужність двигуна, кВт	7

Підставляємо числові вирази у формулу і отримуємо число шліфувальних верстатів моделі 3М634:

$$n = \text{[Icon]} = 5,2$$

Приймаємо 6 шліфувальних верстатів моделі 3М634.

Розраховуємо коефіцієнт завантаження шліфувального верстата мод.

$$3М634: K_3 = \text{[Icon]} = 86\%.$$

Таблиця 2.6 – Технічна характеристика шліфувального верстата мод. 3М634

Продуктивність, т/год	0,3
Довжина, мм	25
Ширина, мм	10
Висота, мм	1500
Потужність двигуна, кВт	4,5

Підставляємо числові вирази у формулу і отримуємо число шліфувальних верстатів моделі 3374

$$n = \text{[Icon]} = 4,2$$

Приймаємо 5 шліфувальних верстатів моделі 3374.

Розраховуємо коефіцієнт завантаження шліфувального верстата мод. 3374:

$$K_3 = \frac{10197}{3645 \cdot 0,7 \cdot 2,5} = 84\%$$

Таблиця 2.7 – Технічна характеристика шліфувального верстата мод. 3374

Продуктивність, т/год	0,5
Довжина, мм	35
Висота, мм	150
Потужність двигуна, кВт	5

Підставляємо числові вирази у формулу і отримуємо кількість ґрунтувальних камер:

$$n = \frac{10197}{3645 \cdot 0,7 \cdot 2,5} = 1,59$$

Приймаємо 2 ґрунтові камери.

Розраховуємо коефіцієнт завантаження ґрунтувальної камери:

$$K_3 = \frac{1,59}{2} \cdot 100 = 79\%$$

Таблиця 2.8 – Технічна характеристика ґрунтувальної камери

Продуктивність, т/год	2,5
Максимальні габаритні розміри відливачів, що фарбуються, мм	1200
Кількість відсмоктуваного повітря, м ³ /год	1500
Витрата води, л/год	182 – 1100
Потужність двигуна, кВт	4

Підставляємо числові вирази у формулу і отримуємо кількість мийних машин для дрібних виливків

$$n = \frac{10197}{3645 \cdot 0,7 \cdot 2,5} = 0,72$$

Приймаємо 1 мийну машину для дрібних виливків.

Розраховуємо коефіцієнт завантаження мийної машини для дрібних

виливків $K_3 = 72\%$

Таблиця 2.9 – Технічна характеристика мийної машини для дрібних виливків

Продуктивність, відл/хв	40
Тривалість промивання, хв	10
Температура миючої рідини, °С	90
Ємність ванни, м ³	3,3
Потужність двигуна, кВт	10

Підставляємо числові вирази у формулу і отримуємо кількість мийних машин для великих виливків

$$n = \frac{10197}{3645 \cdot 0,7 \cdot 2,5} = 0,82$$

Приймаємо 1 мийну машину для великих виливків.

Розраховуємо коефіцієнт завантаження мийної машини для великих виливків

$$K_3 = \frac{0,82}{1} = 82\%$$

Таблиця 2.10 Технічна характеристика мийної машини для великих виливків

Продуктивність, відл/хв	20
Тривалість промивання, хв	-
Температура миючої рідини, °С	90
Ємність ванни, м ³	5,0
Потужність двигуна, кВт	10,5

Підставляємо числові вирази у формулу і отримуємо кількість сушильних камер

$$n = \frac{10197}{3645 \cdot 0,7 \cdot 2,5} = 1,59$$

Приймаємо 2 сушильні камери.

Розраховуємо коефіцієнт завантаження сушильної камери

$$K_3 = \frac{1,59}{2} \cdot 100 = 79\%$$

Таблиця 2.11 – Технічна характеристика сушильної камери

Продуктивність, т/год	2,5
Максимальні габаритні розміри висушуваних виливків, мм	2700
Температура сушіння, °С	90
Ємність ванни, м ³	3,3
Потужність двигуна, кВт	8

Підставляємо числові вирази у формулу і отримуємо кількість нагрівальних печей:

$$n = \frac{2,5}{3,6} = 0,77$$

Приймаємо 1 нагрівальну піч.

Розраховуємо коефіцієнт завантаження нагрівальної печі:

$$K_3 = \frac{2,5}{3,25} = 77\%$$

Таблиця 2.12 – Технічна характеристика нагрівальної печі

Продуктивність, т/год	0,5
Потужність двигуна, кВт	0,5

2.2 Компонування ливарного цеху

Розробка компоновальних схем ливарного цеху здійснюється шляхом спільного проектування технологічних та архітектурно-планувальних рішень. Базисом для цього є обрана технологічна схема виробництва, яка адаптується до специфіки генерального плану підприємства з урахуванням архітектурних вимог та норм промислового будівництва.

