

Криворізький національний університет

(повне найменування інститут, факультет)

Кафедра металургії чорних металів і ливарного виробництва

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до роботи бакалавра

бакалавр

(ступінь вищої освіти)

на тему: Розробка проекту ливарного цеху потужністю 2500 тон виливків на рік із залізовуглецевих сплавів

Виконав студент 4 курсу, групи МТ-21
напряму підготовки (спеціальності)

136 - Металургія

(шифр і назва)

Перепада І.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник _____

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Кривий Ріг

2025

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 ливарного цеху потужністю 2500 тон виливків на рік із залізовуглецевих сплавів

Виконав: студент групи МТ-21
Керівник випускної роботи
Н.контроль
Завідувач кафедри

Перепада І.І.
Саїтгарєєв Л.Н.
Саїтгарєєв Л.Н.
Савельєв С.Г.

Кривий Ріг
2025

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: гірничо-металургійний

Кафедра: металургії чорних металів і ливарного виробництва

Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр

Спеціальність: 136 Металургія

Затверджую
Зав. кафедрою
_____ Савельєв С.Г.
« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на випускну атестаційну роботу бакалавра

1. Тема роботи: Розробка проекту ливарного цеху потужністю 2500 тон
виливків на рік із залізовуглецевих сплавів.

2. керівник роботи: к.т.н., доцент Саїтгарєєв Л.Н.

затверджено наказом по КНУ від « ____ » _____ 2025 р. № 204с

2. Строк подання роботи студентом « ____ » _____ 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи:

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

1.

2.

3.

5. Перелік графічного матеріалу:

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер етапу	Назва етапів виконання бакалаврської роботи	Термін виконання етапів
1		
2		
3		
4		
5		

Дата видачі завдання «____» _____ 2025 р.

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Перепада І.І.

Керівник випускної
кваліфікаційної роботи

(підпис)

Саїтгарєєв Л.Н.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка на кваліфікаційну роботу бакалавра: «Розробка проекту ливарного цеху потужністю 2500 тон виливків на рік із залізовуглецевих сплавів»: с., 13 рисунків, 49 таблиць, 8 літературних джерел.

В роботі виконане проектування плавильного та формувального відділень.

1 У загальній частині описується режим роботи цеху, програми відділень та експлуатаційні властивості високоміцних чавунів.

2 У технологічній частині пояснюється розробка технологічного процесу виготовлення виливка «Склоформа».

3 У спеціальній частині пояснюються властивості чавунів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВИРОБНИЧА ПРОГРАМА, ВАКУУМПЛІВКОВЕ ФОРМУВАННЯ, ЧАВУН. ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ, МОДЕЛЮВАННЯ ЛЖС

ЗМІСТ

Вступ

1 Обґрунтування проекту будівництва нового цеху

2 Техніка та організація виробництва

2.1 Розрахункова програма ливарного цеху

2.2 Розрахунок формувального відділення

2.2.1 Розрахунок програми формувального відділення

2.2.2 Розрахунок технологічного обладнання формувального відділення

2.2.3 Розрахунок основних параметрів ливарних ліній

2.3 Розрахунок плавильного відділення

2.3.1 Розрахунок програми плавильного відділення

2.3.2 Розрахунок технологічного обладнання плавильного відділення

2.3.3 Розрахунок шихти

2.4 Розрахунок складу шихтових матеріалів

2.5 Розрахунок очисного і термообробного відділення

2.5.1 Вибір, обґрунтування, характеристика та розрахунок технологічного обладнання

2.5.2 Методи, режими та обладнання для термічної обробки виливків

2.6 Розрахунок допоміжного та підйомно-транспортного обладнання

2.6.1 Розрахунок парку ковшів

2.6.1.1 Ремонт футерування роздавальних ковшів

2.7 Опис технологічного процесу в цеху

2.7.1 Опис технологічного процесу у плавильному відділенні

2.7.2 Опис технологічного процесу у формувальному відділенні

2.7.3 Опис технологічного процесу у відділенні фінішних операцій

2.8 Можливі дефекти у виливках і методи їх усунення

2.9 Система управління якістю продукції

2.9.1 Організація і метод контролю виливків

2.10 Складське господарство цеху

2.10.1 Зберігання і транспортування оснащення

2.10.2 Зберігання і транспортування виливків і повернення

3 Технологія виготовлення виливки

3.1 Аналіз конструкції деталі та технологічні розрахунки лиття виливки "Склоформа"

3.2. Розроблення оптимального варіанта лиття виливки "Склоформа" на основі комп'ютерного моделювання

Висновки

Список використаних джерел

Вступ

Економічна ситуація в Україні висуває нові вимоги до машинобудівних і обробних галузей промисловості взагалі і ливарного виробництва зокрема. Основні вимоги полягають у підвищенні ефективності виробництва, зниженні витрат на виготовлення продукції, підвищення кількості виробів і рівня заробітної плати робітників і службовців. Посилення вимог щодо охорони навколишнього середовища і погіршення екологічної обстановки в країні накладають жорсткі обмеження на роботу ливарних цехів.

У загальній структурі машинобудівних заводів ливарне виробництво, як правило, є збитковим, оскільки повністю залежить від цінової політики на ринку на сировинні матеріали, паливо, електроенергію, транспорт. Нині структура собівартості виливків така: енерговитрати і витрати на паливо становлять 50 - 60 %, витрати на вихідні матеріали (піски, глини, фарби, смоли, шихтові матеріали і феросплави) - 30 - 38 %, заробітна плата становить 8 - 17 %. Крім того, у зв'язку зі зміною соціальної орієнтації населення проблема залучення кваліфікованих трудових ресурсів стає дедалі гострішою.

Для розв'язання всіх вищевказаних проблем будівництво нових ливарних цехів і реконструкція наявних повинні вестися за світовими стандартами з урахуванням тенденцій розвитку ливарного виробництва. Під час проектування ливарних цехів необхідно передбачати оптимальні потужності для інтенсивного використання обладнання. З метою ліквідації важкої і шкідливої ручної праці, звільнення робітників від монотонних робіт слід передбачати застосування промислових роботів і маніпуляторів, у тому числі для механізації та автоматизації окремих операцій лиття. Для забезпечення високої продуктивності праці слід передбачати прогресивні, освоєні технологічні процеси і високопродуктивне автоматичне та комплексно-механізоване обладнання, автоматичні системи управління технологічними процесами, прогресивну організацію виробництва.

Крім цього, під час проектування необхідно враховувати чинні нормативні документи в будівництві, правила техніки безпеки і виробничої санітарії, пожежо- та вибухобезпеки, санітарні норми і правила технологічних процесів, санітарно-технічні вимоги до обладнання, а також інші норми, інструкції та правила з проектування.

1 ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ БУДІВНИЦТВА ЛИВАРНОГО ЦЕХУ

На даний момент часу стан галузі, зокрема ливарної, оцінюється як не найсприятливіший. Це пов'язано не тільки з економічною ситуацією в країні, а й з тим, що майже все ливарне устаткування на заводах востаннє оновлювали в 70-80-х роках. Це призвело до того, що продуктивності ливарних цехів не вистачає, щоб забезпечити необхідний обсяг випуску продукції та її якість.

Сьогодні багато ливарних заводів закриваються, здають свої цехи під склади іншим фірмам через брак фінансових коштів і високу собівартість продукції. Щоб зупинити цей процес, потрібно випускати таке лиття, собівартість якого буде нижчою за наявну, тоді й прибуток підприємства зросте. Для цього потрібно модернізувати обладнання, знизити кількість робітників і збільшити кількість автоматичного обладнання, тобто механізувати якомога більше процесів. У зв'язку з цим продуктивність підприємства загалом має зрости, собівартість впасти, а прибуток зрости.

Наприклад, на заводах скляної промисловості для виробництва виробів зі скла використовуються форми, виготовлені в країнах колишнього СРСР. У зв'язку із закриттям багатьох ливарних підприємств постачальників форм, доцільним рішенням є будівництво власного ливарного цеху аба дільниці з виготовлення форм для скляної промисловості

Номенклатуру підприємства складають форми (виливки з чавуну) марок ЧС5 (низьколігований), СЧ20 і сталі марки 30ХНМЛ масою від 1,3 кг до 100,0 кг.

Цех має складатися з шихтового двору, плавильного, формувально-заливального, термообґрітного, допоміжних відділень і побутових приміщень.

Основними вихідними даними для проектування є дані щодо номенклатури виливків і виробничої програми ливарного цеху.

Розрахункова програма служить для подальших розрахунків усіх відділень ливарного цеху.

Основна мета розрахункової програми полягає в тому, щоб визначити кількість виливків кожного найменування, яка має бути виготовлена в ливарному цеху протягом року.

Потужність проектного цеху 2500 тонн придатних виливків на рік. На основі аналізу номенклатури випущених виливків визначаються групи виливків за масою.

Спосіб виготовлення виливків і, відповідно, тип плавильного обладнання залежать від марки сплаву, річного випуску виливків, маси виливків, характеру виробництва. Після вибору технологічного обладнання проводиться розрахунок необхідної їх кількості.

Потім вибирається ширина прольотів, тип колон, сітка колон. Після цього розташовується технологічне обладнання.

У проекті передбачається будівництво одноповерхової виробничої будівлі. Усі основні технологічні процеси проходять на першому поверсі. Використання

сучасного автоматизованого обладнання дає змогу використовувати мінімальний штат робітників і виробляти якісну продукцію.

2 ТЕХНІКА ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА

2.1 Розрахункова програма ливарного цеху

У таблиці 2.1 наведено специфікацію виливків представників, які передбачається випускати в цеху, що проектується.

Специфікація виливків включає 15 найменувань виливків із чавуну марок ЧС5, СЧ20 і сталі марки 30ХНМЛ масою від 1,3 кг до 100,0 кг

На основі специфікації виливків складено виробничу програму цеху, представлену в таблиці 2.2.

Розрахункова програма слугує для подальших розрахунків усіх відділень ливарного цеху, що входять до складу машинобудівного, ливарного або металургійного заводів.

