

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

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної атестаційної роботи бакалавра
зі спеціальності 136 – Металургія

на тему: Розробка проекту сталеливарного цеху потужністю 20000 тонн
виливків на рік з розвісом лиття 500 кг.

Виконав:

студент групи МТ-22-1

Олександр БРОВКО

Керівник випускної роботи

Дар'я КАССІМ

Нормоконтролер

Дар'я КАССІМ

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

БРОВКО ОЛЕКСАНДР ОЛЕКСАНДРОВИЧ

Тема роботи: Розробка проєкту сталеливарного цеху потужністю 20000 тонн
виливків на рік з розвісом лиття 500 кг.

керівник роботи: к.т.н., доцент Кассім Д.О.

затверджено наказом по КНУ від «__19__»__02____2026 р. № 113с

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 “Маточина”.	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 _____ Олександр БРОВКО

Керівник випускної
кваліфікаційної роботи _____ Дар'я КАССІМ

[illegible]

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота викладена на 76 сторінках і містить 19 рисунків, 5 таблиць, 19 джерел літератури, графічну частину у вигляді креслень та презентації.

Предмет розробки – технологія виготовлення виливка «Маточина».

Мета роботи – організація технологічного процесу виготовлення виливків зі сталі з річним випуском 20000 тонн.

Основні завдання:

1. Зробити необхідні технологічні розрахунки;
2. Спроекувати елементи ливарної форми;
3. Вибрати необхідне технологічне обладнання та матеріали

Ключові слова: СТАЛЬ 35; ВИЛИВОК; ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО; ПЛАВИЛЬНА ПІЧ; ФОРМОВКА.

					КНУ.РБ.136.26.113с-03 Р		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РЕФЕРАТ		
Розроб.		Бровко О.О.					
Перевір.		Кассім Д.О.					
Н. Контр.		Кассім Д.О.					
Затверд.		Бабошко Д.Ю.			МТ-22-1		
					Літ.	Арк.	Акрушів
						1	1

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. ВИРОБНИЧА ПРОГРАМА ЦЕХУ	9
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	12
2.1 Аналіз технологічності виготовлення деталі	12
2.2 Вибір положення виливка у формі та визначення поверхні роз'єму	14
2.3 Визначення припусків на механічну обробку	16
2.4 Визначення формувальних ухилів	17
2.5 Визначення кількості та конструкції стрижнів	17
2.6 Конструювання та розрахунок прибутків і ливникової системи	19
3. ВИБІР І РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ОБЛАДНАННЯ	28
3.1 Режим роботи цеху	28
3.2 Структурна схема цеху та планувальні рішення	30
3.3 Плавильне відділення	32
3.3.1 Організація роботи плавильного відділення	32
3.3.2 Баланс металу	36
3.3.3 Розрахунок шихти	36
3.3.4 Розрахунок кількості печей і ковшів	38
3.4 Організація роботи формуально-заливочно-вибивного відділення	42
3.4.1 Організація роботи відділення	42
3.4.2 Технологія виготовлення форм	47
3.4.3 Розрахунок кількості обладнання формуальної ділянки	49
3.5 Стрижневе відділення	52
3.6 Термообрубне відділення	56
4. АНАЛІЗ ПЕРІОДІВ ПЛАВЛЕННЯ СТАЛІ В ДУГОВИХ ПЕЧАХ	61
4.1. Окислювальний період	63

					КНУ.РБ.136.26.113с-03 З						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Бровко О.О.			ЗМІСТ			Літ.	Арк.	Акрушів	
Перевір.		Кассім Д.О.								1	2
								МТ-22-1			
Н. Контр.		Кассім Д.О.									
Затверд.		Бабошко Д.Ю.									

4.1.1 Шлаковий і температурний режим	63
4.1.2. Особливості окислення ванни твердими окислювачами та газоподібним киснем	64
4.1.3. Умови видалення домішок в окислювальний період	66
4.2. Відновний період (доведення плавки)	68
4.2.1. Осадове та дифузійне розкислення сталі	68
4.2.2. Десульфурація сталі	70
4.2.3. Обробка металу на випуску шлаками	70
4.2.4. Контроль складу та температури металу	71
4.2.5. Інтенсифікація відновного періоду	72
ВИСНОВОК	73
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	74

ВСТУП

Лиття є одним з найбільш поширених способів виробництва заготовок для деталей машин. Приблизно близько 70% заготовок (за масою) отримують литтям, а в деяких галузях машинобудування, наприклад, в верстатобудуванні, 90 - 95%. Широке поширення ливарного виробництва пояснюється його великими перевагами в порівнянні з іншими способами виробництва заготовок (куванням, штампуванням). Литтям можна отримати заготовки практично будь-якої складності з мінімальними припусками на обробку. Це дуже важлива перевага, оскільки скорочення витрат на обробку різанням знижує собівартість виробів і зменшує витрату металу. Крім того, виробництво литих заготовок значно дешевше, ніж, наприклад, виробництво поковок.

Ливарне виробництво має великий вплив на якісні показники і надійність сучасних машин і обладнання.

Розвиток техніки висуває свої вимоги до якості литих заготовок. Сучасні виливки повинні мати високі і регламентовані механічні властивості, фізичні та хімічні характеристики, а також високу точність при мінімальній товщині стінок і масі. Метою даного проекту є організація технологічного процесу виготовлення виливків зі сталі з річним випуском 19500 тонн. Для цього необхідно розрахувати і підібрати необхідну кількість обладнання виходячи з сучасних тенденцій в області ливарного виробництва, скомпонувати дане обладнання на виробничих площах.

Сучасне технологічне обладнання та сучасні технології проектного цеху дозволяють не тільки підвищити продуктивність, але й поліпшити якість і механічні властивості всіх випущених виливків металургійного призначення та зменшити кількість браку.

					КНУ.РБ.136.26.113с-03 В		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВСТУП		
Розроб.		Бровко О.О.					
Перевір.		Кассім Д.О.					
Н. Контр.		Кассім Д.О.					
Затверд.		Бабошко Д.Ю.					
					Лит.	Арк.	Акрушів
						1	1
					МТ-22-1		

1. ВИРОБНИЧА ПРОГРАМА ЦЕХУ

Виробнича програма – являє собою певний обсяг, номенклатуру та асортимент продукції. Залежно від типу виробництва та етапу проектування виробнича програма може бути точною, наведеною та умовною. Для проектування скористаємося точною виробничою програмою, з переліком номенклатури всіх виливків, що підлягають виготовленню. Проектування за точною програмою застосовують для проектування ділянок відділень і цехів багатосерійного та масового виробництва.

Проектований цех спеціалізується на виготовленні виливків зі з річним випуском 20000 тонн.

Виробнича програма містить всі основні вихідні дані для розрахунку необхідного технологічного обладнання, а також економічних розрахунків ефективності цеху. У проектувальному цеху матеріалом для виливків служить сталь марок 35Л ГОСТ 977–88.

Виробнича програма цеху розрахована на основі перспективного плану металургійного виробництва.

1 У проектувальному цеху вся номенклатура виливків розбивається на чотири масові групи:

група – виливки масою від 0 кг до 100 кг;

2 група – виливки масою від 100 кг до 200 кг;

3 група – виливки масою від 200 кг до 500 кг;

4 група – виливки масою від 500 кг до 1000 кг.

Виробнича програма цеху представлена в таблиці 1.1.

Брак при обробці виливків у механічних цехах приймаємо 5% від необхідного обсягу виробництва. Необхідна кількість придатних виливків становить 65962 шт, маса придатних виливків на річну програму 20000 т.

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.01 ВП		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Бровко О.О.			ВИРОБНИЧА ПРОГРАМА ЦЕХУ	Літ.	Арк.
Перевір.		Кассім Д.О.				1	3
						МТ-22-1	
Н. Контр.		Кассім Д.О.					
Затверд.		Бабошко Д.Ю.					

Таблиця 1.1 – Виробнича програма цеху

№ групи	Масова група, кг	№ виливка	Назва виливк	Марка сплаву	Маса виливка, кг	Маса виливка з ливниками і надливками, кг	Кількість виливків на річну програму	Відсоток браку в механічних цехах	Кількість виливків на річну програму з урахуванням браку	Маса виливків без ливників і надливів на річну програму, т	Маса виливків без ливників і надливів на річну програму з урахуванням браку, т	Маса виливків з ливниками надливками на річну програму, т
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11	12
1	0-100	1	Шків	35	80	136,0	3260	5,0	3423,0	260,8	273,8	465,5
		2	Проводка		90	153,0	2463	5,0	2586,2	221,7	232,8	395,7
Разом по групі							5723,0		6009,2	482,5	506,6	861,2
2	100-200	3	Маточина	35	105	168,0	3541	5,0	3718,1	371,8	390,4	624,6
		4	Корпус шпинделя		100	160,0	3105	5,0	3260,3	310,5	326,0	521,6
		5	Проводка права		135	216,0	4243	5,0	4455,2	572,8	601,4	962,3
		6	Шків тормоз-ний		140	224,0	4582	5,0	4811,1	641,5	673,6	1077,7
		7	Лінійка права		155	248,0	2655	5,0	2787,8	411,5	432,1	691,4
		8	Корпус підшипника		160	256,0	3660	5,0	3843,0	585,6	614,9	983,8
Разом по групі							21786,0		22875,3	2893,7	3038,4	4861,4
3	200-500	9	Лінійка ліва	35	235	352,5	2681	5,0	2815,1	630,0	661,5	992,3
		10	Втулка		320	480,0	2023	5,0	2124,2	647,4	679,7	1019,6
		11	Кільце		340	510,0	2028	5,0	2129,4	689,5	724,0	1086,0
		12	Кільце		340	510,0	3443	5	3615,2	1170,6	1229,2	1843,7
		13	Колесо зубчасте часте		345	517,5	1963	5,0	2061,2	677,2	711,1	1066,6
		14	Колесо		345	517,5	4284	5,0	4498,2	1478,0	1551,9	2327,8
		15	Напівмуфта		360	540,0	4305	5,0	4520,3	1549,8	1627,3	2440,9
		16	Муфта		360	540,0	2627	5,0	2758,4	945,7	993,0	1489,5
		17	Втулка		430	645,0	2146	5,0	2253,3	922,8	968,9	1453,4
		18	Проводка		470	705,0	3857	5,0	4049,9	1812,8	1903,4	2855,1
Разом по групі							29357,0		30824,9	10523,8	11050,0	16575,0

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.01 ВП	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

№ групи	Масова група, кг	№ виливка	Назва виливка	Марка сплаву	Маса виливка, кг	Маса виливка з ливниками і надливками, кг	Кількість виливків на річну програму	Відсоток браку в механічних цехах	Кількість виливків на річну програму з урахуванням браку	Маса виливків без ливників і надливів на річну програму, т	Маса виливків без ливників і надливів на річну програму з урахуванням браку, т	Маса виливків з ливниками і надливками на річну програму, т
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11	12
4	500-1000	19	Кривошип	35	500	750	4888	5,0	5132,4	2444,0	2566,2	3849,3
		20	Муфта		750	1125,0	4208	5,0	4418,4	3156,0	3313,8	4970,7
Разом по групі							9096,0		9550,8	5600,0	5880,0	8820,0
Всього							65962,0		69260,1	19500,0	20475,0	31117,7

Розрахунок точної виробничої програми цеху є основою для технологічної частини проекту. Точна програма передбачає розробку технологічних даних для кожного виливка і застосовується при проектуванні цехів серійного і масового виробництва.

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.01 ВП	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

Виготовлення виливка «Маточина» із заданими лінійними розмірами, конфігурацією, фізико-механічними властивостями (міцність, твердість, щільність, структура тощо), шорсткістю поверхні та іншими вимогами може здійснюватися різними методами. При цьому можуть бути використані різні типи і конструкції форм, конструктивні і технологічні рішення по окремих елементах форми (стержням, ливниковій системі, надливам тощо), різноманітні технологічні процеси на всіх етапах виготовлення виливка (приготування формувальних і стрижневих сумішей, плавка і розливання металу, виготовлення форм, обрубка, очищення і термообробка виливків тощо). Тому в конкретних умовах виробництва розробляється оптимальний технологічний процес, що забезпечує стабільне виконання вимог креслення і технічних умов на деталь і вилив при мінімальних витратах праці і матеріальних засобів .

2.1 Аналіз технологічності виготовлення деталі

Аналіз креслення деталі «Маточина» показує, що її конструкція є досить технологічною для виготовлення литтям. Маса деталі – 96 кг. Мінімальна товщина стінки – 25 мм, габаритні розміри деталі 670x150 мм. Мінімальні ливарні радіуси 5 мм. При проектуванні технології відливання необхідно забезпечити отримання щільного металу без усадочних і газових раковин на поверхні. Вибір найбільш ефективного способу виготовлення визначається на основі комплексного аналізу технічної, організаційної та економічної доцільності.

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.02 ТЧ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА		
Розроб.		Бровко О.О.					
Перевір.		Кассім Д.О.					
Н. Контр.		Кассім Д.О.					
Затверд.		Бабошко Д.Ю.					
					Літ.	Арк.	Акрушів
						1	16
					МТ-22-1		

Вибір способу виготовлення виливків залежить від ряду факторів (серійності випуску, конструкції виливка, виду металу, вимог до готової деталі тощо) і часто вимагає проведення спеціальних розрахунків. Конфігурація внутрішніх порожнин, отворів, оброблюваних поверхонь і розташування баз механічної обробки відповідають вимогам технології ливарного виробництва в разові піщані форми.

На рисунку 2.1 представлений ескіз деталі «Маточина».

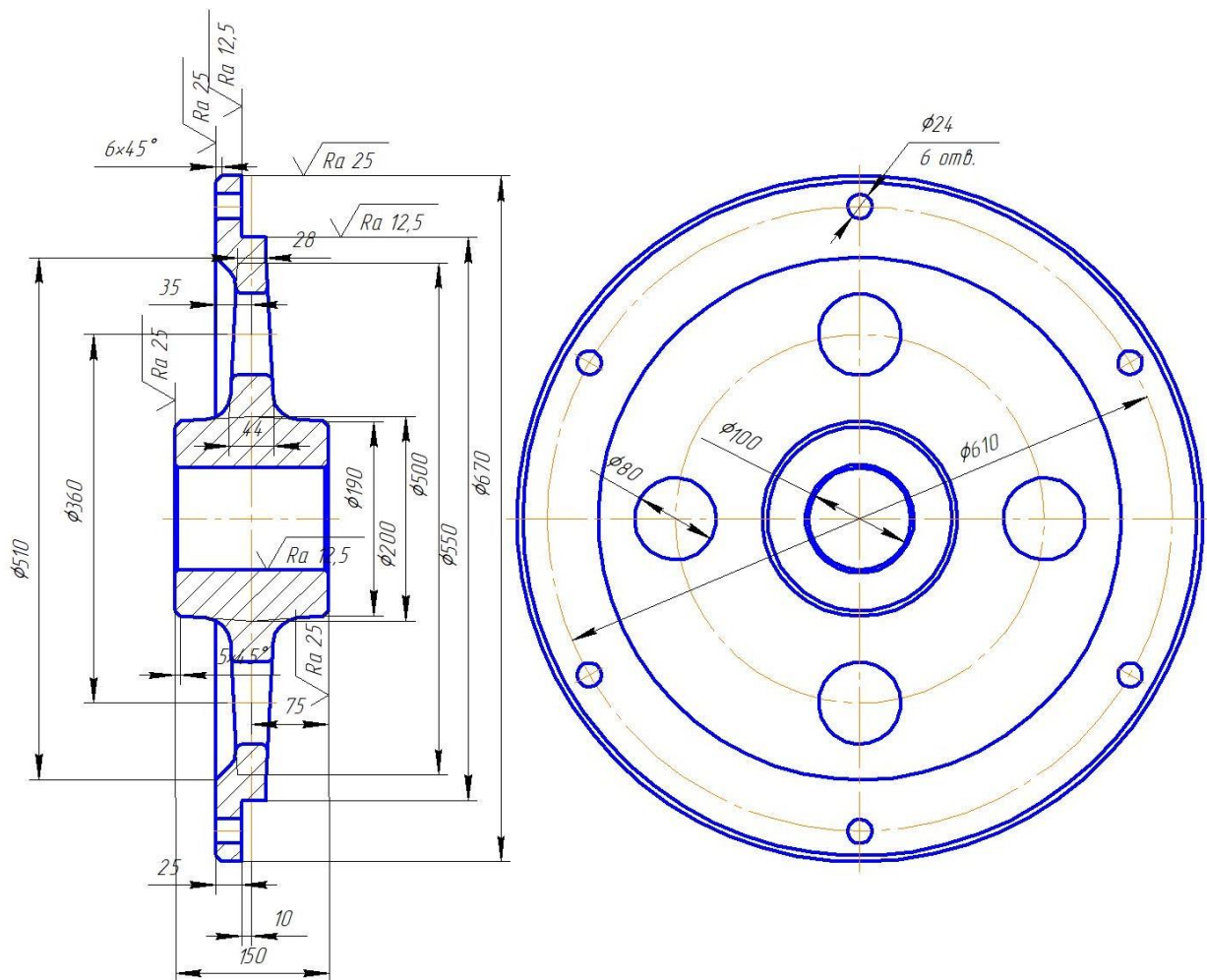


Рисунок 2.1 – Ескіз деталі «Маточина»

2.2 Вибір положення виливка у формі та визначення поверхні роз'єму

Положення виливка у формі під час заливання та затвердіння визначає весь технологічний процес. Можна запропонувати два варіанти розташування виливка у формі в період заливки і затвердіння і два роз'єми форми. Роз'єм форми необхідний для вилучення моделі, складання форми і видалення отриманих виливків. Від обраного роз'єму залежить трудомісткість виготовлення модельного оснащення і ливарної форми, трудомісткість обрубних операцій і точність розмірів виливка.

Найбільш оптимальним є перший варіант, виливка розташовується у формі горизонтально, вісь симетрії перпендикулярна площині роз'єму. Виливок розташовується в обох напівформах.