Логістична структура та рух матеріальних ресурсів

Організація виробничого процесу базується на безперервному та раціональному переміщенні сировини й напівфабрикатів між основними підрозділами цеху:

- Підготовка формувальних складів: Формувальні матеріали зі складських приміщень транспортуються до змішувального відділення для приготування сумішей заданих властивостей.

- Розподіл сумішей: Готова формувальна суміш спрямовується на формувальну дільницю, а специфічні стрижневі суміші — до стрижневого відділення для виготовлення відповідних стрижневих систем.
- Металургійний потік: Металева шихта зі складів шихтових матеріалів надходить до плавильного відділення для підготовки рідкого металу необхідного хімічного складу.

Інтеграція потоків та фінішна обробка

Центральним вузлом виробничого циклу є формувально-заливально-вибивне відділення, де відбувається консолідація всіх компонентів: готових форм, стрижневих систем та розплаву. У цьому підрозділі здійснюється складання форм, їх заливання та подальше вибивання виливків після кристалізації.

На завершальній стадії заготовки транспортуються до обрубно-очисної дільниці. Тут реалізується комплекс фінішних операцій: видалення ливниково-живильних систем, механічне очищення поверхонь та ґрунтування. Після проходження контролю якості готові виливки евакууються на склад готової продукції.

2.3 Характеристика будівлі

Проектування промислових об'єктів базується на комплексному вирішенні задач щодо вибору локації, раціонального зонування території та вибору типу будівлі, що забезпечує оптимальні умови для реалізації технологічного циклу.

Класифікація та капітальність споруд:

Виробничі будівлі диференціюються на основні (технологічні), обслуговуючі (енергетичні, логістичні, санітарно-технічні) та допоміжні. Згідно з нормами проектування, будівлі поділяють на три класи капітальності (I–III) та шість категорій вогнестійкості, що визначає вибір відповідних конструкційних матеріалів згідно з будівельними нормами і правилами (ДБН/СНиП).

Конструктивна схема та каркас:

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.02 ОЧ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для ливарних цехів найбільш раціональним є застосування будівель каркасного типу.

- Силова структура: несучий каркас складається з колон, встановлених на збірних залізобетонних фундаментах, що жорстко пов'язані системою балок та ферм.
- Просторова жорсткість: поперечні рами, утворені колонами та фермами, об'єднуються в поздовжньому напрямку обв'язувальними та підкрановими балками, а також системою сталевих зв'язків жорсткості.
- Матеріальне виконання: залежно від навантажень і призначення цеху, каркаси можуть бути збірними залізобетонними, монолітними або металевими (сталевими).

Параметри несучих конструкцій:

- Колони: крок колон по зовнішній осі становить 6 м, по внутрішній — 12 м, що відповідає типовим розмірам огорожувальних панелей. У прольотах, обладнаних мостовими кранами, колони оснащуються консолями для базування підкранових балок.
- Підкранові балки: для кранового обладнання вантажопідйомністю $Q \geq 20$ т застосовують залізобетонні балки таврового перерізу або сталеві зварні конструкції.
- Огороджувальні стіни: поділяються на несучі (цегляні), самонесучі (панельні, гнучко пов'язані з каркасом) та фахверкові. Фахверкові конструкції зазвичай захищають торцеві частини прольотів; як облицювання використовується алюмінієвий профіль, азбестоцементні листи або оцинкована сталь.

Покрівельне покриття та аерація:

Конструкція покрівлі детермінується кліматичними умовами та режимом аерації приміщення.

- Покриття: по залізобетонних або металевих фермах укладають плити довжиною 6 або 12 м або сталевий профільований настил. Гідроізоляційний шар виконується у вигляді багатошарової рулонної

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.02 ОЧ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

покрівлі з водостійких матеріалів.

- Світлоаераційні ліхтарі: для забезпечення природного освітлення та інтенсивного повітрообміну (що критично для ливарних цехів) використовують ліхтарі-надбудови, що не задуваються, або зенітні ліхтарі. Світлоаераційні системи проектуються у вигляді стрічкових або точкових надбудов з двостороннім заскленням.

Промислові підлоги:

У ливарному виробництві підлоги піддаються значним термічним та механічним навантаженням (від 0,5 до 10 тс/м²).

- Конструктив: багатошарова система включає основу, стяжку, армований шар монолітного бетону товщиною 100 мм та безпосередньо покриття.
- Захист: на дільницях із критичним механічним впливом підлоги облицьовують сталевими перфорованими (1,5–3 мм) або рифленими (8 мм) плитами з анкерним кріпленням.

Для ефективного розміщення автоматизованих ліній ширину прольотів, обладнаних кранами, прийнято рівною 24 м.