Основна мета розрахункової програми полягає в тому, щоб визначити кількість виливків кожного найменування, яку має бути виготовлено протягом року в ливарному цеху [1].

У розрахункову програму ливарного цеху дрібносерійного та індивідуального виробництва вносяться виливки, які розділені на три групи за масою. Початкові дані для розрахунку беруться з виробничої програми та специфікації виливків.

У розрахунку прийнято технологічні втрати на рівні 3 %.

Таблиця 2.1 - Специфікація виливків

Групи виливків	Найменування виробу	Марка металу	Маса, кг			Габаритні розміри деталі
			виливки	деталі	ливникова система	
Скло-форми	Склоформа	ЧС5	20,0	15,0	5,0	275xØ152
Запасні частини	Перехід 80-50	СЧ20	12,0	11,6	3,0	195x195x40
	Перехід 100-50	СЧ20	14,0	13,6	3,7	215x215x50
	Корпус ВМХ-100	СЧ20	15,3	14,8	10,0	300x280x280
	МЗВ-80 Корпус	СЧ20	13,0	12,0	9,0	211x183x200
	МЗВ-50 Корпус	СЧ20	9,3	8,9	9,0	171x156x165
	Кришка	СЧ20	1,63	1,4	1,5	120x97x96
	Перехід 80-65	СЧ20	11,0	10,5	3,5	195x195x40
	Перехід 100-50	СЧ20	14,0	13,6	3,7	215x215x50
	ВПД-65 Корпус	СЧ20	10,5	9,8	10,0	200x180x180
	Перехід 80-50	СЧ20	12,0	11,6	3,0	195x195x40
	СКБ-32 Корпус	СЧ20	2,4	1,3	2,1	180x43x78
	Клин	Сталь 30ХНМЛ	87,0	91,0	4,0	500x480x200
Замовне лиття на замовлення	Клин	Сталь 30ХНМЛ	90,6	95,1	4,5	550x500x200
	Клин	Сталь 30ХНМЛ	115	120,3	5,3	600x520x200

Потужність проектного цеху 2500 тонн на рік. Для подальшого розрахунку всіх відділень цеху необхідно провести розрахункову програму ливарного цеху масового виробництва, що представлена в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Розрахункова програма ливарного цеху дрібносерійного виробництва

Групи виливкі в	Група за масою	Марка металу	Середня маса, т		Маса на річну програму, т		Умовне кількість виливків	Технологічні втрати на річну програму				Кількість виливків із з урахування м втрат, шт.	Маса на річну програму з урахуванням втрат, т	
			виливки	виливки з литниками и прибуткам и	придатн их виливкі в	придатних виливків із литниками і прибутками		%	шт.	т виливкі в	т виливків із ливарниками і прибутками		виливк и	виливки з литниками і прибуткам и
1	Скло- форма	ЧС5	0,015	0,020	1200	1400	80000	5	400 0	60	70	84000	1260	1470
2	Запчас тини	СЧ20	0,010	0,013	1000	1100	100000	3	300 0	30	33	103000	1030	1133
3	Замовн є лиття	Сталь 30ХНМ Л	0,100	0,110	300	500	3000	4	120	12	20	620	312	520
		Разом			2500	3000	183000						2602	3123

2.2 Розрахунок програми формувального відділення

2.2.1 Розрахунок програми формувального відділення

Для визначення кількості форм, необхідної для виготовлення 2500 тонн придатних виливків, складається розрахункова програма формувального відділення, що подана в таблиці 2.3.

Відповідно до габаритних розмірів виливків вибираються опоки. Зазвичай у ливарному цеху для виготовлення різних за масою і розмірами виливків застосовують кілька типорозмірів опок, у цьому разі застосовують один типовий розмір опоки.

Вихідними даними для розрахунку формувального відділення слугують значення річної кількості виливків з урахуванням втрат (див. таблицю 2.2). Технологічні втрати форм при формуванні прийняті рівними 3 %. Металоемність форми визначається на основі відомих значень маси виливків з литниками і надливами.

Обсяг ущільненої формувальної суміші на форму (V_c) визначається за формулою (1):

$$V_c = V_{\phi} - (V_m + V_{cm}) \quad (1)$$

де V_{ϕ} - об'єм форми, m^3 ;

V_m - об'єм металу у формі, m^3 ;

V_{cm} - об'єм стрижнів у формі, m^3 .

Під час виробництва виливка "Склоформа" застосування стрижнів не передбачається, тому $V_{cm} = 0$

На основі розрахунків, наведених у таблиці 2.2, складається розрахункова програма формувального відділення ливарного цеху (див. таблицю 2.3).

Таблиця 2.3 - Розрахункова програма формувального відділення

Групи виливків		Розміри опок, мм	Кількість виливків на рік, шт.	Кількість виливків у формі, шт.	Металоемність у формі, кг	Кількість форм на рік, шт.	Техноло-гічні втрати форм		Кількість форм на рік з урахуванням втрат, шт.	Найменування обладнання	Обсяг піску, м ³		Кількість півки Севілен, м ² /рік
1	2						%	шт.			на форму	на рік	
1	1050×× 850×300	8000 0	2	40	40000	3	120 0	4120 0	ВП Ф, У29	0,50	20600 ,0	5834 88	
2		1000 00	4	52	25000	3	750	2575 0		0,52	13390 ,0		
3		3000	1	110	3000	3	90	3090		0,51	1575, 9		
Разом								7004 0			35565 ,9		

Таблиця 2.4 - Необхідна кількість піску

Кількість піску на річну програму, т	Просипи, втрати		Кількість піску з урахуванням втрат, т
	%	т	
74688,4	10	7468,8	82157,2

2.2.2 Розрахунок технологічного обладнання формувального відділення

На основі визначення необхідної кількості форм здійснюється розрахунок технологічного обладнання формувального відділення за формулою (2). Результати розрахунку представлені в таблиці 2.5.

$$n_p = \frac{B \cdot K_n}{a \cdot \Phi_d} \quad (2)$$

де n_p - кількість формувальних ліній;

B - річна кількість форм з урахуванням втрат, шт;

K_n - коефіцієнт нерівномірності, $K_n = 1$;

a - продуктивність формувальної установки, форм/год;

Φ_d - дійсний річний фонд часу, (за двозмінної роботи $\Phi_d = 3645$ год).

Таблиця 2.5 - Розрахунок кількості формувального обладнання

Тип лінії, марка	Необхідна кількість форм на рік, В	Продуктивність лінії а, форм/год	Дійсний річний фонд часу Φ_d , год.	Кількість машин		Коефіцієнт завантаження
				за розрахунком	прийнято	
ВПФ, У29	70040	5	3935	3,5	4	0,87

Для виготовлення виливків застосовуються 4 вакуум - плівкові установки

Основні переваги процесу вакуумно-плівкового формування:

- висока якість поверхні та геометрична точність виливків;
- значне зменшення поверхневих і внутрішніх дефектів лиття;
- зниження трудомісткості фінішних операцій і механічної обробки;
- можливість використання недорогого дерев'яного модельного оснащення;
- зниження витрат формувальних матеріалів;
- висока екологічність процесу;
- автоматизація управління технологічним процесом.

2.3 Розрахунок плавильного відділення

2.3.1 Розрахунок програми плавильного відділення

Проектування плавильного відділення починається зі складання розрахункової програми. Вихідними даними для розрахунку є маса виливків на річну програму з урахуванням браку. Розрахункова програма плавильного відділення наведена в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 - Розрахункова програма плавильного відділення

Марка сплаву	Маса на річну програму з урахуванням втрат, т		Літники и прибутку, т	Слив, скрап		Усього рідкого металу, т	Чад і втрати		Метал о-завалка, т
	виливкі в	виливків із литниками та прибутками		%	т		%	т	
	A	A_1	A_1-A	b_1	A_2-A_1	A_2	b_2	A_3-A_2	A_3
ЧС5 СЧ20	2290	2603	313	3	81	2684	5	222	2825
Сталь 30ХНМЛ	312	520	208	3	16	536	5	28	564

2.3.2 Розрахунок технологічного обладнання плавильного відділення

Розрахунок кількості плавильних агрегатів здійснюється за формулою (3):

$$n = \frac{B \cdot K_n}{a \cdot \Phi_d}, \quad (3)$$

де n - кількість плавильних агрегатів;

B - кількість рідкого металу, т;

K_n - коефіцієнт нерівномірності, $K_n=1,2$;

a - продуктивність плавильного агрегату, т/год;

Φ_d - дійсний річний фонд часу, $\Phi_d=3975$ год (2-х змінний режим роботи).

Тоді згідно з формулою (3):

$$n_1 = \frac{2825 \cdot 1,2}{1,0 \cdot 3975} = \frac{3390}{3975} = 0,85$$

$$n_2 = \frac{564 \cdot 1,2}{0,2 \cdot 3975} = \frac{676,8}{795} = 0,85$$

Коефіцієнт завантаження плавильного агрегату за формулою (4) дорівнює:

$$K_3^1 = K_3^2 = \frac{n_{расч}}{n_{прин}} \quad (4)$$

Тоді за формулою (4) коефіцієнт завантаження плавильного агрегату дорівнює:

$$K_3^1 = K_3^2 = \frac{0,85}{1} = 0,85$$

Плавка здійснюється в індукційних тигельних печах промислової частоти (ІЧТ) ємністю 2,5 і 0,5 т. Технічна характеристика електропечей і розрахунок кількості плавильних агрегатів наведено в таблиці 2.7 і 2.8 відповідно.