Варіанти розташування виливка у формі наведені на рисунку 2.2. Перший варіант має такі переваги:

- проста конструкція моделей, без знімних частин;
- мінімальна кількість стрижнів;
- надійне кріплення стрижнів;
- найкоротший шлях проходження металу від ливникової системи до виливка ;відведення газів з порожнини у формі, що утворюються при заливці розплавленого металу;
- направлене затвердіння, можливість установки прибутків прямої дії на теплові вузли.

Варіанти лінії роз'єму форми показані на рисунку 2.3

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.02 ТЧ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

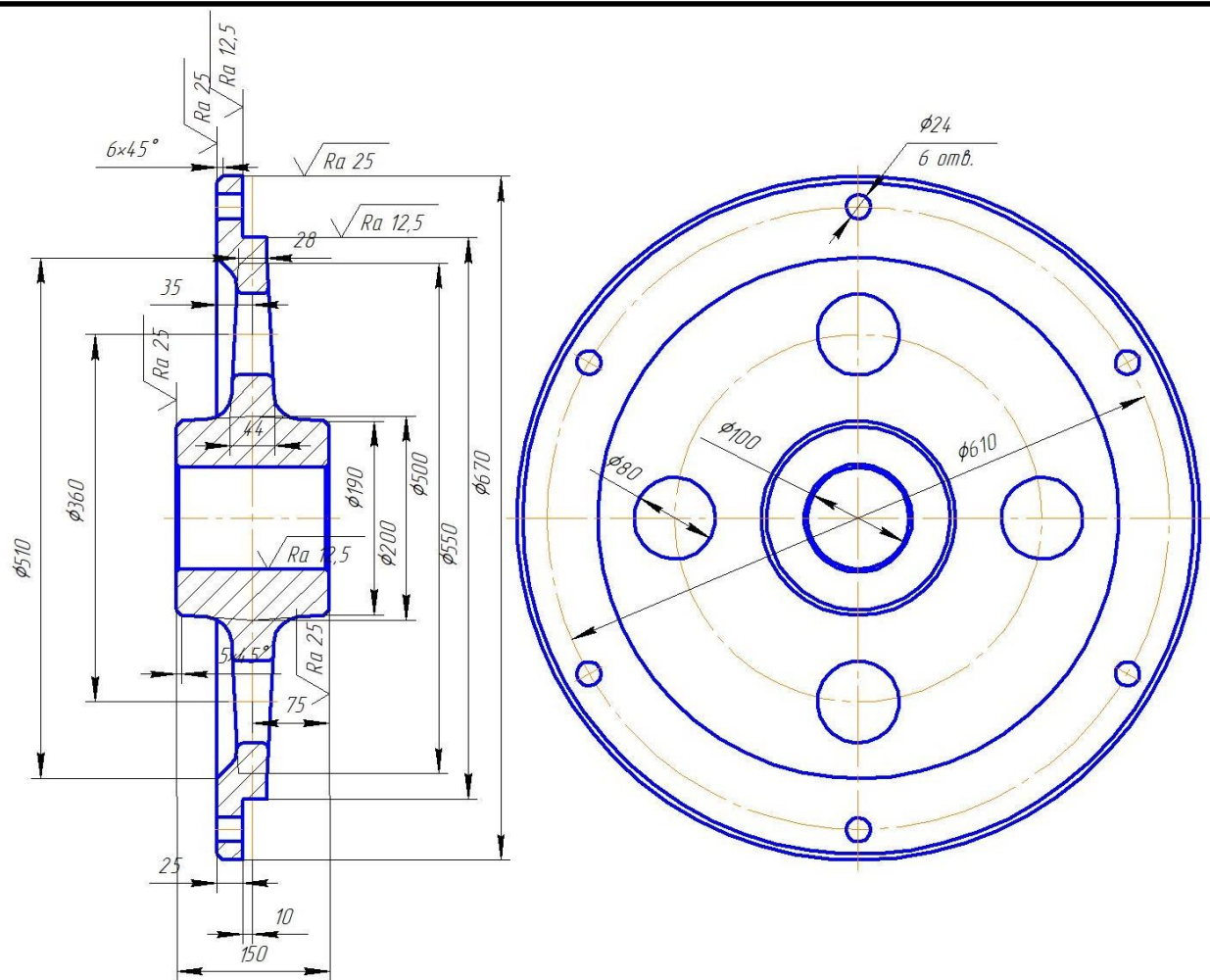


Рисунок 2.1 – Ескіз деталі «Маточина»

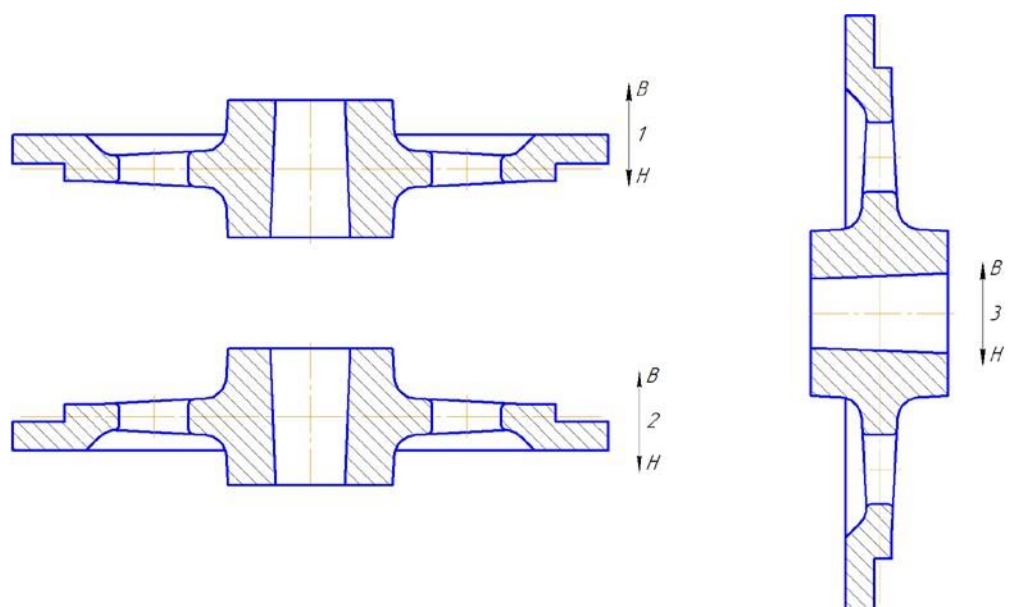


Рисунок 2.2 – Варіанти розташування виливка у формі під час заливання та затвердіння

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

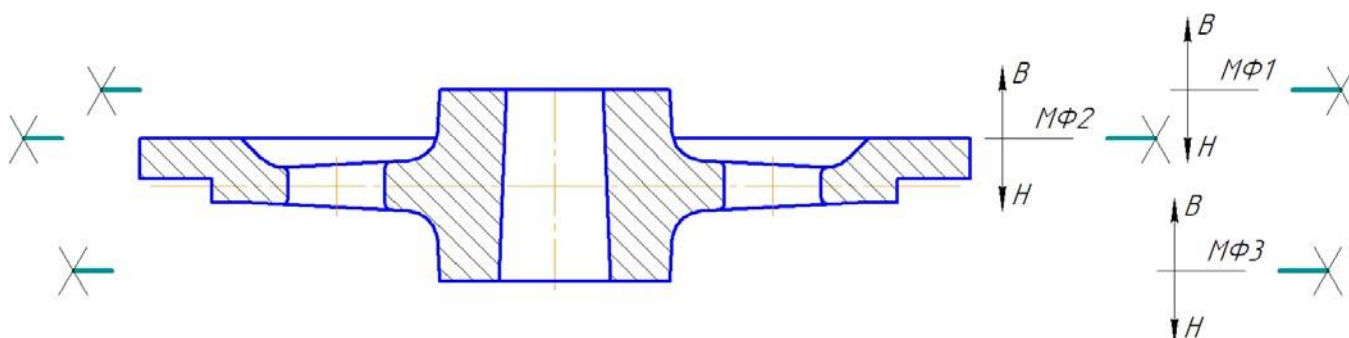
КНУ.РБ.136.26.113с-03.02 ТЧ

Арк.

4

Рисунок 2.3 – Варіанти лінії роз'єму при обраному положенні

Оптимальною є лінія роз'єму №2.



2.3 Визначення припусків на механічну обробку

З досягнення заданих кресленням розмірів і необхідної якості поверхні на оброблюваних поверхнях призначаються припуски на механічну обробку. Розміри вилівка відрізняються від розмірів деталі на величину припусків на механічну обробку. Величина припусків призначається за ГОСТ Р53464-2009 залежно від класу точності вилівка, ступеня викривлення, її номінальних і габаритних розмірів, способу лиття і типу сплаву.

Основні припуски на механічну обробку призначаються залежно від допусків розмірів диференційовано для кожного елемента вилівка. Для призначення основних припусків на механічну обробку використовуються дані ДСТУ, в якому величини припусків наведені залежно від величини допуску розміру і номера ряду припуску.

Задаємо клас точності, рівний 12, а ряд припусків приймаємо 8. Усадку для вуглецевої сталі марки 35Л приймаємо рівною 2,0 %.

Точність вилівка визначається за ДСТ і включає клас розмірної точності, клас точності маси і ступінь точності поверхні, які призначаються в залежності від технологічного процесу лиття, найбільшого габаритного розміру відливка та типу сплаву; ступінь викривлення, що залежить від розмірів відливка та типу форми.

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.02 ТЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

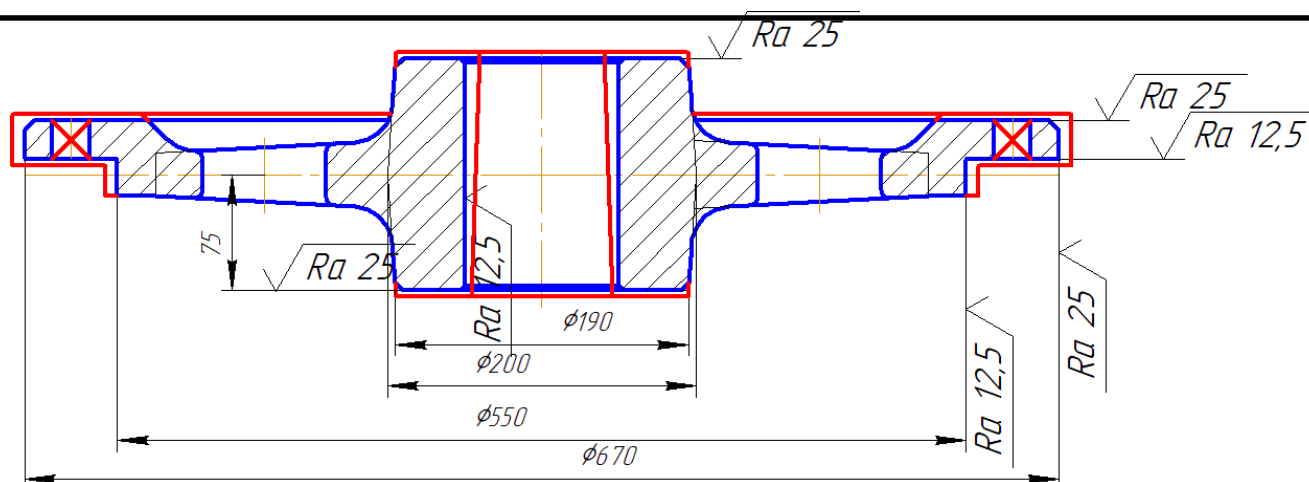


Рисунок 2.4 – Місця призначення припусків на механічну обробку
Точність вилівка 12-11-8-12.

2.4 Визначення формувальних ухилів

Для легкого вилучення моделі з форми, на її робочій поверхні задаються формувальні ухили. Величини цих ухилів призначаються за ГОСТ 3212-92 . Формувальний ухил визначається залежно від висоти формоутворюючої поверхні та матеріалу моделі. Формувальні ухили з розмірами показані на рисунку 2.5, радіуси заокруглень показані на рисунку 2.6.

2.5 Визначення кількості та конструкції стрижнів

Конструкція стрижня повинна забезпечувати зручне його виготовлення, сушіння, транспортування та встановлення у форму. Стрижень повинен займати у формі точно фіксоване положення, не деформуючись під дією власної маси та від її рідкого металу. Разом з тим має бути забезпечене легке його видалення з вилівка.

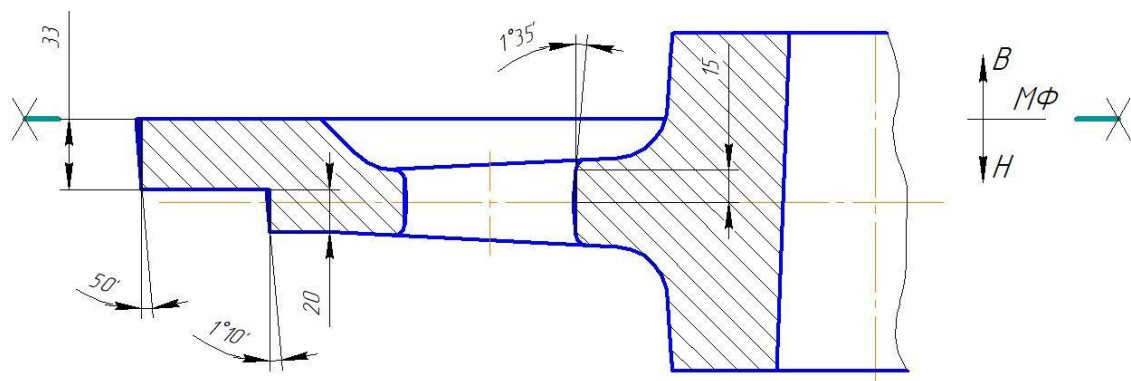


Рисунок 2.5 – Ухили формувальні

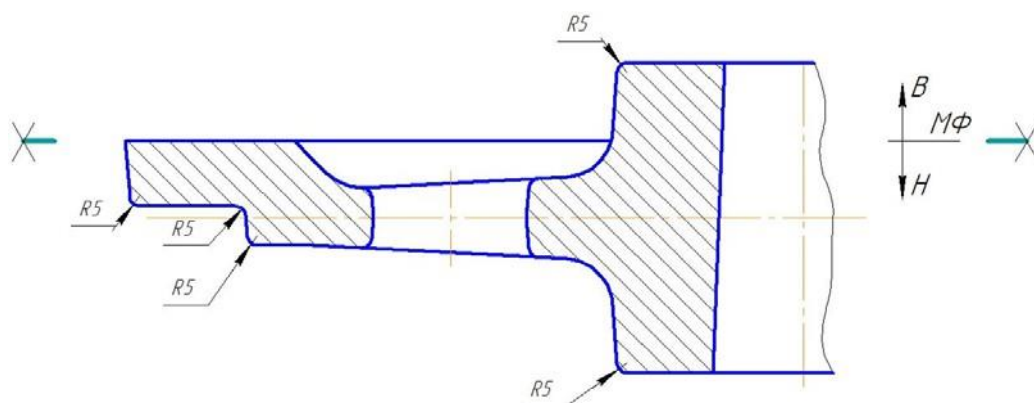


Рисунок 2.6 – Галтелі

Конструкції стрижнів визначаються кресленням виливка, конструкція і розміри знаків стрижнів, величини зазорів між знаками форм і стрижнів, конструктивне оформлення і розміри фіксаторів на знаках виконуються виходячи з ДСТ.

Для виготовлення даного виливка потрібно один стрижень.

Стрижень №1 займає вертикальне положення, габаритні розміри стрижня 213Ø160 мм. Зазор між формою і знаком стрижня для модельного комплексу другого класу точності, виготовленого з металу, дорівнює $S_1 = 1$ мм для нижньої напівформи, $S_1 = 1$ мм для верхньої напівформи. Ухил на знаку стрижня 10°.

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.02 ТЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Ескіз стрижня представлений на рисунку 2.7.

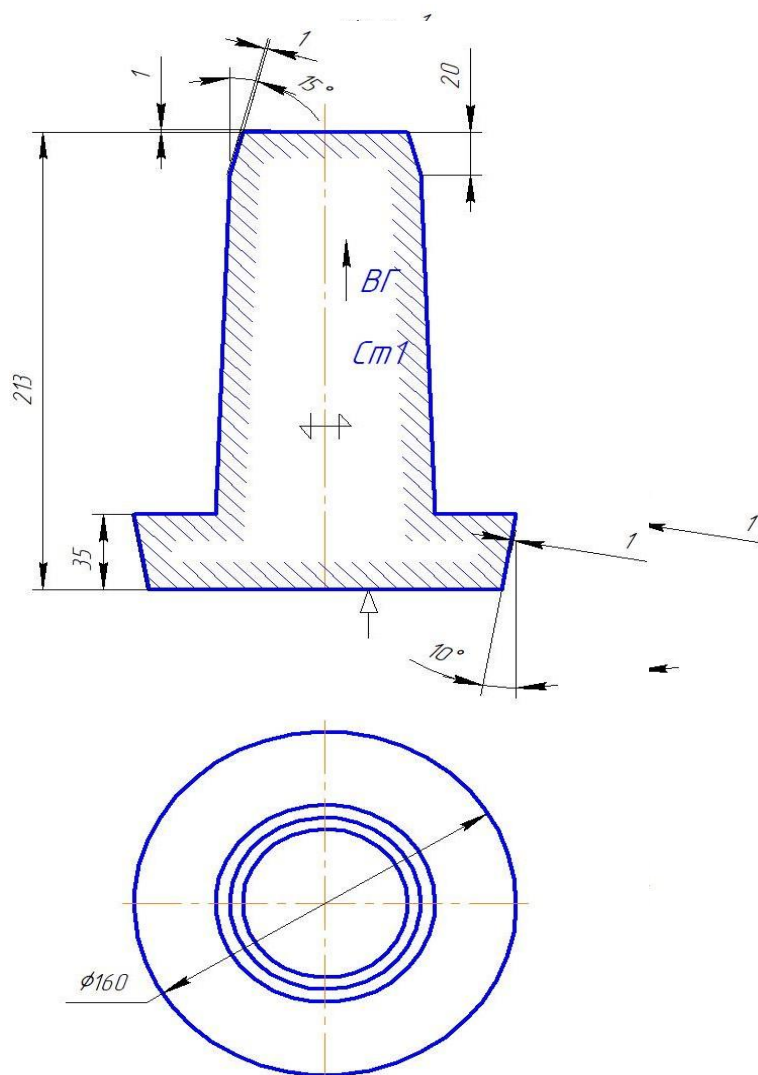


Рисунок 2.7 – Ескіз стрижня №1

Підготовлені стрижні встановлюють у форму у відповідному технологічному порядку.