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.02 ОЧ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. АНАЛІЗ СЛУЖБОВИХ І ЛИВАРНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЧАВУНІВ

3.1. Характеристика службових та ливарних властивостей чавуну.

Морфологія сірого чавуну характеризується наявністю металевої матриці, в якій розподілені вкраплення вільного графіту пластинчастої форми. Експлуатаційні та механічні характеристики даного сплаву детермінуються комбінацією властивостей металевої основи (феритної, перлітної або ферито-перлітної) та параметрами графітної фази.

Вплив графітної фази на міцнісні показники:

- Конструкційна роль: графіт володіє надзвичайно низькими показниками механічної міцності та твердості, фактично виконуючи роль порожнеч або внутрішніх надрізів у металевій матриці.
- Геометричні чинники: ступінь зниження міцності чавуну прямо пропорційний об'ємній частці графітних включень, їхнім лінійним розмірам та характеру розподілу в структурі.
- Залежність суцільності: за умови ідентичного фазового складу металевої основи, збільшення кількості та дисперсності (розміру) графітних пластин призводить до інтенсивного зниження тимчасового опору при розтягуванні через зменшення ефективного робочого перерізу заготовки.

Для оптимізації структури та підвищення механічних властивостей (зокрема для марки СЧ20) у проекті передбачено операцію інокулюючого модифікування, що дозволяє подрібнювати графітні включення та забезпечувати їх рівномірний розподіл.

Графітні включення можна розглядати як внутрішні надрізи, порушують цілісність металу. Але графіт грає і позитивну роль:

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.03 АС			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	АНАЛІЗ СЛУЖБОВИХ І ЛИВАРНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЧАВУНІВ	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Ганов. Б.Г.					1	11
Перевір.		Сайтгареев Л.Н.						
Н. Контр.		Сайтгареев Л.Н.						
Затверд.		Бабошко Д. Ю.						
						МТ-23-1ск		

- Покращує оброблюваність різанням, роблячи стружку ламкою;
- підвищує зносостійкість та антифрикційні властивості чавуну, завдяки «змазуючій» дії;
- гасить вібрацію та резонансні коливання;
- графіт, порушуючи суцільність металевої основи і ніби надрізаючи її, робить чавун малочутливим до всіляких концентраторів напруг (дефектів поверхні, надрізів, виточок тощо);
- чавун має кращі ливарні властивості (високу рідину) і внаслідок графітизації менший коефіцієнт усадки.

Слід зазначити також, що графітні включення мало знижують межу міцності при стиску та твердість, величина яких визначається головним чином металевою основою чавуну. При стисканні чавун зазнає значних деформацій, і руйнування має характер зрізу під кутом 45°. Руйнівне навантаження при стисканні, залежно від якості чавуну та його структури у 3-5 разів більше, ніж при розтягуванні.

Тому, чавун рекомендується використовувати для виробів, що працюють на стиск.

Пластинки графіту меншою мірою, ніж при розтягуванні знижують міцність і за вигині, т.к. частина металу відчуває стискаючі напруги. Межа міцності при згинанні має проміжне значення між межею міцності на розтяг і на стиск.

Відомо, що ливарні, механічні, технологічні та спеціальні властивості чавуну залежать від його хімічного складу, матриці, форми, кількості та характеру розподілу графіту, швидкості охолодження, природи шихтових матеріалів та ін. Щільність чавуну становить 6,8-7,5 г/см³ корозійна стійкість сірих чавунів підвищується в міру подрібнення графіту при однофазній матриці, а також при зменшенні вмісту кремнію, фосфору, сірки. Окаліностійкість збільшується при зменшенні кількості графіту та його подрібнення.

Експлуатаційні характеристики сірого чавуну, зокрема його здатність до

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.03 АС	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сприйняття механічних навантажень та опір стиранню, безпосередньо залежать від фазового складу металевої основи.

Порівняльний аналіз перлітної та феритної структур:

- Перлітна матриця: забезпечує досягнення максимально можливих показників міцності та зносостійкості для даної марки чавуну. Перлітна структура характеризується високою твердістю та здатністю ефективно чинити опір зношуванню в умовах тертя.
- Феритна складова: присутність вільного фериту в структурі сірого чавуну вважається небажаною для конструкційних виробів, оскільки це призводить до суттєвого зниження механічної міцності та опору зносу.
- Особливості пластичності: на відміну від сталей, поява фериту в сірих чавунах не супроводжується зростанням показників пластичності або ударної в'язкості. Це пояснюється тим, що пластичні властивості матриці нівелюються наявністю пластинчастих включень графіту, які виступають концентраторами напружень.

Для отримання стабільної перлітної структури в проекті передбачено контроль швидкості охолодження виливків у формі та застосування легуючих або модифікуючих елементів, що сприяють перлітизації (наприклад, марганцю).

Тому найменшою міцністю має феритний сірий чавун.