Таблиця 2.7 - Технічна характеристика електропечей

Тип установки	Ємність тигля, т	Потужність живильного трансформатора, кВА	Тривалість повного циклу плавки на твердій шихті, год	Дійсна продуктивність печі, т/год	Загальна маса печі з розплавленим металом, т
ІЧТ-2,5	2,5	1300	3,0	1,0	17
ІЧТ-0,5	0,5	1300	2,0	0,2	6,4

Таблиця 2.8 - Розрахунок кількості електропечей

Найменування і тип агрегату	Марка металу	Споживання рідкого металу на рік, т	Ємність печі, т	Тривалість плавки, година	Продуктивність, т/год	Дійсний річний фонд часу, год	Кількість агрегатів		Коефіцієнт завантаження
							за розраху	прийнят о	
ІЧТ-2,5	ЧС5 СЧ20	2684,00	2,50	3,00	1,00	3975,00	0,85	1,00	0,85
ІЧТ-0,5	Сталь 30ХНМЛ	536,00	0,50	2,00	0,20	3975,00	0,85	1,00	0,85

Обґрунтування вибору типу печі

Переваги індукційних тигельних печей:

- активне перемішування металу;
- можливість зонного перемішування (фокусування енергії) в печі;
- малий чад легуючих елементів;
- можливість плавки без "болота";
- широкі технологічні можливості при великому виборі ємності печі, типі футерування і робочій частоті печі;
- точне регулювання температури розплаву;
- можливість плавки і витримки металу в одному пічному агрегаті;
- миттєва готовність до роботи;
- висока швидкість плавки;

- малі питомі показники споживання електроенергії на тонну виплавленого металу;
- екологічність технологічного процесу;
- збереження якості живильної мережі;

При отриманні чавуну необхідно точно керувати хімічним складом за багатьма елементами і, перш за все, за вуглецем, сіркою, марганцем, хромом, фосфором та ін., оскільки в ІЧТ плавка ведеться з так званим "холодним" шлаком, який практично не бере участь у хімічних реакціях, керування хімічним складом сплаву в процесі плавки відбувається додаванням легуючих матеріалів і точним керуванням температурою розплаву. Поєднання цих можливостей дає змогу реалізувати технологію одержання виливків, у яких значно знижені внутрішні напруження й істотно підвищені характеристики міцності.

Вельми істотною перевагою плавки в ІЧТ порівняно з вагранками і дуговими печами є знижений на 25-30 % вміст газу (азоту, водню, кисню) в розплаві металу, а також значне зменшення вмісту неметалевих домішок. Це підвищує міцність виливків і зменшує каверни на їхній поверхні, що дає змогу знизити відходи металу під час подальшого оброблення на 20-25 % і зменшити металоємність обладнання.

Міцність і всі інші властивості сплавів, зрештою, визначаються їхньою чистотою від домішок, формою, розміром і розподілом зерен, тобто структурою. При цьому в поняття структури входить як мікроструктура, так і макроструктура - наявність у металі газових і усадочних раковин, пористості, тріщин, неметалевих включень тощо. Таким чином, завдання підвищення якості металу зводиться до отримання відповідної структури, вільної від будь-яких дефектів. Подрібнення зерна кристалічної структури досягається підвищенням швидкості зародження центрів кристалізації, яка регулюється введенням модифікаторів. Ефективність дії модифікаторів зростає за максимально рівномірного розподілу в об'ємі металу, і що більше енергії ззовні буде внесено в розплав для перемішування, то вищий ефект модифікування. В індукційних печах є можливість керування процесами електромагнітного перемішування, зміною частоти збудження струму в обмотках індуктора, організацією пульсуючого і біжучого електромагнітного поля у ванні розплаву металу та керування питомим силовим тиском, а також перерозподілом потужності по висоті індуктора.

2.3.3 Розрахунок шихти

Розрахунок шихти для сплаву СЧ20

Після вибору і розрахунку кількості плавильних агрегатів проводиться розрахунок шихти. Під час розрахунку як цільову функцію використовують її вартість, що дає змогу вибрати оптимальний склад шихтових матеріалів.

Хімічний склад ЧС5 наведено в таблиці 2.9. Шихтові матеріали та їхній склад у масових частках відсотка наведено в таблиці 2.10.

Таблиця 2.9 - Хімічний склад сплаву ЧС5 відповідно до ГОСТ 1412-85 [4].

Марка сплаву	Масова частка елемента, %					
	C	Si	Mn	Cr	S	P
ЧС5	2,5-3,2	4,5-6,0	0,8	0, 5	0,12	0,3

Таблиця 2.10 - Вміст елементів з урахуванням чаду

Елемент	У сплаві, %		Угар	У шихті з урахуванням чаду, %	
1	2	3	4	5	6
	мінімум	максимум	$\Delta C, \%$	мінімум	максимум
C	2,5	3,2	-15	2,9	3,8
Si	4,5	6,0	-10	5,0	6,7
Mn		$\leq 0,8$	-20		1,0
Cr	0,5	1,0	-15	0,6	1,2
P		$\leq 0,3$	0		$\leq 0,3$
S		$\leq 0,12$	0		$\leq 0,12$

Розрахунок вмісту елементів у шихті:

$$C_{ш} = C_{чуг} \frac{100}{100 + \Delta C} = (2,5 \div 3,2) \frac{100}{100 - 15} = 2,9 \div 3,8$$

$$Si_{ш} = Si_{чуг} \frac{100}{100 + \Delta Si} = (4,5 \div 6,0) \frac{100}{100 - 10} = 5,0 \div 6,7$$

$$Mn_{ш} = Mn_{чуг} \frac{100}{100 + \Delta Mn} = 0,8 \frac{100}{100 - 20} = 1,0$$

$$Cr_{ш} = Cr_{чуг} \frac{100}{100 + \Delta Cr} = (0,5 \div 1,0) \frac{100}{100 - 15} = 0,6 \div 1,2$$

$$S_{ш} = S_{чуг} \leq 0,12$$

$$P_{ш} = P_{чуг} \leq 0,3$$

Таблиця 2.11 - Вибір шихтових матеріалів

Компоненти шихти	Позначення	Ціна компонентів шихти	Вміст елементів, %					
			C	Si	Mn	Cr	S	P
Сталевий брухт 2Б, ГОСТ 2787-86	X ₁	7200	0,3	0,2	0,7	0	0,03	0,04
Повернення, ГОСТ 977-88	X ₂	7000	2,9	5,3	0,7	0,8	0,1	0,2
Коксик, що графітизує	X ₃	13000	98	0	0	0	0,01	0

Компоненти шихти	Позначення	Ціна компонентів шихти	Вміст елементів, %					
			C	Si	Mn	Cr	S	P
Феросиліцій ФС75,	X ₄	15000	0,1	75	0,3	0	0,05	0,02

ГОСТ 1415-78								
Феромарганець ФМn75, ГОСТ 4755-80	X ₅	14500	3,5	2,2	77	0	0,02	0,07
Ферохром ФХ100А, ГОСТ 4757-91	X ₆	17000	1	2	0	65	0,02	0,03

Балансові рівняння за вмістом хімічних елементів:

За вуглецем

$$0,3-X_1+2,9-X_2+98-X_3+0,1-X_4+3,5-X_5+X_{(6)} > 2,9$$

$$0,3-X_1+2,9-X_2+98-X_3+0,1-X_4+3,5-X_5+X_{(6)} < 3,8$$

Щодо кремнію

$$0,2-X_1+5,3-X_2+75-X_4+2,2-X_5+2-X_6 > 5$$

$$0,2-X_1+5,3-X_2+75-X_4+2,2-X_5+2-X_{(6)} < 6,7$$

Щодо марганцю:

$$0,7-X_1+0,7-X_2+0,3-X_4+77-X_5 < 1$$

По хрому:

$$0,8-X_2+65-X_{(6)} > 0,6$$

$$0,8-X_2+65-X_{(6)} < 1,2$$

Щодо фосфору:

$$0,03-X_1+0,1-X_2+0,01-X_3+0,05-X_4+0,02-X_5+0,02-X_{(6)} < 0,12$$

За сере:

$$0,04-X_1+0,2-X_2+0,02-X_4+0,07-X_5+0,03-X_{(6)} < 0,3$$

Технологічні обмеження:

$$X_2 < 0,35$$

Балансове рівняння за кількістю шихти:

$$\sum_{i=1}^6 X_i = 1 \cdot \frac{100}{100 + \Delta III} = 1 \cdot \frac{100}{100 - 3} = 1,03 \quad \Delta III = -3 \% \text{ (загальний чад)}$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 = 1,03$$

Цільова функція:

$$\sum_{i=1}^7 Z_i \cdot X_i \Rightarrow \min$$

$$7200-X_2+7000-X_3+13000-X_4+15000-X_5+14500-X_6+17000-X_7 = 7807,52 \text{ грн/т}$$

Розв'язання рівнянь подано в таблиці 2.12:

Таблиця 2.12 - Розв'язання рівнянь на ЕОМ

Вміст компонентів у шихті, %	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
	0,61767	0,35000	0,01725	0,04015	0,00492

Аналіз виконання обмежень:

N 2 : залишок 0,9000 N 4 : залишок 1,7000 N 5 : залишок 0,3106

N 7 : залишок 0,6000 N 8 : залишок 0,0642 N 9 : залишок 0,2043

Розшифровка виконання обмежень:

За вуглецем: $3,8 - 0,9 = 2,9$

За кремнієм: $6,7 - 1,7 = 5,0$

За марганцем: $1,0 - 0,3106 = 0,6894$

Щодо хромуг: $1,2 - 0,6 = 0,6$

За фосфором: $0,3 - 0,2043 = 0,0957$

По сірці: $0,12 - 0,0642 = 0,0558$

На підставі розрахунків, зроблених за допомогою оптимізаційної задачі, для отримання 1 тонни металу з урахуванням втрат необхідний склад шихти, наведений у таблиці 2.13

Таблиця 2.13 - Кількість компонентів шихти для отримання 1 тонни сплаву ЧС5

Компоненти шихти	Зміст компонентів шихти, %	Зміст компонентів шихти, кг
Сталевий брухт 2Б, ГОСТ 2787-86	61,77	617,70
Повернення, ГОСТ 977-88	35,00	350,00
Графітизуючий коксик	1,73	17,30
Феросиліцій ФС75, ГОСТ 1415-78	4,02	40,20
Феромарганець ФМn75, ГОСТ 4755-80	0,50	5,00
Ферохром ФХ100А, ГОСТ 4757-91	0	0

Розрахунок шихти для сплаву СЧ20

Хімічний склад СЧ20 наведено в таблиці 2.14. Шихтові матеріали та їхній склад у масових частках відсотка наведено в таблиці 2.16.