2.6 Конструювання та розрахунок прибутків і ливникової системи

Прибуток необхідний для отримання щільного металу без усадочних дефектів. Прибуток необхідний для компенсації об'ємної усадки в період затвердіння сплаву. У виливку «Ступиця» можна виділити два окремі теплові вузли. Теплові вузли являють собою два окремі кільця. Кожен тепловий вузол живиться окремо, тому будемо встановлювати два види надливів. Місця розташування теплових вузлів у виливку показані на рисунку 2.8.

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.02 ТЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

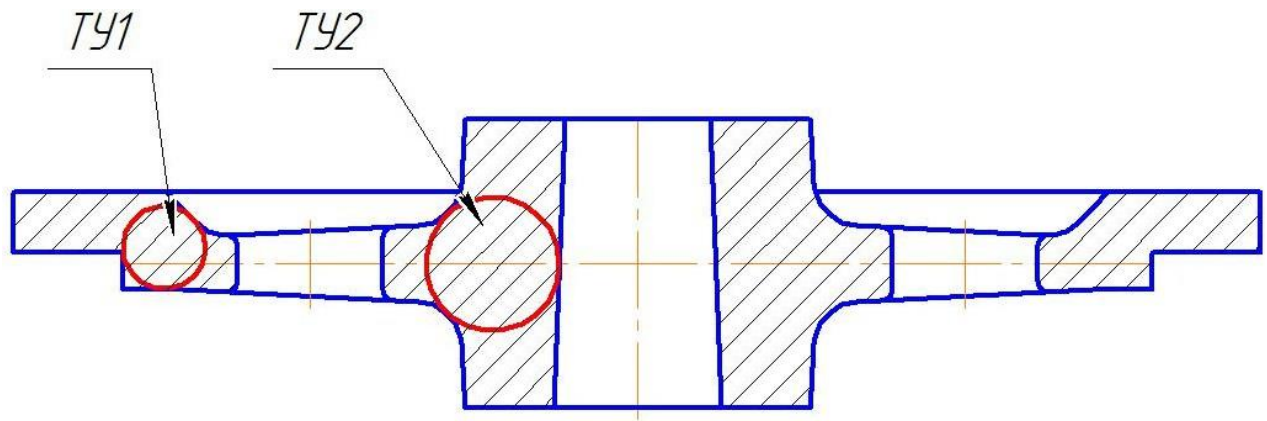


Рисунок 2.8 – Ескіз розташування теплових вузлів у виливка «Ступиця»

Визначається обсяг надлива №1 за формулою :

$$V_{\text{пр1}} = \frac{\beta \cdot \epsilon_v}{1 - \beta \cdot \epsilon_v} \cdot V_{\text{пу1}},$$

де $V_{\text{пр1}}$ – обсяг надлива, м³ ;

β – відношення обсягу надлива до обсягу усадочної раковини, $\beta=11$;

ϵ_v – частина об'ємної усадки сплаву, що бере участь у формуванні усадочної раковини, $\epsilon_v = 0,045$;

$V_{\text{пу1}}$ – об'єм живильного вузла, м³.

$$V_{\text{пр1}} = \frac{11 \cdot 0,045}{1 - 11 \cdot 0,045} \cdot 0,012 = 0,00118 \text{ м}^3.$$

Для живлення теплового вузла приймаємо 4 надлива прямої дії квасолеподібної форми.

Визначається обсяг надлива №2 за формулою (2.1):

$$V_{\text{пр2}} = \frac{11 \cdot 0,045}{1 - 11 \cdot 0,045} \cdot 0,0037 = 0,0036 \text{ м}^3.$$

Для живлення теплового вузла №2 приймаємо один надлив прямої дії.

Сумарний обсяг усіх застосовуваних надливів: $0,00118 \times 4 + 0,0036 = 0,0083 \text{ м}^3$. Маса надливів визначається як обсяг надлива, помножений на щільність металу: $0,0083 \cdot 7800 = 65 \text{ кг}$.

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.02 ТЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Схема розташування надливів показана на рисунку 2.9.

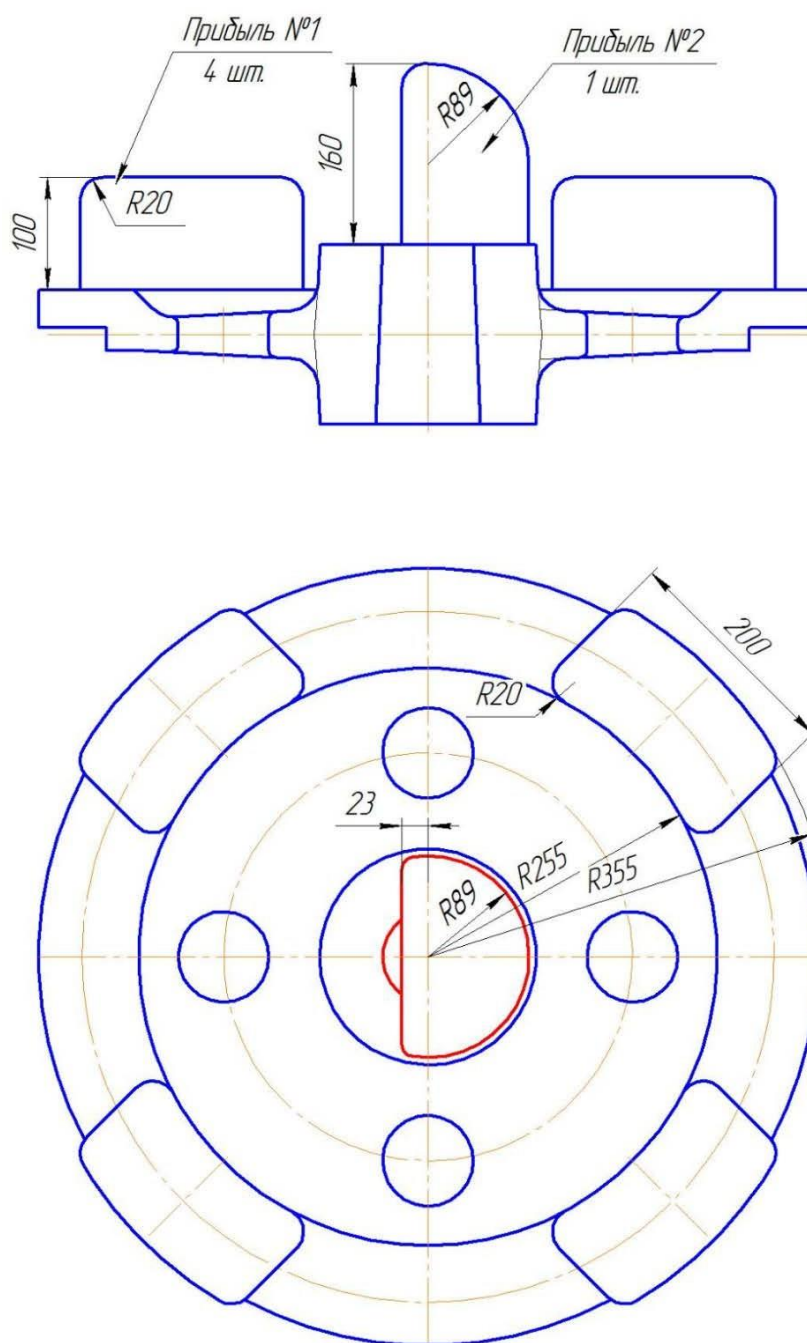


Рисунок 2.9 – Схема розташування надливів

Технологічний вихід придатного (ТВП) визначається за формулою :

$$\text{ТВГ} = \frac{Q_{\text{відл}}}{Q_{\text{відл}} + Q_{\text{приб}} + Q_{\text{виш}} + Q_{\text{л.с.}} + Q_{\text{пот}}}, \quad (2.2)$$

де $Q_{\text{відл}}$ — маса вилівка, кг;

$Q_{\text{приб}}$ — маса надлишків, що припадає на одну вилівку, кг;

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.02 ТЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

$Q_{\text{вип}}$ – маса випорів, що припадає на один вилив, кг;

$Q_{\text{л.с}}$ – маса ливникової системи, що припадає на один вилив, кг;

$Q_{\text{пот}}$ – маса втрат на сплески і випаровування, кг.

$$\text{ТВГ} = \frac{105}{105 + 65 + 0 + 20 + 10} \cdot 100 = 52,5 \, \%$$

Визначимо розміри каналів ливникової системи за методикою розрахунку при заливці форм із стопорного ковша.

Оптимальну тривалість заливки форм визначимо за формулою:

$$\tau_{\text{опт}} = S \cdot \sqrt[3]{\delta \cdot G_{\text{ф}}} \quad (2.3)$$

де $\tau_{\text{опт}}$ – оптимальна тривалість заливки, с;

S – коефіцієнт тривалості заливки, що залежить від температури заливки, виду сплаву, місця підведення, матеріалу форми та ряду інших факторів;

δ – переважна товщина стінки виливка, мм;

$G_{\text{ф}}$ – металоємність форми, кг.

З урахуванням виготовлення одного виливка у формі, металоємність форми становитиме:

$$G_{\text{ф}} = n \cdot (M_{\text{отл}} + M_{\text{пр}} + M_{\text{лс}}), \quad (2.4)$$

де $G_{\text{ф}}$ – металоємність форми, кг; n – кількість виливків у формі;

$M_{\text{отл}}$ – маса одного виливка, кг;

$M_{\text{пр}}$ – маса надливів для одного виливка, кг;

$M_{\text{лс}}$ – маса ливникової системи для одного виливка, кг.

$$G_{\text{ф}} = 2(105 + 65 + 20) = 380 \text{ кг.}$$

Підставляючи у формулу (2.3) значення коефіцієнта $S=1,4$ (для виливків зі сталі), переважуючу товщину стінки виливка $\delta=25$ мм, $G=380$ кг отримаємо:

$$\tau_{\text{опт}} = 1,4 \cdot \sqrt[3]{25 \cdot 380} = 29,65 \text{ с.}$$

Визначимо середню швидкість підйому рівня розплаву у формі в процесі заливання. Вона розраховується з умови, за якої відсутні недоливи та спаї у виливку:

$$V_{\text{сп}} = \frac{C}{\tau_{\text{опт}}} \geq V_{\text{доп}}, \quad (2.5)$$

де $V_{\text{сп}}$ – середня швидкість підйому рівня розплаву у формі, мм/с; C – висота виливка за положенням у формі, мм;

$\tau_{\text{опт}}$ – оптимальна тривалість заливки, с;

$V_{\text{доп}}$ – допустима швидкість підйому рівня розплаву у формі, мм/с;

$$V_{\text{сп}} = \frac{320}{29,65} = 10,8 \geq V_{\text{доп}},$$

Спочатку визначають задану вагову швидкість витікання металу з ковша за формулою:

$$\omega = \frac{G_{\text{ф}}}{\tau_{\text{опт}}} \quad (2.6)$$

де $\tau_{\text{опт}}$ – оптимальна тривалість заливки, с;

$G_{\text{ф}}$ – металоємність форми, кг;

ω – вагова швидкість витікання металу, кг/с.

$$\omega = \frac{380}{29,65} = 12,81 \text{ кг/с.}$$

Розрахунок параметрів ковша проводять виходячи із заданого діаметра отвору стаканчика. З таблиці довідника для даної швидкості витікання металу з ковша без гальмування струменя вибирається діаметр стаканчика.

Потім розраховуємо площу стаканчика за формулою:

$$f_{\text{ст}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \quad (2.7)$$

де $f_{\text{ст}}$ – площа стаканчика, см²;

D – діаметр стаканчика, мм.

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.02 ТЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

$$f_{CT} = \frac{3,14 \cdot 40^2}{4} = 12,56 \text{ см.}^2$$

Далі визначають мінімальний рівень металу в ковші, при якому можлива дана швидкість витікання за виразом:

$$H_K = 13,13 \cdot \frac{\omega^2}{f_{CT}^2}, \quad (2.8)$$

де f_{CT} – площа стаканчика, см^2 ;

ω – вагова швидкість витікання металу, кг/с .

$$H_K = 13,13 \cdot \frac{12,81^2}{12,56^2} = 13,67 \text{ см.}$$

Після визначення мінімального рівня металу в ковші розраховують зміни рівня металу в ковші під час розливання за формулою:

$$\Delta H = 182 \cdot \frac{\Sigma G_{\phi}^2}{D_{CP}^2}, \quad (2.9)$$

де ΔH – зміна рівня металу в ковші, см ;

ΣG_{ϕ} – металоємність однієї форми, кг ;

D_{CP} – середній діаметр розливного ковша, см ;

$$\Delta H = 182 \cdot \frac{380^2}{105,5^2} = 6,2 \text{ см.}$$

Початковий рівень металу в ковші розраховується за формулою:

$$H_H = H_K + \Delta H, \quad (2.10)$$

де H_H – початковий рівень металу в ковші, см ;

H_K – кінцевий рівень металу в ковші, см .

$$H_H = 13,67 + 6,2 = 19,88 \text{ см.}$$

Вагова швидкість витікання металу без гальмування при початковому рівні визначається за формулою:

$$\omega_H = 0,276 \cdot f_{CT} \quad (2.11)$$

де ω_H – вагова швидкість витікання металу без гальмування при

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.02 ТЧ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

початковому рівні, см.

H_n – початковий рівень металу в ковші, см;

$f_{ст}$ – площа стаканчика, $см^2$.

$$\omega_H = 0,276 \cdot 12,56 \cdot \sqrt{19,88} = 15,46 \text{ см.}$$

Перевіряємо правильність розрахунків за нерівністю:

$$\frac{\omega_H}{\omega} \leq 1,3,$$
$$1,21 \leq 1,3.$$

Нерівність виконана, отже розрахунки правильні.

Вузьким перерізом є живильник.

Сумарну площу поперечних перерізів стояків визначають за формулами:

$$\Sigma F_{ст} = f_{ст} \cdot \mu_{к.л.с.} \cdot \frac{H_n}{\sqrt{H_{к.л.с.}}}, \quad \Sigma F_{ст} = f_{ст} \cdot \mu_{к.л.с.} \cdot \sqrt{H_{к.л.с.}}, \quad (2.12)$$

де $\Sigma F_{ст}$ – сумарну площу поперечних перерізів стояків, $см^2$;

$\mu_{к.л.с.}$ – коефіцієнт витрати ковша ($\approx 0,89$);

$\mu_{л.с.}$ – коефіцієнт витрати ливникової системи (вибирається за довідником);

H_n – початковий рівень металу в ковші, см;

$H_{к.л.с.}$ – кінцевий рівень металу в ковші, см;

$H_{н.л.с.}$ – початковий напір у ливниковій системі, см;

$H_{к.л.с.}$ – початковий напір у ливниковій системі, см;

Початковий і кінцевий напір у ливниковій системі розраховується за формулою

$$H_{н.л.с.} = H_n + h_{ст} + H_{к.л.с.}, \quad (2.13)$$

де $H_{н.л.с.}$ – початковий напір у ливниковій системі, см;

H_n – початковий рівень металу в ковші, см;

h – зазор між дном ковша і верхом воронки, $h=20$ см;

$H_{\text{СТ}}$ – висота стояка разом з воронкою, см.

$$H_{\text{Л.С.}}^{\text{К}} = H_{\text{К}} + h + H_{\text{СТ}} - P, \quad (2.14)$$

де $H_{\text{К.С.}}^{\text{К}}$ – початковий напір у ливниковій системі, см;

$H_{\text{К}}$ – кінцевий рівень металу в ковші, см;

h – зазор між днищем ковша і верхом воронки, $h=20$ см;

$H_{\text{СТ}}$ – висота стояка разом з воронкою, см;

P – висота виливка у формі від рівня підведення металу, см.

$$H_{\text{Л.С.}}^{\text{Н}} = 19,88 + 20 + 30 = 69,884 \text{ см};$$

$$H_{\text{Л.С.}}^{\text{К}} = 13,67 + 20 + 30 - 20 = 43,67 \text{ см};$$

Сумарну площу поперечних перерізів стояків при початковому рівні металу визначають за формулою:

$$\Sigma F_{\text{СТ}} = 19,625 \cdot \frac{0,89}{0,42} \cdot \sqrt{\frac{19,88}{69,884}} = 14,89 \text{ см}^2.$$

Сумарну площу поперечних перерізів стояків при кінцевому рівні металу визначають за формулою:

$$\Sigma F_{\text{СТ}} = 19,625 \cdot \frac{0,89}{0,42} \cdot \sqrt{\frac{13,67}{43,67}} = 14,2 \text{ см}^2.$$

Вибираємо найбільше значення сумарної площі перерізів стояка.

Визначимо площі перерізів інших елементів розширювальної ливникової системи, що забезпечують $\tau_{\text{опт}}$:

$$\Sigma F_{\text{ПИТ}} : \Sigma F_{\text{ШЛ}} : \Sigma F_{\text{СТ}} = 1:1,2:1,4, \quad (2.15)$$

де $\Sigma F_{\text{ПИТ}}$ – сумарна площа перерізів живильників;

$\Sigma F_{\text{ШЛ}}$ – сумарна площа перерізів шлакоуловлювачів;

$\Sigma F_{\text{СТ}}$ – площа перетину стояка.