Феритні та ферито-перлітні сірі чавуни застосовують для менш відповідальних деталей, що зазнають невеликих навантажень під час роботи.

Перлітні сірі чавуни застосовують для відливання станин, поршнів циліндрів (до них відносяться сталистий і модифікований сірий чавун).

Сталисті чавуни (при їх виплавленні в шихту додають 20-30% сталевого брухту); відрізняються зниженим вмістом вуглецю, що забезпечує одержання перлітної основи з невеликою кількістю графітних включень.

Модифікування чавуну здійснюють додаванням до рідкого чавуну. перед розливанням спеціальних добавок – модифікаторів (75%-ний феросиліцій або силікокальцій у кількості 0,3–0,8 % від маси металу).

Застосовують такі чавуни для деталей, що працюють на зношування,

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.03 АС	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

наприклад, зубчастих коліс, гальмівних барабанів, циліндрів парових машин та ін.

Чавуни мають кращу рідину, ніж сталь. Визначається рідина по спіральній або комплексній пробі. Чим більше вуглецю та графіту, тим краще рідина.

Усадка чавуну найнижча 0,7–1,3 %, вона залежить від вмісту вуглецю та графіту, чим більше вуглецю випадає у вигляді графіту, тим менше усадка. Усадка визначається по пробі Большакова чи комплексній пробі. Механічні властивості міцність та твердість знижуються зі збільшенням вуглецю та графіту. Порівняно зі сталлю міцність чавуну нижче. Міцність чавуну визначається відповідно до стандартів. Випробування на розтяг за ГОСТ 24806-81, визначення твердості за ГОСТ 24805-81, ГОСТ 23677-79; заготівлі для визначення механічних властивостей відливають за ГОСТ 24648-81. Механічні властивості чавуну визначають за спеціальними зразками, виготовленим відповідно до ГОСТу. Для визначення міцності сірого чавуну використовують циліндричні заготовки діаметром 30 мм та довжиною $(l) = 300$ мм. Ці заготовки одержують заливання спеціальної проби на механічні властивості. У ГОСТі додатково зазначаються вимоги до зразків:

1. при застосуванні термообробки (ТО) виливків, заготовки визначення механічних властивостей повинні проходити ТО разом із виливками, тобто умови ТО мають бути однаковими;

2. при отриманні незадовільних результатів випробування проводять повторні випробування ще на двох зразках.

Визначення міцності виливків із високоміцного чавуну проводять за ГОСТ 1497 на одному зразку діаметром 14 мм з розрахунковою довжиною 70 мм (Рис. 3.1). Для отримання зразка застосовують окремо відлиті заготовки, форма та розміри яких наведено на рис. 3.2.

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.03 АС	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