Таблиця 2.14 - Хімічний склад сплаву СЧ20 за ГОСТ 1412-85 [4].

Марка сплаву	Основні компоненти,			Домішки, % (не більше)	
	Вуглець	Кремній	Марганець	Фосфор	Сера
СЧ20	3,3-3,5	1,4-2,4	0,7-1,0	0,2	0,15

Таблиця 2.15 - Угар елементів, %

Піч	C	Si	Mn	S	P
Індукційна піч промислової частоти	5-15	3-(-5)	10-25	0	0

Знак "-" означає пригар

Розрахунок вмісту елементів у шихті:

$$\tilde{N}_{\theta} = \tilde{N} \div \tilde{\alpha} \cdot \frac{100}{100 + \Delta \tilde{N}} = (3,3 \div 3,5) \cdot \frac{100}{100 - 15} = 3,88 \div 4,12$$

$$\tilde{Si}_{\theta} = \tilde{Si} \div \tilde{\alpha} \cdot \frac{100}{100 + \Delta \tilde{Si}} = (1,4 \div 2,4) \cdot \frac{100}{100 - 5} = 1,47 \div 2,53$$

$$\tilde{Mn}_{\theta} = \tilde{Mn} \div \tilde{\alpha} \cdot \frac{100}{100 + \Delta \tilde{Mn}} = (0,7 \div 1,0) \cdot \frac{100}{100 - 20} = 0,88 \div 1,25$$

Таблиця 2.16 - Вибір шихтових матеріалів

Компоненти шихти	Позначення	Ціна компонентів шихти	Вміст елементів, %				
			C	Si	Mn	S	P
Сталевий брухт 2Б, ГОСТ 2787-86	X ₁	7200	0,30	0,20	0,70	0,03	0,04
Повернення, ГОСТ 1412-85	X ₂	7000	3,40	2,10	0,85	0,15	0,13
Графітизуючий коксик	X ₃	13000	98,00	0	0	0,01	0
Феро силіцій ФС75, ГОСТ 1415-78	X ₄	15000	0,10	75,00	0,30	0,05	0,02
Феромарганець ФМн75, ГОСТ 4755-80	X ₅	14500	3,50	2,20	77,00	0,02	0,07

Балансові рівняння за вмістом хімічних елементів:

За вуглецем

$$0,3 \cdot X_1 + 3,8 \cdot X_2 + 98 \cdot X_3 + 0,1 \cdot X_4 + 3,5 \cdot X_5 > 3,88$$

$$0,3 \cdot X_1 + 3,8 \cdot X_2 + 98 \cdot X_3 + 0,1 \cdot X_4 + 3,5 \cdot X_5 < 4,12$$

Щодо кремнію

$$0,2 \cdot X_1 + 2,1 \cdot X_2 + 75 \cdot X_4 + 2,2 \cdot X_5 > 1,47$$

$$0,2 \cdot X_1 + 2,1 \cdot X_2 + 75 \cdot X_4 + 2,2 \cdot X_5 < 2,53$$

Щодо марганцю:

$$0,7 \cdot X_1 + 0,85 \cdot X_2 + 0,3 \cdot X_4 + 77 \cdot X_5 > 0,88$$

$$0,7 \cdot X_1 + 0,85 \cdot X_2 + 0,3 \cdot X_4 + 77 \cdot X_5 < 1,25$$

Щодо фосфору:

$$0,04 \cdot X_1 + 0,13 \cdot X_2 + 0,02 \cdot X_4 + 0,07 \cdot X_5 < 0,2$$

За сере:

$$0,03 \cdot X_1 + 0,15 \cdot X_2 + 0,01 \cdot X_3 + 0,05 \cdot X_4 + 0,02 \cdot X_5 < 0,15$$

Технологічні обмеження:

$$X_{(2)} < 0,35$$

Балансове рівняння за кількістю шихти:

$$\sum_{i=1}^7 X_i = 1 \cdot \frac{100}{100 + \Delta III} = 1 \cdot \frac{100}{100 - 3} = 1,03 \quad \Delta III = -3 \% \text{ (загальний чад)}$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 = 1,03$$

Цільова функція:

$$\sum_{i=1}^7 Z_i \cdot X_i \Rightarrow \min$$

$$7200 \cdot X_1 + 7000 \cdot X_2 + 13000 \cdot X_3 + 15000 \cdot X_4 + 14500 \cdot X_5 = 7559,77 \text{ грн/т}$$

Розв'язання рівнянь подано в таблиці 2.17:

Таблиця 2.17 - Розв'язання рівнянь в Excel

Вміст компонентів у шихті, %	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
	0,64634	0,35000	0,02397	0,00803	0,00166

Аналіз виконання обмежень:

N 2: залишок 0.2400 N 4: залишок 1.0600 N 6: залишок 0.3700 N 7: залишок 0.1284

N 8: залишок 0.0774

Розшифровка виконання обмежень:

За вуглецем: $4,12 - 0,24 = 3,88$

За кремнієм: $2,53 - 1,06 = 1,47$

За марганцем: $1,25 - 0,37 = 0,88$

За фосфором: $0,2 - 0,1284 = 0,0716$

По сірці: $0,15 - 0,0774 = 0,0726$

На підставі розрахунків для отримання 1 тонни металу з урахуванням втрат необхідний склад шихти, наведений у таблиці 2.18.

Таблиця 2.18 - Кількість компонентів шихти для отримання 1 тонни сплаву СЧ20

Компоненти шихти	Вміст компонентів шихти, %	Вміст компонентів шихти, кг
Сталевий брухт 2Б, ГОСТ 2787-86	64,630	646,300
Повернення, ГОСТ 977-88	35,000	350,000
Коксик, що графітизує	2,397	23,970
Феросиліцій ФС75, ГОСТ 1415-78	0,803	8,030
Феромарганець ФМn75, ГОСТ 4755-80	0,166	1,660

Розрахунок шихти для сплаву 30ХНМЛ

Хімічний склад 30ХНМЛ наведено в таблиці 2.19. Шихтові матеріали та їхній склад у масових частках відсотка наведено в таблиці 2.21.

Таблиця 2.19 - Хімічний склад сплаву 30ХНМЛ за ГОСТ 977-88 [5].

Марка сплаву	Масова частка елемента, %							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	S	P
30ХНМЛ	0,25-0,35	0,20-0,40	0,40-0,90	1,30-1,60	1,30-1,60	0,20-0,30	≤0,04	≤0,04

Таблиця 2.20 - Угар елементів, %

Піч	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	S	P
Індукційна піч промислової частоти	-15	-10	-20	-15	-10	-10	0	0

Розрахунок вмісту елементів у шихті:

$$C_{ш} = C_{чуг} \frac{100}{100 + \Delta C} = (0,25 \div 0,35) \frac{100}{100 - 15} = 0,29 \div 0,41$$

$$Si_{ш} = Si_{чуг} \frac{100}{100 + \Delta Si} = (0,20 \div 0,40) \frac{100}{100 - 10} = 0,22 \div 0,44$$

$$Mn_{ш} = Mn_{чуг} \frac{100}{100 + \Delta Mn} = (0,40 \div 0,90) \frac{100}{100 - 20} = 0,50 \div 1,26$$

$$Cr_{ш} = Cr_{чуг} \frac{100}{100 + \Delta Cr} = (1,30 \div 1,60) \frac{100}{100 - 15} = 1,53 \div 1,88$$

$$Mo_{ш} = Mo_{чуг} \frac{100}{100 + \Delta Mo} = (0,20 \div 0,30) \frac{100}{100 - 10} = 0,22 \div 0,33$$

$$Ni_{ш} = Ni_{чуг} \frac{100}{100 + \Delta Ni} = (1,30 \div 1,60) \frac{100}{100 - 10} = 1,44 \div 1,78$$

$$S_{ш} = S_{чуг} \leq 0,04$$

$$P_{ш} = P_{чуг} \leq 0,04$$

Таблиця 2.21 - Вибір шихтових матеріалів

Компоненти шихти	Позначення-сіння	Ціна компонентів шихти	Вміст елементів, %							
			C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	S	P
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Сталевий брукт 2Б, ГОСТ 2787-86	X ₁	7200	0,30	0,20	0,70	0	0	0	0,03	0,04
Повернення ГОСТ 977-88	X ₂	7000	0,30	0,30	0,65	1,45	1,45	0,25	0,04	0,04
Графітизуючий коксик	X ₃	13000	98,00	0	0	0	0	0	0,01	0
Феросиліцій ФС75, ГОСТ 1415-78	X ₄	15000	0,10	75,00	0,30	0	0	0	0,05	0,02

Феромарганець ФМn75, ГОСТ 4755-80	X ₅	14500	3,50	2,20	77,00	0	0	0	0,02	0,07
---	----------------	-------	------	------	-------	---	---	---	------	------

Продовження таблиці 2.21

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ферохром ФХ100А, ГОСТ 4757-91	X ₆	17000	1,00	2,00	0	65,00	0	0	0,02	0,03
Феромолібден ФМо50, ГОСТ 4759-91	X ₇	16000	0,50	5,00	0	0	0	50	0,20	0,10
Нікель НП1, ГОСТ 492-73	X ₈	25000	0,01	0,03	0	0	99,1	0	0	0

Балансові рівняння за вмістом хімічних елементів:

За вуглецем

$$0,3 \cdot X_{(1)} + 0,3 \cdot X_{(2)} + 98 \cdot X_{(3)} + 0,1 \cdot X_{(4)} + 3,5 \cdot X_{(5)} + X_6 + 0,5 \cdot X_{(7)} + 0,01 \cdot X_{(8)} > 0,29$$

$$0,3 \cdot X_{(1)} + 0,3 \cdot X_{(2)} + 98 \cdot X_{(3)} + 0,1 \cdot X_{(4)} + 3,5 \cdot X_{(5)} + X_6 + 0,5 \cdot X_{(7)} + 0,01 \cdot X_{(8)} < 0,41$$