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.02 ТЧ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Метал у формі підводиться до одного виливка через один стояк, два живильники і один шлакоуловлювач.

$$\Sigma F_{\text{шл}} = 1,2 \Sigma F_{\text{п}} = 1,2 \times 14,89 = 17,9 \text{ см}^2 ;$$

$$\Sigma F_{\text{ст}} = 1,4 \Sigma F_{\text{п}} = 1,4 \times 14,89 = 20,85 \text{ см}^2 .$$

Ескіз перерізів ливникової системи представлений на рисунках 2.10 – 2.12.

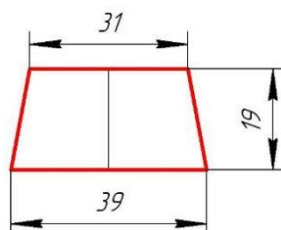


Рисунок 2.10 – Перетин живильника

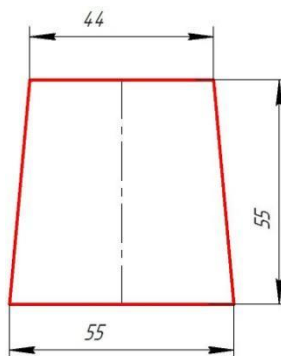


Рисунок 2.11 – Перетин шлакоуловлювача

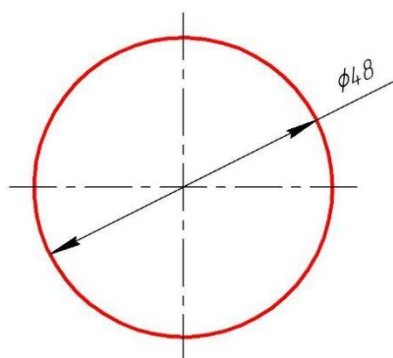


Рисунок 2.12 – Перетин стояка

Ливарна система складається з ливарної воронки, стояка, шлакоуловлювача і живильників. Живильники безпосередньо примикають до порожнини форми, вони виконані так, щоб ливарну систему можна було легше відокремити, не пошкодивши виливок.

3. ВИБІР І РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ОБЛАДНАННЯ

3.1 Режим роботи цеху

Режими роботи ливарного цеху визначаються черговістю виконання операцій технологічного процесу виготовлення виливків у часі та просторі. Від прийнятого режиму роботи залежить організація виробничого процесу. Для ливарних цехів застосовуються послідовні та паралельні режими роботи. У проектуваному цеху приймаємо найоптимальніший – паралельний двозмінний режим роботи цеху. Даний графік роботи є найбільш раціональним, оскільки дозволяє виконати виробничу програму при мінімальному зносі обладнання та парку опок.

Розрізняють три основних фонди робочого часу:

- календарний (T_K), що враховує повний річний календарний час;
- номінальний (T_H), що враховує повний річний робочий час без втрат;
- дійсний (T_D), що враховує повний річний робочий час з неминучими втратами.

Оскільки в 2018 році 365 днів календарний час становить:

$$T_K = 365 \cdot 24 = 8760 \text{ год.}$$

Номінальний фонд часу обчислюється за формулою:

$$T_H = (D - P) \cdot C \cdot \text{Ч}, \quad (3.1)$$

де D – кількість днів у році;

$P = 118$ – усереднена кількість вихідних і святкових днів у 2018 році;

C – кількість змін на добу;

Ч – тривалість робочої зміни ($\text{Ч} = 8$ годин).

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.03 ВР						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВИБІР І РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ОБЛАДНАННЯ			Літ.	Арк.	Акрушів	
Розроб.		Бровко О.О.									
Перевір.		Кассім Д.О.								1	33
								МТ-22-1			
Н. Контр.		Кассім Д.О.									
Затверд.		Бабошко Д.Ю.									

У разі п'ятиденного робочого тижня, восьмигодинної зміни номінальний фонд часу становить для робітників

$$T_{H(\text{роб})} = (365 - 118) \cdot 1 \cdot 8 = 2070 \text{ год.}$$

У разі п'ятиденного робочого тижня, восьмигодинної зміни номінальний фонд часу становить для обладнання (все основне обладнання працює в три зміни).

$$T_{H(\text{обор})} = (365 - 118) \cdot 3 \cdot 8 = 8760 \text{ год.}$$

Для визначення дійсного фонду часу роботи обладнання з номінального фонду часу умовно виключається час його перебування в планових ремонтах, встановлений нормами системи планово-попереджувальних ремонтів.

Для визначення дійсного фонду часу роботи робітників з номінального фонду часу віднімається час перебування робітника у відпустці.

Дійсний фонд часу становить:

$$T_D = \frac{T_H \cdot (100 - \alpha)}{100}, \text{ год} \quad (3.2)$$

де T_H – номінальний фонд часу, год;

α – втрати часу, %.

Дійсний фонд часу роботи одного робітника:

$$T_{\text{роб}} = \frac{T_{H(\text{роб})} \cdot (100 - \alpha)}{100}, \text{ год}$$

$$T_{\text{роб}} = \frac{2070 \cdot (100 - 20)}{100} = 1581 \text{ год.}$$

Обладнання плавильного відділення:

$$T_{\text{обор}} = \frac{T_{H(\text{обор})} \cdot (100 - \alpha)}{100}, \text{ год}$$

$$T = \frac{3952 \cdot (100 - 5,8)}{100} = 3723 \text{ год.}$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.03 ВР	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обладнання відділення приготування суміші:

$$T_{\text{...}} = \frac{T_{\text{H(обор)}} \cdot (100 - \alpha)}{100}, \text{год}$$

$$T = \frac{3952 \cdot (100 - 5,9)}{100} = 3719 \text{ год.}$$

Обладнання формувального відділення

$$T_{\text{...}} = \frac{T_{\text{H(обор)}} \cdot (100 - \alpha)}{100}, \text{год}$$

$$T = \frac{3952 \cdot (100 - 6)}{100} = 3715 \text{ год.}$$

:

Обладнання стрижневого відділення:

$$T_{\text{...}} = \frac{T_{\text{H(обор)}} \cdot (100 - \alpha)}{100}, \text{год}$$

$$T = \frac{3952 \cdot (100 - 5,9)}{100} = 3719 \text{ год.}$$

3.2 Структурна схема цеху та планувальні рішення

За своєю структурою ливарні цехи складаються з виробничих і допоміжних відділень, складських і службово-побутових приміщень.

У виробничих відділеннях (ділянках) виконуються основні технологічні операції (плавка металу, приготування суміші, виготовлення форм, стрижнів тощо). До них відносяться: плавильне, формувально-заливочно-вибивне, стрижневе, сумішоприготувальне, очисне, включаючи ділянки обрубки, очищення, термообробки, виправлення дефектів і ґрунтування. До допоміжних відділень відносяться: відділення підготовки формувальних матеріалів, ділянки ремонту ковшів і печей, ремонтно-механічна служба, електроремонтна служба, ділянки ремонту модельно-опочного оснащення, відділення

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.03 ВР	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

регенерації суміші, інструментальна служба, цехові лабораторії, підстанції, насосні, вентиляційні та ін.

Складські приміщення включають склад шихтових і формувальних матеріалів, вогнетривів, модельно-опочного і стрижневого оснащення, міжопераційні склади, склад виливків.

До службово-побутових приміщень відносяться контори цеху, технологічне бюро, служби механіка та енергетика, бухгалтерія, відділ праці та зарплати, виробничо-диспетчерська та планово-економічна служби, відділ технічного контролю, гардеробні, душові, їдальні, медпункт, санвузли.

Компонувальне рішення цеху показано на рисунку 3.1.

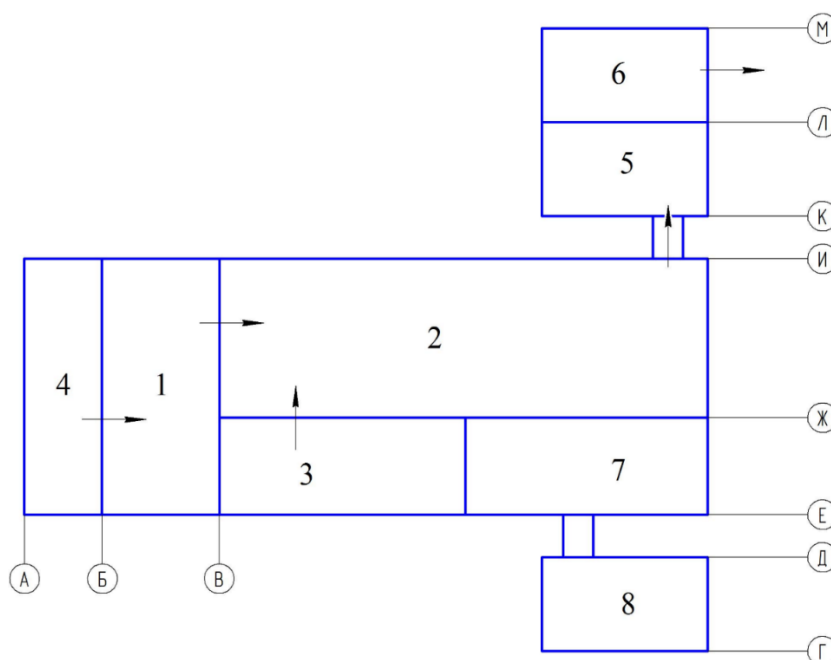


Рисунок 3.1 – Компонування цеху

1 – плавильне відділення; 2 – формувальне відділення; 3 – стрижневе відділення; 4 – шихтове відділення; 5 – термообрубне відділення; 6 – склад готової продукції; 7 – майстерні; 8 – адміністративно-побутовий корпус.

Обрана компоновка, заснована на досвіді проектування подібних ливарних цехів, забезпечує послідовне виготовлення виливків за технологічним циклом.

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.03 ВР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

3.3 Плавильне відділення

3.3.1 Організація роботи плавильного відділення

Для отримання рідкої сталі застосовується електродугова піч ДСП, представлена на рисунку 3.2.

До переваг цієї печі можна віднести простоту її конструкції, надійність в експлуатації, швидкість виконання ремонтних робіт, мінімальний угар елементів в процесі плавлення, забезпечення отримання якісного рідкого металу, високих температур перегріву і високих механічних властивостей виливків, можливість використання в шихті сталевого брухту. Газоочищення зменшить забруднення навколишнього середовища як тепловими, так і пилогазовими виділеннями, вони мають досить високий ККД, особливо при перегріві і доведенні сталі.

Технологія виплавки сталі в електродуговій печі досить проста і зводиться до:

- аналізу шихти в лабораторії;
- дроблення шихти;
- нормуванню компонентів шихти;
- завантаженню шихти в піч;
- розплавленню шихти;
- доведенню розплав;
- термочасовій витримці металу;
- випуску металу з печі.

Сталь плавиться в дуговій сталеплавильній печі ДСП з основною футерівкою. Для кладки теплоізоляційного шару футерівки застосовують пряму шамотну цеглу. Для засипання проміжків між цеглинами при кладці печей, для заправки печей застосовують формувальні піски, які повинні задовольняти

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.03 ВР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

наступним вимогам: вміст глинистої складової менше 2%; класи 1К, 2К; залишок на середньому ситі основної фракції не нижче 0,16; газопроникність більше 100 одиниць. Для засипання швів при кладці з шамотної цегли та приготування розчинів застосовують шамотний порошок. Вимоги: вогнетривкість 1580-1750°C, вміст Al_2O_3 18-39%, вологість 4-12%.

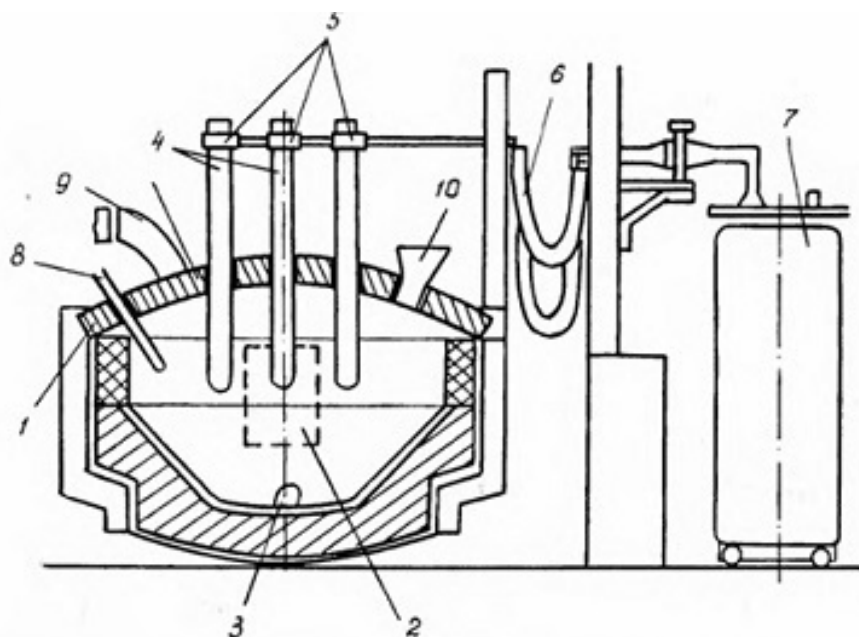


Рисунок 3.2 – Ескіз електродугової печі ДСП

1 – склепіння; 2 – робоче вікно; 3 – отвір для випуску сталі; 4 – електроди;
5 – електродотримачі; 6 – коротка мережа; 7 – трансформатор; 8 – киснева фурма; 9 – відвід відхідних газів; 10 – завантажувальна воронка.

Для приготування мертелей і як добавку до вогнетривких мас для набивної футеровки застосовують вогнетривку глину.

Для кладки підлог, укосів і стін основних дугових електропечей застосовують магнезитову цеглу з вмістом: $\geq 89-91\% MgO$, $3-4\% CaO$, $\leq 2,5\% SiO_2$; відкритою пористістю 11-23; межею міцності на стиск 50-60 МПа, температурою початку деформації під навантаженням не нижче 1500-1550°C, додатковою лінійною усадкою при 1650°C з витримкою 2 год не більше 0,5-0,6%, уявною щільністю 2,7 г/см³ для звичайних виробів і 3 г/см³ для

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.03 ВР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ущільнених. Пряма магнезитова цегла має розміри від 230x115x65 мм до 380x150x75 мм, масу від 4,6 кг до 12,8 кг. Використовується також клинова торцева, реберна і радіальна цегла.

Для склепіння печі застосовують хромомагнезитову цеглу ХМ2-І і ХМ2 по, з вмістом: $\geq 40-46\% \text{ MgO}$, $18-22\% \text{ Cr}_2 \text{ O}_3$; $\leq 6-7\% \text{ SiO}_2$; відкритою пористістю, не більше - 22-24%, температурою початку деформації, не менше - 1520°C , термостійкістю, не менше - 2 теплосмен, межею міцності при стисненні, не менше - 20-27,5 МПа, уявною щільністю, не менше - $2,95 \text{ г/см}^3$. Пряма магнезитова цегла має розміри 230x115x65 мм і 300x150x65 мм, масу від 4,8 до 8,2 кг. Використовуються також клинові та перехідні цеглини .

На рисунку 3.3 представлена схема футерування кожуха і форма внутрішнього об'єму печі.

Інтенсифікація плавки сталі в електродугових печах пов'язана з попереднім підігрівом металошихти за рахунок теплових потоків, що йдуть від склепіння і, отже, до скорочення тривалості плавки і зневоднення шихти.

Температура заливки залежить від виду сплаву, маси і габариту виливка, товщини її стінок. Причому температура розплаву при випуску з плавильної печі повинна бути на 30...100 $^\circ\text{C}$ вище температури його заливки у форму. При цьому треба враховувати, що чим вище металоємність ковша, тим нижче швидкість зниження температури розплаву в ковші в часі.

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.03 ВР	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

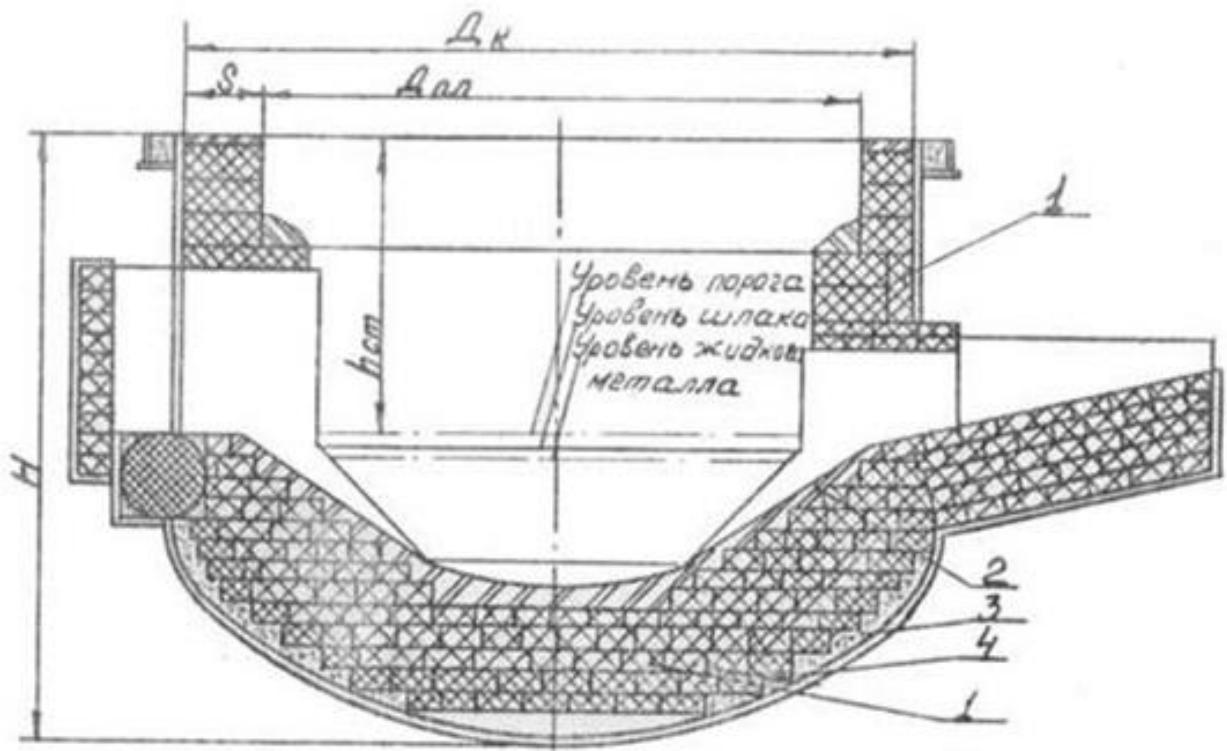


Рисунок 3.3 – Схема футерування кожуха і форма внутрішнього об'єму печі:

1 – вогнетривка пряма цегла; 2 – набивка магнезитова; 3 – засипка теплоізоляційна;
4 – теплоізоляційна пряма цегла

Після випуску металу з плавильного агрегату всі подальші кроки з доведення сталі за хімічним складом і температурою виконуються виключно в ковші. Така схема, як показує практика, робить процес виплавки і розливу сталі більш економічним, а також забезпечує найбільш повне поєднання процесу виплавки і розливу сталі.