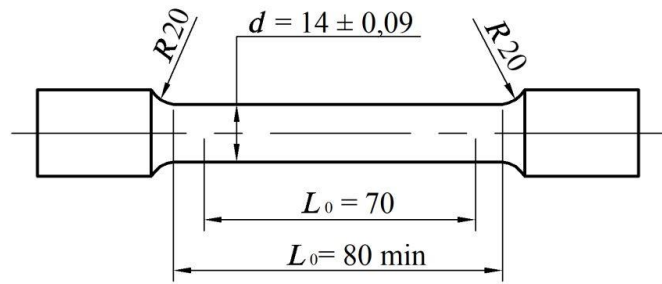


Рис. 3.1. Зразок визначення міцності виливків із високоміцного чавуну

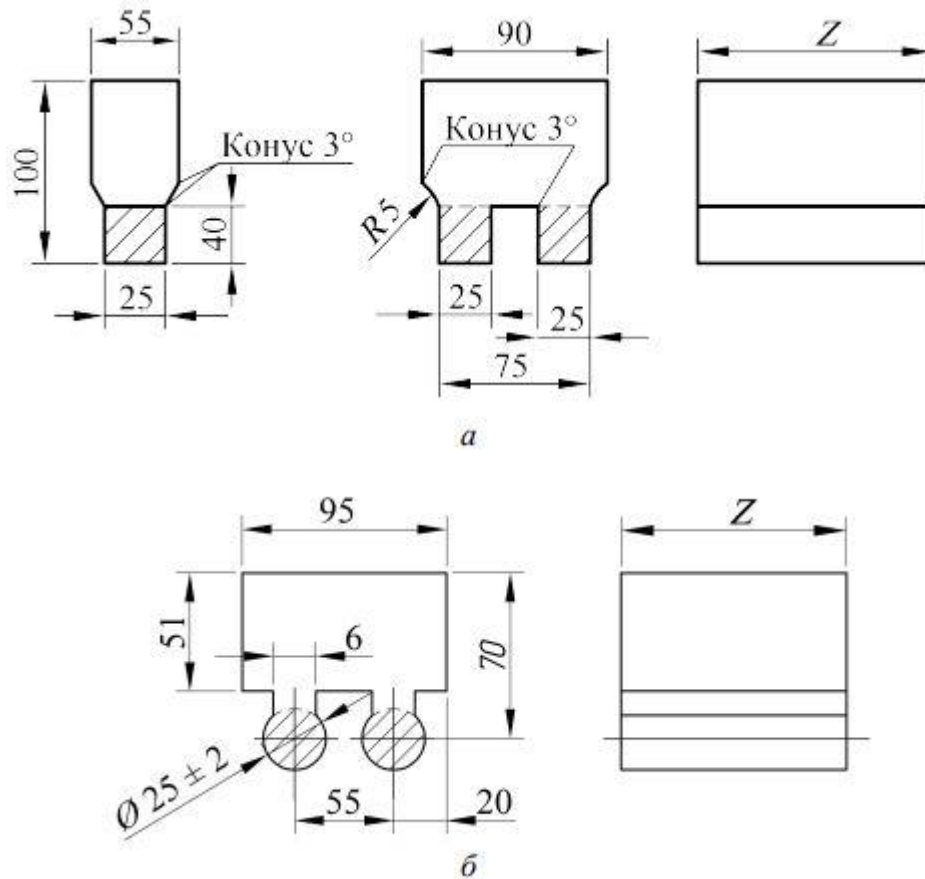


Рис. 3.2. Форма та розміри литих заготовок для виготовлення зразків з різною формою перерізи: а – прямокутна, б – кругла; Z вибирається залежно від розміру та кількості зразків. Заштриховані ділянки відповідають місцю вирізки зразків

Визначення твердості чавунів із вермікулярним графітом проводять за ГОСТ 27208, високоміцних модифікованих чавунів з кулястою формою графіту за ГОСТ 24805-81.

Визначення показників твердості металу є одним із найбільш розповсюджених методів неруйнівного контролю в ливарному виробництві.

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.03 АС	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Популярність даної методики обумовлена високою оперативністю проведення випробувань, простотою апаратурного забезпечення та можливістю оцінки характеристик безпосередньо на готових виробах без порушення їхньої цілісності.

Технологічне та метрологічне значення:

- Кореляція з міцністю: для сірих чавунів (зокрема марки СЧ20) твердість за Брінеллем (НВ) слугує індикатором загального рівня механічних властивостей та структурного стану металевої матриці.
- Експрес-діагностика: швидкість отримання результатів дозволяє здійснювати масовий контроль партій виливків безпосередньо в обрубно-очисному відділенні або на дільниці ВТК.
- Верифікація структури: вимірювання твердості дозволяє вчасно виявити такі дефекти, як локальний відбіл або наявність надлишкового фериту, що критично впливає на оброблюваність металу різанням.

Згідно з регламентом проекту, випробування на твердість проводяться відповідно до ГОСТ 24805-81 та є обов'язковим етапом перед клеймуванням і відправкою продукції на склад.

. Існує декілька методів визначення твердості, найбільш поширеними з яких є метод Брінелля та метод Роквелла.

Визначення *твердості вдавнення сталеві кульки* (метод Брінелля). Заснований цей метод на тому, що в плоску поверхню металу вдавлюється під постійним навантаженням сталеві тверда кулька. Після зняття навантаження у металі утворюється відбиток (лунка). Число твердості Брінеллю (НВ) представляє відношення навантаження до поверхні отриманого відбитка.

Діаметр кульки (D) та навантаження (P) вибираються в залежності від складу металу, твердості та товщини випробуваного зразка.

При випробуванні сталі та чавуну згідно з ГОСТ 9012-59* із внесеними змінами від 1979 р, встановлюють $D = 10$ мм та $P = 3000$ кг. Для визначення твердості вимірюють діаметр (d) лунки і знаходять по ньому число твердості у спеціальних таблицях (ГОСТ 9012-59 *).

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.03 АС	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначення твердості за глибиною вдавлення алмазного конуса (метод Роквелла). У цьому методі твердість визначається за глибиною відбитка конуса.

Конус вдавлюється двома послідовними навантаженнями: попередньою $P_0 = 10$ кг та основною $P_1 = 140$ кг (шкала С). Твердість за Роквеллом вимірюється в умовних одиницях, і позначається: наприклад, 60HRC і може бути перерахована в HB за спеціальними таблицями.

Для визначення схильності чавуну до відбілу застосовують клинову пробу чи пробу з підкалом. Використання проби з підкалом дає більше точні та стабільні результати.

3.2. Вплив хімічного складу на властивості чавуну

Вуглець. Зазвичай вуглець у чавуні знаходиться у вигляді: графіту, твердих розчинів та карбідів.

