

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 ливарного цеху потужністю 12000 тонн виливків на рік із залізовуглецевих сплавів з розвісом до 250 кг.

Виконав:

студент групи МТ-23-1ск

Олександр СВЕТЛОВ

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

СВЕТЛОВ ОЛЕКСАНДР СЕРГІЙОВИЧ

Тема роботи: Розробка проєкту ливарного цеху потужністю 12000 тонн виливків на рік із залізовуглецевих сплавів з розвісом до 250 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
	Розробка технології виготовлення виливка.	6.04.26 - 16.04.26р.
	Розрахунки основних відділень цеху.	17.04.26 - 10.05.26р..
	Виконання спеціальної частини роботи.	10.05.26 - 15.05.26р.
	Виконання графічної частини роботи.	15.05.26 - 25.05.26р.
	Підготовка пояснювальної записки роботи та презентації.	25.05.26 - 05.06.26р
	Перевірка роботи на антиплагіат та підготовка до захисту.	05.06.26 - 10.06.26р.

Дата видачі завдання « ____ » _____ 2026 р.

Здобувач вищої освіти _____ Олександр СВЕТЛОВ

Керівник випускної кваліфікаційної роботи _____ Леван САІТГАРЕЄВ

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота викладена на 67 сторінках і містить 5 рисунків, 13 таблиць, 13 джерел літератури, графічну частину у вигляді креслень та презентації.

Кваліфікаційна бакалаврська робота присвячена проектуванню цеху виробництва виливків зі сплавів чорних металів продуктивністю 12000 тонн придатного лиття на рік. У роботі виконано розрахунок виробничої програми цеху, обґрунтовано вибір технологічного обладнання та розроблено технологічні рішення для основних виробничих відділень ливарного виробництва.

У першому розділі розглянуто проектування ливарного цеху. Виконано розрахунок виробничої програми, режимів роботи та фондів часу обладнання. Проведено розрахунок плавильного, формувального-заливочно-вибивного, стрижневого, змішувального та термообрубного відділень. Також визначено площі складів, організовано внутрішньоцеховий транспорт, розглянуто роботу цехових лабораторій та системи технічного контролю виробництва.

У технологічній частині роботи розроблено технологію виготовлення вилівка «Шків». Проведено аналіз технологічності конструкції деталі, виконано розрахунок шихти, вибрано та розраховано ливникову систему, визначено масу вантажу та розраховано тривалість затвердіння й охолодження вилівка. Для виплавки чавуну запропоновано використання індукційної печі ІППМ-6,0-0,25, що забезпечує необхідну продуктивність та стабільність технологічного процесу.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.Р			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	РЕФЕРАТ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архивів</i>
Розроб.		Светлов О.С.						
Перевір.		Саїтгареев Л.Н.					1	2
Н. Контр.		Саїтгареев Л.Н.						
Затверд.		Бабошко Д.Ю.				МТ-22-1ск		

Третій розділ присвячений аналізу способів виплавки сталі в різних типах дугових печей. Розглянуто особливості виплавки сталі на свіжій шихті, методом переплаву, а також виплавки вуглецевих сталей в основних і кислих електропечах. Проаналізовано переваги, недоліки та сфери застосування різних способів плавлення сталі, а також особливості утворення шлаків і ведення плавки.

У роботі запропоновано сучасні технологічні та організаційні рішення, спрямовані на підвищення продуктивності праці, покращення якості виливків, підвищення рівня механізації та автоматизації виробництва, а також зниження витрат матеріалів та енергоресурсів.

Ключові слова: ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО, ВИЛИВОК, ЧОРНІ МЕТАЛИ, ШКІВ, ЛИВНИКОВА СИСТЕМА, ШИХТА, ІНДУКЦІЙНА ПІЧ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ЛИВАРНИЙ ЦЕХ.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.Р	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Лист		2

ЗМІСТ

Вступ	9
1. Проектування ливарного цеху	10
1.1. Виробнича програма цеху	10
Режими роботи та фонди часу	11
1.3. Розрахунок виробничих відділень ливарного цеху	11
1.3.1.1 Плавильне відділення	11
1.3.2. Розрахунок відомості балансу металу	12
1.3.3. Розрахунок шихти і відомості витрати шихтових матеріалів	14
1.3.4 Розрахунок кількості плавильних агрегатів	15
1.4. Розрахунок формувальньо-заливочно-вибивного відділення	17
1.4.1. Вибір технологічного процесу виготовлення ливарних форм	17
1.4.2 Розрахунок відомості виготовлення та складання форм	19
1.4.3 Розрахунок кількості автоматичних формувальних ліній	21
1.4.4 Вибір місткості ковшів і розрахунок їх парку	22
1.5. Проектування стрижневого відділення	24
1.5.1 Вибір технологічного процесу виготовлення стрижнів	24
1.5.2 Розрахунок відомості виготовлення стрижнів	25
1.5.3 Розрахунок кількості стрижневих ліній	28
1.6. Проектування відділення для приготування суміші	28
1.7 Проектування термообрубного відділення	29
1.8. Розрахунок площі складів ливарного цеху	32
1.9. Внутрішньоцеховий транспорт	34
1.10. Цехові лабораторії	36
1.11. Технічний контроль виробництва	37
2. Технологія виготовлення виливка	39

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.3		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Светлов О.С.			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Саїтгареев Л.Н.			1	2	
					ЗМІСТ		
Н. Контр.		Саїтгареев Л.Н.			МТ-22-1ск		
Затверд.		Бабошко Д.Ю.					

2.1. Загальна характеристика технології виготовлення виливка «шків»	39
2.2. Аналіз технологічності конструкції деталі	41
2.3. Розрахунок шихти	44
2.4. Вибір і розрахунок литової системи	46
2.5. Розрахунок ваги вантажу	49
Розрахунок тривалості затвердіння і охолодження виливки	51
3. АНАЛІЗ СПОСОБІВ ВИПЛАВКИ СТАЛІ В РІЦННИХ ПЕЧАХ	54
3	
3.1.1. Виплавка сталі на свіжій шихті	54
3.1.2. Виплавка сталі методом переплаву	55
3.1.3. Виплавка вуглецевих сталей в основних електропечах	58
3.2. Виплавка сталі в кислих дугових печах	59
3.2.1. Сфера застосування. Переваги та недоліки. Шлаки кислого процесу	59
Особливості виплавки сталі в кислих печах	63
ВИСНОВКИ	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	66
о	
б	
и	
в	
и	
п	
л	
а	
в	
к	
и	
с	

Т					КНУ.РБ.136.26.112с-09.Р	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.им.	Підпис	Лист		2

ВСТУП

Ливарне виробництво є базовим та найбільш поширеним методом отримання заготовок у сучасному машинобудуванні. За статистичними даними, близько 70% загальної маси деталей машин виготовляються саме литтям, а в окремих наукоємних галузях, таких як верстатобудування, цей показник досягає 90–95%. Така глибока інтеграція технології в промисловість обумовлена її суттєвими перевагами над альтернативними методами обробки металів тиском (куванням, штампуванням).

Ключові переваги ливарного методу формоутворення: геометрична універсальність: можливість отримання заготовок практично необмеженої конфігураційної складності, включно зі складними внутрішніми порожнинами; ресурсоощадність: мінімізація припусків на фінішну механічну обробку різанням. Це безпосередньо підвищує коефіцієнт використання металу, знижує матеріаломісткість виробництва та зменшує витрати інструменту; економічна рентабельність: собівартість виготовлення складних литих заготовок є значно нижчою порівняно з поковками аналогічної маси та габаритів завдяки скороченню кількості технологічних переходів.

Сучасні критерії якості та експлуатаційної надійності: Ливарна технологія безпосередньо детермінує кінцеві експлуатаційні показники, надійність та ресурс роботи сучасних машин і агрегатів. Сучасний етап розвитку техніки висуває жорсткі вимоги до якості литва. Проектування конкурентоспроможних виливків вимагає забезпечення: суворо регламентованих і стабільних фізико-механічних та хімічних властивостей сплаву в усьому об'ємі; високої розмірної точності; оптимізації масових характеристик шляхом зменшення товщини стінок без втрати конструкційної жорсткості виробу.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.В		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ док.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат.</i>	ВСТУП		
Розроб.		Светлов О.С.					
Перевір.		Саїтгареев Л.Н.			<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аквішів</i>
						1	1
Н. Контр.		Саїтгареев Л.Н.			МТ-22-1ск		
Затверд.		Бабошко Д.Ю.					

1. Проектування ливарного цеху

1.1. Виробнича програма цеху

Відповідно до номенклатури виливків проведемо розрахунок виробничої програми при проектуванні цеху сталевого і чавунного лиття продуктивністю 12000 тон на рік.

Виробнича програма наведена в таблиці 1.1. Вона передбачає розробку технологічних даних для кожного виливка і застосовується при проектуванні цехів зі стабільною номенклатурою виливків.

Таблиця 1.1 - Точна виробнича програма

№	Найменування виливки	Марка	Маса	Річна програма шт.	Маса виливків на рік, кг
	Корпус 029				
	Кришка				
	Корпус 059				
	Корпус 001-1				
	Шків	СЧ-20			
	Корпус 081				
	Корпус 201				
	Корпус КПП				
	Картер	СЧ-20			
	Корпус 401				
	Корпус підвісний				
	Кронштейн пр				
	Кронштейн л				
	Стійка ліва.				
	Стійка пр.				
	Корпус 090				
	Опора прав				
	Корпус 064				
	Важіль				
	Корпус гальма				

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.01 ПЛ				
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ доким.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат.</i>					
Розроб.		Светлов О.С.			Проектування ливарного цеху		<i>Лит.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
Перевір.		Саїтгарєєв Л.Н.						1	30
Н. Контр.		Саїтгарєєв Л.Н.			МТ-22-1ск				
Затверд.		Бабошко Д.Ю.							

1.2.Режими роботи та фонди часу

У ливарних цехах серійного виробництва виливків застосовується паралельний режим роботи, що полягає у виконанні всіх технологічних операцій одночасно на різних виробничих площах і дільницях ливарного цеху різними робітниками і машинами.

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

Календарний фонд часу для обладнання становить

$$\text{ФК}=356 \cdot 24=8760 \text{ год/рік.}$$

Номінальний фонд часу (ФН) - це час, протягом якого за прийнятим режимом має працювати обладнання без урахування втрат часу. При двозмінному режимі роботи

$$\text{ФН}=4036 \text{ год/рік.}$$

Дійсний фонд часу визначається шляхом виключення з номінального фонду неминучих втрат, пов'язаних з можливими ремонтами обладнання та плановим обслуговуванням його. Дійсний фонд часу автоматизованих формувальних і стрижневих ліній $\text{ФД}=3645$ год/рік, дугових печей для плавки сталі $\text{ФД}=3890$ год/рік, обладнання для приготування формувальної суміші, а також обладнання термообрубною дільниці $\text{ФД}=3645$, дійсний фонд часу термічної печі становить $\text{ФД}=5691$.

1.3. Розрахунок виробничих відділень ливарного цеху

1.3.1 Плавильне відділення

Вибір типу плавильних агрегатів

В якості плавильного агрегату для плавки сталі обрані дугові електропечі змінного струму, вони мають ряд переваг:

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.01 ПЛ	Авк.
Змн.	Авк.	№ док.им.	Підпис	Лат		2

1. можливість отримання більш точного складу виплавленого металу з меншою кількістю шкідливих домішок, більш високий перегрів;
2. можливість механізації та автоматизації
3. Легкість процесу регулювання плавки;
невибагливість до розмірів шматків шихти; можливість більш грубого завантаження шихти, що допускає скидання великих шматків шихти, оскільки дно печі утворює підстилку з дрібнокускових матеріалів і стружки;
5. . простіший запуск печі, що не вимагає холостої колоші;
6. менша трудомісткість при обслуговуванні печі та ремонті футеровки, що проводяться між плавками;
7. менша вартість силового обладнання та площа, яку воно займає;
8. при використанні дугової печі немає необхідності проектувати дворівневу будівлю.