Перед заливкою металу ковш попередньо підігрівають до $700...1000^{\circ}\text{C}$ за допомогою газових пальників.

Температура розплаву при випуску з печі – $1610...1630^{\circ}\text{C}$. Температура заливки форм – $1570...1590^{\circ}\text{C}$.

Для зміни температури застосовується оптичний пірометр. Його робота базується на оцінці інтенсивності випромінювання нагрітих тіл. Температура рідкого металу визначається порівнянням яскравості випромінюваних ним червоних променів з яскравістю червоного випромінювання нитки еталонної лампочки розжарювання, що знаходиться в пірометрі.

3.3.2 Баланс металу

Баланс споживаного металу в цеху розраховується на основі даних точної виробничої програми цеху.

Дані по придатних виливках беремо з виробничої програми, відсоток скрапу - $C_k = 3 \%$. Випаровування і безповоротні втрати складають $U = 3 \%$. Розрахуємо масу металозавалки:

$$E_{\text{ш}} = E_{\text{ж}} \cdot \frac{100}{100 - U_e}, \quad (3.4)$$

3.3.3 Розрахунок шихти:

Вміст елемента в металошихті визначимо за формулою:

$$E_{\text{ш}} = E_{\text{ж}} \cdot \frac{100}{100 - U_e}, \quad (3.4)$$

Таблиця 3.1– Баланс металу по цеху

Найменування статті балансу	Всього по цеху	
	%	т
1. Придатні виливки, $M_{г.о.}$	61,85	19500,00
2. Ливники та надливи, $M_{л.п.}$	32,15	10642,67
3. Скрап, C_k	3	993,12
4. Разом рідкого металу	97	32110,82
5. Випаровування та безповоротні втрати, u	3,00	993,12
6. Разом металозавалки, M_m	100,00	33103,93

де $E_{\text{ж}}$ – вміст елемента в рідкому чавуні до позапічної обробки (модифікації, сфероїдизації, легування), %;

U_e – вигоряння елемента при модифікації, %.

$$C_{\text{ш}} = C_{\text{ж}} \cdot \frac{100}{100 - U_C} = 0,360 \cdot \frac{100}{100 - 10} = 0,400;$$

$$Si_{\text{ш}} = Si_{\text{ж}} \cdot \frac{100}{100 - U_{Si}} = 0,36 \cdot \frac{100}{100 - 20} = 0,450;$$

$$Mn_{\text{ш}} = Mn_{\text{ж}} \cdot \frac{100}{100 - U_{Mn}} = 0,65 \cdot \frac{100}{100 - 15} = 0,765.$$

Кількість елементів, що вноситься в шихту цими елементами, визначається за формулою:

$$m_e = E \cdot \frac{h}{100}, \quad (3.5)$$

де m_E – маса елемента, кг;

E_K – вміст елемента в компоненті шихти, %;

h – частка компонента в шихті, %.

Проведемо розрахунок для вуглецю:

$$m_C = 0,400 \cdot \frac{40}{100} = 0,160;$$

$$m_C = 0,240 \cdot \frac{57}{100} = 0,137;$$

$$m_C = 3,800 \cdot \frac{3}{100} = 0,114.$$

Вносимо отримані дані в таблицю розрахунку шихти, розрахунок за іншими елементами проводимо аналогічно.

Для коригування шихти по кремнію застосовуємо ФС70, необхідну масу ФС70 визначимо за формулою:

$$M_{\text{ФС70}} = \frac{Si_{\text{ш}} - Si_{\text{розр}}}{70} \cdot 100 = \frac{0,450 - 0,277}{70} \cdot 100 = 0,248.$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.03 ВР	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для коригування шихти по марганцю застосовуємо ФМн88, необхідну масу ФМн88 визначимо за формулою:

$$M_{\text{ФМн88}} = \frac{Mn_{\text{ш}} - Mn_{\text{розр}}}{88} \cdot 100 = \frac{0,765 - 0,465}{88} \cdot 100 = 0,341$$

Відносну похибку визначимо за формулою:

$$O_{\text{ш}} = \frac{E_{\text{ш}} - E_{\text{розр}}}{E_{\text{ш}}} \cdot 100; \quad (3.6)$$

де $E_{\text{ш}}$ – вміст елемента в шихті, %

$$O_{\text{ш}} = \frac{C_{\text{ш}} - C_{\text{розр}}}{C_{\text{ш}}} \cdot 100 = \frac{0,400 - 0,418}{0,400} \cdot 100 = -4,467;$$

$$O_{\text{ш}} = \frac{Si_{\text{ш}} - Si_{\text{розр}}}{Si_{\text{ш}}} \cdot 100 = \frac{0,450 - 0,460}{0,450} \cdot 100 = -2,273;$$

$$O_{\text{ш}} = \frac{Mn_{\text{ш}} - Mn_{\text{розр}}}{Mn_{\text{ш}}} \cdot 100 = \frac{0,765 - 0,766}{0,765} \cdot 100 = -0,130.$$

Похибка не перевищує 5%.

У таблиці 3.2 наведено дані щодо розрахунку шихти для сталі 35Л.

3.3.4 Розрахунок кількості печей і ковшів

Розрахунок кількості плавильних агрегатів проведемо за такою формулою:

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.03 ВР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

$$N = \frac{M_m \cdot K_n}{T_d \cdot q} \quad (3.7)$$

де M_m – маса металошваля на річну програму, т;

K_n – коефіцієнт нерівномірності роботи печей (1,1);

T_d – дійсний фонд часу роботи плавильного агрегату, год;

q – продуктивність печі, т/год.

Таблиця 3.2 – Розрахунок шихти для сталі 35Л

№	Найменування		Елементи									
					Si		Mn		S		P	
1	Сталь 35Л ГОСТ 977-88		0,32-0,4		0,2-0,52		0,4		0,04		0,04	
2	Сплав		0,360		0,36		0,650		0,045		0,040	
4	Випалювання елементів з шихти		10		20		15		0		0	
5	Шихта		0,400		0,450		0,765		0,045		0,040	
6	Компоненти шихти											
7	Повернення	40,000	0,400	0,16	0,360	0,144	0,650	0,260	0,045	0,018	0,040	0,016
8	Лом сталевий 1А ГОСТ 2787-63	57	0,24	0,137	0,18	0,103	0,338	0,193	0,030	0,017	0,030	0,017
9	Чавун переробний ПЛ1 ГОСТ 805-95	3,00	3,800	0,114	1	0,030	0,400	0,012	0,030	0,001	0,08	0,002
10	Разом	100,000		0,411		0,277		0,465		0,036		0,036
11	ФС70 ГОСТ 1415-93	0,248	0,10	0,00	70,00	0,173	0,400	0,001	0,02	0,000	0,040	0,00

Кінець таблиці 3.2

№	Назва		Елементи									
			C		Si		Mn		S		P	
12	ФМн88 ГОСТ 4755-91	0,341	2,000	0,007	3,000	0,010	88,00	0,300	0,020	0,000	0,400	0,001
13	Всього	100,589	0,415	0,418	0,458	0,460	0,761	0,766	0,036	0,036	0,037	0,037
14	Помилка		-4,467		-2,273		-0,130					

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.

$$N = \frac{32110,82 \cdot 1,1}{3723 \cdot 3} = 3,26 \text{ шт.}$$

Приймаємо до установки в цеху 4 печі.

Коефіцієнт завантаження печі визначимо за формулою:

$$K = \frac{N_p}{N_{\pi}} \quad (3.8)$$

де N_p , N_{π} – розрахункова і прийнята кількість печей;

$$K = \frac{3,26}{4} = 0,82.$$

Коефіцієнт завантаження задовольняє нерівності: $0,7 < K_z < 0,9$. Отже, для виплавки сталі приймаємо чотири печі ДСП – 6.

Розрахунок кількості ковшів проводиться за формулою:

$$N = \frac{N_{\pi} \cdot q \cdot t}{60 \cdot M_k} \quad (3.9)$$

де $N_{\text{п}}$ – кількість одночасно працюючих печей, шт;
 t – середній цикл обороту ковша, год;
 $M_{\text{к}}$ – місткість ковша, т;
 q – продуктивність печі, т/год.

$$n = \frac{6 \cdot 3 \cdot 120}{3723} = 4,0 \text{ шт.}$$

Таким чином, кількість ковшів, необхідна для забезпечення безперебійної роботи цеху, відповідає 4 штукам. Враховуючи, що мінімальна кількість резервних ковшів відповідає двом штукам, приймаємо кількість роздавальних ковшів у проектуваному цеху 6 шт.

У цеху застосовуються стопорні ковші ємністю 6 тонн. Загальний вигляд стопорного ковша показаний на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 – Стопорний ківш

Товщина шару футеровки залежить від внутрішнього радіуса R ковша у верхній частині. Рекомендується приймати товщину футеровки стінок $0,14R$, днища $0,2R$. Товщину футеровки ковша від днища доверху дещо зменшують. У стопорному ковші необхідно звертати особливу увагу на футерування стопорного пристрою: штанги з пробкою і втулки. Вогнетривкі матеріали повинні відповідати розмірам і вимогам, зазначеним у ГОСТ Р53066-2008 «Вогнетриви для розливу сталі. Вироби вогнетривкі стопорні. Технічні умови».

Ковші сушать і нагрівають за допомогою спеціальних установок для підігріву ковшів, що працюють на природному газі. При підготовці ковша до плавлення проводять поточний ремонт футеровки: видаляють зі стінок і днища ковша шлакові і металеві настили разом з шаром футеровки, після цього футеровку знову відновлюють, сушать і розігрівають. При капітальному ремонті стару футеровку повністю стінкою видаляють з ковша і замінюють новою.

Перед заливкою металу футеровку ковшів сушать і нагрівають до $700 - 750\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ковші відразу ж після прогріву заповнюють розплавом.

3.4 Організація роботи формувально-заливально-вибивального відділення

3.4.1 Організація роботи відділення

Напівформи виготовляють з використанням змішувачів, призначених для приготування хімічно твердіючих формувальних сумішей. У секцію перемішування подаються пісок, сполучні компоненти, які в результаті обертання вала з лопатками перемішуються, і виходить самотвердіюча суміш. Використовуються змішувачі безперервної дії T20SB. Змішувач керується за допомогою комп'ютерної програми, яка балансує дозування двох каталізаторів різної концентрації в залежності від температури піску і навколишнього середовища. Фото змішувача показано на рисунку 3.4.

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.03 ВР	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перед початком робіт на змішувачі робочий персонал перевіряє справність використовуваного обладнання та наявність необхідних матеріалів. Першу порцію суміші подають у підставлену ємність протягом 5÷7 секунд, оскільки вона зазвичай не відповідає встановленим параметрам за вмістом сполучних компонентів.

Змішувачем керують переміщенням рукава змішувача за допомогою важелів управління типу джойстик на панелі управління.

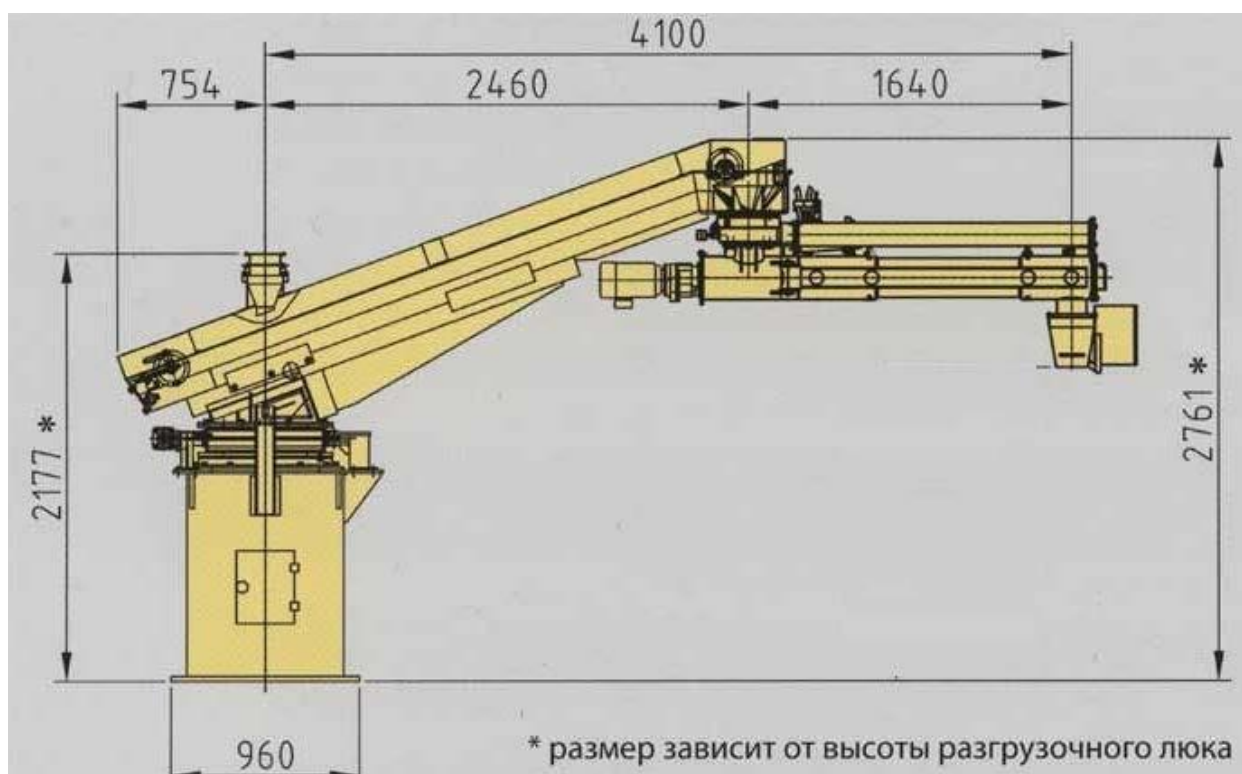
Всі матеріали, що застосовуються для виробництва форм, повинні пройти вхідний контроль. Для виготовлення форм крім формувальної суміші застосовують:

- клей формувальний;
- роздільне покриття на алюмінієвій основі, для фарбування модельного оснащення;

нейлонові шнури, призначені для відведення газів у ливарній формі;

- протипригарна фарба, для фарбування форм;

- стрижні;
- ущільнювальні шнури для ущільнення форм і стрижнів.



					КНУ.РБ.136.26.113с-03.03 ВР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Рисунок 3.4 - Змішувач формувальний T20SB

Модельне оснащення покривають розділовим складом.

На модельне оснащення встановити опоку по напрямних штирях.

Включають змішувач, починають формування. Суміш засипається безпосередньо на модель пошарово товщиною 250 - 300 мм. Після ущільнення першого шару прокладають нейлоновий шар. Після повного наповнення опоки сумішню надлишки суміші видаляють лінійкою по рівню верхнього ладу опоки.

Не більше ніж через 2 хв після видалення надлишків суміші виконати вентиляційні наколювання по всій поверхні напівформи. Наколювання проводити душником $\varnothing$ 5 – 6 мм. Наколювання проводити в шаховому порядку на відстані 95 – 100 мм один від одного. Потім оснащення відправляють на позицію затвердіння. Час набору міцності визначається для кожної форми індивідуально і становить від 2 до 6 годин.

Після затвердіння суміші заформовану напівформу відправляють на позицію протягування. Там за допомогою кантувального маніпулятора, підвішеного на напівкозловий кран знімають напівформу з модельного оснащення. Напівформу кантують і готують до фарбування.

Перед фарбуванням форму ретельно обдувають стисненим повітрям. Фарбування форм проводять протипригарним покриттям. Фарбуванню піддаються всі формоутворюючі поверхні, крім знакових частин.

Після фарбування напівформи подають у прохідну сушильну камеру.

Режими сушіння і витримки напівформи форми визначаються для кожного відливу індивідуально

Час між виготовленням напівформ і стрижнів і заливкою форм металом не повинен перевищувати 36 годин, так як вони втрачають необхідні технологічні властивості і набирають вологу.

На рівну підлогу на ділянці складання форм встановлюють підготовлену

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.03 ВР	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

напівформу низу. Стисненим повітрям обдувають ливник і поверхні форми від пилу, піску і залишків суміші. Прокладають ущільнювальний джгут по місцях установки знаків стрижнів. Встановлюють стрижні. Укладають на знаки стрижнів і навколо порожнини форми ущільнювальний джгут. Кантують напівформу верху поверхнею роз'єму вниз і встановлюють на підготовлену напівформу низу. Збірку форм проводять по напрямних штирях. При складанні направляюча і центруюча втулки верхньої напівформи повинні збігатися з відповідними втулками нижньої напівформи. Зібрану форму скріплюють по роз'єму скобами. Зібрані форми встановлюють на заливній плац.

З плавильного відділення на передавальному візку передають ківш з металом. Форми заливають металом і залишають в кесоні. Через 1-2 години форми розкріплюють, для збільшення податливості суміші і запобігання появи внутрішніх напружень у виливках. Ще через 4 - 6 годин верхню напівформу підривають і залишають до охолодження.