Зі збільшенням вмісту вуглецю, збільшується кількість графіту, зменшується об'єм усадкових раковин і менша пористість. Це відбувається через те, що зниження температури викликає зменшення обсягу на 1,1–1,8 % на кожні 100 °С, графітизація чавуну навпаки дає збільшення обсягу на 2,2% на 1% графіту, що виділився (тобто частина можливої усадки компенсує обсяг графіту). У зв'язку з цим усадка для сірих чавунів низьких марок (СЧ10, СЧ15) становить 0,7–1,0 %; для СЧ30 та СЧ35 - вище 1,0-1,3%. Зі збільшенням вмісту вуглецю різко підвищується рідина чавуну, зменшується схильність до відбілу; межа міцності при розтягуванні(св) зменшується.

Кремній діє також як вуглець, але менш значущий. Зі збільшенням вмісту кремнію укрупнюється графіт, зменшується схильність до відбілу. Внаслідок того, що хімічний зв'язок Fe-Si більше ніж Fe-C, зменшується розчинність вуглецю в рідкому чавуні, таким чином, кремній є найсильнішим графітизатором. Невипадково графітізуючі модифікатори чавуну містять кремній, наприклад, феросиліцій або силікокальцій. Зі збільшенням кремнію матриця чавуну з перлітної перетворюється на феритну. Зі збільшенням вмісту

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.03 АС	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кремнію графіт у структурі укрупнюється (тобто виділяється у більш грубій формі). Кремній підвищує зносостійкість та окалиностійкість чавуну. Т.к. вуглець і кремній багато в чому діють в одному напрямку, їх вплив слід враховувати одночасно. Такий спільний вплив оцінюється діаграмою Маурера (рис. 3.3).

Марганець сприяє утворенню перлітної матриці, він стабілізує перліт та збільшує його дисперсність. Марганець збільшує розчинність вуглецю в чавуні та гальмує графітизацію. При утриманні більше 1,5% марганцю, збільшується схильність до відбілу.

Встановлено, що з підвищенням вмісту марганцю на 1 %, збільшується σ_B на 10 %, а твердість збільшується на 15 одиниць. При цьому обробативність виливків різко погіршується і підвищується схильність до утворення тріщин.

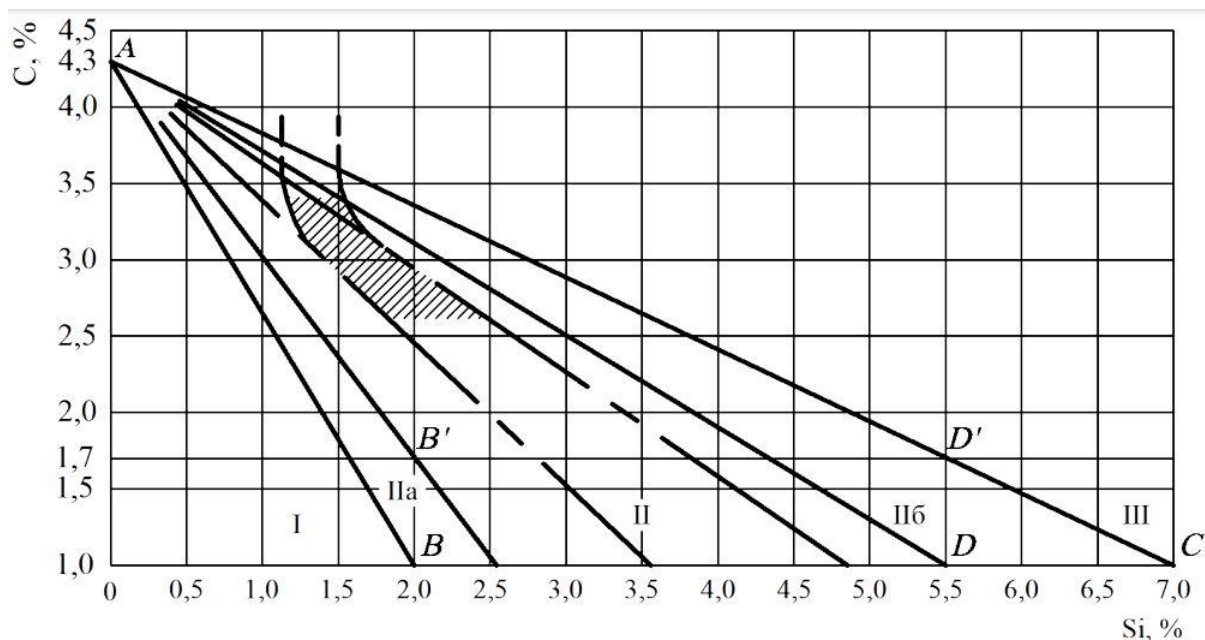


Рис.. 3.3. Діаграма Маурера: I – білий чавун; II – сірий перлітний чавун;

IIa – половинчастий чавун; IIб - сірий перлітно-феритний чавун;

III – сірий феритний чавун;

– ліва прикордонна лінія області перліту для виливків з товщиною стінок близько 10мм;

– права прикордонна лінія області перліту для виливків із товщиною стінок близько 10мм;

Марганець у чавун вводиться для двох цілей:

- усунення шкідливого впливу сірки (утворює сульфід MnS);
- Як легуючий елемент для покращення властивостей чавуну.