Як було сказано вище, плавка планується в дуговій електропечі; при цьому, використовуючи чисті шихтові матеріали, зокрема по сірці та фосфору, можна відмовитися від окислювально-відновного періоду і використовувати кислу футерівку печі, що збільшує стійкість стін і склепіння печі до 150÷200 плавок, замість 100÷150 на основній футерівці.

В якості плавильного агрегату, для плавки чавуну, обрані індукційні печі середньої частоти. Цьому сприяють такі їх переваги, як можливість виплавки чавуну будь-якого хімічного складу, будь-якої марки, використання будь-якої шихти. Печі більш компактні в порівнянні з дуговими і вагранками, безшумні, менше викиди в атмосферу.

1.3.2. Розрахунок відомості балансу металу

Відомість балансу металу складається на підставі відомості витрати металу на залиті форми. Вона складена для СЧ20 та Ст25, що виплавляється на річну програму.

Відомість балансу металу представлена в таблиці 1.2.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.01 ПЛ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ док.	Підпис	Лат		

Таблиця 1.2 - Відомість балансу металу СЧ20

Найменування статей	Витрата за марками сплаву СЧ20	
		т
1. Придатні виливки		
2. Ливники та надливи		
3. Брак виливків		
4. Технологічні проби та дослідні виливки		
5. Зливи та сплески		
Разом рідкого металу		
6. Угар і безповоротні втрати		
Металозавалка		

Металозавалка розраховується за формулою:

Г
+
Л
+
Б
1
0
0
-
П
0

де М - річна металозавалка за виплавленою маркою, т;

Г - маса придатних виливків, т;

Л - маса ливників і надливів, т;

Б - маса бракованих виливків, т;

П - сума втрат металу за статтями 4, 5, 6 балансу металу, %.

Підставляючи у формулу (2) відповідні значення з табл. 1.2, отримаємо

$$M = \frac{5000 + 1019,82 + 100}{100 - 5,5} * 100 = 6432,16 \text{ т.}$$

Після розрахунку металозавалки визначаються і заносяться в таблицю статті 1, 2, 3 у відсотках, а 4, 5, 6 - у тоннах, а потім сумарні дані по цеху.

Таблиця 1.3 - Відомість балансу металу 25Л

Найменування статей	Витрата за марками сплаву 25Л	
		т
Придатні виливки		
2. Ливники та надливи		
3. Брак виливків		
4. Технологічні проби та дослідні виливки		
5. Зливи та сплески		
Разом рідкого металу		
6. Випаровування та безповоротні втрати		
Металозавалка		

$$M = \frac{7000 + 2142 + 140}{100 - 6,0} * 100 = 9788,2 \text{ т.}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.01 ПЛ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.им.	Підпис	Лам		4

1.3.3. Розрахунок шихти і відомості витрати шихтових матеріалів

Розрахунок шихти проводиться виходячи з необхідного хімічного складу сплаву з урахуванням фактично використовуваних шихтових матеріалів і застосовуваних плавильних агрегатів.

У застосовуваному плавильному агрегаті шихта може складатися зі сталевих брухту і повернення, а також деякої кількості свіжих чушкових чавунів і феросплавів. Хімічний склад вихідних шихтових матеріалів і прийняті позначення наведені в таблиці 1.4, 1.5.

Розрахунок компонентів шихти був проведений на ЕОМ

Таблиця 1.4 - Відомість витрати шихтових матеріалів для плавки чавуну

Найменування матеріалів	Витрата матеріалів за марками сплаву СЧ20	
		т
1. Металева шихта		
а) Повернення власного виробництва		
б) Брухт сталевий ГОСТ 2787-86		
в) чавун ливарний ЛК 2 ГОСТ 4832-72		
г) ФМн 78 ГОСТ 4755-91		
Разом		
2. Шлакоутворюючі		
б) вапняк		

Таблиця 1.5. - Відомість витрати шихтових матеріалів для плавки сталі

Найменування матеріалів	Витрата матеріалів за марками сплаву 25Л	
		т
1. Металева шихта		
а) Лом сталевий 2А ГОСТ 2787-86		
б) Повернення		
в) Чавун переробний ПЛ1 кл. А кат.2, ГОСТ 805-80		
д) Ферромарганець ФМн-78 ГОСТ 4755-91		
е) Ферросиліцій Фс -65 ГОСТ 1415-93		
Разом		
2. Шлакоутворюючі		
3. Розкислювач		

1.3.4 Розрахунок кількості плавильних агрегатів

Розрахункова кількість плавильних агрегатів $P_{пл}$ визначається за формулою

де $V_{ЖГ}$ - річна кількість споживаного рідкого металу, т (табл. 2); K_H - коефіцієнт нерівномірності;

$\Phi_{д}^{пл}$ - дійсний річний фонд часу плавильного обладнання, год;

$K_{роз}^{пл}$ - розрахункова продуктивність плавильного обладнання, т/год.

Коефіцієнт нерівномірності для серійного та дрібносерійного виробництва $K_H = 1,1-1,3$. Приймаємо $K_H = 1,2$.

Розрахункова продуктивність обладнання визначається за формулою

РАСЦИ
К

де $N_{цик}$ - циклова продуктивність обладнання, т/год;

N - коефіцієнт використання, рівний 0,7-0,9.

Ємність печі визначається за формулою

$V_{ГКНЦФД}$, (2)

де V_G - річна кількість споживаного рідкого металу;

$K_H = 1,1-1,3$ (в умовах серійного та дрібносерійного виробництва);

$\Phi_{д}$ - дійсний річний фонд часу, год;

ϵ - тривалість розливу однієї плавки, год.

$$\epsilon = \frac{15402 \cdot 1,2 \cdot 0,67}{3890} = 3,6$$

Оскільки піч може мати перевантаження на 20 %, то приймаємо ємність печі рівною 6 тон.

Для виплавки чавуну застосовується індукційна піч ІППМ-6,0-0,25 (ЕКТА).

Технічна характеристика ІППМ-6,0-0,25:

- номінальна місткість, т 6
- встановлена потужність по трансформатору, кВ 3200;
- теоретична витрата електроенергії на розплавлення, кВт·год/т 550;
- продуктивність, т/год 2,26;

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.01 ПЛ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.им.	Підпис	Лам		5

- Номінальна частота струму індуктора , Гц 250.

Підставляючи у формулу (4) продуктивність ІППМ-6,0-0,25, отримаємо розрахункову продуктивність плавильного відділення:

$$N_{PAC}=2,26 \cdot 0,8=1,8 \text{ т/год}$$

Підставляючи в формулу (3) знайдені значення, отримаємо

$$P_{пл1} = \frac{6244,82 \cdot 1,3}{3890 \cdot 1,6} = 1,4$$

Кількість одиниць обладнання P_2 , що приймається до установки в цеху, визначається за формулою:

Р

Р де P_1 - розрахункова кількість обладнання відділення цеху;

К

K_3 - коефіцієнт завантаження, рівний 0,7-0,85;

Підставляючи в формулу (5) отримані значення, визначаємо

$$P_{пл2}=1,40,8=1,56.$$

Округляючи отриману кількість обладнання до цілого $P_{пл2} = 2$, знаходимо з формули (5) дійсний коефіцієнт завантаження плавильного відділення

$$K_{зд} = \frac{P_{пл1}}{P_{пл2}} = \frac{1,56}{2} = 0,78.$$

Для ритмічної роботи відділень цеху необхідно виконання умови: дійсна величина коефіцієнта завантаження обладнання у всіх відділеннях цеху повинна бути меншою за коефіцієнт завантаження основного формувального обладнання, тобто має виконуватися умова

К

з

д

К

Умова (6) для плавильного відділення дотримана.

з

д

ф

Приймаємо до установки в плавильному відділенні дві печі марки ІППМ-

Для виплавки сталі застосовується дугова піч ДППТУ-6(ЕКТА).

Технічна характеристика ДППТУ-6:

- номінальна місткість, т 6;

- встановлена потужність по трансформатору, МВА 4,3;

КНУ.РБ.136.26.112с-09.01.ПЛ
КНУ.РБ.136.26.112с-09.01.ПЛ

Док.

Док.

7⁶

- Випаровування шихтових матеріалів, % 3,5;
- продуктивність, т/год 3,7;
- Діаметр графітових електродів, мм 400.

Підставляючи у формулу (4) продуктивність ДППТУ-6, отримаємо розрахункову продуктивність плавильного відділення:

$$N_{PAC}=3,7 \cdot 0,7=2,59 \text{ т/ГОД}$$

Підставляючи в формулу (3) знайдені значення, отримаємо

$$P_{пл1} = \frac{9788,21 \cdot 1,3}{3890 \cdot 2,59} = 1,3$$

Підставляючи в формулу (5) отримані значення, визначаємо

$$P_{пл2} = 1,30,8 = 1,62.$$

Округляючи отриману кількість обладнання до цілого $P_{пл2} = 2$,

Коефіцієнт завантаження плавильного відділення

$$K_{зд}^{пл} = \frac{P_{пл1}}{P_{пл2}} = \frac{1,3}{2} = 0,65.$$

Умова (6) для плавильного відділення також дотримана.

Приймаємо до установки в плавильному відділенні дві печі марки ДППТУ-66(ЕКТА).

1.4. Розрахунок формувальньо-заливочно-вибивного відділення

1.4.1. Вибір технологічного процесу виготовлення ливарних форм

У проектованому цеху виливки будуть виготовлятися у формах їх холоднотвердіючих сумішей на автоматичній лінії марки Fast loop. Така формувальна лінія забезпечить необхідну кількість виливків, отримуючи при цьому високу якість.

- розміри форми, мм:

у світлі 1600×1200;

висота 500;

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.01 ПЛ	Авк.
						8
Змн.	Авк.	№ док.	Підпис	Лист		

- продуктивність циклова, форм/год 25;
- металоємність форми, кг 2250;
- кількість робітників, які обслуговують лінію в одну зміну 6;
- встановлена потужність, кВт 580;
- габаритні розміри лінії, мм 36800X15000;
- маса комплекту, що поставляється, т 1550.

Формовочна лінія марки Fastloop являє собою систему взаємопов'язаних автоматичних пристроїв, що включають шнековий змішувач, вібростіл, кантувач форм, гілки заливки і охолодження, ділянку вибивання, розташованих в певній послідовності, пов'язаних між собою в єдиний замкнутий комплекс.

До складу формувальної лінії входять наступні агрегати: змішувач шнековий, кантувач форм, протяжна машина, вібростіл, апарат фарбування форм, інерційна вибивна решітка.

Відмінними особливостями лінії є:

- відсутність опочного оснащення;
- використання на лінії форм підвищеної точності жорсткості, що дозволяє збільшити якість виливків;
- застосування комбінованого методу затвердіння форм, шляхом струшування грудки суміші і подальшого її затвердіння.
- можливість застосування регулювання дози формувальної суміші і режимів ущільнення індивідуально для кожної моделі в циклі роботи формувальної установки, що забезпечує виготовлення виливків різних за складністю, характерних для дрібносерійного і серійного виробництва.

Лінія працює наступним чином: З відділення заміни оснащення, модельний комплект на плиті, подається на ділянку заповнення. На модельний комплект встановлюється наповнювальна рамка, і за допомогою шнекового змішувача порожнина заповнюється сумішшю. Наступним кроком є переміщення не затверділого грудка суміші разом з рамкою на пристрій вібростіл. Вібростіл дозволяє ущільнити фосмовочную суміш безпосередньо біля модельного комплекту, що зменшує шорсткість поверхні форми.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.01 ПЛ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ док.	Підпис	Лам		

Далі ущільнений ком суміші з наповнювальною рамкою пересувається на гілку затвердіння, де протягом 40 хв илин ком повинен набрати необхідну міцність. Затверділий ком суміші на кінці гілки затвердіння потрапляє в пристрій протягування форм. З кома суміші витягується модельний комплект і знімається наповнювальна рамка, вони відправляються на ділянку заміни оснащення. Напівформа перевертається на 180°, і пересувається на ділянку фарбування форм з подальшим просушуванням. Склад покриття: наповнювач-графітовий порошок для чавунних виливків, для сталевих виливків на основі цирконієвих пісків розчинник-полівінілбутиральний лак ТЛ-1; щільність фарби 1,8-1,9 г/см³.