У процесі вибивання форм необхідно зруйнувати ливарну форму з метою звільнення виливків від опок і формувальної суміші. Щоб уникнути спотворення конфігурації, утворення тріщин та інших дефектів виливків, вибивання проводиться, тільки після завершення процесів кристалізації розплаву і формування виливків у формі. Виливки повинні охолоджуватися у формі до 400 °С, це необхідно, щоб уникнути псування механізмів вибивної решітки. Вибивання форм є однією з найважчих і шкідливих операцій у ливарному виробництві, оскільки супроводжується виділенням великої кількості пилу, тепла і газів. Тому механізація робіт з вибивання є першочерговим завданням. Основним видом обладнання для механізації вибивання виливків з форм є механічні вибивні решітки. Вибивна решітка являє собою решітчасту раму, що спирається на амортизатори і приводиться в коливальний рух механізмами різного типу.

Верхня частина вибивальної машини оснащена сталевною зварною решіткою і перфорованими листами для проходу піску, механічним вібратором з ексцентричними масами, які при обертанні викликають вібрацію машини.

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.03 ВР	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Привід вібраторів встановлений в прямку під машиною і складається з електродвигуна, карданної передачі і карданного з'єднання між двома вібраторами.

Схема вибивальної решітки показана на рисунку 3.5.

Вибивна решітка складається з двох секцій вантажопідйомністю по 40 тонн, показаних на рисунку 3.5. Робота секції виконується як разом, так і окремо.

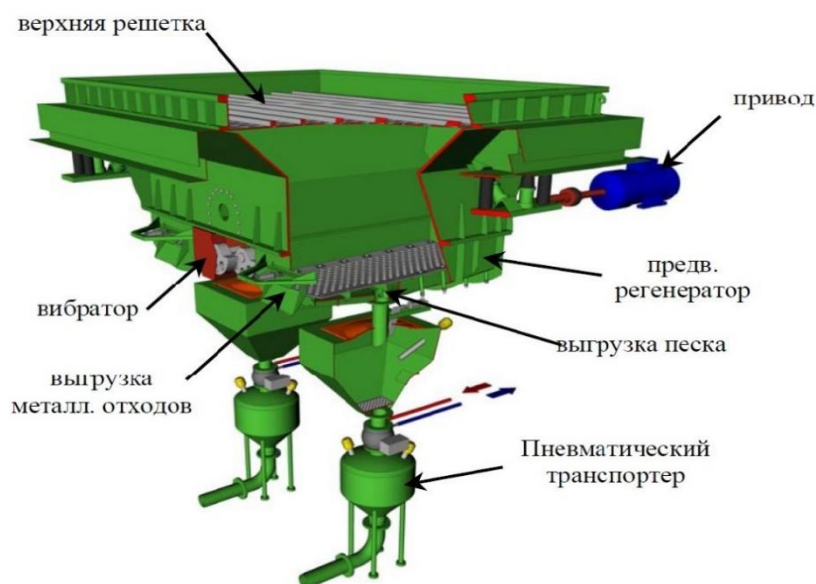
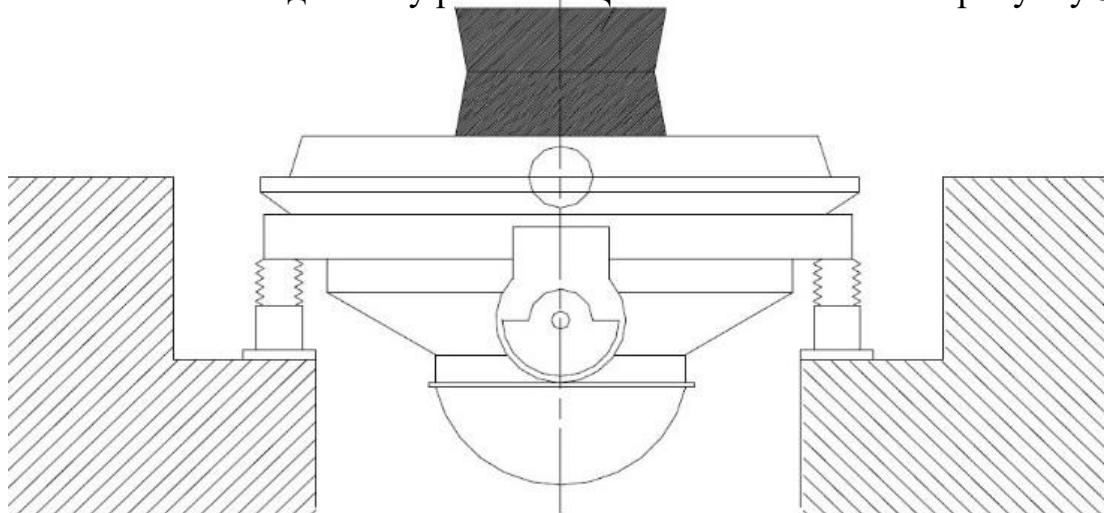


Рисунок 3.5 – Схема вибивної решітки

Вибивні форми розміщують на решітку, розташовуючи їх по центру кожної з решіток або на всю довжину решітки. Це наочно показано на рисунку 3.6



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КНУ.РБ.136.26.113с-03.03 ВР

Арк.

19

Рисунок 3.6 – Схема установки форм на вибивальну решітку Після вибивання вилив передають на наступний етап обробки.

3.4.2 Технологія виготовлення форм

У формувальному відділенні виконуються такі основні технологічні операції:

- формування;
- збірка форм;
- заливка форм;
- охолодження форм після заливки;
- вибивання виливків з форм.

Операції з виготовлення форм та їх вибивання є найбільш трудомісткими .

В даний час вибір технології та обладнання для отримання форм досить широкий, проте в даній роботі, що відповідає сучасним вимогам виробництва способом отримання середніх і великих виливків, я вибрав формування із застосуванням ХТС, реалізоване на формувальному обладнанні фірми IMF.

Формувальне відділення розбито на ділянки: формування, заливки форм, охолодження форм і вибивання.

Система – ALPHA-SET– сполучна смола холодного затвердіння, що використовує технологію, розроблену і запатентовану компанією BordenChemical з пониженим вмістом вільних фенолів і формальдегідів. Вміст сполучного 1,2-1,6 % від маси піску.

В якості сполучного застосовуємо органічну систему сполучних, яка

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.03 ВР	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволила:

- поліпшити екологічну ситуацію ливарного цеху (внутрішню/зовнішню);
- досягти чудових характеристик лиття, як при використанні «силікатних» сполучних;
- використати переваги існуючих «органічних» сполучних. Розроблені системи

холодного затвердіння забезпечують ряд переваг при виробництві ливарних форм і стрижнів:

- низький рівень запаху при виготовленні суміші;
- можливість застосування різних видів піску;
- низький рівень хімічної токсичності;
- легкість вилучення з форми;
- можливість очищення оснащення водою (в незатверділому стані);
- рівномірне застигання суміші по всьому об'єму.

Міцність ливарної форми і однорідність ущільнення забезпечують можливість більш точного відливання виробів відповідно до розрахункових розмірів. Однак ця жорсткість вимагає, щоб при виготовленні зразків моделей особливо задавалися формувальні ухили, тому що ці ухили повинні враховувати відносно негнучкий стан форми при протягуванні моделі. Розштовхування моделі не допускається, і з цієї причини рекомендується якомога ширше використовувати вібраційні пристрої з метою полегшення відділення моделі. Розділові склади відіграють важливу роль у зменшенні формувальних ухилів.

Для сталевих виливків при використанні подібних методів формування приймаю наступний склад формувальної суміші:

- кварцовий пісок 2К₂ О₂ 02 ГОСТ 2138-91 5%;
- регенерат 95

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.03 ВР	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

• фенолформальдегідна смола типу ТРА-4	0,9-1,5 понад 100
• затверджувач АСЕ (суміш ефірів)	20-25%
від смоли. Властивості суміші представлені нижче:	
• міцність при розтягуванні, МПа	0,4 –0,5;
• осипання, %	<0,13;
• газотворність, см ³ /г	до 14;
• живучість, хв.	20 –25;
• мінімальний час затвердіння в оснащенні, хв	20 –30

В якості сполучного в ливарному виробництві можуть застосовуватися різні матеріали, найбільшого поширення раніше мала глина, але в останні роки розроблено ряд піщано-смоляних сумішей, сполучною в яких є смола. У ливарному виробництві активно застосовуються наступні види смол

- карбамідфуранові смоли для лиття з чавуну або сталі застосовуються для виготовлення стрижневих і формувальних сумішей;
- синтетична ливарна смола, трансформована з формальдегіду і карбаміду за допомогою фурилового спирту, є відмінним сполучною ланкою для сумішей з піску і смоли, призначених для виготовлення стрижнів;
- фенолформальдегідні ливарні смоли підходять для використання при виготовленні виливків зі сталі або чавуну.

Серед переваг фенолформальдегідних смол можна виділити низьку вартість, доступність вихідної сировини, простоту технологічних процесів синтезу можливість поєднання в вихідному стані практично з усіма матеріалами тощо.

3.4.3 Розрахунок кількості обладнання формувальної ділянки

Розрахунок комплексу обладнання формувального:

$$N = \frac{42976 \cdot 1,05}{3723 \cdot 8} = 1,52 \text{ шт.}$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.03 ВР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Приймаємо до установки в цеху 2 комплекси формувального обладнання.

Таблиця 3.3 – Відомість виготовлення та складання форм

№ групи	Масова група, кг	№ виливка	Назва виливка	Внутрішній розмір опок, мм			Кількість виливків у формі, шт	Виготовляється форм на рік, шт	Об'єм суміші для однієї форми, м³				Об'єм формувальної суміші на річну програму, м³
				L	B	H			Об'єм опок	Об'єм залитого металу талу	Об'єм стрижнів	Об'єм ущільненої суміші	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0-100	1	Шків	1700	1000	540	4	856	0,918	0,0697	0,0013	0,84826	725,90
		2	Проводка	1700	1000	540	4	647	0,918	0,0785	0,0011	0,83954	542,79
Разом по групі								1502				1,68779	1268,69
2	100	3	Маточина	1700	1000	540	2	1859	0,918	0,0431	0,0017	0,87492	1626,50
		4	Корпус шпинделя	1700	1000	540	2	1630	0,918	0,0410	0,0113	0,87697	1429,58
		5	Проводка права	1700	1000	540	2	2228	0,918	0,0554	0,0080	0,86262	1921,54
		6	Кив гальмоной	1700	1000	540	2	2406	0,918	0,0574	0,0080	0,86056	2070,13
		7	Лінійка права	1700	1000	540	2	1394	0,918	0,0636	0,0012	0,85441	1190,94
		8	Корпус підшипника	1700	1000	540	1	3843	0,918	0,0328	0,0019	0,88518	3401,74
Разом по групі								13359				5,2146	11640,44

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КНУ.РБ.136.26.113с-03.03 ВР

Арк.

23

Закінчення таблиці 3.3

№ групи	Масова група, кг	№ виливка	Назва виливка	Внутрішній розмір опок, мм			Кількість виливків у формі, шт	Виготовляється форм на рік, шт	Об'єм суміші для однієї форми, м³				Об'єм формувальної суміші на річну програму, м³	
				L	B	H			Об'єм опок	Об'єм залитого металу талу	Об'єм стрижнів	Об'єм ущільненої суміші		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
3	200-500	9	Лінійка ліва	1800	1200	600	2	1408	1,296	0,0904	0,0200	1,20562	1696,93	
		10	Втулка	1800	1200	600	2	1062	1,296	0,1231	0,0120	1,17292	1245,73	
		11	Кільце	180	1200	60	2	1065	1,296	0,1308	0,0210	1,16523	1240,62	
		12	Кільце	180	1200	60	2	1808	1,296	0,1308	0,0164	1,16523	2106,24	
		13	Колесо зубчасте	1800	1200	600	2	1031	1,296	0,1327	0,0356	1,16331	1198,88	
		14	Колесо	180	1200	600	2	2249	1,296	0,1327	0,0020	1,16331	2616,40	
		15	Напівмуфта	1800	1200	600	2	2260	1,296	0,1385	0,0536	1,15754	2616,18	
		16	Муфта	1800	1200	600	2	1379	1,296	0,1385	0,0370	1,15754	1596,45	
		17	Втулка	1800	1200	600	1	2253	1,296	0,0827	0,0000	1,21331	2733,95	
		18	Проводка	1800	1200	600	1	4050	1,296	0,0904	0,0400	1,20562	4882,56	
Разом по групі							18564				11,7696	21933,94		
4	500-1000	19	Кривошип	2200	2000	800	1	5132	3,520	0,0962	0,0450	3,42385	17572,55	
		20	Муфта	220	2000	800	1	4418	3,520	0,1442	0,0135	3,37577	14915,50	
Разом по групі							9551					6,7996	32488,05	
Всього								42976					25,47169	67331,11

$$K = \frac{1,52}{2} = 0,76.$$

Коефіцієнт завантаження задовольняє нерівності: $0,7 < K_3 < 0,9$.

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.03 ВР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

3.5 Стрижневе відділення

Організація роботи стрижневого відділення, вибір методу, яким виготовляють стрижні, залежить здебільшого від характеру лиття.

Вибір технологічних процесів і обладнання для виготовлення стрижнів проводиться після розподілу всієї номенклатури за розмірами і масою. При цьому враховується серійність виробництва, технологія виготовлення форм для окремих потоків виливків, можливість використання різних видів обладнання і стрижневих сумішей. Після визначення кількості та потужності технологічних потоків стрижні поділяються на групи, для яких вибираються технологічні процеси та обладнання.

Для виготовлення стрижнів використовується β -SET процес, який базується на використанні в якості сполучних матеріалів синтетичних смол, здатних тверднути при кімнатній температурі за рахунок продувки метилформіатом.

Дана суміш забезпечує хорошу якість литих поверхонь, відсутність азоту і сірки в сполучному, незначне розширення суміші, більш легку вибиваність і можливість досягнення екологічно сприятливих умов праці.

Склад стрижневої суміші, %:

- кварцовий пісок 2K₂ O₂ 02 ГОСТ 2138-91 100;
- водорозчинна фенольна смола (понад 100%) 1,5-2,0.

Після ущільнення стрижень продувають сумішшю повітря з порами рідкого ефіра – метилформіату.

Для виготовлення стрижнів передбачена окрема ділянка, що включає автоматичну стрижневу машину PRACTICOR-HV80 фірми IMF із застосуванням β -SET процесу.

Технічні характеристики стрижневої машини PRACTICOR-HV80:

- об'єм піскоструминної головки, л 80;
 - тривалість циклу, сек 65
- продуктивність зйомок/год 20-40

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.03 ВР	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для боротьби з пригаркою при литті в піщані форми наносять на поверхню форми протипригарне покриття. Протипригарні фарби являють собою суспензії, що складаються з порошкоподібного вогнетривкого наповнювача, сполучного і стабілізатора, розподілених в дисперсному середовищі – воді або органічній рідині. Фарба повинна мати високу вогнетривкість, хімічну нейтральність по відношенню до розплаву і його оксидів, високу міцність зчеплення з поверхнею форми. Необхідно, щоб шар фарби після висихання був негігроскопічним, негасотворним, зберігав міцність до утворення у виливку достатньо жорсткої твердої кірки.

Стрижні за β -set процесом і форми, виготовлені за Alpfa-set процесом, можна фарбувати водними і спиртовими протипригарними фарбами.

Для виробництва даного виливка застосовується протипригарне покриття наступного складу:

- цирконієвий концентрат, % 58;
- полівінілбутираль, % 1,5;
- спирт етиловий, % 40,5

Основою для розрахунку стрижневого відділення є відомість виготовлення стрижнів, яка розраховується на підставі точної виробничої програми.

Розрахункова кількість стрижневих автоматів визначається за формулою (3.7):

$$N_{\text{ст}} = \frac{70317 \cdot 1,1}{3715 \cdot 25} = 0,83$$

Приймаємо один автомат стрижневий.

Фактична величина коефіцієнта завантаження перевіряється за формулою (3.8)

$$K = \frac{0,83}{1} = 0,83.$$

Практично всі стрижні піддаються сушінню для поліпшення газопроникності та міцності. Крім того, для кращої міцності в них

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.03 ВР	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

заформовують підсилювальну арматуру, що їх утримує. Для поліпшення газовідведення в них роблять вентиляційні канали.

Стрижні встановлюють у формі здебільшого на знаках. Знаки на моделі, що дають відповідні відбитки у формі, повинні бути дещо більших розмірів, ніж знаки на стрижні, щоб між стрижнем і формою у знаках утворилися невеликі зазори. Наявність цих зазорів дає можливість уникнути обтиску форми стрижнем і її можливого руйнування.

При визначенні величини площі стрижневого відділення враховують, що в цехах масового і багатосерійного виробництва з використанням автоматичних і механізованих ліній площі таких відділень складають 50...100 % від площі формувального відділення.