Сульфід марганцю (MnS) має високу температуру плавлення – 1620 °C і зазвичай присутній у сплаві у вигляді відокремлених включень. Сульфід заліза (FeS) щодо легкоплавко – 1193 °C і при надлишку сірки утворює при температурі 985 °C легкоплавку евтектику Fe–FeS, яка розташовується по межах зерен, твердне пізніше, ніж основна маса металу. В результаті у виливках з'являється червоноламкість та тріщини. Зрозуміло, що MnS є набагато менш шкідливим з'єднанням, ніж FeS або евтектика Fe-FeS, і тому на практиці в чавунах і сталях прагнуть мати достатню кількість марганцю для зв'язування всієї сірки і не допустити утворення сульфиду заліза.

Хром є найсильнішим карбідоутворюючим елементом. При цьому різко підвищується твердість та міцність чавуну. Твердість, зі збільшенням хрому на 1% збільшується на 100 од. Підвищується зносостійкість та жароміцність. Хром, збільшуючи розчинність вуглецю в рідкому чавуні, різко підвищує схильність чавуну до відбілу. У звичайних чавунах хрому міститься до 0,3%.

Сірка є домішковим елементом, але дуже впливає на властивості чавуну та структуроутворення. Сірка гальмує графітизацію, будучи відбілюючим елементом, знижує рідкість і твердість. У чавуні сірка (за відсутності марганцю) у вигляді FeS, тобто. в пов'язаному стані – це погано, т.к. Fe, Fe₃C і FeS утворюють потрібну евтектику, що послаблює зв'язки між зернами матриці, що заохочує структуру чавуну.

Сірка впливає на форму та розміри графіту. Зі збільшенням змісту сірки пластинчастий графіт витончується та подовжується. Сірка перешкоджає утворенню кулястого графіту (вона виступає ролі демодифікатора, тобто. розмодифікує структуру).

Встановлено, що при вмісті сірки більше 0,04% отримати графіт у кулястій формі не можна.

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.03 АС	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У звичайних сірих чавунах шкідливий вплив сірки нейтралізують запровадженням марганцю. Марганця має бути по відношенню до сірки $Mn/S = 3,5-5$ і навіть 7.

При введенні марганцю в чавун вміст сірки в чавуні не зменшується, а змінюється форма стану сірки в чавуні і розподіл сульфідів. Сірка рівномірно розподіляється по всьому об'єму.

Фосфор у чавуні знаходиться у вигляді фосфідної евтектики ($Fe-Fe_3C-Fe_3P$ з температурою плавлення $950\text{ }^\circ\text{C}$), яка має низьку температуру плавлення, розташовуючись за межами евтектичних зерен, послаблює цим сили зв'язку між зернами.

Фосфор підвищує рідину, знижує в'язкість чавуну, покращує змочуваність стінок форми. Але зі збільшенням вмісту фосфору зростає схильність до утворення тріщин (через утворення фосфідної евтектики).

Міцність при розтягуванні зростає зі збільшенням фосфору до $0,7-0,8\%$, потім різко падає.

Фосфор у чавун часто вводять спеціально, з метою підвищення рідинної сплаву (особливо для тонкостінних виливків у художньому литті).

3.3. Оцінка впливу хімічного складу за допомогою вуглецевого еквівалента та ступеня евтектичності.

Враховуючи, що чавун - це багатокomпонентний сплав, тому для оцінки впливу його хімічного складу часто використовують такі узагальнені характеристики, як вуглецевий еквівалент (P_C) і ступінь евтектичності які дозволяють визначити для кожного хімічного складу чавуну положення щодо точки евтектики. Виражаються P_C та SC у відсотках та показують еквівалентний (або наведений) вміст вуглецю, що враховує вплив інших елементів чавуну на ступінь його евтектичності. Вуглецевий еквівалент можна розрахувати за формулами:

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.03 АС	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_E = [\% C] \frac{[\% Si]}{3};$$

$$C_E = [\% C] \frac{[\% Si] + [\% P]}{3};$$

$$C_E = [\% C] - 0,3[\% Si] - 0,33[\% P] - 0,4[\% S] - 0,27[\% Mn],$$

де $[\% C]$; $[\% Si]$; $[\% P]$; $[\% S]$; $[\% Mn]$ – відсотковий вміст у чавуні вуглецю, кремнію, фосфору, сірки та марганцю, відповідно.