У пофарбовані і просушені напівформи проводять проставлення стрижнів ручним або автоматичним способом. Далі напівформи переміщують апарат складання форм. Складання форм проводиться шляхом підняття верхньої напівформи, переворотом її на 180°, і установкою на нижню напівформу. Зібрані форми рухаються по гілці заливки і гілці охолодження, де проводять заповнення форм сплавом, і витримують для його кристалізації. Охолоджені форми подаються на позицію вибивання, де за допомогою інерційної решітки відбувається вибивання, вибиті виливки знімаються з решітки електротельфером.

Склад формувальної суміші наступний:

Матеріали, що застосовуються при виготовленні α -set: 100% піску, 1,1-1,6% понад 100% складноефірної смоли та 20-25% затверджувача АСЕ від маси смоли.

Смола містить 0,9% вільного фенолу, до 0,1% вільного формальдегіду, до 0,5% азоту, 52% твердої речовини без сірки. Щільність смоли 1250 кг/м³.

1.4.2 Розрахунок відомості виготовлення та складання форм

Для визначення річної кількості форм кожного типорозміру, а також обсягу стрижнів і формувальної суміші застосовують відомість виготовлення і складання форм, яка представлена в таблиці 1.6.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.01 ПЛ	Анк
						9
ЗМН.	Анк.	№ док.м.	Підпис	Лам		

Таблиця 1.6 - Відомість виготовлення та складання форм

№	Найменування вилівки	Виготовляється на рік вилівоків, шт.	Внутрішній розмір опоки в/н, мм	Кількість вилівоків у формі, шт.	Виготовляється форм на рік, шт.	Об'єм для однієї форми, м ³				Об'єм формувальної суміші на річну програму, м ³	
						опок	залитого металу	стержнів	ущільненої формувальної суміші		
	Корпус										
	Кришка										
	Корпус										
	Корпус										
	Склянка										
	Корпус										
	Корпус										
	Корпус										
	Картер										
	Корпус										
	Корпус										
	Кронштейн										
	ронштейн										
	Стійка										
	Стійка										
	Корпус										
	Опора										
	Корпус										
	Важіль										
	Корпус										

1.4.3 Розрахунок кількості автоматичних формувальних ліній

Розрахункова кількість автоматичних формувальних ліній $P_{\Phi 1}$ визначається за формулою:

Р

Φ_{Π} n - річна кількість форм, що виготовляються на лінії, шт. (табл. 1,6, стовпець

К

з

Φ_{Π} - дійсний річний фонд часу формувального обладнання, год;

$\Phi_{\text{роз}}^{\Phi}$ - розрахункова продуктивність формувального обладнання, шт/год;

$K_s = 0,94-0,96$ - коефіцієнт, що враховує втрати через брак форм і виливків.

р

а

с

ф

Приймаємо $K_s = 0,8$.

Продуктивність лінії Fast loop 25 форм/год.

$$\text{роз}^{\Phi} = 25 \cdot 0,8 = 24 \text{ форми/год.}$$

Підставляючи в формулу (7) отримані значення, знаходимо:

$$P_{\Phi 1} = \frac{60120}{0,95 \cdot 3645 \cdot 24} = 0,69$$

Приймаємо до установки в формувальному відділенні однієї автоматичної лінії

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.01 ПЛ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Лат		12

1.4.4 Вибір місткості ковшів і розрахунок їх парку

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

Форми заливаємо за допомогою поворотного ковша, місткістю 2 т.

Кількість ковшів, необхідних для забезпечення металом даного потоку, визначається за формулою

де n_k - кількість ковшів певної металоємності, що знаходяться одночасно в роботі, шт;

G_{Me} - потреба в металі для заповнення готових форм з такого ковша, т/год;

$\tau_{ц.к.}$ - час обороту працюючого ковша, год;

K_K - металоємність ковша, що використовується для заповнення ливарних форм, т;

K_H - коефіцієнт нерівномірності споживання металу ковшем.

Потреба в металі буде визначатися продуктивністю ливарної формувальної лінії, і якщо в цеху один формувальний потік, то вона буде дорівнювати годинній потребі цеху в металі, тобто

Розраховуємо годинну потребу цеху в металі:

$$G_{Me} = \frac{15402}{3890} = 3,95 \text{ т/год}$$

Час обороту ковша складається з часу заповнення ковша металом, транспортування його до місця заливки, часу розливу металу, повернення ковша під нове заповнення, зливу залишку і очікування заповнення ковша. Приймаємо $\tau_{ц.к.} = 0,2$ год.

Коефіцієнт нерівномірності споживання металу ковшем буде більшим, ніж при розрахунку кількості плавильних печей, і його можна брати в межах 1,3-1,7. Приймаємо $K_H = 1,4$.

Підставляючи в формулу (8) знайдені значення, отримаємо:

$$n_k = \frac{3,95 \cdot 0,5 \cdot 1,5}{2} = 1,59 \approx 2 \text{ шт.}$$

$$n_{\text{к.р.}} = \frac{1 \times 16 \times 24 \times 1,4}{1610} = 0,36 \approx 1 \text{ шт}$$

Таким чином, розрахована необхідність у двох розливних ковшах ємністю 2 тонни. і в одному роздаточному ковші ємністю 6 тонн. У ремонті постійно один розливний ковш і один роздаточний ковш.

1.5. Проектування стрижневого відділення

1.5.1 Вибір технологічного процесу виготовлення стрижнів

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

Найбільш придатною для виготовлення стрижнів у проектуваному цеху є автоматична стрижнева машина моделі Disco3300(IMF). Лінія призначена для автоматизованого виготовлення стрижнів масою до 250 кг з ущільненням їх піскоструминним способом із сумішей холодного твердіння на основі синтетичних смол, що твердіють в оснащенні.

Технічні характеристики стрижневої машини . Disco3300 (IMF)

- Тривалість циклу, с. 35;
- Розміри стрижневого ящика, мм:

Ширина 900; Довжина 900; Висота 900;

Технологічний цикл виготовлення стрижнів включає наступні операції:

1. подачу стрижневих ящиків на стіл;
2. приготування стрижневої суміші та заповнення стрижневих ящиків;
3. продування стрижневого ящика затверджувачем;
4. вилучення стрижня з ящика.

Властивості стрижневої суміші:

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.01 ПЛ	Анк
						16
Змн.	Арк.	№ док.	Підпис	Лист		

міцність при розтягуванні через 1 годину	0,3 - 0,4 МПа;
міцність при розтягуванні через 4 години	0,6 - 0,8 МПа;
газопроникність	понад 100 од.;
газоутворення	менше 10 см ³ /г;
осипання	менше 1%;
живучість	4 - 6 хв.

1.5.2 Розрахунок відомості виготовлення стрижнів

Основою для розрахунку стрижневого відділення є відомість виготовлення стрижнів, представлена в табл. 1.7.

1.5.3 Розрахунок кількості стрижневих ліній

Розрахункова кількість стрижневих ліній P_{c1} визначається за формулою:

Р

с

В

с

□

К

н

с

д

с

р

а

с

с

де V_c - кількість зйомок з стрижневої лінії на рік, шт. (графік 11, табл. 8);

Φ_d^c - дійсний річний фонд часу роботи стрижневого обладнання, год;

$N_{рас}^c$ - розрахункова продуктивність стрижневого обладнання, т/год.

Підставляючи у формулу продуктивність стрижневої лінії, отримуємо розрахункову продуктивність стрижневого відділення:

$$N_{рас} = 0,9 \cdot 103 = 92 \text{ зніманий/ год.}$$

Підставляючи в формулу (12) знайдені значення, отримуємо:

$$P_{c1} = \frac{253466 \cdot 1,1}{3645 \cdot 92} = 0,83.$$

Підставляючи в формулу (5) отримані значення, визначаємо

$$P_{c2} = \frac{0,83}{0,95} = 0,87.$$

Округляючи отримане число стрижневих ліній до цілого $P_{c2} = 1$, знаходимо дійсний коефіцієнт завантаження стрижневого відділення

$$K_{зд}^c = \frac{P_{c1}}{P_{c2}} = \frac{0,87}{1} = 0,87.$$

Приймаємо до установки в стрижневому відділенні одну стрижневу машину марки Disco3300(IMF).

1.6. Проектування відділення для приготування суміші

У будь-якому ливарному цеху передбачається система регенерації формувальної та стрижневої сумішей. Формовочна і стрижнева суміш в проектуваному цеху - холоднотверднуча. Способом регенерації, придатним і для формовочної, і для стрижневої суміші, є механічний, при якому частинки піску стикаються і відбувається абразивне зачищення зерен - відтирання сполучного з їх поверхні. Плівки сполучного відокремлюються від зерен піску,

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.01 ПЛ	Анк
Змн.	Анк.	№ док.	Підпис	Лист		19

перетворюються на пил і видаляються з суміші інтенсивним відсмоктуванням повітря. Таким чином, виходить регенерат, який можна повторно використовувати у виробництві, а значить, скорочувати собівартість продукції. Обсяг робіт регенераційного обладнання становить 103001м^3 на рік, або 28т/год.

У систему регенерації входять такі пристрої, як: магнітний сепаратор марки ЕПР-120, дробарка однороторна крупного дроблення марки СМД-85, грохот марки ПЛ-32, класифікатор марки 14711 і охолоджувач марки 11511.

Суміш від дільниці вибивання до дільниці регенерації доставляється стрічковим транспортером.

Технічна характеристика повітряного класифікатора 14711

Продуктивність, т/год 50

Кількість відсмоктуваного повітря, м^3 /год 290

Потужність приводу вентилятора, кВт 111

Маса, кг 3820

Технічна характеристика охолоджувача 11511

Об'єм холодильної частини, л

Температура регенерату на вході 90

Температура регенерату на виході 25

Продуктивність 4,5

Охолоджувач трубчастий

Охолоджуюча рідина вода

Маса, кг 1925

Для регенерації формувальної суміші приймаємо одну систему регенерації марки 14316

1.7 Проектування термообрубного відділення

У термообрубному відділенні виконуються наступні види робіт:

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.01 ПЛ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ док.	Підпис	Лист		

1. очищення виливків від залишків формувальної та стрижневої суміші;
2. відділення ливників і надливів;
3. термообробка;
4. очищення від окалини;
5. заварювання дефектів;
6. зачищення виливків.

Цикл очищення виливків у проектованому цеху складається з наступного: виливки після вибивальної решітки складуються в тару і охолоджуються в ній, а потім надходять до термообрубного відділення, де з видимими поверхневими дефектами направляються в тару для бракованих виливків, а придатні - за допомогою транспортера потрапляють на стіл відбивання ливникової системи; після відбивання ливної системи виливки в тарі за допомогою вантажних візків надходять у дробеметний барабан моделі 42236.

Технічні характеристики барабана дробеметного періодичної дії:

- найбільша маса очищуваного виливка, кг 500;
- найбільша об'ємна діагональ виливка, мм 700;
- продуктивність, т/год 10,5;
- габарит, мм 6000×7000×6000;
- потужність, кВт 85;
- маса, т 32,5

При визначенні кількості виливків, що підлягають обробці в термообрубному відділенні, за основу беремо річну програму ливарного цеху без урахування браку.

Розрахункова кількість очисного обладнання $R_{оч1}$ визначається за формулою:

де V_{cc} - річний обсяг очисних робіт, т
 $\Phi_{д}^{оч}$ - дійсний річний фонд часу роботи очисного обладнання, год;
 $R_{роз}^{оч}$ - розрахункова продуктивність очисного обладнання, т/год.