Щодо кремнію

$$0,2 \cdot X_{(1)} + 0,3 \cdot X_{(2)} + 75 \cdot X_{(4)} + 2,2 \cdot X_{(5)} + 2 \cdot X_{(6)} + 5 \cdot X_{(7)} + 0,03 \cdot X_{(8)} > 0,22$$

$$0,2 \cdot X_{(1)} + 0,3 \cdot X_{(2)} + 75 \cdot X_{(4)} + 2,2 \cdot X_{(5)} + 2 \cdot X_{(6)} + 5 \cdot X_{(7)} + 0,03 \cdot X_{(8)} < 0,44$$

Щодо марганцю:

$$0,7 \cdot X_{(1)} + 0,65 \cdot X_{(2)} + 0,3 \cdot X_{(4)} + 77 \cdot X_{(5)} > 0,5$$

$$0,7 \cdot X_{(1)} + 0,65 \cdot X_{(2)} + 0,3 \cdot X_{(4)} + 77 \cdot X_{(5)} < 1,26$$

По хрому:

$$1,45 \cdot X_{(2)} + 65 \cdot X_{(6)} > 1,53$$

$$1,45 \cdot X_{(2)} + 65 \cdot X_{(6)} < 1,88$$

Щодо нікелю:

$$1,45 \cdot X_{(2)} + 99,1 \cdot X_{(8)} > 1,44$$

$$1,45 \cdot X_{(2)} + 99,1 \cdot X_{(8)} < 1,78$$

Щодо молібдену:

$$0,25 \cdot X_{(2)} + 50 \cdot X_{(7)} > 0,22$$

$$0,25 \cdot X_{(2)} + 50 \cdot X_{(7)} < 0,33$$

За сере:

$$0,03 \cdot X_{(1)} + 0,04 \cdot X_{(2)} + 0,01 \cdot X_{(3)} + 0,05 \cdot X_{(4)} + 0,02 \cdot X_{(5)} + 0,02 \cdot X_{(6)} + 0,2 \cdot X_{(7)} < 0,04$$

Щодо фосфору:

$$0,04 \cdot X_{(1)} + 0,04 \cdot X_{(2)} + 0,02 \cdot X_{(4)} + 0,07 \cdot X_{(5)} + 0,03 \cdot X_{(6)} + 0,1 \cdot X_{(7)} < 0,04$$

Технологічні обмеження:

$$X_{(2)} < 0,35$$

Балансове рівняння за кількістю шихти:

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 = 1,00$$

Цільова функція:

$$\sum_{i=1}^7 Z_i \cdot X_i \Rightarrow \min$$

$$7200 \cdot X_1 + 7000 \cdot X_2 + 13000 \cdot X_3 + 15000 \cdot X_4 + 14500 \cdot X_5 + 17000 \cdot X_6 + 16000 \cdot X_7 + 25000 \cdot X_8 = 7474,97 \text{ грн/т}$$

Розв'язання рівнянь подано в таблиці 2.22:

Таблиця 2.22 - Розв'язання рівнянь

Вміст компонентів у шихті, %	X ₁	X ₂	X ₆	X ₇	X ₈
	0,62221	0,35000	0,01573	0,00265	0,00941

Аналіз виконання обмежень:

N 3: перевищ. 0.0544 N 2: залишок 0.1012 N 5: перевищ. 0.1630

N 4: залишок 0.1656 N 6: залишок 0.5970 N 8: залишок 0.3500

N 10: залишок 0.3400 N 12: залишок 0.1100 N 13: залишок 0.0065

N 14: залишок 0.0004 N 1: перевищ. 0.0188

Розшифровка виконання обмежень:

За вуглецем: 0,29+ 0,02= 0,31

0,41 - 0,10 = 0,31

За кремнієм: 0,22+ 0,05= 0,27

0,44 - 0,17= 0,27

За марганцем: 0,5+ 0,16= 0,66

1,26 - 0,60= 0,66

По хрому: 1,88 - 0,35= 1,53

По нікелю: 1,78 - 0,11= 1,67

За молібденом: 0,33 - 0,01= 0,32

По сірці: 0,04 - 0,0004= 0,0396

На підставі розрахунків, зроблених за допомогою ЕОМ, для отримання 1 тонни металу з урахуванням втрат необхідний склад шихти, наведений у таблиці 2.23.

Таблиця 2.23 - Кількість компонентів шихти для отримання 1 тонни сплаву 30ХНМЛ

Компоненти шихти	Вміст компонентів шихти, %	Вміст компонентів шихти, кг
Сталевий брухт 2Б, ГОСТ 2787-86	62,22	622,20
Повернення, ГОСТ 977-88	35,00	350,00
Ферохром ФХ100А, ГОСТ 4757-91	1,57	15,70
Феромолібден ФМо50, ГОСТ 4759-91	0,27	2,70
Нікель НП1, ГОСТ 492-73	0,94	9,40

На підставі розрахунку шихти складається баланс металу, наведений у таблиці 2.24, для визначення виходу придатного, а також проведення надалі розрахунків складів шихтових матеріалів. Статті прибуткової частини балансу металу складаються на основі розрахунку оптимального складу шихти, який проводиться методом лінійного програмування.

Таблиця 2.24 - Стаття балансу металу на річну програму ливарного цеху

Статті приходу металу в шихтове відділення, т	Статті витрат металозавалки, т
Металозавалка	Відправлені виливки.....2500
1 Покупні шихтові матеріали:	Відбраковані виливки102
Графітизуючий коксик.....116,59	Ливники.....521
брухт сталевий6392,33	Сливи, скрап97
ФС75.....136,25	
ФМн75.....18,81	УСЬОГО
ФХ100А.....8,85	Рідкий метал3220
ФМо50.....1,52	Угар і втрати.....250
НП1.....5,30	
2 Повернення власного виробництва:	
ливники 521,00	
сливи, скрапи 97,00	
відбраковані виливки.....102,00	
	УСЬОГО
	Металозавалка.....3389

Вихід придатного дорівнює відношенню кількості придатних виливків у тоннах до металозавалки, вираженому у відсотках .

$$\frac{\text{Годные отливки}}{\text{Металлозавалка}} \cdot 100\% = \frac{2500}{3389} \cdot 100 = 73,8 \%$$

2.4 Розрахунок складу шихтових матеріалів

Склади шихтових матеріалів ливарних цехів виконують завдання приймання і розвантаження матеріалів, зберігання їх. Тип плавильних печей і склад шихти зумовлює послідовність підготовки матеріалів для плавки.

У процесі розрахунку плавильного відділення визначається річна кількість шихтових матеріалів, необхідна для забезпечення заданого випуску виливків. Кількість матеріалів, що надходять на склад, має перевищувати розраховані величини на величину втрат на складі. Ці втрати становлять приблизно 5 % для всіх матеріалів .

Розрахунок площ закромів і бункерів для зберігання матеріалів проводиться на основі розрахункової програми за формулами (5 - 9) і наведено в таблиці 2.25:

$$B_1 = \frac{B \cdot 100}{100 - X}, \quad (5)$$

де B_1 - витрата з урахуванням втрат, т
 B - витрата на річну програму, т
 X - втрати на складі, %

$$B_2 = \frac{B_1 \cdot K}{365}, \quad (6)$$

де B_2 - запас на складі, т
 K - норми зберігання, діб

$$T = \frac{B_2}{P}, \quad (7)$$

де T - запас на складі, м³
 P - насипна вага, т/м³

$$\Pi = \frac{T}{Z}, \quad (8)$$

де Π - потрібна площа, м²
 T - запас на складі, м³
 Z - висота зберігання, м

$$n = \frac{B_1 \cdot 100}{M}, \quad (9)$$

де n - норма витрати, %
 M - металозавалка, т

Таблиця 2.25 - Розрахункова програма складу шихтових матеріалів

Найменування матеріалу	Витрата на річну програму, т	Втрати на складі, %	Витрата з урахуванням втрат, т	Насипна вага, т/м ³	Норми зберігання, діб	Запас на складі		Металозавалка, т	Норма витрати, %	Висота зберігання, м	Необхідна площа, м ²
						т	м ³				
	B	X	B_1	P	K	B_2	T	M	n	Z	Π
Графітізуючий коксик	116,59	5	122,72	0,50	5	1,68	3,36	3389	4,34	2,00	1,68
Повернення ЧС5, СЧ20	454,00	5	477,89	2,50	5	6,55	2,62		16,92	2,00	1,31
Повернення	252,0	5	265,26	2,50	5	3,63	1,45		7,83	3,00	0,48

30ХНМ Л											
Лом сталевий	6392,3 3	5	6728,7 7	2,70	5	92,1 7	34,1 4		198,55	2,00	11,3 8
ФС75	136,25	3	140,46	2,70	5	1,92	0,71		4,97	1,00	0,71
ФМn75	18,81	3	19,40	2,70	5	0,27	0,10		0,69	1,00	0,10
ФХ100А	8,85	3	9,12	2,70	5	0,12	0,05		0,27	0,05	1,00
ФМо50	1,52	3	1,57	2,70	5	0,02	0,01		0,05	0,01	1,00
НП1	5,03	3	5,19	2,70	5	0,07	0,03		0,15	0,03	1,00

2.5 Розрахунок очисного і термообгрітного відділення

2.5.1 Вибір, обґрунтування, характеристика та розрахунок технологічного обладнання

Очищення виливків відбувається в дробеметно - дробоструминній камері періодичної дії моделі ДК-10. Для зачищення виливків використовують підвісний наждак.

Розрахунок кількості очисного обладнання проводиться на основі максимальної продуктивності формувального відділення за формулою (10) і представлений у таблиці 2.27:

$$n = \frac{a_{\phi} \cdot K}{a}, \quad (10)$$

де n - кількість очисного обладнання, шт;

a_{ϕ} - максимальна продуктивність формувального відділення, т/год;

K - коефіцієнт нерівномірності роботи $K=1,1$;

a - продуктивність очисного обладнання, т/год.