При $P_C = 4,2-4,3\%$ чавун вважається евтектичним.

Ступінь евтектичності розраховується за формулами:

$$S_C = \frac{[\% C]}{4,23 - \frac{[\% Si]}{3,2}};$$

$$S_C = \frac{[\% C]}{4,23 - \frac{[\% Si]}{3,2} - \frac{[\% P]}{3}}.$$

Чавун вважається доевтектичним при $S_C < 1$, евтектичним при $S_C = 1$ та заевтектичним при $S_C > 1$.

В даний час розроблені складніші формули, що враховують марганцю, кремнію та інших елементів.

					КНУ.РБ.136.26.112с-03.03 АС	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі було представлено комплексний проект чавуноливарного цеху, а також деталізовано технологію виготовлення базової деталі-представника «Корпус».

У ході виконання роботи реалізовано наступні інженерні рішення: обґрунтовано оптимальний спосіб отримання заготовки, виходячи з серійності виробництва та вимог до точності; визначено раціональне розташування виливка у формі та їхню кількість у формі для забезпечення спрямованого затвердіння; сконструйовано стрижень спеціальної конфігурації для формування внутрішньої порожнини (непроливного отво.ру) з високою точністю; встановлено групу складності виробу та розраховано припуски на механічну обробку; складено баланс металу та розраховано коефіцієнт виходу придатного литва (ВТП).

В роботі описано повний технологічний маршрут із характеристикою основного обладнання: надано технічну характеристику оснащення для автоматизованого формування; описано технологію виготовлення форм, стрижнів, складання, заливання, вибивання, а також процеси обрубки та очищення виливків; обрано індукційну тигельну піч, наведено її конструктивні та експлуатаційні параметри; визначено методику багаторівневого контролю якості продукції.

Окрім того, виконано комплекс інженерних розрахунків: розраховано масу виливка, ливниково-живильної системи, а також параметри форми до та після заливання; проведено розрахунок перетинів ливникової системи; ресурси: реалізовано розрахунок шихти та встановлено норми витрат основних і допоміжних матеріалів. Були запропоновані організаційно-планувальні рішення, такі як розрахунок річної програми та визначено необхідну кількість одиниць

					КНУ.РБ.136.26.112с-03 В		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	ВИСНОВКИ		
<i>Розроб.</i>		Ганов. Б.Г.					
<i>Перевір.</i>		Сайтгареев Л.Н.					
<i>Н. Контр.</i>		Сайтгареев Л.Н.					
<i>Затверд.</i>		Бабошко Д. Ю.					
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
						1	2
					МТ-23-1ск		

технологічного обладнання, розроблено компоувальну схему цеху та надано технічну характеристику будівлі.

Впровадження розробленої технології забезпечує підвищення техніко-економічної ефективності виробництва, стабілізацію якісних показників виливків та оптимізацію витрат матеріальних ресурсів.

					КНУ.РБ.136.26.112с-03 В	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		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. 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.
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. 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.
5. Іванова, Л. Х., Шапран, Л. О. Ливарне виробництво: технологія фасонного литва: навч. посіб. / Л. Х. Іванова, Л. О. Шапран. – Дніпро: НМетАУ, 2021. – 256 с.
6. 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.
7. Конструкція і технологія виготовлення ливарних заготовок [Текст] : навч. посіб. / А. С. Аралкін. - Кривий Ріг : Вид. центр КТУ, 2011. - 164 с

					КНУ.РБ.136.26.112с-03 СВД		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Ганов. Б.Г.</i>			СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		
<i>Перевір.</i>		<i>Сайтгареев Л.Н.</i>					
						1	1
<i>Н. Контр.</i>		<i>Сайтгареев Л.Н.</i>			МТ-23-1ск		
<i>Затверд.</i>		<i>Бабошко Д. Ю.</i>					

8. Модельна оснастка для виробництва виливків у піщаних формах. Дорошенко С. П., Федоров Г. Є. Навчальний посібник. – К.: Політехніка, 2001. – 108 с., 2003. – 112 с.
9. 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. 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.:
12. 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.
- 13.1. Виробництво чавуну для виливків [Текст] : навч. посіб. / О. М. Смірнов, В. Л. Жук, А. І. Туяхов. - Донецьк : Норд-Прес, 2010. - 255 с.
14. Сплави на основі заліза : підручник для студентів вищих навчальних закладів : у 2 томах / В. І. Мазур, І. З. Куцова, О. А. Носко, М. А. Ковзель; за загальною редакцією В. І. Мазура; , Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут". - Київ: Політехніка, 2015. – 272 с.

					КНУ.РБ.136.26.112с-03 CDL	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2