Підставляючи у формулу (4) продуктивність дробеметного барабана,

Ф				КНУ.РБ.136.26.112с-09.01 ПЛ	Арк.
Д					21
Змн.Ф	Арк.	№ док.им.	Підпис	Лат	

отримаємо його розрахункову продуктивність:

$$N_{\text{рас}}=0,85 \cdot 10,5=8,9 \text{ т/ год.}$$

Підставляючи в формулу (15) знайдені значення, отримаємо:

$$P_{\text{оч1}}=\frac{1078 \cdot 1,3}{3645 \cdot 8,9}=0,43.$$

Підставляючи в формулу (5) отримані значення, визначаємо

Приймаємо до установки один дробеметний барабан моделі 42236.

Після очищення виливків у дробеметній барабані вони надходять у тарі на зачистку і відрізання ливників і надливів. В якості зачисних верстатів використовуються обдирочно-шліфувальні верстати моделі 3374К.

Зачищені сталеві виливки в тарі надходять в піч для термічної обробки, нормалізації протягом 7 годин, для цього використовують газову камерну піч з викатним подом марки К-30.30.11/1000.

Продуктивність печі для нормалізації розраховуємо за формулою (3):

$$N_{\text{рас}}=0,85 \cdot 2,3=2,0 \text{ т/год}$$

Розрахункову кількість печей для термообробки можна розрахувати за формулою (4):

$$P_{\text{пч1}}=\frac{7000 \cdot 1,2}{5691 \cdot 2,0}=0,73$$

Таким чином, приймаємо одну термічну піч НО-31.40.17/1300 з висувним подом для термообробки.

Таблиця 1.8 - Технічна характеристика термічної печі з висувним подом

Найменування	Розміри робочого простору печі, мм			Макс. температура, °С	Макс. навантаження на під, не більш ніж, кг	Встановлена потужність пальників/ кількість, кВт/ шт.
	ширина	довжина	висота			
ТермоГаз ® - НО-9.10.5.4/1300	900	1000	500	1300	400	232/2
ТермоГаз ® - НО-8.15.6/1300	800	1500	600	1300	1000	232/2
ТермоГаз ® - НО-13.13.6/1200	1300	1300	600	1200	1200	200/2
ТермоГаз ® - НО-20.20.8/1300	2000	2000	800	1300	4400	600/4
ТермоГаз ® - НО-31.40.17/1300	3100	4000	1700	1300	6000	3600/8

Після термічної обробки виливків виникає необхідність в очищенні їх від окалини. Для очищення від окалини також використовуємо дробеметний барабан періодичної дії марки 42236.

Підставляючи у формулу (4) продуктивність дробеметного барабана, отримаємо його розрахункову продуктивність:

$$N_{\text{рас}} = 0,85 \cdot 5,4 = 4,59 \text{ т/ год.}$$

Підставляючи в формулу (15) знайдені значення, отримаємо:

$$P_{\text{оч1}} = \frac{7000 \cdot 1,3}{3645 \cdot 4,59} = 0,54.$$

Приймаємо до установки один дробеметний барабан для очищення від окалини.

1.8. Розрахунок площі складів ливарного цеху

На складі здійснюється приймання, складування, підготовка шихтових і формувальних матеріалів, вогнетривких виробів, флюсів тощо. При визначенні площі засіків, необхідних для зберігання матеріалів, використовуються дані розрахунків плавильного і сумішоприготувального відділень, які є основними споживачами вихідних матеріалів.

Площа, яку займає матеріал на місці зберігання, визначається за формулою

М
Н
□
γ
□
к

де Q - маса відповідного матеріалу, що зберігається на складі, т;

Н - висота зберігання матеріалу, м;

□ - насипна маса матеріалу, т/м³ ;

к - коефіцієнт використання ємності складу (не більше 0,8).

Дані для розрахунку площі зберігання за формулою (16) беруться з

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.01 ПЛ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ док.им.	Підпис	Лам		

відомості розрахунку площ складів, представленої в табл. 1.9. Також до цієї відомості вносяться розраховані площі зберігання.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.01 ПЛ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Лист		24

Таблиця 1.9. - Відомість розрахунку площі складів

Площа сховища, м ²	Округлена		Склад					
	розрахункова			7,2 24,3 11,82 0,3 0,05 0,05				
Висота зберігання, м								
Кількість матеріалу на складі	м ³							
	т							
Нормований запас зберігання, доб.								
Насипна маса, т/м ³							1,5 1,2 1,2	
Річна кількість, т								
Найменування матеріалу				Шихтові матеріали: Повернення, брухт сталевий ГОСТ 2787-86 Чавун переробний ПЛІ ГОСТ 805-80 Ферромарганець ГОСТ 4755-91 Ферросиліцій Фс -65 ГОСТ 1415-93	Шлакоутворюючі	Формовочні матеріали	Пісок 2К ₂ О ₃ 03 (ГОСТ 2138-91) Сполучні ФСМ-А Каталізатор А-20	Стрижневі матеріали: Пісок 2К ₁ О ₃ 03 (ГОСТ 2138-91) Сполучна речовина Резамін Затверджувач Резамін , К1

Розрахункові площі зберігання округлюють відповідно до зручності механізованого завантаження і розвантаження матеріалу.

При визначенні площі складів враховуються також площі, зайняті приймальними приямками, розвантажувальними майданчиками, естакадами, приймальними пристроями для подачі матеріалів у цех, обладнанням для підготовки матеріалів, а також проходами і проїздами.

Загальна площа складу дорівнює

Σ

M

$\sum_{p} F_{M} -$ сума округлених площ зберігання кожного матеріалу на складі, м²; F_E

\rightarrow площа, зайнята естакадами, м²;

P - площа розвантажувальних майданчиків, м²;

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.01 ПЛ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.	Підпис	Лист		25

К - коефіцієнт, що враховує площі, зайняті приймальними пристроями для подачі матеріалів у цех, обладнанням для підготовки матеріалів, а також проходами і проїздами, $K = 1,2-1,4$.

Площа розвантажувальних майданчиків визначається за формулою:

P

де *n* - кількість розвантажувальних майданчиків, шт.;

L - протяжність залізничної колії, що знаходиться в цеху, м;

W - ширина фронту розвантаження по всій протяжності залізничної колії (*L*), $W = 6-8$ м.

$$P = 1 \cdot 48 \cdot 6 = 288 \text{ м}^2 .$$

n

Підставляючи в формулу (17) знайдені значення, отримаємо:
 $= 1,4 \cdot (216 + 288) = 705,6 \text{ м}^2 .$

L

1.9. Внутрішньоцеховий транспорт

Логістична інфраструктура ливарного цеху базується на розгалуженій системі внутрішньоцехового транспорту. Вона об'єднує всі категорії підйомно-транспортних засобів (ПТЗ), що інтегровані в єдиний технологічний цикл виготовлення виливків — від подачі шихти до відвантаження готової продукції.

Транспорт періодичної дії: До даної категорії належить устаткування, робочий цикл якого характеризується перервністю та варіативністю траєкторій переміщення вантажів. Основна номенклатура засобів періодичної дії в цеху охоплює:

- Підйомно-кранове обладнання: мостові та консольні крани загального та спеціального призначення, підвісні кран-балки.
- Засоби малої механізації: електротельфери (електричні талі), а також пневматичні та механічні підйомники для локального обслуговування робочих місць.
- Підлоговий транспорт: самохідні механізовані візки (електрокари) та рейкові передавальні платформи.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.01 ПЛ	Авк.
Змн.	Авк.	№ док.м.	Підпис	Лам		27

Методологія розрахунку: Визначення необхідної кількості транспортних одиниць періодичної дії є складним інженерним завданням через стохастичний характер вантажопотоків та нерівномірність часових циклів операцій. В умовах проектування ливарних цехів такий розрахунок зазвичай реалізується на основі укрупнених нормативних даних (методом аналогії або за питомими показниками вантажообігу на одиницю площі/продуктивності), що дозволяє забезпечити необхідний резерв пропускної здатності транспортної системи без надмірних капітальних витрат.

Для плавильних відділень кількість мостових кранів визначається за формулою:

$$K = \frac{Q_{ж}}{a \cdot T_{д}} \quad (19)$$

де K - кількість кранів;

$Q_{ж}$ - річний випуск рідкого металу однією піччю, т;

Π - кількість плавильних печей, що обслуговуються краном;

a - кількість крано-годин на 1 т виплавки рідкого металу;

$T_{д}$ - дійсний річний фонд часу роботи крана, год.

Після підстановки відповідних значень:

$$K = \frac{38505,5 \cdot 4 \cdot 0,032}{2030} = 0,24.$$

Приймаємо до установки 1 мостовий кран і ще один запасний.

Кількість мостових кранів і кран-балок для обслуговування формувальної, стрижневої та термообрубної ділянок розраховується за формулою:

Γ

\square

a

T

$д$

де Q_{Γ} - випуск придатного лиття, т/рік;

a - витрата часу крана на 1 т придатного лиття, крано-години;

$T_{д}$ - річний фонд часу роботи дільниці, год.

Тоді для формувальної дільниці та термообрубного відділення:

$$K = \frac{12000 \cdot 0,3}{3645} = 1,02$$

У формувальному і стрижневому відділенні приймаємо до установки по одному мостовому крану, в термообрубному відділенні один мостовий кран.

Розрахунок необхідної кількості транспорту безперервної дії проводиться за його продуктивністю. Для переміщення сипучих матеріалів у цеху передбачені пневмотранспортні установки. Відпрацьована суміш, від вибивної решітки до установки регенерації, транспортується транспортерною стрічкою.

1.10. Цехові лабораторії

Технологічний регламент ливарного цеху передбачає обов'язкову верифікацію всієї вхідної сировини та матеріалів до моменту їх інтеграції у виробничий процес. Даний превентивний захід спрямований на підтвердження повної відповідності фізико-хімічних характеристик матеріалів чинним нормативним стандартам та технічним умовам.

Для реалізації багаторівневого моніторингу — від вхідного аудиту до контролю параметрів на кожному етапі виробництва — у структурі цеху функціонують спеціалізовані підрозділи:

1. Експрес-лабораторія

Головною функцією цього підрозділу є оперативний контроль параметрів розплаву безпосередньо під час плавильного циклу.

- Завдання: швидкісне визначення хімічного складу чавуну, аналіз газонасиченості та верифікація температури заливання.
- Значення: дозволяє оперативно коригувати склад розплаву (введення феросплавів, модифікаторів) до моменту випуску металу з печі, що мінімізує ризики отримання хімічного браку.

2. Лабораторія формувальних матеріалів

Даний підрозділ відповідає за якість формувальних та стрижневих сумішей, що є критичним для запобігання виникненню поверхневих дефектів виливків.

- Завдання: моніторинг зернового складу пісків, активності зв'язуючих агентів, а також визначення фізико-механічних властивостей готових сумішей (газопроникність, вологість, міцність на стиск у вологому та сухому станах).

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.01 ПЛ	Авк.
Змн.	Авк.	№ док.им.	Підпис	Лам		28

- Значення: забезпечує стабільність реологічних характеристик сумішей, що гарантує високу якість відбитка моделі та легке видалення стрижнів після заливання.

Комплексна робота цих лабораторій формує закритий контур управління якістю, що дозволяє стабілізувати технологічний процес та забезпечити високий вихід придатного литва.

У функції служби механіка входить забезпечення надійної роботи обладнання.

У функції служби енергетика входять аналогічні роботи з електрообладнанням. Ця служба відповідає за справність роботи електрообладнання, водопостачання, вентиляції, газового господарства.

1.11. Технічний контроль виробництва

На фінальному етапі технологічного циклу виливки надходять на дільницю контролю для верифікації їхньої повної відповідності вимогам нормативної документації (ДСТУ/ГОСТ) та конструкторського креслення. Дільниця оснащена комплексом прецизійних контрольно-вимірювальних приладів, що дозволяють здійснювати як лінійно-кутові вимірювання, так і оцінку фізико-хімічних параметрів.

Логістика результатів контролю: За результатами перевірки виробу розподіляються за трьома потоками:

1. Кондиційна продукція: маркується ідентифікаційним клеймом і спрямовується на склад готової продукції.
2. Виправний брак: транспортується на спеціалізовану дільницю для відновлення (реновації) дефектних зон.
3. Остаточний брак: підлягає утилізації шляхом транспортування на дільницю шихтовки для переплаву.