Таблиця 2.27 - Розрахунок кількості очисного обладнання

Вагова група виливків	Максимальна продуктивність формувального відділення, т/год	Марка очисного агрегату	Продуктивність очисного агрегату, т/год	Кількість очисних агрегатів		Коефіцієнт завантаження
				за розрахунком	прийнято	
100кг	2,2	ДК-10	3,0	0.81	1	0,81

2.5.2 Методи, режими та обладнання для термічної обробки виливків

Для зняття напружень проводять низькотемпературний відпал (штучне старіння) виливків за температури нагріву печі 500-600 °С упродовж 2-8 годин (залежно від габаритів виливки). Для усунення вибілу в тонких перетинах виливків застосовують графітизуючий відпал за температури нагріву печі 680-750 °С упродовж 1-4 годин.

Розрахунок кількості термічного обладнання проводять виходячи з норм тривалості циклу термообробки і питомого навантаження на площу поду печі. Число однотипних печей визначають за формулою (11):

$$P = \frac{B \cdot K_I}{\dot{O}_A \cdot N_P \cdot K_C} \quad (11)$$

де P - число печей, шт;

B - маса термічно оброблюваних виливків на річну виробничу програму, т;

K_H - коефіцієнт нерівномірності виробництва, $K_H=1,1$;

Φ_d - річний дійсний фонд часу роботи печі, год;

N_P - продуктивність печі, т/год;

K_3 - коефіцієнт завантаження обладнання.

Продуктивність печі розраховується за формулою (12):

$$N_P = \frac{S_I \cdot \alpha_I}{\dot{O}_I}, \quad (12)$$

де N_P - продуктивність печі, т/год;

S_I - площа поду печі, m^2 ;

α_I - питоме навантаження на площу поду печі, t/m^2 ;

T_I - тривалість циклу термообробки, год.

Тоді за формулою (12) продуктивність печі дорівнює $N_P = \frac{12 \cdot 0,5}{8} = 0,75$ т/год.

Кількість печей за формулою (11) дорівнює $P = \frac{2500 \cdot 1,1}{7800 \cdot 0,75 \cdot 0,85} = 0,55$. Прийнято

1 піч. Коефіцієнт завантаження $K_3 = 0,55/1 = 0,55$.

2.6 Розрахунок допоміжного та підйомно-транспортного обладнання

2.6.1 Розрахунок парку заливальних ковшів

Для розрахунку парку заливальних ковшів можна скористатися таким співвідношенням (13):

$$N = K \cdot K_I \cdot N_I, \quad (13)$$

де K - коефіцієнт, що враховує число ковшів у ремонті ($K=2$);

K_I - коефіцієнт нерівномірності використання ($K_I=1,2$);

N_I - кількість ковшів, які використовуються за зміну.

Число ковшів, що використовуються за зміну, за формулою (14) дорівнює:

$$N_I = \frac{n \cdot t_{CM}}{t}, \quad (14)$$

де n - число ковшів, що працюють одночасно;

t_{CM} - тривалість зміни, год;

t - тривалість роботи ковша між ремонтами, год.

Число ковшів, що одночасно працюють, n залежить від їхнього обороту та обсягу рідкого металу і розраховується за формулою (15):

$$n = \frac{Q_{ж} \cdot t_o}{\Phi_{д} \cdot q_{к}}, \quad (15)$$

де $Q_{ж}$ - річна кількість металу, що розливається з даного типу ковшів, т;
 t_o - оборот ковша, год;
 $\Phi_{д}$ - дійсний річний фонд часу роботи плавильного обладнання, год;
 $q_{к}$ - місткість ковша, т.

Отже, за формулою (15) число ковшів, що одночасно працюють, дорівнює:

$$n = \frac{2684 \cdot 0,5}{3975 \cdot 0,5} = \frac{1342,0}{1987,5} = 0,68$$

Розрахунок парку заливальних ковшів представлений у таблиці 2.26.

Таблиця 2.26 - Розрахунок парку ковшів

Річне кількість рідкого металу, т	Місткість ковша, кг	Оборот ковша, ч	Кількість одночасно працюючих ковшів, шт.	Міжремонтний період, год.	Кількість ковшів за зміну, шт.	Кількість ковшів у цеху, шт.	Прийнята кількість ковшів, шт
$Q_{ж}$	$q_{к}$	t_o	n	τ	N_1	N	n_1
2655	500	0,5	2	6	2,7	6,4	7

2.6.1.1 Ремонт футерування роздавальних ковшів.

Ремонт роздавальних ковшів проводять у разі розгару футерування понад 1/3 його товщини .

Для футерування роздавальних ковшів застосовують:

а) цегла ШБ 11№6

б) цегла пряма ШБ 1№5

в) маса вогнетривка, масова частка, %: глина вогнетривка ДН-3 - до 40%, кварцовий пісок - 60%, вода - 10%.

2.7 Опис технологічного процесу в цеху

2.7.1 Опис технологічного процесу в плавильному відділенні

2.7.1.1 Плавка чавуну в індукційній печі

Обладнання та інструмент:

Плавильний комплекс складається з індукційних печей ємністю 2,5 і 0,5 тонни, що живляться від одного джерела живлення ТПЧД 3600 - 0,25. Керування всіма системами і механізмами комплексу здійснюється комп'ютерною системою управління, що забезпечує автоматичне управління процесом плавки, сушіння і спікання футерування, "холодний старт" та ін. режими. На рідкокристалічному дисплеї системи управління відображається мнемонічна схема комплексу із зазначенням стану всіх систем і механізмів комплексу, режимів його роботи та діагностики, відображається температура розплаву, потужність, що підводиться до печі. Ведеться статистичний облік усіх робочих параметрів комплексу.

Для виплавки чавуну використовується таке обладнання:

- індукційна піч ІЧТ - 2,5 із кислим футеруванням;
- ківш розливний;
- стенд для підігріву ковша;
- форма для заливки проб для випробування механічних властивостей;
- кокіль для відливання проб для визначення хімічного складу;
- ложка для відбору і заливки проб;
- скребок для видалення шлаку;
- короб для шлаку.

а) Зарузка шихти в піч:

Шихтові матеріали завантажуються з окремих контейнерів за допомогою вагових дозаторів і стрічкового конвеєра в баддю.

Баддя на візку пересувається в пічний проліт. Після підігріву шихти баддю за допомогою крана поміщають над відкритим тиглем у печі, низ бадді розкривається і шихта завантажується в піч.

б) Розплавлення і доведення металу:

- На дно тигля укладається частина дрібної шихти у вигляді стружки або скрапу;
- Більшу частину шихти укласти біля стінок тигля перпендикулярно напрямку магнітних силових ліній, що створює сприятливіші умови для швидкого розплавлення шихти;

- Іншу частину шихти укласти так, щоб домогтися максимальної щільності її кладки в тиглі, для чого дрібну частину шихти розташувати між великими шматками і в середній частині тигля.

Завантажувати тигель вище рівня індуктора не рекомендується, оскільки це уповільнює плавку. Після закінчення завантаження тигель слід закрити керамічною кришкою і ввімкнути струм.

в) Контроль якості та коригування металу за хімічним складом:

- відбір проби на хімічний аналіз;
- збирання шлаку графітовою ложкою;
- замір температури металу.

Коригування чавуну за хімічним складом здійснюється шляхом введення відповідного компонента шихти, наведені в таблиці 2.28.

Таблиця 2.28 - Коригування хімічного складу чавуну

Необхідна зміна хімічного складу, масова частка, %	Найменування компонента, що вводиться	На 1 т. рідкого металу, кг
збільшення С на 0.1 %	електродний бій	1,45
збільшення Si на 0.1 %	ФС75	1,30
збільшення Mn на 0.1 %	ФMn75	1,30
зменшення С на 0.1 %	сталевий брухт	30,00
зменшення Si на 0.1 %	сталевий брухт	50,00
	електродний бій	1,60

г) Випуск металу з печі в ківш і його доведення:

- попередньо прогріти ковш на стенді підігріву до червоного.
- підвести ківш до плавильної печі за допомогою крана.
- зняти напругу з індуктора.
- виміряти температуру металу в печі за допомогою термопари занурення.

Температура розплаву має становити 1450 - 1470 ° С.

- увімкнути механізм повороту печі та здійснити випуск металу з печі в ківш.

Нахил тигля печі проводити без ривків і поштовхів.

- після зливу металу піч повернути в початкове положення, очистити тигель і носок печі від залишків шлаку.

- за допомогою крана транспортувати ківш із металом до місця скачування шлаку.

- за допомогою скребка видалити шлак з поверхні розплаву з ковша в шлаковий короб.

- за допомогою ложки взяти пробу і відлити зразок для визначення механічних властивостей.

- за допомогою крана транспортувати ківш із металом до місця його розливання у форми.

- перед заливанням ливарних форм виміряти температуру розплаву в ковші за допомогою термопари занурення. Температура розплаву має бути не нижче 1300 - 1320 °С.

2.7.1.2 Модифікування чавуну

Для модифікування застосовують графітизуючі модифікатори, які служать для подрібнення графіту та усунення відбілу. Як основний модифікатор використовується феросиліцій ФС75. Але крім ФС75 можна також застосовувати силікокальцій, чорний графіт (якщо тільки необхідно усунути відбіл без особливого впливу на механічні властивості чавуну), а також модифікатори, що містять

рідкісноземельні метали, зокрема Се і Y, які в невеликих кількостях (0,03 - 0,1 %) сприяють графітизації.

Сам процес модифікування відбуватиметься в ковші. Для цього модифікатор у вигляді шматків розміром 5 -15 мм вводиться в струмінь чавуну під час зливу з печі в ківш. Але перед використанням модифікатора його потрібно прожарити за температури 300 - 400° С. Щоб уникнути демодифікування, тривалість витримки чавуну не має бути більшою за живучість модифікатора, тобто для ФС75 та об'єму ковша 2,5 т витримка має бути не більшою за 10 хвилин.