Таблиця 3.4 – Відомість виготовлення стрижнів

№ групи	Масова група, кг	№ виливка	Назва виливка	№ стрижня Кількість стрижнів	Кількість стрижнів даного найменування на 1 вилив шт	Об'єм стрижня, м3	Кількість виливків на річну програму з урахуванням браку	Кількість стрижнів на програму, шт	Кількість гнізд у стрижневому ящику, шт	Кількість знімків, шт	Обсяг стрижневої суміші на річну програму, м3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0-100	1	Шків	1	1	0,0013	3423	3423	10	342,30	4,45
		2	Проводка	1	1	0,00113	2586,15	2586,15	10	258,62	2,92
Разом по групі										600,92	7,37
2	100-200	3	Маточина	1	1	0,0017	3718,05	3718,05	10	371,81	6,32
		4	Корпус шпинделя	1	1	0,0113	3260,25	3260,25	8	407,53	36,68
		5	Проводка права	1	1	0,0080	4455,15	4455,15	4	1113,79	35,64
		6	Шків тормозний	1	1	0,0080	4811,1	4811,1	4	1202,78	38,49
		7	Лінійка права	1	2	0,0012	2787,75	5575,5	10	557,55	6,41
		8	Корпус підшипника	1	1	0,0019	3843	3843	10	384,30	7,21
Разом по групі										4037,75	130,75

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.03 ВР	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Закінчення таблиці 3.4

№ групи	Масова група, кг	№ виливка	Назва виливка	№ стрижня	Кількість стрижнів даного найменування на 1 вилив. шт	Об'єм стрижня, м3	Кількість виливів на річну програму з урахуванням браку	Кількість стрижнів на програму, шт	Кількість гнізд у стрижневому ящику, шт	Кількість знімків, шт	Обсяг стрижневої суміші на річну програму, м3	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
3	200-500	9	Лінійка лва	1	1	0,02	2815,05	2815,05	4	703,76	56,30	
		10	Втулка	1	1	0,012	2124,15	2124,15	8	265,52	25,49	
		11	Кільце	1	1	0,018	2129,4	2129,4	4	532,35	38,33	
				2	1	0,002	2129,4	2129,4	10	212,94	4,26	
				3	2	0,001	2129,4	4258,8	10	425,88	4,26	
		12	Кільце	1	1	0,015	3615,15	3615,15	4	903,79	54,23	
				2	2	0,0014	3615,15	7230,3	10	723,03	10,12	
		13	Колесо зубчасте часте	1	1	0,02	2253,3	2253,3	4	563,3	45,07	
				2	1	0,014	2253,3	2253,3	4	563,3	31,55	
				3	2	0,0016	2253,3	4506,6	10	450,66	7,21	
		14	Колесо	1	1	0,002	4049,85	4049,85	10	404,99	8,10	
		15	Напівмуфта	1	1	0,03	30824,85	30824,85	2	15412,43	924,75	
				2	2	0,0016	30824,85	61649,7	10	6164,97	98,64	
				3	1	0,01	30824,85	30824,85	4	7706,21	308,25	
				4	1	0,012	30824,85	30824,85	4	7706,21	369,90	
200-500	16	Муфта	1	1	0,018	5132,4	5132,4	2	2566,20	92,38		
			2	1	0,004	5132,4	5132,4	4	1283,10	20,53		
			3	2	0,011	5132,4	10264,8	2	5132,40	112,91		
			4	2	0,004	5132,4	10264,8	4	2566,20	41,06		
	17	Втулка	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00		
	18	Проводка	1	1	0,04	4049,85	4049,85	1	4049,85	161,99		
	Разом по групі								58337,13	2415,32		
	4	500 1000	19	Кривошип	1	1	0,045	5132,4	5132,4	1	5132,40	230,96
			20	Муфта	1	1	0,0135	4418,4	4418,4	2	2209,20	59,65
	Разом по групі									7341,60	290,61	
Всього										70317,40	2844,04	

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.03 ВР					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						28

Стрижні укладають на стелажі і подають на склад стрижнів, звідки їх електрокарами передають на ділянку формування.

3.6 Термообрубне відділення

У термообрубному відділенні виконуються наступні операції: очищення виливків від залишків суміші і стрижнів, відділення ливників, термообробка (якщо передбачена технологічним процесом), заварювання дефектів, зачищення виливків.

Дробеметна установка НРС 1400х2200 призначена для дробеметного очищення лиття та металевих конструкцій складної геометричної форми і значної ваги. Додатково, після автоматичної робочої камери встановлена камера ручної доробки, яка використовується для доочищення виробів у разі недостатнього рівня обробки окремого виробу. Очищення поверхонь оброблюваних виробів відбувається в центральній частині установки сталевим дробом, який викидається на оброблювану поверхню зі швидкістю 75 м/с. Дробеметна камера виготовлена з листів марганцевої сталі і покрита зсередини додатковими екрануючими пластинами в місцях попадання дроби. Екрануючі пластини легко замінюються в разі необхідності. Підлога дробеметної камери покрита сіткою, яка захищає від попадання в систему шнекових транспортерів великих частинок. Щілинний отвір у стелі камери, вздовж якого переміщуються гаки з підвішеним вантажем, закривається гумовою завісою і щітками, що запобігають вильоту дроби з машини під час дробеметної обробки.

Камера автоматичної дробеметної обробки і камера ручного дробеструйного очищення з двох сторін закриваються дверима з пневматичними приводами, які автоматично блокуються при відкриванні для захисту.

Технічні характеристики:

Максимальні габарити виробів

на одному гаку, мм

1400 (діаметр) 2200

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.03 ВР	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(ширина); Максимальна вага виробів

на одному гачку, кг	2000
Загальна кількість дробеметних турбін, шт.	6
Потужність однієї турбіни, кВт	22
Витрата сталевого дробу, кг/хв	6 x 320;
Тип повітряного фільтра	CDR 16;
Продуктивність:	
повітряного фільтра, м ³ /год	19500;
Рівень залишкового пилю, мг/м ³	3
Тип конвеєра	підвісний;
Кількість підвісок	8
Загальна споживана потужність, кВт	180
Розрахункову кількість обладнання визначимо за формулою (3.7):	

$$N = \frac{31117,7 \cdot 1,1}{3719 \cdot 3,5} = 2,63.$$

Фактична величина коефіцієнта завантаження перевіряється за формулою (3.8):

$$K_{\text{ф}} = \frac{2,63}{3} = 0,88.$$

Таким чином, приймаємо в цеху три дробеметні установки.

Для термічної обробки застосовуються печі термічні камерні з викатним подом. Максимальна робоча температура 1200 °С. До термічних печей у порівнянні з нагрівальними висувають більш жорсткі вимоги щодо рівномірності температури і на етапі нагрівання – витримки і на етапі охолодження садки печі.

Технічні характеристики термічної печі фірми «BOSIO»:

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.03 ВР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

- розміри робочої камери, мм
5000x3000x4000;
- температура max, °C 1200;
- продуктивність т/год 4

Розрахункову кількість обладнання визначимо за формулою (3.7).

$$N = \frac{20475 \cdot 1,1}{4 \cdot 5928} = 1,65.$$

Фактична величина коефіцієнта завантаження перевіряється за формулою (3.8):

$$K_{\Psi} = \frac{1,66}{2} = 0,83.$$

Для захисту сталі від негативного впливу пічних газів у робочий простір печей вводять захисну або контрольовану атмосферу (середовище). Склад такого середовища повинен бути нейтральним по відношенню до поверхні сталевого виробу, тобто процеси знеуглецювання та окислення практично будуть відсутні. Фізико-хімічна сутність процесів взаємодії контрольованих атмосфер з металами визначається в основному термодинамічними і частково кінетичними закономірностями. При виборі складу захисної атмосфери визначальним є створення таких умов взаємодії газів, при яких термодинамічно можливий тільки процес відновлення оксидів. Завдання, таким чином, зводиться до визначення рівноважного складу контрольованих атмосфер залежно від температури нагрівання та знаходження умов окислення і відновлення оксидів.

При виборі складу захисного або нейтрального середовища нагрівання крім складу необхідно враховувати температуру процесу. Атмосфери, що містять понад 4% горючих компонентів (оксиди вуглецю, водню) вибухонебезпечні, і їх можна використовувати тільки при температурах не нижче 760 °С. При більш низьких температурах в печі може утворитися гримуча суміш і достатньо іскри, щоб викликати вибух. Атмосфери з сумарним

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.03 ВР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

вмістом горючих газів менше 4% безпечні при будь-яких температурах і кількостях повітря в суміші і тому їх можна застосовувати і для низькотемпературних видів термічної обробки (відпуск сталі).

Після операцій очищення і відливання подаються на дільницю контролю.

Розрізняють три види контролю: візуальний; контроль геометрії; хімічного складу і структури. Візуальний 100%-ний огляд виливків з метою виявлення дефектів. Контроль геометрії – розмітка перших (експериментальних) і вибіркових виливків з партії.

Контроль хімічного складу і структури – взяття проб хімічного аналізу за, визначення структури сплавів і механічних властивостей, що виконуються в лабораторії.

За результатами контролю всі виливки поділяють на 3 групи:

- придатні виливки, відправляють на ґрунтовку, упаковку і відвантаження замовнику
- виливки з виправним браком, відправляють на дільницю виправлення дефектів.
- браковані виливки, відправляють в ізолятор браку, а потім на переплав.

Процес ґрунтування виливків складається з наступних операцій: – обдування стисненим

стисненим повітрям пилу з поверхні виливків; – промивання і знежирення поверхні виливків бензином-розчинником або лужним розчином; – нанесення ґрунту на поверхню виливка; – сушіння ґрунтувального шару.

Обдування виливків стисненим повітрям проводиться шлангом з наконечником.

Промивання виконується в спеціальних мийних машинах. Нанесення ґрунту на поверхні виливків проводять у фарбувальних камерах прохідного типу. Ґрунт наносять на поверхні виливків шаром товщиною 20 – 30 мк після підготовки поверхні до ґрунтування. Ґрунт на поверхні виливків наносять пневматичним розпиленням. Сутність цього методу полягає в тому, що ґрунт за допомогою струменя стисненого повітря перетворюється в тонку дисперсню

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.03 ВР	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

масу, яка наноситься на поверхню виливків. Пневматичне розпилення виконують в основному з підігрівом ґрунту, при якому в'язкість і поверхневий натяг ґрунту знижуються. Це дозволяє розпилювати ґрунт з підвищеним вмістом сухого залишку. Таким чином зменшується витрата розчинників і підвищується продуктивність праці за рахунок скорочення кількості нанесених шарів.

Пневматичне розпилення ґрунту застосовують при ґрунтуванні виливків різних габаритів при серійному виробництві.

Сушіння ґрунтувального шару проводиться після нанесення ґрунтовки. При висиханні лакофарбового покриття рідкий шар покриття перетворюється на тверду захисну плівку. Процес висихання ґрунтувального шару протікає довго при температурі 18 – 23 °С. Для прискорення висихання застосовують штучну сушку в спеціальних камерних сушарках. Температура в сушарках 70 – 110 °С. При такій температурі час сушіння скорочується до 90 – 35 хв

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.03 ВР	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.АНАЛІЗ ПЕРІОДІВ ПЛАВЛЕННЯ СТАЛІ В ДУГОВИХ ПЕЧАХ

Основні завдання періоду плавлення шихти:

- забезпечення швидкого розплавлення завантажених у піч матеріалів;
- своєчасне наведення шлаку, що захищає метал від охолодження, окислення, науглецювання електродами, а також полегшує видалення з металу небажаних домішок;
- захист підшови від перегріву в момент наближення до неї електродів.

Після запалювання електричних дуг шихта під електродами оплавляється, і рідкий метал стікає та накопичується в центральній, найнижчій частині підшови. У міру розплавлення шихти електроди автоматично опускаються, проплавляючи в шихті колодязі, діаметр яких значно більший за діаметр електродів (рис. 2.1).

Рух електродів вниз відбувається доти, доки електричні дуги не стикнуться з рідким металом. У міру проходження електродів через шихту рівень металу в колодязях підвищується, і електроди піднімаються вгору, оскільки автоматичні регулятори підтримують довжину дуги постійною. Коли електроди доходять до середнього положення, шихта в середині ванни виявляється майже повністю розплавленою, нерозплавлений скрап залишається лише на схилах печі. Для прискорення розплавлення шматки шихти на схилах зіштовхують гребками або підрізають киснем.

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.04 АП		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	АНАЛІЗ ПЕРІОДІВ ПЛАВЛЕННЯ СТАЛІ В ДУГОВИХ ПЕЧАХ		
Розроб.		Бровко О.О.					
Перевір.		Кассім Д.О.					
Н. Контр.		Кассім Д.О.					
Затверд.		Бабошко Д.Ю.					
					Літ.	Арк.	Акрушів
						1	12
					МТ-22-1		

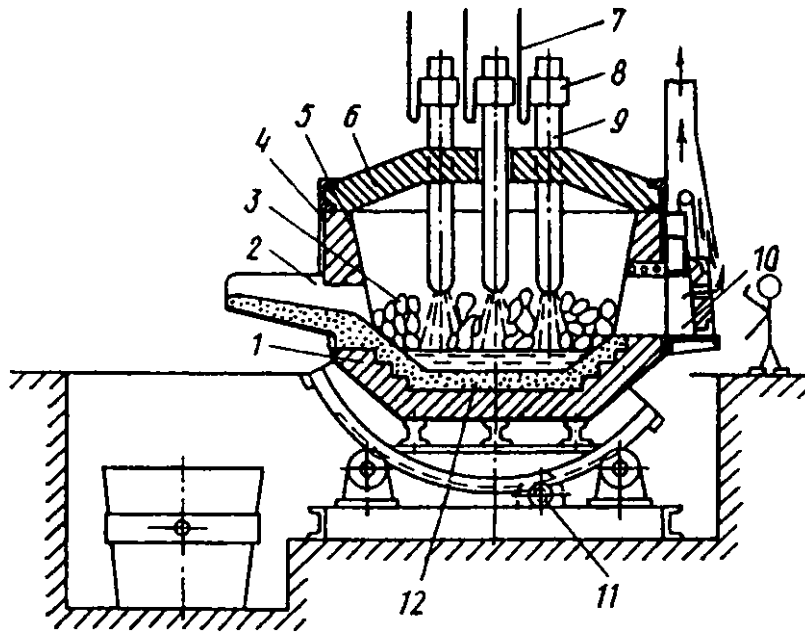


Рис. 4.1. Електродугова піч (період плавлення):

1 — футеровка; 2 — жолоб; 3 — металева шихта; 4 — кожух; 5 — стінка; 6 — склепіння; 7 - кабелі; 8 - електродотримачі; 9 - електроди; 10 - робоче вікно; 11 - механізм нахилу печі; 12 - підлога; 13 - розливний ковш; 14 - робоча площадка

Період плавлення шихти становить понад половину тривалості всієї плавки, і на цьому етапі витрачається 60-80% енергії, що споживається в процесі плавки. Тому на продуктивність печі, питомі витрати електроенергії та електродів, а отже, і на собівартість сталі значною мірою вь вибір оптимального електричного режиму періоду плавлення, а також вміле здійснення сталеваром цього процесу.

Кількість і склад природного шлаку періоду плавлення залежить від складу та чистоти шихтових матеріалів, розміру шматків і ступеня окислення, режиму розплавлення шихти, стану футеровки підосви та відкосів. Шлак, що утворюється, періодично оновлюють, зливаючи його в шлаковню самопливом через поріг робочого вікна. Приблизний склад шлаку після розплавлення шихти коливається в таких межах: 35–45 % CaO; 15-25% 10-14% М^А; 5-10% MnO; 4-7% Al₂ O₃ ; 4-10% FeO; 1^А1% Fe₂ O₃ ; 0,2-0,5% P₂ O₅ .

На плавках з окисленням попередню пробу на вміст вуглецю відбирають за наявності нерозплавленої шихти (10-15%). При виплавці сталі методом переплаву склад шлакоутворювачів, що додаються в піч, обирають з урахуванням використовуваних шихтових матеріалів, марки сталі та її призначення. Так, при виплавці легованої низьковуглецевої сталі методом переплаву в плавильну зону печі (колодязі) для запобігання науглецюванню закладають шлакову суміш з вапна, плавикового шпату та шамоту (3:1:1) у кількості 1,0–1,5 % від маси завантаження. У ряді випадків у завалку додають руду (агломерат).

Основна вимога до проведення періоду розплавлення передбачає забезпечення мінімальної його тривалості при можливо низькій витраті електроенергії та високій стійкості футеровки печі

4.1. Окислювальний період

4.1.1 Шлаковий і температурний режим

Основними завданнями окислювального періоду плавки є зниження вмісту в металі фосфору до рівня, що не перевищує 0,015%, вуглецю до заданих меж, водню, азоту та неметалевих включень, а також нагрівання металу до температури випуску.

При проведенні плавки з окисленням шихту розраховують виходячи з отримання після розплавлення вмісту вуглецю у ванні на 0,4-0,5% вище нижньої межі заданого складу готової сталі (для великотоннажних печей - на 0,2%/о) Після відбору проби металу після розплавлення (температура ванни — 1480–1520 °С) у піч завантажують суху залізну руду (агломерат) у кількості 0,7–1,0 % від маси завантаження і через 5–10 хв знімають, не вимикаючи струм, близько 3 Л від загальної кількості шлаку. Збивання шлаку виконують дерев'яними гребками з товстих дощок з просвердленим по центру отвором для

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.04 АП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

насадження на залізні штирі. Для полегшення збивання шлаку піч нахиляють у бік завантажувального вікна.

Оновивши шлак, засипають у піч свіжообпалене вапно та руду (агломерат) у кількості 1,0-1,5% від маси завантаження (за необхідності боксит, плавиковий шпат), потім нагрівають метал до температури, при якій він повністю зливається з ошлакованої ложки. Температура ванни протягом окислювального періоду повинна бути достатньо високою для ефективного в нього протікання окислення вуглецю та інтенсивного кипіння ванни, що забезпечує необхідне зниження вмісту газів і неметалевих включень у сталі. Періодично відбирають проби на вміст вуглецю та домішок у металі.

При нагріванні металу в окислювальний період враховують зниження вмісту вуглецю та підвищення тугоплавкості розплаву. До кінця окислювального періоду метал нагрівають на 120-130 °С вище температури ліквідусу або на 20-30 °С вище температури випуску. Для вуглецевих інструментальних і конструкційних сталей ця температура коливається в межах 1590-1605 °С і 1620-1640 °С відповідно і залежить від вмісту вуглецю та легуючих елементів у металі

4.1.2. Особливості окислення ванни твердими окислювачами та газоподібним киснем

Залізну руду (агломерат) вводять у піч у вигляді шматків розміром до 150 мм після утворення рідкорухливого шлаку та відповідного нагрівання металу і додають порціями не більше 1% від маси завантаження, одночасно нахиляючи піч у бік робочого вікна. Встановлено, що для окислення 0,01% С на 1 т рідкого металу необхідно додати 0,6–1,5 кг залізної руди. Після додавання кожної порції окислювача ванну витримують і забезпечують активне кипіння металу та шлаку. У процесі окислення в піч завантажують одночасно з рудою вапно. За кількістю перші порції вапна становлять до 50% від маси руди. Надалі кількість

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.04 АП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

доданого вапна зменшують залежно від плинності шлаку та вмісту в металі фосфору.