Структура та об'єкти технічного аудиту: Функція технічного контролю реалізується фахівцями ВТК у тісній взаємодії зі спектральною експрес-

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.01 ПЛ	Аук.
Змн.	Аук.	№ док.	Підпис	Лам		29

лабораторією та розмічальною секцією. Система моніторингу охоплює всі критичні етапи виробництва (переділи):

- Підготовчий етап: вхідний контроль шихтових матеріалів та компонентів стрижневих сумішей.
- Стадія формоутворення: верифікація геометричної точності стрижнів та параметрів ущільнення форм.
- Металургійний етап: оперативний контроль параметрів плавки та температурних режимів заливання.
- Фінішний етап: аудит чистоти поверхні та суцільності металу після очисних операцій.

Спектральний аналіз та верифікація складу: для забезпечення стабільності хімічного складу чавуну в структурі цеху передбачена спектральна експрес-лабораторія. Основним інструментальним засобом є автоматизований експрес-аналізатор, який дозволяє в реальному часі визначати кількісний вміст легуючих елементів та домішок у сплаві. Використання даного обладнання мінімізує час очікування результатів аналізу, що є критично важливим для оперативного коригування складу розплаву безпосередньо в плавильному агрегаті.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.01 ПЛ	Анк.
Змн.	Анк.	№ док.м.	Підпис	Лат		30

2.ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКА

2.1.Загальна характеристика технології виготовлення виливка «шків»

Для отримання деталі «Шків 525-32600 003 002» доцільніше використовувати металеві модельні комплекти, оскільки в даному випадку собівартість металевого комплекту нижча за питому собівартість дерев'яного модельного комплекту, тому що виливка відноситься до великосерійного виробництва. Питома собівартість - це відношення собівартості виготовлення модельного комплекту до кількості знімків. Матеріал для виготовлення моделі СЧ 20 ГОСТ 1412-85, оскільки він має велику міцність, високу зносостійкість і при цьому відносно низьку вартість. Стрижневі знаки і підмодельні плити виготовляються з конструкційної сталі Ст.3 ГОСТ 380-05.

Форму отримують на автоматичній формувальній лінії В умовах великосерійного і масового виробництва автоматичні лінії мають високу продуктивність, практично повністю усувають ручну працю, дозволяють отримати виливки високої якості.

Стрижень для виливка «Шків 525-32600 003 002» отримують в нагрівальному оснащенні, виготовляються на стрижневій піскоструминній машині. Машина виконує наступні операції: надування, розігрів стрижневого ящика і затвердіння сумішей, розбирання, видача стрижнів, складання стрижневого ящика. Склад стрижневої суміші наступний:

Таблиця 2.1 - Склад стрижневої суміші

Найменування компонента	Кількість, %
Пісок 1К.016; 1К,02	
Смола КФ-90	
Затверджувач КЧ-41	
Сурик залізний	
Стеорат кальцію	

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.02 ТВ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ док.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат.</i>	ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКА	<i>Лист</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архівів</i>
Розроб.		Светлов О.С.					1	15
Перевір.		Сайтгареев Л.Н.				МТ-22-1ск		
Н. Контр.								
Затверд.		Бабошко Д.Ю.						

Плавка проводиться в середньочастотних тигельних індукційних печах місткістю 6 тонн, що задовольняє умови великосерійного виробництва. Печі дозволяють отримувати сплави для чавунного лиття, працюють одночасно від одного пічного трансформатора. Індукційні тигельні печі (ІТП) є одним із найбільш затребуваних видів плавильного устаткування в сучасному ливарному виробництві. Їхня широка експлуатація в промисловості обумовлена високою енергетичною ефективністю та універсальністю при отриманні розплавів як чорних, так і кольорових металів.

Функціональні режими та умови експлуатації: конструкція ІТП дозволяє здійснювати плавку в різних середовищах залежно від вимог до чистоти сплаву та його схильності до окиснення:

- Атмосферна плавка (на повітрі): застосовується для стандартних марок чавунів та сталей, де не потрібен жорсткий захист від атмосферних газів.
- Вакуумна індукційна плавка: використовується для отримання прецизійних сплавів, жароміцних сталей та реакційноздатних металів, де необхідно мінімізувати вміст газів (водню, азоту) та неметалевих включень.
- Плавка в захисних атмосферах: проводиться з використанням інертних газів (аргону, гелію) для запобігання вигоранню легуючих елементів та окисненню поверхні розплаву.

Переваги використання ІТП у складі цеху:

1. Електродинамічне перемішування: завдяки взаємодії електромагнітного поля з розплавом у тиглі виникають інтенсивні конвективні потоки, що гарантує абсолютну гомогенність (однорідність) хімічного складу та температури по всьому об'єму ванни.
2. Висока питома потужність: можливість швидкого розігріву та перегріву металу до необхідної температури заливання, що скорочує тривалість плавки та підвищує продуктивність дільниці.
3. Точне терморегулювання: мінімальна теплова інерційність дозволяє підтримувати заданий температурний режим із високою прецизійністю, що є критичним для якості кристалізації виливків.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.02 ТВ	Авк.
Змн.	Авк.	№ док.им.	Підпис	Лам		2

4. Екологічність: порівняно з дуговими або вагранковими печами, ІТП характеризуються значно меншим рівнем пилогазових викидів та шуму, що покращує санітарно-гігієнічні показники робочих місць.

Обрубка здійснюється гідрокліном, після чого виливки відправляються на очищення на дробометних машинах «STEM». Ефективне очищення досягається завдяки використанню сталевого дробу діаметром від 0,9 до 1,2 мм.

З вищесказаного можна зробити висновок, що даний технологічний процес повністю виправдовує себе, оскільки дозволяє налагодити великосерійне виробництво, з мінімальною кількістю витрат, так як були враховані питома собівартість, і трудомісткість різних технологічних операцій.

2.2. Аналіз технологічності конструкції деталі

Завданням проектування виливка є розробка такої технології її отримання, при якій за допомогою простих прийомів ливарної технології можливо виготовити виливок, що задовольняє пред'явленим до нього вимогам. Головним і вирішальним показником технологічності слід вважати собівартість литих деталей з урахуванням витрат на їх механічну обробку і збірку. Для оцінки технологічності необхідно провести ретельний аналіз вимог, що пред'являються до виливка, і класифікувати її за групами.

Виливок «Шків 525-32600 003 002» виготовляється з сірого чавуну марки СЧ20 ГОСТ 1412-85. Згідно з ГОСТом марка СЧ20 має такий хімічний склад :

Таблиця 2.2 - Хімічний склад сплаву СЧ 20 ГОСТ 1412-85

C, %	Mn, %	P (не більше), %	S (не більше), %

Таблиця 2.3 - Характеристика сплаву СЧ 20 ГОСТ 1412-85

$\sigma_{\text{виг}}$, МПа	$\sigma_{\text{сж}}$, МПа	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\tau_{\text{ср}}$, МПа	НВ, од.

Виливок належить до 2-ї групи складності. Основною несучою

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.02 ТВ	Арк. 3
Змн.	Арк.	№ док.им.	Підпис	Лам		

конструкцією є циліндр. Зовнішні поверхні вилівка прямолінійні і криволінійні, на поверхні відсутні складні виступи і піднутрення, конструкція передбачає наявність ребер на бічних поверхнях шківів.

Внутрішня порожнина - циліндричної форми з гладкою прямолінійною поверхнею, без виступів і піднутрень, отримується за допомогою стрижня 4-го класу складності. Бічні поверхні оформляються за допомогою болванів. Максимальний габаритний розмір 358 мм. Мінімальна товщина стінки 8 мм. Маса вилівки $m_{отл.} = 9,5$ кг.

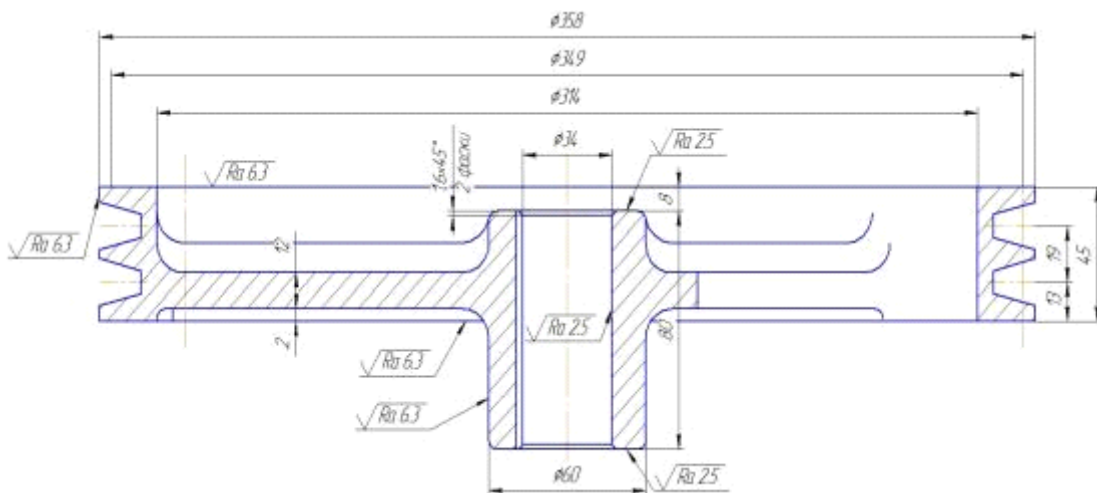


Рисунок 2 1 - Ескіз «Шків 525-32600 003 002»

Роз'єм форми повинен забезпечувати найменшу кількість дефектів по перекосах, і щоб скоротити кількість оздоблювальних робіт, протяжність ливарних швів повинна бути мінімальною. Тому вилівок необхідно розташувати в двох напівформах, з лінією роз'єму, що проходить перпендикулярно осі симетрії масивною частиною бобишки вниз. Обрана конфігурація площини роз'єму забезпечує оптимальні умови для реалізації технологічного процесу складання форми та гарантує високу точність позиціонування її елементів. Дане конструктивне рішення дозволяє:

- Технологічність складання: мінімізація ризиків пошкодження робочих поверхонь напівформ під час їхнього суміщення.
- Статична та динамічна стійкість: забезпечення жорсткої фіксації стрижневої системи у знакових частинах. Це повністю нівелює ймовірність

2.3. Розрахунок шихти

Для забезпечення прецизійної відповідності хімічного складу розплаву заданим марочним характеристикам та гарантування високої якості металу, проводиться розрахунок шихти. Алгоритм базується на цільовому хімічному складі рідкого чавуну з обов'язковим урахуванням термодинамічного угару (окиснення) елементів під час плавки в індукційній тигельній печі.

1. Структура металеві завалки

Розрахунок ведеться на одиницю маси металеві завалки (100 кг). Сумарна потреба в металі для забезпечення виробничі програми детермінується наступними складниками балансу:

- Вихід придатного: маса виливків згідно з річним/квартальним планом випуску.
- Технологічні втрати (зворот): обсяг металу в ливниково-живильних системах (ливники, випори, надливи).
- Технічний брак: сукупність внутрішнього (ливарного) та зовнішнього (виявленого під час механічної обробки) браку.
- Безповоротні втрати: угар елементів та механічні втрати металу під час розливання (розбризування, залишки в ковшах).

2. Коефіцієнти угару елементів в індукційній печі

Величина угару домішок залежить від їхньої початкової концентрації в шихті, тривалості плавки та температурного режиму. Для умов індукційної плавки прийнято наступні нормативні значення угару основних елементів:

Елемент	Символ	Коефіцієнт угару, %
Кремній		
Марганець		
Сірка		
Вуглець		

3. Алгоритм компонування шихти

Визначення відсоткового співвідношення складників шихти виконується методом послідовних наближень або аналітичним розрахунком (метод «квадрата» або розрахунок за балансовими рівняннями). Процес включає:

- Аналіз хімічного складу наявних шихтових матеріалів (ливарний чавун, сталевий брухт, повернення власного виробництва, феросплави).
- Диференційований підбір маси кожного компонента для досягнення цільових значень %C, Si, Mn у готовому розплаві з урахуванням вищезазначених втрат.
- Коригування вмісту вуглецю та кремнію за допомогою науглецювачів та феросиліцію відповідно.