У разі прояву ознак демодифікування чавуну рекомендується повторна обробка модифікатором. Контроль якості модифікування здійснюють за висотою вибілу клинової проби. Контрольні проби відливаються через 5 хв.

Унаслідок модифікування підвищуються не тільки механічні властивості чавуну, а й однорідність структури і властивостей за перерізом виливки.

2.7.1.3 Футерування індукційної печі.

Склад кислого (кварцового) вогнетривкого футерування для печі наведено в таблиці 2.29.

Таблиця 2.29 - Характеристика футерування

Футерування	Масова частка складових, %				Вогнетривкість, °С	Щільність в ущільненому стані, кг/м ³	Пористість, %
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	інші			
Кисле кварцове	98,5	0,4	0,2	0,9	1750	2140 - 2180	18 - 20

Масова частка борної кислоти рекомендується різною: за кислого футерування в донній частині тигля - близько 1,0 %, у верхній частині - близько 2 %.

Технологія виготовлення такого футерування включає такі операції: підготовку суміші, набивання і спікання. Підготовка суміші полягає в сушінні, розсіві вихідних матеріалів на фракції, дозуванні та змішуванні фракцій. Сполучна речовина також просушується, розмелюється і просівається. Перемішування підготовленої суміші зі сполучною речовиною проводиться безпосередньо перед набиванням. Для набивання футерування виготовляють шаблон із листової маловуглецевої сталі (5 мм); зовнішній профіль шаблону відповідає профілю тигля печі; у стінках шаблону в шаховому порядку на відстані 200 ×200 мм виконують отвори діаметром 5-6 мм . Набивне футерування здійснюють у зазорі між індуктором і шаблоном пневмотрамбуванням, вібраторами спрямованої дії або вручну, шарами по 50 -60 мм; перед засипанням чергової порції суміші поверхню попереднього шару розпушують.

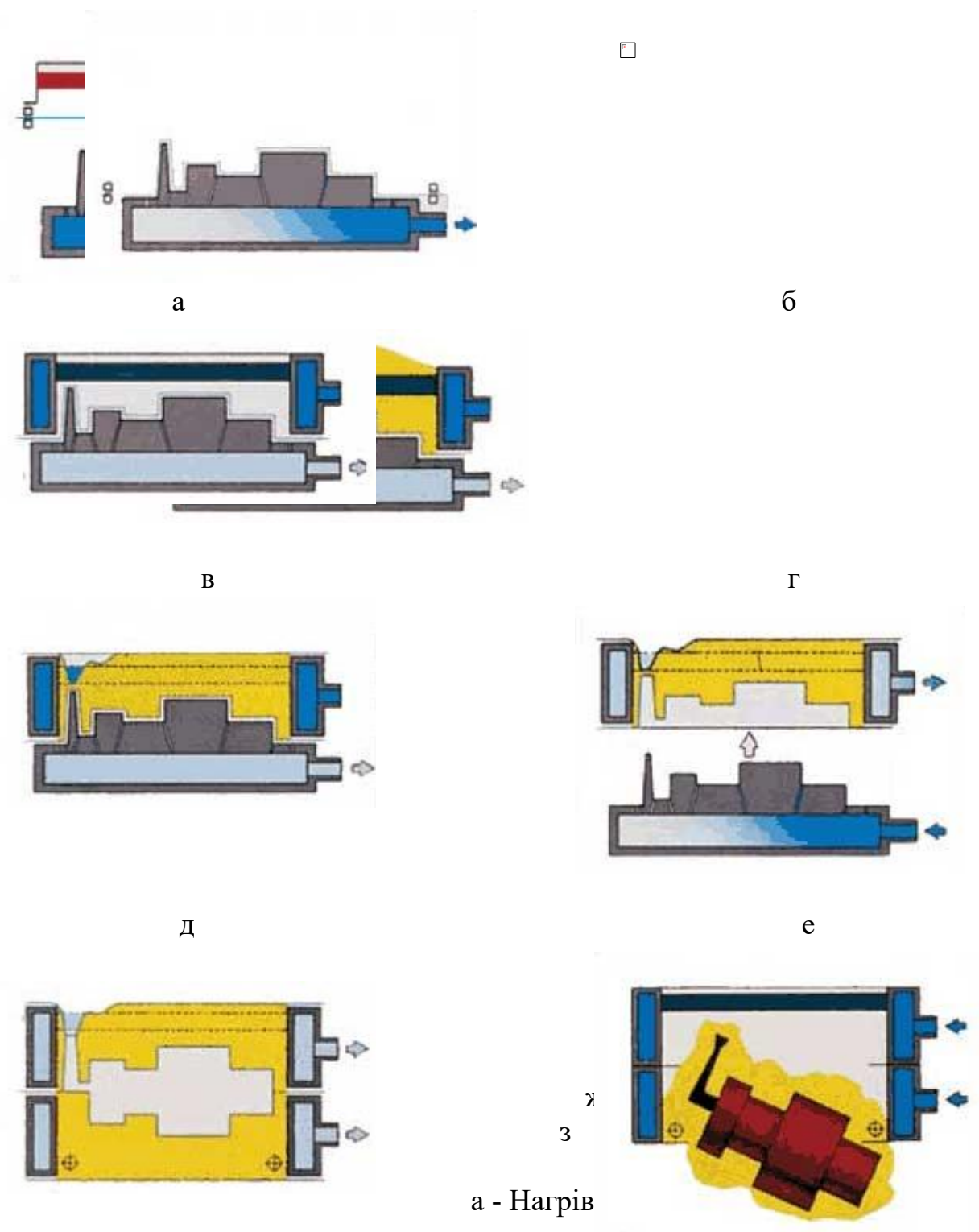
Спікання футерування проводиться за певним режимом: спочатку до T = 1300 °С завдяки розігріву шаблону вихровими струмами під час увімкнення печі, а потім - залитим або наплавленим рідким металом. Тривалість експлуатації футерування становить зазвичай один - три місяці.

2.7.2 Опис технологічного процесу в формувальному відділенні

2.7.2.1 Вакуумний метод формування

Процес вакуумного формування представлений на рис. 1.

Нагріта пластична плівка накладається за допомогою вакууму на забезпечену вентами модель, яка встановлена в закритому коробі, де потім створюється вакуум (а - б). Далі плівка, облицьована на модель, піддається фарбуванню.



- б - Модель облицьованої плівкою
- в - Встановлення опоки
- г - Заповнення піском
- д - Накладення покривної плівки
- е - Знімання готової напівформи
- ж - Форма в зборі
- з - Вибивання виливки

Рис.2.1 - Вакуум - плівкове формування

На короб (в) для вакууму з моделлю встановлюється опока. У форму (г) засипається дрібнозернистий, не зв'язаний кварцовий пісок, який ущільнюється за допомогою вібрації.

Після накладення покривної плівки з піску (д) відсмоктується повітря, і таким чином форма ущільнюється. Для знімання форми (е) вакуум на моделі замінюється невеликим надлишковим тиском.

До, під час і після заливки сама форма залишається під вакуумом (ж). Для відділення виливки вакуум, підтримуваний у формі, прибирають. Пісок і виливок випадають з опоки без будь-якого стороннього впливу (з).

Вибивання виливків відбувається на інерційній решітці з тристороннім верхньобоковою шатровою парасолькою, двостороннім відсмоктуванням і подачею компенсуючого повітря. Далі пісок потрапляє в систему піскообігу.

Спочатку пісок зсипається за допомогою віброжолоба в установку охолодження піску в киплячому шарі, потім уже охолоджений пісок перфорованим пластинчастим конвеєром транспортується в завантажувальний лоток елеватора. Через розвантажувальний лоток готовий до повторного використання пісок надходить у бункер установки вакуумно-плівкового формування.

Якщо через шар зернистого матеріалу продувати знизу повітря, то при досягненні деякої швидкості повітря частинки матеріалу починають дуже швидко і хаотично переміщатися, утворюючи, немов би, киплячу рідину. Ця схожість не тільки зовнішня: так званий киплячий шар матеріалу підпорядковується законам гідростатики і має плинність. Наявність великої поверхні контакту твердих частинок з газовим середовищем та інтенсивне перемішування частинок обумовлюють ефективний теплообмін і масообмін між частинками і газовим потоком. Це дає змогу ефективно використовувати киплячий шар для охолодження піску.

2.7.2.2 Основні рекомендації для виробництва виливків

Застосовуваний метод вакуумно-плівкового формування (V-процес) має низку особливостей:

а) Застосовуваний пісок.

Пісок, завдяки відсутності газотворних добавок і малому тиску газів у порожнині форми, може мати низьку газопроникність. Тому для отримання щільної форми і чистої поверхні виливки застосовують суміш двох фракцій піску, наприклад 1K10₂02 або 1K10₂016 за ГОСТ 2138-91. Пісок повинен мати вологість не більше 0,1

%. Для того, щоб під час вібрації полегшити перетікання піску, що сприяє щільнішому пакуванню зерен, зерна піску мають мати округлу форму (хоча пісок із незграбними зернами дає за меншої об'ємної густини більшу міцність на стиск). Застосування дрібнозернистого піску сприяє підвищенню чистоти поверхні лиття.

б) Матеріал для фарбування форми.

Наповнювач - цирконовий концентрат, основа - спирт.

в) Метод фарбування форми.

- Ефективне застосування розпилювача для покриття форми; тонкий шар утворюється на плівці, що покриває модель.
- Фарбування пензлем спричинить нерівномірне фарбування на плоскій поверхні. Буде потрібно більше часу на фарбування.
- Використання повітряного розпилювача в деяких випадках може спричинити засмічення сопла і забруднення повітря на робочому місці. Щоб запобігти засміченню сопла, рекомендується занурити сопло в розчин покриття після використання.

г) Підсушування форми.

Сушіння здійснюється за допомогою обдування стисненим повітрям. Однак з метою скорочення часу сушіння рекомендується подача гарячого повітря, нагрітого за допомогою електричного або газового пристрою (90 - 100 °C).