Додавання руди до розігрітого металу спричиняє інтенсивне кипіння ванни завдяки бульбашкам оксиду вуглецю. Під впливом газів шлак спінюється, його рівень підвищується, і він самопливом стікає у шлакозбірник через поріг робочого вікна. Спуск шлаку та його часте оновлення забезпечують низький вміст фосфору в металі. У процесі окислення ванну перемішують металевими гребками, вимірюють її температуру занурювальною термopарою та відбирають проби металу для визначення вмісту вуглецю, кремнію, марганцю та інших елементів. За даними хімічного аналізу контролюють хід окислювальних реакцій. Нові порції окислювача додають, коли інтенсивність кипіння металу починає слабшати. Введення руди в холодний метал неприпустимо. Надлишок у ванні руди, що не вступила в реакцію, може викликати при її нагріванні бурхливе закипання та викид металу і шлаку через поріг робочого вікна на робочу площадку.

Під час кипіння за рахунок залізної руди вигорає близько 0,3-0,5% C із середньою швидкістю 0,3-0,5% [C]/год на початку окислювального періоду. При цьому надходження кисню в метал і швидкість зневуглицювання ванни визначаються вмістом (FeO), його в'язкістю та ступенем нагрівання металу.

Після додавання останньої порції руди, коли вміст вуглецю у ванні досягне нижньої межі заданого складу сталі, а концентрація фосфору знизиться до рівня, що не перевищує 0,01%, значну частину шлаку знімають гребками без відключення печі, і ванну витримують протягом 3–8 хв. Це сприяє додатковій взаємодії розчиненого в металі кисню з вуглецем і вирівнюванню концентрації (FeO) і [TeO] у напрямку рівноваги.

Загальна тривалість окислювального періоду (від початку додавання руди до зняття шлаку) становить 40-60 хв. Найчастіше для окислення ванни використовують газоподібний кисень і вводять його в метал під тиском 8-10 атм через залізні трубки та склепінчасту фурму. Трубки через робоче вікно занурюють у метал на 100–200 мм, переміщують у горизонтальному напрямку

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.04 АП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

та просувають у піч у міру їхнього згоряння. Для підвищення стійкості трубки захищають шамотними кільцями. Продуванням ванни киснем протягом 1 хв підвищують її температуру приблизно на 8-10 °С, або на 1,8-2 °С на 0,01% вигорілого вуглецю. Застосування газоподібного кисню замість залізної руди скорочує окислювальний період до 30-50 хв і при тривалості продувки 10-15 хв підвищує швидкість окислення вуглецю в 3-5 разів.

Шлак окислювального періоду, як правило, знімають повністю при температурі ванни, що дещо перевищує температуру випуску. При цьому вміст вуглецю в металі на 0,02-0,10% менше нижньої межі для низьковуглецевої сталі і на 0,10-0,20% - для високо- та середньовуглецевих сталей, вміст фосфору менше 0,01%. Операцію зняття окислювального шлаку здійснюють максимально швидко.

4.1.3. Умови видалення домішок в окислювальний період

Високе нагрівання металу гальмує реакцію дефосфорації, тому фосфор видаляють з металу в основному з окислювальним шлаком наприкінці плавлення металошихти, що містить добавки вапна та залізної руди. Частково фосфор видаляють з металу під час окислення вуглецю, тобто при достатньо нагрітій ванні. При цьому поєднання реакцій окислення фосфору та вуглецю досягається безперервним оновленням рідкорухливого високоосновного шлаку ($\text{CaO}/\text{SiO}_2 > 2,5$) з підвищеним вмістом (РeО). Кремній за час плавлення майже повністю окислюється. Марганець (за відсутності руди в завалці) окислюється під час розплавлення шихти на 50–60 %. Підвищений вміст вуглецю в шихті зменшує кількість розчиненого кисню в металі після розплавлення та знижує випаровування марганцю. Для маловуглецевих сталей марганець окислюється на 70-80%. Висока температура металу та основність шлаку в окислювальний період перешкоджають окисленню марганцю. При зниженому вмісті оксидів заліза в основному шлаку та досить високій температурі металу марганець може відновлюватися зі шлаку та переходити в розплав.

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.04 АП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Сірка протягом окислювального періоду плавки мало видаляється з металу. Однак додаванням у завалку вапна та створенням у процесі розплавлення шихти в окислювальний період високоосновних шлаків досягають видалення сірки з металу на 30-40%. В окислювальний період, особливо в процесі кипіння ванни, з металу видаляються водень, азот і неметалеві включення.

У процесі плавлення метал збагачується газами за рахунок поглинання їх з атмосфери печі. В результаті вміст водню у ванні до кінця розплавлення порівняно великий за рахунок вологи шихтових матеріалів, гідратної вологи гашеного вапна, що розклалося на повітрі, та вологи повітря, що проникає у простір печі. Під дією електричних дуг азот дисоціює, і метал поблизу них жадібно поглинає атомарний азот. Видаленню газів з металу в окислювальний період сприяє низький парціальний тиск водню, водяної пари та азоту в атмосфері печі.

Зі збільшенням швидкості знеуглецювання металу та підвищенням інтенсивності кипіння ванни, а також зниженням парціального тиску водню та азоту в робочому просторі печі вміст водню в металі зменшується з 6-8 до 3,5-5,0 см³ /100 г, а азоту — з 0,015–0,018 до 0,007–0,009 %.

Нетривале, але інтенсивне кипіння металу при продуванні ванни киснем забезпечує необхідну дегазацію розплаву. Більш низького вмісту азоту в металі досягають додаванням титану, цирконію та інших елементів, що утворюють з азотом нітриди, які частково спливають у шлак, частково залишаються в металі у вигляді включень.

До кінця періоду розплавлення шихти в результаті окислення алюмінію, кремнію, марганцю, хрому та інших елементів, присутніх у розплаві, утворюються неметалеві включення різного хімічного складу, які через малу величину повільно спливають з металу у шлак. Кипіння ванни в окислювальний період сприяє їх укрупненню та спливанню до поверхні розділу «метал-шлак», де вони поглинаються шлаком. Бульбашки СО, що виникають біля підшови печі, забирають за собою включення і виводять їх у зону шлаку. Кипіння ванни

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.04 АП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

відіграє істотну роль у перемішуванні та вирівнюванні хімічного складу і температури металу.

4.2. Відновний період (доведення плавки)

4.2.1. Осадове та дифузійне розкислення сталі

У відновлювальний період розкислення металу здійснюють шляхом додавання шматкових речовин-розкислювачів безпосередньо в метал (*осадове розкислення*) або порошкоподібних матеріалів на шлак для зниження в ньому вмісту FeO (*дифузійне розкислення*).

Реакції розкислення металу шматковим феромарганцем, феросиліцієм, алюмінієм протікають у глибині розплаву і залежать від щільності розкислювача та розмірів його шматків. Додаванням порошкоподібних розкислювачів до шлаку знижують вміст FeO в ньому та в металі, тобто використовують закон розподілу кисню між двома рідинами, що не змішуються, — металом і шлаком. У цьому випадку при зменшенні вмісту (FeO) відповідна кількість кисню перейде з металу до шлаку. При зниженні вмісту (FeO) до 0,5% і менше отримують метал із вмістом O_2 менше 0,005%.

Дифузійне розкислення дозволяє отримати метал з мінімальним забрудненням продуктами реакції — неметалевими включеннями, особливо у разі розкислення шлаку вуглецем, оскільки реакції відбуваються переважно в шлаку та на поверхні розділу «метал-шлак». Однак тривала витримка металу під розкисленим шлаком знижує продуктивність печі та підвищує ймовірність насичення розплаву газами.

Як розкислювачі шлаку застосовують порошкоподібні вуглецеві речовини, феросиліцій, алюміній, силікокальцій, карбід кальцію та ін. Достатньо повного розкислення металу при використанні одного вуглецю неможливо досягти, тому застосовують більш сильні розкислювачі. Переважно використовують порошки феросиліцію, силікокальцію та алюмінію. Шлак

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.04 АП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

відновного періоду масою 3-4% від маси металу наводять у піч після зняття окислювального шлаку додаванням 15-25 кг/т вапна, 2-5 кг/т бою шамоту та такої ж кількості плавикового шпату. Додаванням до рідкого шлаку порошкоподібних розкислювачів у печах малої та середньої місткості з досить хорошим ущільненням робочого простору (сводові отвори, заслінка робочого вікна) та відповідним обмеженням потужності газовідсмоктувача отримують так звані білі карбідні та слабокарбідні шлаки. Білий шлак отримують додаванням до шлакового розплаву суміші з вапна, шпату та коксу у співвідношенні 2:1:1, потім тільки порошку коксу до повітління (до 1,5 кг/т) і далі меленого феросиліцію (до 1,0 кг/т) з додаванням перед випуском плавки порошку алюмінію (до 0,8 кг/т). Зразок розкисненого таким чином шлаку після охолодження розсипається на білий порошок. Приблизний склад білого шлаку наступний, %: 55-65 CaO; 10-20 SiO₂; до 1,0 FeO; 0,4 MnO; 12-16 MgO; 2-3 Al₂O₃; 5-10 CaP₂; до 1,0 CaB; до 0,2 CaC₂.

Карбідний шлак відрізняється від білого великим вмістом карбиду кальцію (2-4%). Необхідною умовою для його утворення в шлаку в зоні дуг є додавання вапна, плавикового шпату та коксу у співвідношенні 3:1:1, більш інтенсивне розкислення шлакового розплаву коксом, достатня герметизація та високий ступінь нагрівання робочого простору печі. Стимулює утворення карбідного шлаку розкислення шлаку порошком алюмінію. При охолодженні зразок карбідного шлаку розсипається в сірий порошок, і при змочуванні водою виділяє ацетилен. Карбідний шлак як розкислювач використовують рідко, в основному при виплавці високовуглецевих сталей. При витримці металу під карбідним шлаком протягом 40-60 хв метал науглецьовується приблизно на 0,1 %; слабокарбідний шлак (до 1 % CaC₂) науглецьовує метал приблизно на 0,03-0,06 %.

У печах малої та середньої місткості у відновний період плавки рівноваги між металом і шлаком не досягають. Тривала витримка ванни (понад 1 год 30 хв) під відновним шлаком, сталість складу, який підтримують додаванням розкислювальної суміші та частковим зливанням через поріг робочого вікна,

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.04 АП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

дозволяють знизити вміст у металі кисню та сірки відповідно до 0,005–0,007 % та 0,010–0,015 %.

4.2.2. Десульфуріяція сталі

На видалення сірки з металу в електропечі у відновлювальний період істотний вплив мають:

- розкисненість металу та шлаку;
- вміст вуглецю в металі;
- основність і кратність шлаку;
- температура;
- перемішування металу та відновного шлаку в печі;
- вміст сірки у вапні, коксі, феросплавах та інших матеріалах;
- збільшення тривалості витримки ванни під десульфуруючим шлаком, що підвищує витрату електроенергії, погіршує стійкість футеровки, збільшує вміст (МпО) та знижує продуктивність печі.

Коефіцієнт розподілу сірки між металом і шлаком у відновний період плавки досягає для печей малої та середньої місткості значень 40-70, для великих печей він не перевищує 20.

4.2.3. Обробка металу на випуску шлаками

Істотне підвищення коефіцієнта розподілу сірки (до 200 і більше) між шлаком і металом, що виплавляється у великих печах, забезпечується обробкою розплаву синтетичними шлаками при зливі металу з печі в ковш із цим шлаком. Таким чином, високий коефіцієнт розподілу сірки та особливо низький її вміст (менше 0,005%) у металі досягають значним збільшенням поверхні контакту металу з електропічним або синтетичним сіркопоглинаючим шлаком за рахунок дроблення їх струменем металу, що витікає з печі, на дрібні краплі.

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.04 АП	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вище зазначалося, що традиційна технологія виплавки сталі в дугових печах малої та середньої місткості передбачає повне розкислення сталі до моменту випуску плавки в сталерозливний ковш шляхом досягнення глибинного та дифузійного розкислення ванни протягом 1,0–1,5 год.

При обробці металу відновним (електропічним або синтетичним) шлаком при випуску плавки процес десульфурації сталі та розкислення розплаву здійснюють у сталерозливній ковші. Емульгування шлаку та значна поверхня його взаємодії з металом забезпечують високий ступінь рафінування готової сталі від сірки (менше 0,003%) та кисню (менше 0,002%). Ефекту десульфурації досягають додаванням у ковш на струмінь попередньо розкисненого металу твердої шлакової суміші з вапна та плавикового шпату у співвідношенні (2,0–2,5): 1.

4.2.4.Контроль складу та температури металу

Для легування розплаву у відновний період у метал вводять відповідну кількість феросплавів. При доводці в металі не відбувається окислення вуглецю, вміст азоту та водню не зменшується. Водночас легуючі, розкислювачі та шлакоутворювачі, що додаються, містять певну кількість вологи та газів і вносять азот та водень у ванну. Для зменшення насичення ванни воднем і азотом необхідно скорочувати тривалість періоду доведення, виключити застосування сирих матеріалів, застосовувати тільки прокалені при 600-800 °С феросплави. Додавання феросплавів здійснюють з урахуванням залишкового вмісту елементів у металі в окислювальний період. Перед контрольною пробой металу для хімічного аналізу після розплавлення феросплавів ванну печі ретельно перемішують.

Невід'ємною частиною технологічного процесу доведення є контроль температури рідкої сталі. Для забезпечення заданого режиму нагрівання ванни до моменту випуску плавки та нормального розливу сталі необхідна висока точність вимірювання температури рідкої сталі. Похибка вимірювання

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.04 АП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

температури не повинна перевищувати $\pm 5-6$ °С. При цьому перегрів металу на **70-80** °С над лінією ліквідусу повинен визначатися з точністю $\pm 7-8\%$. Для вимірювання температури металу в дугових печах найчастіше використовують термопари короткочасного занурення з термоелектродами з вольфраму та молібдену, платини з ренієм і сплаву вольфраму з ренієм, що забезпечують необхідну точність вимірювання.

4.2.5.Інтенсифікація відновного періоду

Тривалість відновного періоду (доведення) становить 10-15% від загальної тривалості плавки. Вона може бути скорочена у зв'язку з використанням позапічної рафінуючої обробки сталі. Скорочення часу відновного періоду може бути досягнуто за рахунок:

- своєчасної підготовки шлакоутворювальних і феросплавів;
- механізації завантаження матеріалів у піч;
- перемішування ванни магнітним полем або інертним газом;
- винесення операцій легування, розкислення та рафінування з печі в сталерозливний ковш;
- скорочення тривалості експрес-аналізу проб металу.

Обробка металу поза піччю дозволяє практично виключити відновний період з регламенту плавок середніх і великих електродугових печей.

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.04 АП	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Відповідно до виданого завдання в проекті з організації технологічного процесу виготовлення виливків зі сталі з річним випуском 19500 тонн було обрано та розраховано кількість машин, установок і матеріалів для всіх виробничих операцій.

У роботі розроблено технологічний процес виготовлення виливка «Маточина» зі сталі марки 35Л ГОСТ 977-88 відповідно до технічних вимог до литої деталі. Після аналізу технологічності виливка запропоновано виготовлення виливка в разову піщано-глинисту форму з використанням холоднотвердіючої суміші для стрижнів. Розроблено та розраховано елементи ливарної форми, обрано склад формувальних і стрижневих сумішей, визначено склад шихти та технологію плавлення сталі.

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.В		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВИСНОВКИ		
Розроб.		Бровко О.О.					
Перевір.		Кассім Д.О.					
Н. Контр.		Кассім Д.О.					
Затверд.		Бабошко Д.Ю.			МТ-22-1		
					Літ.	Арк.	Акрушів
						69	1

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.Луцьков. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2013. – 260с.
4. Формувальні матеріали [Текст] : підручник для студ. спеціальності 136 «Металургія», освітньої програми «Комп'ютеризовані процеси лиття» / Р. В. Лютий, І. М. Гурія ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 257 с.
5. 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.
6. Іванова, Л. Х., Шапран, Л. О. Ливарне виробництво: технологія фасонного литва: навч. посіб. / Л. Х. Іванова, Л. О. Шапран. – Дніпро: НМетАУ, 2021. – 256 с.
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.

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.СВД		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		
Розроб.		Бровко О.О.					
Перевір.		Кассім Д.О.					
Н. Контр.		Кассім Д.О.					
Затверд.		Бабошко Д.Ю.			МТ-22-1		
					Літ.	Арк.	Акрушів
						1	3

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.
- 14.Проектування і обладнання електросталеплавильних і феросплавних цехів: Підручник / В.А.Гладких, М.І.Гасик, А.М.Овчарук, Ю.С.Пройдак.- Дніпропетровськ: «Системні технології». 2004.- 692 с.
- 15.Виробництво виливків із спеціальних сталей: Монографія / Макаревич О.П., Федоров Г.Є., Платонов Є.О. – К.: Видавництво НТУУ “КПІ”, 2005. – 717 с.
- 16.Леговані сталі: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів /О.В. Більченко, О.І. Дудка, В.Г. Хижняк, С.М. Чернега; Міністерство освіти і науки України, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського". - Київ: Кондор, 2009. - 96 с.

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.СВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

- 17.Бабич, В. О., Фасонне литво з легованих і спеціальних сталей / В.О. Бабич, І. О. Харьковський. – Харків: НТУ «ХП», 2020. – 312 с.
- 18.Сухоручкін, О. М., Основи лиття сталі: отримання фасонних виливків / О. М. Сухоручкін, Г. М. Мартиненко. – Кривий Ріг: КНУ, 2019. – 278 с.
- 19.Малишев, П. П., Лиття сталі у піщані та оболонкові форми: монографія / П. П. Малишев, С. Г. Ковальчук. – Київ: НУБіП, 2018. – 198 с.

					КНУ.РБ.136.26.113с-03.СВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3