Тоді в шихті має бути:

Таблиця 2.4. - Склад шихти

№	Найменування матеріалу	Марка	Витрата матеріалу в %	Вміст елементів									
				C									
				мат	ших	мат	ших	мат	ших	мат	ших	мат	ших
	Чавун переробний	ПЛ1											
	Сталевий брухт	A1											
	Брухт чавунний												
	Повернення	СЧ-20											
	Чавун ливарний	Л-2											
	Разом у металі:												
	Феросильцій	ФС-75											
	Силікомарганець	ФМн-											
	Разом у шихті:												
	Угар/пригар (+/-)												
	Разом у шихті з феросиліцієм:												
	Необхідний хімічний склад									до 0,15		до 0,2	

Для визначення хімічного складу досліджуваних матеріалів у роботі застосовували рентгенофлуоресцентний аналізатор **EXPERT 4L**. Аналіз проводили в лабораторних умовах шляхом розміщення підготовлених зразків у вимірювальній камері приладу.

2.4. Вибір і розрахунок литової системи

Конструювання раціональної ливникової системи є однією з фундаментальних умов отримання прецизійних виливків без дефектів суцільності. ЛЖС являє собою функціональну сукупність каналів та порожнин ливарної форми, що забезпечують кероване підведення розплаву в робочу зону, стабільне заповнення порожнини та безперервне живлення виливка на стадії кристалізації.

Функціональні вимоги до ЛЖС:

Ефективно спроектована ливникова система повинна відповідати наступним інженерним критеріям:

- Гідродинамічна стабільність: забезпечення ламінарного (плавного) підведення розплаву для запобігання ерозії стінок форми та виключення захоплення повітря або газів металевим потоком.
- Металургійна чистота: затримка шлакових включень та продуктів руйнування форми (засмічень) до моменту потрапляння металу безпосередньо в порожнину виливка.
- Термічне керування: сприяння реалізації принципу спрямованого затвердіння, що є критичним для повної компенсації об'ємної усадки та запобігання утворенню усадочних раковин.
- Геометрична точність: мінімізація термічного впливу на форму в місцях підведення металу для запобігання утворенню ужимин та лінійної деформації заготовки.
- Техніко-економічна оптимізація: забезпечення мінімально необхідної металоємності системи при збереженні її функціональності, що безпосередньо впливає на вихід придатного литва та собівартість продукції.

Залежно від способу заповнення форми металом ливниково-живильні системи можна розділити на бічні і з підведенням металу зверху і знизу. За співвідношенням площ ливникової системи можуть розширюються і звужуються.

Для виливка «Шків 525-32600 003 002» буде застосовуватися бічна

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.02 ТВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Лам		8

підводка металу, по лінії роз'єму, при цьому живильники будуть розташовуватися по дотичній до циліндричної частини шків, для зменшення негативного впливу металу на форму і стрижень.

Розрахунок зводиться до визначення площі найменшого перерізу стояка і живильників системи з подальшим визначенням співвідношення площ перерізу інших елементів системи.

Перетин живильника знаходимо за формулою:

де G - маса рідкого металу на форму, кг;

- τ - оптимальна тривалість заливки форми, с;
 H_p - розрахунковий металостатичний напір, см.

Маса рідкого металу на вилівку визначається:

де G_0 - чорнова маса вилівка;

η -

Оптимальна тривалість заливки визначається наступним чином для вилівок масою до 500 кг :

де S - емпіричний коефіцієнт, що залежить від товщини стінки вилівки;
 $S=1,3$, оскільки середня товщина стінки вилівка становить 13 мм.

Розрахунковий металостатичний напір залежить від розміру вилівка і його

визначають із співвідношення:

де H_0 - повний напір, см ;
 H_c - загальна висота вилівка, см ;
 H_p - висота вилівка у верхній напівформі, см .

и н

		н			КНУ.РБ.136.26.112с-09.02 ТВ	Арк.
		я				9
Змн.	Арк.	№ док.им.	Підпис	Лат		

в м

Правильність розрахунку оптимального часу заливки необхідно перевірити за значенням мінімально допустимої лінійної швидкості заливки:

Мінімально допустиме $V_{\text{лин}}$ для виливків з товщиною стінок 10-40 мм становить 10...20 мм/сек

Співвідношення перерізів елементів ливникової системи для дрібних

и Площа шлакоуловлювачів:

л
и
Площа стояка:

к
і
в
: Діаметр верхнього перетину стояка:

Г
ж
и Розрахунок чаші проведемо за формулою:

в
де D_v - верхній діаметр чаші, см;

Нв - висота чаші, см.

Г
ш
л
:

Г

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.02 ТВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Лат		10

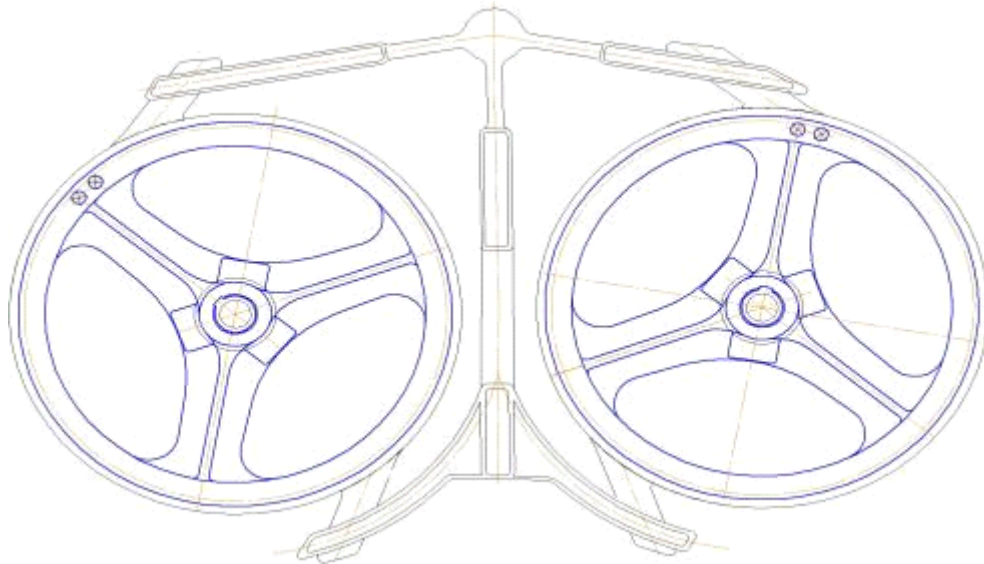


Рисунок 2.3. - Ескіз ливникової системи

2.5. Розрахунок ваги вантажу

Під час заповнення робочої порожнини рідкий метал чинить інтенсивний тиск на стінки та склепіння ливарної форми. Величина цього тиску детермінується законами гідростатики та є прямо пропорційною густині сплаву і висоті металевого стовпа у ливниковій системі.

Механіка виникнення дефектів:

Найбільш критичним є виштовхувальна сила, що діє на верхню напівформу. Якщо сумарний імпульс металостатичного тиску перевищує власну вагу верхньої опоки з сумішшю, виникає ефект «спливання» напівформи. Наслідками цього явища є:

- Порушення герметичності: утворення технологічного зазору (щілини) по площині роз'єму.
- Втрата розплаву: витікання металу за межі форми, що призводить до недовідливу та порушення геометрії виливка.
- Утворення облою: поява масивного металевого заливу по периметру роз'єму, що суттєво збільшує трудомісткість фінішної обробки.

Заходи щодо стабілізації форми:

Для нейтралізації виштовхувальних сил та гарантування прецизійного

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.02 ТВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.им.	Підпис	Лам		12

змикання напівформ у проєкті передбачено:

1. Скріплення опок: використання спеціалізованих механічних затискачів або скоб на автоматичній лінії.
2. Навантаження форм: встановлення каліброваних вантажів на верхню напівформу перед заливанням. Величина вантажу розраховується з урахуванням коефіцієнта запасу (зазвичай $k = 1,3 \dots 1,5$) для компенсації динамічних ударів металу на фінальній стадії заповнення.
3. Центрування: використання штирів та втулок високої точності для запобігання бічним зсувам під дією тиску.

Сила дії на верхню опоку визначається з виразу :

де Q - маса верхньої напівформи, кг;

$V_{ст}$ - об'єм стрижня без знаків, m^3 $V_{ст}$ склав $0,029 m^3$

$\rho_{ст}$ - щільність стрижневої суміші, $\rho_{ст} = 1500 \text{ кг}/m^3$

ρ - щільність рідкого металу, $\rho = 7200 \text{ кг}/m^3$

K - коефіцієнт, що враховує гідравлічний удар, який залежить від металоемності форми, $K=1,3$;

$F_{вил}$ - горизонтальна проекція вилівки в площині роз'єму,

$F_{вил} = 0,163 m^2$

Оскільки на формувальній лінії замість вантажу використовуються скоби, то вони повинні витримувати навантаження в 127 кг.

Розрахунок тривалості затвердіння і охолодження вилівки

При аналізі процесу формування вилівок у формі розрізняють кілька стадій, що характеризують зміну стану металу:

– 1 стадія. Початок процесу, коли відбувається заповнення форми розплавом і його часткове охолодження в результаті теплообміну з формою.

					КНУР.Б.136.26.112с-09.02 ТВ	Анк
Змн.	Анк.	№ док.им.	Підпис	Лат		13

– 2 стадія. Охолодження розплаву після остаточного заповнення форми і відведення від неї тепла.

– 3 стадія. Процес затвердіння розплаву, який починається при температурі ліквідусу і закінчується при температурі солідусу. Під час затвердіння розплаву відбувається поступове наростання кірки виливка. При цьому фронт кристалізації переміщається від зовнішньої затверділої кірки всередину виливка, що містить розплав.

– 4 стадія. Являє собою процес охолодження у формі повністю затверділого виливка. При цьому в ньому відбуваються структурні перетворення. Останні, залежно від характеру виливків (виду сплаву, конфігурації виливка) можуть супроводжуватися і перерозподілом термічних напружень, наслідком яких є холодні тріщини.

Розрахунок проводимо для сирої піщано-глинистої форми:

Питома теплота течії розплаву визначається за формулою:

$$b_2 = 1265 \frac{Bm \cdot c^{0.5}}{m^2 \cdot \text{град}}$$

де b_2 - коефіцієнт акумуляції тепла матеріалом форми

- різниця між температурою заливки і температурою кипіння води;

R - половина товщини стінки, м;

ρ - щільність рідкого металу; для чавуну 7200 кг/м^3 ;

n - показник ступеня параболи, $n=2,9$;

t_1 - час течії, с;

A - параметр, що визначається за формулою:

де U_1 - вологість на межі сухої - вологої ділянки форми, в сотих частках.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.02 ТВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.им.	Підпис	Лист		14

C_2 - питома теплоємність сухої форми, $C_2 = 1250$ Дж/кг*град;

θ_n - різниця температур на межі сухої - вологої зони.

-

П
И
Т
О
М
А

Час відведення теплоти перегріву можна розрахувати за спрощеною формулою:

-

П

Л

О

Т

а

а

в

и

п

а

р

о

в

у

в

а

н

н

я

в

о

л

о

г

и

і

Час відведення теплоти перегріву можна розрахувати за спрощеною

де ρ_1' - щільність рідкого металу, $\rho_1' = 7200$ кг/м³;

C_1' - щільність рідкого металу, $C_1' = 838$ Дж/кг·град,

$\bar{a} = 1200^0$ С;

$= 1050^0$ С;

Повний час затвердіння виливка визначається за формулою:

де r_1 - питома теплота кристалізації з урахуванням зниження температури;

Загальний час кристалізації:

3. АНАЛІЗ СПОСОБІВ ВИПЛАВКИ СТАЛІ В РІЩНИХ ПЕЧАХ

3.1. Способи виплавки сталі в основних дугових печах

У дугових печах з основною футеровкою сталь і сплави виплавляють на свіжій шихті з кипінням ванни, на відходах легованих сталей і сплавів методом їх сплавлення з феросплавами з частковим окисленням ванни, на металізованих окатишах методом змішування розплавів.

3.1.2 Виплавка сталі на свіжій шихті

Плавка з окисленням характеризується наявністю окислювального періоду, протягом якого у ванну вводять залізну руду або газоподібний кисень для окислення кремнію, марганцю, фосфору та надлишкового вуглецю. Окислення вуглецю, що міститься в металі, супроводжується утворенням бульбашок СО, виділення яких викликає кипіння ванни. У період кипіння ванни знижується вміст газів і неметалевих включень у металі.

Для офлюсування та нейтралізації кислих шлаків і з метою дефосфорації металу в піч у другій половині періоду плавлення додають вапно. Наприкінці цього періоду шлак спускають через поріг робочого вікна самопливом і потім зчищають. Надалі плавку проводять за прийнятою технологією на основі двошлакового або одношлакового процесу. Плавка на окатишах характеризується поєднанням плавлення брухту з плавленням металізованого матеріалу, що завантажується безперервно; поєднанням проплавлення металізованих окатишів у рідкій ванні з керованим окислювальним рафінуванням і нагріванням ванни до температури, близької до температури випуску; коротким періодом доведення сталі, що безпосередньо слідує за

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.03 АС		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ док.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат.</i>	АНАЛІЗ СПОСОБІВ ВИПЛАВКИ СТАЛІ В РІЩНИХ ПЕЧАХ		
Розроб.	Светлов О.С.						
Перевір.	Сайтгареев Л.Н.						
Н. Контр.	Сайтгареев Л.Н.						
Затверд.	Бабощко Д.Ю.						
					<i>Лім</i>	<i>Арк</i>	<i>Актівнів</i>
						1	11
					МТ-22-1ск		

періодом плавлення.

3.1.3. Виплавка сталі методом переплаву

При виплавці сталі методом переплаву металобрухт, леговані відходи та феросплави входять до складу шихти, яку завантажують у піч одночасно або з однією підвалкою. Плавку проводять без застосування кисню (без окислення). Кисень не використовується також для прискорення розплавлення шихти та зневуглицювання металу.

З урахуванням вуглецевої дії електродів для досягнення необхідного вмісту вуглецю в металі після розплавлення твердої завантаження в шихту вводять низьковуглецеве залізо. Шихту складають з 60-80% легованих відходів і 20-40% м'якого заліза з низьким вмістом вуглецю (0,05-0,15%) та феросплавів. Феросплави, що містять легко окислювані елементи (V, I, Tl, у завалку не додають, а додають у рідкий метал на етапі доведення.

Виплавка конструкційних, корозійно-стійких, швидкорізальних та інших сталей методом переплаву легованих відходів і феросплавів без окислення дозволяє знизити втрати феросплавів, скоротити тривалість плавки, зменшити витрату електроенергії, підвищити стійкість футеровки печі, знизити собівартість сталі.

При завантаженні шихти в центральну частину кошика укладають тугоплавкі складові шихти (м'яке залізо, ферровольфрам), а до її стінок — відносно легкоплавкі матеріали (вуглецевий брухт, чавун) і феросплави, здатні до навуглицювання (ферохром та ін.). При розрахунку шихти враховують можливе навуглицювання сталі на 0,02–0,05% за час плавлення. Загальний випаровування металевої шихти приймають близько 4%, випаровування кремнію - 50%, марганцю - 30-40%, хрому - 10-15%, вольфраму - до 8%, ванадію - 15-25% і титану - до 70%. Перед завантаженням шихти в піч розраховують вміст елементів у шихті та очікуваний аналіз проби металу після розплавлення.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.03 АС	Аук.
Змн.	Аук.	№ док.им.	Підпис	Лат		2

Під час плавлення в піч додають вапно в кількості 1,5–2,0 % від маси завантаження. Якщо в шихті є цінні легко окислювані елементи (V, Л, №> та ін.), які можуть перейти в шлак під час плавлення, то такий шлак не знімають, а розкислюють звичайними порошкоподібними сумішами з коксу, феросиліцію, силікокальцію до отримання білого або слабокарбідного шлаку залежно від вмісту вуглецю в сталі. При виплавці конструкційних і підшипникових сталей шлаки після розплавлення шихти знімають повністю. Для отримання сталі високої якості необхідно:

- не допускати потрапляння в завалку невідомих відходів;
- забезпечувати точне зважування всіх складових шихти;
- прожарювати феросплави та шлакоутворюючі матеріали;
- застосовувати високоякісні графітовані електроди;
- використовувати м'яке залізо, що містить менше 0,020% P;
- уникати місцевого перегріву металу шляхом своєчасного осадження шихти;
- ретельно просушувати футеровку зливного жолоба та сталерозливного ковша.

Переплав легованих відходів без окислення ускладнює отримання сталі з низьким вмістом вуглецю та фосфору. Застосування кисню усуває ці труднощі та робить процес більш економічним. Додавання вапна у завалку та продування ванни наприкінці плавлення киснем знижують вміст фосфору до необхідних значень.

Вдування в сталь кисню в суміші з порошкоподібним вапном і залізною рудою підвищує ефект дефосфорації розплаву. Використання кисневого продування забезпечує також зневуглецювання сталі та отримання її з необхідним низьким вмістом вуглецю. Застосування кисню дозволяє відмовитися від використання в шихті м'якого заліза і замінити його дешевшим металобрухтом. Застосування кисню дозволяє скоротити період розплавлення шихти не менше ніж на 20% і виключити додаткові витрати часу на підігрів ванни після розплавлення шихти.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.03 АС	Аук.
						3
Змн.	Аук.	№ док.	Підпис	Лам		

В результаті переплаву відходів із застосуванням кисню скорочується тривалість плавки, більш ніж на 20% знижується питома витрата електроенергії та підвищується якість сталі за рахунок часткової дегазації металу та зменшення вмісту фосфору.

При виплавці конструкційних сталей методом переплаву із застосуванням кисню шихту розраховують за нижніми межами вмісту хрому та інших легуючих елементів; вміст вуглецю повинен бути на 0,15–0,25% вищим за нижню межу для виплавлюваної сталі. З металевою шихтою в піч завантажують 2,0–2,5% вапна. Наприкінці розплавлення шихти ванну починають продувати киснем і закінчують продувку при температурі металу 1600–1640 °С залежно від складу виплавлюваної сталі. При цьому шлак повинен самопливом стікати через поріг робочого вікна. Після зливання шлаку окислювального періоду в печі створюють шлак доочисного періоду з вапна, шамоту та плавикового шпату. За необхідності основний шлак розкислюють перед випуском плавки так само, як при плавці на свіжій шихті. Для зменшення випаровування легуючих елементів в окислювальний період шлак перед зливанням розкислюють меленим феросиліцієм і коксом.

З метою більш глибокого рафінування сталі від небажаних домішок, збільшення маси плавки, підвищення виходу придатного металу та зниження собівартості металу леговану сталь виплавляють на ряді підприємств методом змішування з двох і більше плавильних печей у сталерозливній ковші. У цьому випадку методом переплаву в одній дуговій печі виплавляють високолегований сплав — лігатуру, в іншій проводять плавку вуглецевого напівпродукту на свіжій шихті з кипом, у третій виплавляють основний беззалістий шлак. Злив та інтенсивне перемішування в ковші металевих розплавів і шлаку усереднюють склад сталі до заданого вмісту елементів, рафінують метал від сірки, кисню та неметалевих включень, істотно підвищують однорідність металу перед розливанням.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.03 АС	Авк.
Змн.	Авк.	№ док.им.	Підпис	Лат		4

3.1.3. Виплавка вуглецевих сталей в основних електропечах

Вуглецева сталь за ступенем розкисненості, або вмістом розчиненого кисню, може бути спокійною, напівспокійною та киплячою. У дугових печах для виливків виплавляють, як правило, спокійну сталь, тобто розкиснену таким чином, щоб виключити взаємодію вуглецю та кисню в металі під час затвердіння виливків.

Процес виплавки вуглецевої сталі в дугових печах є переважно одношлаковим. Плавки з двома шлаками проводять зазвичай на свіжій шихті з мінімальною тривалістю періоду доведення та утворенням основного беззалізного шлаку перед зливом металу з печі в ковш. Інтенсивна обробка вуглецевої сталі при випуску вапняними та вапняно-глиноземистими шлаками забезпечує високий ступінь її рафінування від сірки, кисню та неметалевих включень.

Шихту для виплавки вуглецевих сталей складають з 85-90% привізного брухту та обрізків вуглецевих марок сталі прокатних цехів і 10-15% переробного чавуну. У ряді випадків чавун замінюють коксом, кам'яним вугіллям, електродним боем, відходами електродного виробництва. За вуглецем шихту розраховують таким чином, щоб отримати його вміст у металі після розплавлення на 0,2-0,4% вище нижньої межі для сталі даної марки.

Окиснювальний період сталеплавильного процесу спрямований на інтенсивне видалення надлишкового вуглецю, дефосфорацію розплаву та нагрівання ванни до заданих значень. Ефективна реалізація цього етапу базується на суворому дотриманні температурно-концентраційних параметрів.

Режим термічної та хімічної обробки:

- Температурний поріг ініціації: Активна фаза окиснення проводиться в розплаві, попередньо прогрітому до температури понад 1550 °С. Це забезпечує необхідну в'язкість шлаку та кінетичну енергію для протікання гетерогенних реакцій на межі розділу фаз.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.03 АС	Авт.
Змн.	Авт.	№ док.им.	Підпис	Лат		5

- Контроль вуглецевого потенціалу: Процес вважається завершеним, коли концентрація вуглецю в металі досягає нижньої межі, передбаченої специфікацією на дану марку сталі, або стає на 0,03–0,05% нижчою за цільове значення. Такий запас необхідний для компенсації подальшого науглецювання під час розкислення та легування.
- Дефосфорація: Критичним критерієм завершення періоду є зниження вмісту фосфору до рівня менше 0,015%, що гарантує високу пластичність та холодостійкість готового металу.
- Фінальний температурний режим: Температура розплаву в момент завершення окиснювальної фази повинна бути стабілізована на рівні близько 1610 °С. Це забезпечує достатній запас тепла для компенсації термічних втрат під час наступного відновлювального періоду та випуску сталі в ківш.

Метал попередньо розкислюють у печі силікомарганцем і остаточно в ковші алюмінієм. Такий порядок розкислення металу зберігають і при виплавці вуглецевої сталі на свіжій шихті з кипом під одним шлаком. У цьому випадку перші порції металу зливають у ковш без шлаку. Кількість марганцю, вуглецю та кремнію, якої бракує до заданого вмісту в готовій сталі, вводять у ковш під час випуску плавки відповідних феросплавів та вуглецевих добавок. Після випуску металу, за необхідності, його піддають позапічній обробці в ковші.

3.2. Виплавка сталі в кислих дугових печах

3.2.1. Сфера застосування. Переваги та недоліки. Шлаки кислого процесу

Дугові печі з кислотною футеровкою підлоги, стін і склепіння застосовують у виробництві виливків із ковкого чавуну та сталі з підвищеним вмістом сірки й фосфору для фасонного лиття. Можливість швидкого нагрівання металу в кислотній печі використовують для отримання дрібних і тонкостінних виливків. До недоліків цих печей відносять меншу теплову та електричну провідність кислих вогнетривів і шлаків. Через підвищений опір кислих шлаків електричні дуги в

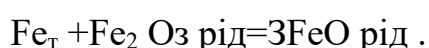
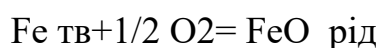
					КНУ.РБ.136.26.112с-09.03 АС	<i>Авк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Авк.</i>	<i>№ док.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Лат</i>		6

кислих печах коротші, що забезпечує швидший нагрів металу до заданої температури при меншій витраті електроенергії (на 10-15%). Матеріали для футерування кислих печей менш дефіцитні, у 2 рази дешевші, ніж основні вогнетриви, і забезпечують досить високу стійкість підосви, стін і склепіння при періодичному виплавленні сталі. Значним недоліком кислих печей є неможливість здійснення в них процесів дефосфорації та десульфурації металу та потреба в шихтових матеріалах, що містять малу кількість сірки та фосфору.

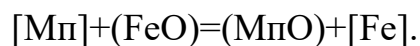
Сталь, отримана в кислих печах шляхом кремнійвідновного або активного процесу, має знижені пластичні властивості, зумовлені присутністю в ній крихких кремнієвих включень, що виділяються по межах зерен. Через активну взаємодію металу з футеровкою в кислих печах важко отримувати сталі та сплави з підвищеним вмістом марганцю, алюмінію, титану та деяких інших елементів.

Тривалість плавки в кислих дугових печах визначає період завантаження шихти та її розплавлення. Витримка рідкого металу в печах з кислою футеровкою значно коротша, ніж у печах з основною футеровкою. Тривалість плавлення шихти скорочується за рахунок підвищення питомої потужності трансформатора, застосування підігріву металеві шихти, скорочення часу на завантаження та суворого дотримання габаритних розмірів шихти.

Кількість власних відходів, що використовуються в шихті, не перевищує 50%. Решту шихти складають відходи вуглецевої сталі з низьким вмістом фосфору та сірки. Плавлення шихти проводять на підвищеній потужності трансформатора. Шлак утворюють із завантаженого в піч шамотного бою або оборотного шлаку час розплавлення шихти в кислотній печі відбувається окислення марганцю, кремнію, фосфору та вуглецю оксидами заліза, розчиненими в металі. Як і при основному процесі виплавки сталі, залізо окислюється при достатній температурі до FeO під впливом кисню повітря або оксидів заліза за реакціями



Утворений FeO взаємодіє з кремнієм і марганцем за реакціями



Оксиди марганцю з кремнеземом утворюють міцні сполуки — силікати марганцю. Оксиди фосфору (фосфорний ангідрид P_2O_5) утворюють з FeO нестійку сполуку $(\text{FeO})_3\text{P}_2\text{O}_5$, яка при надлишку кремнезему та відсутності вільного CaO у шлаку легко відновлюється до Fe_3P , тому фосфор при кислому процесі не може бути видалений з металу.

Монооксид заліза легко вступає у взаємодію з кремнеземом шлаку та футеровки, утворюючи силікат 3FeOSiO_2 , і недостатньо активно реагує з вуглецем металу. Нестача вільного (FeO) у шлаку зменшує приблизно удвічі швидкість окислення вуглецю ($0,003\text{--}0,004\text{ \%/хв}$). Відсутність вільної вапна у кислому шлаку унеможливує видалення сірки з металу

Для кращого зневуглецювання та кипіння ванни в шлак додають вапно, яке зв'язує кремнезем у силікат кальцію, збільшуючи вміст у шлаку вільного (FeO) . У період окислення загальний вміст (FeO) кислої печі досягає $25\text{--}30\%$. Інтенсивне кипіння металу протягом $30\text{--}40$ хв сприяє перемішуванню ванни та видаленню з металу силікатних неметалевих включень і газів. Кислі шлаки, що містять $45\% \text{SiO}_2$, зв'язують майже всю кількість FeO та MnO в силікати. У шлаку відновного періоду (відновлення кремнію) вміст SiO_2 перевищує цю цифру. Для зменшення відновлення кремнію вміст SiO_2 не повинен перевищувати 55% . Кремній відновлюється вуглецем металу з кремнезему шлаку та футеровки печі за реакцією $(\text{SiO}_2) + 2\text{C} = \text{Si} + 2\text{CO}$.

При підвищених температурах реакція відновлення кремнію з кремнезему залізом ванни супроводжується підвищенням вмісту FeO в шлаку та металі:

Для запобігання високій відновній здатності кремнію та отримання заданого хімічного складу за кремнієм у процесі плавки знижують температуру металу та зменшують концентрацію вільного кремнезему в шлаку за допомогою додавання вапна. Для доведення вмісту марганцю в сталі додавання феромарганцю здійснюють у піч перед випуском плавки або в ковш.

Кремнієво-відновний процес є найбільш прийнятним при виплавці середньовуглецевих сталей. Низьковуглецеві сталі (що містять менше 0,25 % С) виплавляють за допомогою активного процесу, який передбачає вміст вуглецю у ванній після розплавлення на 0,1–0,3 % вище за заданий рівень його вмісту в готовому металі. При 1540-1580 °С на шлак додають порції залізної руди і підтримують нормальне кипіння ванни. Необхідний склад шлаку отримують додаванням піску, шамотного брукхту, формувальної землі та вапна у співвідношенні

Загальна витрата шлакоутворювальної суміші для оновлення шлаку становить 0,5–0,6 % від маси шихти, при наведенні нового шлаку — 1,5–2,0 %. Для прискорення розкислення ванни на шлак додають до 0,2 % від маси завантаження меленого феросиліцію та коксу. Кінцевий кислий шлак активного процесу зазвичай містить, %: 40-50 SiO₂; 10-13 FeO; 14-18 MnO; 3-6 CaO; 1,0-1,5 Cг₂ O₃; у ковші під час випуску за допомогою феросплавів, чавуну та карбюризаторів.

Поряд з дифузійним розкисленням сталі при кислому процесі застосовують осадове розкислення комплексними розкислювачами — силікомарганцем, силікокальцієм (2-3 кг/т), силікобарієм. Кінцеве розкислення сталі проводять алюмінієм (до 1 кг/т).

Тривалість плавки вуглецевої сталі в 10-тонній дуговій кислотній печі становить близько 3 год: очищення, заправка — 15 хв, завантаження шихти — 10 хв, плавлення — 90 хв, окислення — 30 хв, доведення та випуск — 30 хв.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.03 АС	Анк
						9
Змн.	Анк.	№ док.им.	Підпис	Лист		

Особливості виплавки сталі в кислих печах

У кислих дугових печах виплавляють вуглецеві, конструкційні леговані та високолеговані сталі. Шихту для хромонікелевої конструкційної сталі складають з легованих відходів (до 80%) та шихтової заготовки з низьким вмістом сірки та фосфору. У завалку для утворення шлаку вводять кварцовий пісок або шамотний бой. Після розплавлення шихти та підігріву ванни до 1540–1580 °С метал починає кипіти внаслідок взаємодії вуглецю з SiO_2 та іншими оксидами. Для кращого закипання ванни в піч додають залізну руду (до 8 кг/т). Кипіння припиняють після досягнення в сталі необхідного вмісту вуглецю. У процесі кипіння змінюється хімічний склад шлаку.

Вміст SiO_2 збільшується з 40 до 55%, а вміст FeO і C_2O_3 знижується відповідно з 20-25 до 10-15% і з 12-17 до 5-8%. Вміст MnO змінюється незначно.

Після зливання шлаку у ванну вводять феромарганець (5-6 кг/т) і шлакову суміш з вапна, піску та порошоків коксу і феросиліцію. Через 10-15 хв шлак містить, %: 55-65 SiO_2 , 20-25 CaO , менше 4,0 FeO , 6-9 MnO ; 3-5 Al_2O_3 і не більше 1,5 C_2O_3 . Під таким ішаком метал зливають у ковш. Перед випуском ванну розкислюють шматковим алюмінієм (до 0,3 кг/т). Для прискорення плавлення шихти та інтенсифікації окислення вуглецю в кислих дугових печах можна використовувати кисень. Застосування кисню в окислювальний період підвищує швидкість окислення вуглецю до 0,005-0,008 %/хв. Найбільш ефективним є використання кисню при виплавці в дуговій печі з кислою футеровкою корозійно-стійкої сталі типу 0X18H10. Для цієї сталі шихту складають з 85 % легованих хромом і нікелем відходів та 15 % вуглецевого брухту й нікелю, що містять невелику кількість сірки та фосфору. Для утворення шлаку використовують пісок, шамотний бой та відпрацьовану формувальну суміш. Шихту для плавки складають таким чином, щоб після розплавлення отримати вміст у металі 0,2% С, 11% N1 і 12-15% Сг.

					КНУР.РБ.136.26.112с-09.03 АС	Авк.
Змн.	Авк.	№ док.им.	Підпис	Лам		10

Після підігріву ванни до 1650-1700 °С вимикають струм і ванну продувають киснем через склепінчасту фурму. Продувку припиняють при вмісті в металі 0,04% С. При цьому температура розплаву підвищується до 1800 °С і більше.

Для відновлення хрому з оксидів на шлак задають порошок алюмінію з розрахунку до 5 кг/т. Вилучення хрому становить у середньому 85-88%. Тривалість витримки металу в печі після додавання ферохрому не перевищує 15-25 хв. Після коригування хімічного складу сталі за марганцем і нікелем розплав зливають з печі в ковш.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.03 АС	Анк.
Змн.	Анк.	№ док.м.	Підпис	Лат		11

ВИСНОВКИ

Нами було проведено аналіз вимог, що пред'являються до деталі «Шків 525-32600 003 002», оцінка її технологічності та техніко-економічне обґрунтування вибору технологічного процесу її отримання. Були розроблені технічні ливарні вказівки: призначені припуски на механічну обробку, формувальні ухили, обрана площа роз'єму, обраний тип ливника-живильної системи.

Далі було проведено розрахунок шихти для СЧ 20 ГОСТ 1412-85 із застосуванням Excel. Після чого було розраховано ливникову систему, вагу вантажу та тривалість затвердіння і охолодження виливки із застосуванням

Таким чином, технологічний процес отримання виливка «Шків 525-32600 003 002» повністю обґрунтований, оскільки він дозволяє налагодити великосерійне виробництво з мінімальною трудомісткістю і є практично повністю автоматизованим.

У третьому розділі проведено аналіз способів виплавки сталі в різних типах дугових печей. Розглянуто технологічні особливості виплавки сталі на свіжій шихті, методом переплаву, а також у кислих і основних електропечах. Виконаний аналіз дозволив визначити переваги та недоліки різних способів плавлення й оцінити їх ефективність для умов сучасного ливарного виробництва.

Запропоновані у роботі технічні та організаційні рішення спрямовані на підвищення рівня механізації та автоматизації виробництва, зниження витрат матеріалів і енергоресурсів, покращення умов праці та підвищення економічної ефективності роботи ливарного цеху.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09 В		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ док.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат.</i>			
Розроб.		Светлов О.С.			<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аквішів</i>
Перевір.		Саїтгареев Л.Н.				1	1
					ВИСНОВКИ		
Н. Контр.		Саїтгареев Л.Н.					
Затверд.		Бабощко Д.Ю.					
					МТ-22-1ск		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЛЕРЕЛ

1.Формувальні матеріали [Текст] : підручник для студ. спеціальності 136 «Металургія», освітньої програми «Комп’ютеризовані процеси лиття» / Р. В. Люти

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 «КПШ», 2011. – Ч.1. – Бібліогр.:с. – 582.

3.Федоров Г.Є. Проектування ливарних цехів [Текст] : підруч.: у 2 ч. / Г.Є. Федоров, М.М. Ямшинський, В.Г. Могилатенко т ін. – К.: НТУУ «КПШ», 2011. – Ч.2. – Бібліогр.:с. – 380.

4.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.

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.й, І. М. Гурія ; КПШ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПШ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 257 с.

6.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.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09 СДВ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЛЕРЕЛ					
Розроб.		Светлов О.С.						Лит.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Саїтгареев Л.Н.							1	2
Н. Контр.		Саїтгареев Л.Н						МТ-22-1ск		
Затверд.		Бабошко Д.Ю.								

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

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

9.Модельна оснастка для виробництва виливків у піщаних формах. Дорошенко С. П., Федоров Г. Є. Навчальний посібник. – К.: Політехніка, 2001. – 108 с., 2003. – 112 с.

10.Корицький Г. Г., Маняк М. О., Пасічник С. Ю. Технологія ливарного виробництва: навчальн. посібн. для ВНЗ. Донецьк: ДонНТУ, 2008. 175 с.

11.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.

12.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.:

13.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.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09 СДВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2