д) Застосовувані різновиди плівки.

Плівка типу "Севілен" (сополімер етилену з вінілацетатом) являє собою високомолекулярну сполуку, що належить до поліолефінів. Отримують її методом, аналогічним методу виробництва поліетилену низької щільності (високого тиску). "Севілен" перевершує поліетилен за прозорістю та еластичністю за низьких температур, має підвищену адгезію до різних матеріалів. Цей тип плівки використовується для боку моделі. В основному застосовується плівка з товщиною 113 - 100 мкм, $T_{пл} = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $\rho_{тв} = 940\text{ кг/м}^3$.

Для зворотного боку опоки рекомендується застосовувати поліетиленову плівку низької щільності, товщиною 30 мкм.

е) Опока з системою бічного відсмоктування.

Опока має відсмоктувальну перфоровану тгрну із сітчастим фільтром і колектор із патгрнком. Краї плівки відгинають і закріплюють на стінках опоки за допомогою. В опоку засипають пісок і ущільнюють його за допомогою вібрації, потім зчищають надлишок піску з боку контрлада, накладають плівку і через тгрну вакуумують форму, причому атмосферний тиск спресовує пісок до твердості 90-95 од. Фільтрова тгрна має бути розташована таким чином, щоб виливки можна було легко зняти

Для підтримання вакууму у формі під час переміщення опоки на ділянку збирання і заливки використовується зворотний клапан.

ж) Встановлення вакуумного відсмоктування.

Механізм збереження конфігурації робочої поверхні форми під час заповнення форми металом вельми специфічний. Плівка, що нагрівається до високої температури, на повітрі запалюється, і, якби це сталося в порожнині форми, то пісок обрушився б. У V-процесі, завдяки створенню вакууму, плівка притискається до піску, а після розплавлення полімеру він втягується у форму і зв'язує зерна, утворюючи оболонку. Під час подальшого нагрівання мономер, що випаровується,

всмоктується в глиб форми, де він конденсується на холодних зернах піску і виконує роль сполучного. Деструкція плівки не зменшує вакуум до нуля, хоча утворена оболонка і має деяку газопроникність. Безперервне вакуумування форми підтримує потрібну різницю тисків, і оболонка, як спочатку плівка, присмоктується до основної маси піску, зберігаючи конфігурацію робочої порожнини форми.

Завдяки тому, що оболонка газопроникна, є можливість відсмоктувати газ із порожнини форми, що заливається.

Завдяки повільнішому охолодженню металу, а також деякому розрідженню в порожнині форми поліпшується її заповнюваність. Для V - процесу необхідною характеристикою вакуумного відсмоктування є 300 - 400 мм .рт.ст. (40 - 53,3 кПа)

2.7.3 Опис технологічного процесу у відділенні фінішних операцій

Очищення виливків проводиться в дробеметно - дробоструминній камері періодичної дії моделі ДК-10

Видалення залишків, швів та інших нерівностей, що залишилися після вибивання, на зовнішніх і внутрішніх поверхнях виливків, а також вигрнування дефектів для заварювання, технологічних (несправжніх) ребер у виливках виконують пневматичними молотками із зубилами (моделі МР-4).

Для зачищення живильників, надливів та інших дрібних нерівностей на зовнішніх поверхнях чавунних виливків застосовують спеціальні установки, забезпечені абразивними корундовими кругами. Задири, гострі кромки та інші подібні нерівності виливків видаляють на спеціальних вібраційних машинах і на заточувальних шліфувальних верстатах.

Основними методами виправлення дефектів виливків є декоративне закладення дрібних поверхневих раковин пастами - мастиками і замазками; просочування спеціальними складами (водним розчином амонію) для усунення пористості виливків, газове або електричне зварювання.

Грунтовку застосовують для запобігання корозії виливків при їх тривалому зберіганні або транспортуванні. Забарвленню піддають зовнішні та внутрішні поверхні виливків, що не підлягають обробці різанням, спеціальною густою фарбою (грунтом). Перед грунтуванням виливки поверхні виливки очищають від піску і пилу в мийних установках струменем їдкового натру. Виливки грунтують у прохідних фарбувальних камерах на підвісних конвеєрах зануренням у бак із фарбою. Після грунтування виливки сушать у прохідній сушильній камері.

Контроль виливків здійснюється на двох етапах: після зачистки (проміжний) і остаточний.

2.8 Можливі дефекти у виливках і методи їх усунення

Для виливків, виготовлених за технологією вакуумно-плівкового формування (ВПФ) характерні види дефектів:

- усадочна пористість;
- рихлота;
- різностінність;

- заливи;
- газова пористість;
- газова раковина;
- пригар.

Слід зазначити, що за даними ливарних цехів заграничних фірм загальна кількість видів браку, порівняно з технологією виготовлення виливків у піщаних формах, знижена в 2 рази. Складність боротьби з браком у загальному випадку в тому, що один і той самий дефект може бути викликаний низкою причин, а одна і та сама причина може спричинити кілька видів дефектів. Тому виявлення і ранжування технологічних чинників, визначення їхніх оптимальних значень, що впливають на якість виливків, для технології ВПФ - вельми важливе питання.

Вивчення процесу заповнення форми розплавом, проведення повнофакторних експериментів та аналіз їхніх результатів дали змогу зробити висновок, що технологічним фактором, який чинить домінантний вплив на утворення газових дефектів у виливках, є величина розрідження в просторі наповнювача форми. Саме від цього чинника на стадії формоутворення і динаміки його зміни під час заливки залежать міцність форми і, як наслідок, якість виливків.

Види браку (ГОСТ 19200-80) виливків, виготовлених ВПФ, і заходи його запобігання:

а) усадочна пористість - дефект у вигляді дрібних пір, що утворилися внаслідок усадки металу під час його затвердіння за недостатнього живлення виливки.

Способи запобігання та усунення дефектів:

- конструювання виливка з урахуванням відсотка усадки сплаву;
- простановка надливів у масивних частинах виливки;
- ЛС повинна забезпечувати живлення виливки в процесі її охолодження;

б) рихлота - дефект у вигляді скупчення дрібних усадочних раковин.

Способи запобігання та усунення дефектів:

- ті самі, що й для усадкової пористості.

в) різностінність - дефект у вигляді збільшення або зменшення товщини стінок виливки внаслідок зсуву, деформації або спливання стрижня.

- ретельне складання форм.

г) заливи - дефект у вигляді металевого припливу або виступу, що виникає внаслідок проникнення рідкого металу в зазори по роз'єму форми, стрижнів або по стрижневих знаках.

Способи попередження та усунення:

- плівка перед нанесенням на модель має бути розігріта до температури термопласту, щоб унеможливити місця нещільного її прилягання в кутах моделі та утворення галтелей;
- зазори в знакових частинах між формою і стрижнем в умовах ВПФ мають бути зведені до мінімуму;
- перед заливанням можливе встановлення вантажу на верхню напівформу.

д) газова пористість - дефект у вигляді дрібних пір, що утворилися у виливку внаслідок виділення газів із металу під час його затвердіння.

Способи попередження та усунення:

- дегазація розплаву перед його заливкою у форму;
- зниження температури заливки розплаву на 15 - 20 ° С;
- вибір мінімально допустимої величини розрідження у формі під час її заливки.

е) газова шорсткість - дефект у вигляді кулястих заглиблень на поверхні виливки, що виникають унаслідок зростання газових раковин на поверхні розділу "метал - форма".

Способи попередження та усунення:

- вибір мінімального розрідження у формі під час її заливки;
- проставлення випора;
- не допускати поривів плівки, що оформляє порожнину форми;
- ЛС має забезпечувати спокійне заповнення розплавом порожнини форми;
- наколи в плівці в торцях знакових частин форми для видалення газів зі стрижня його природним вакуумуванням.

ж) газові раковини - дефект у вигляді порожнини, утвореної газами, що виділилися з металу або проникли в метал.

Способи попередження та усунення:

- вибір мінімального розрідження у формі під час її заливки;
- проставлення випора;
- наколи в плівці в торцях знакових частин форми для видалення газів зі стрижня його природним вакуумуванням.

з) пригар - дефект у вигляді важковідокремлюваного специфічного спою на поверхні виливки, що утворився внаслідок фізичної та хімічної взаємодії формувального матеріалу з металом і його оксидами.

Способи попередження та усунення:

- нанесення протипригарного покриття на плівку з боку формувального матеріалу;
- вибір мінімального розрідження у формі під час її заливки;
- проставлення випора.

Для виправлення ненаскрізних дефектів середніх і великих розмірів на необроблюваних неробочих місцях виливків використовують такий вид закладення дефектів, як холодне зварювання. Цей вид зварювання виконують без нагрівання з попередньою ретельною підготовкою і обробленням ураженого місця виливки.

У виливках з будь-яких сплавів найчастіше зустрічаються газові дефекти. При цьому якщо в реальних виробничих умовах більшість технологічних факторів можна зафіксувати на заздалегідь заданих рівнях, то розрідження у формі може змінюватися випадково. Причинами можуть слугувати: випадкові краплі розплаву, що потрапили на плівку контрлада під час заливання форми, пориви плівки в робочій порожнині форми і низка інших, що сприяють розгерметизації форми.

Тому, поряд із правильним підбором перерахованих технологічних чинників і правильно сконструйованої ЛС, вкрай важливо в конструкції машини для ВПФ мати систему стеження й автоматичного регулювання розрідження у вакуумованій формі

протягом усього циклу виготовлення виливки, що дасть змогу звести до мінімуму ймовірність появи браку за газовими включеннями та пригаром.

2.9 Система управління якістю продукції

Для здійснення системи якості продукції в ливарному цеху, що проектується, здійснюється контроль не тільки за якістю продукції, що випускається, а й за всіма технологічними процесами і за всіма видами матеріалів, які використовуються у виробництві.

За якістю стежить відділ технічного контролю (ВТК). За якість також відповідає головний інженер.

За контроль якості в цеху відповідають:

- ВТК;
- технолог;
- майстер зміни, дільниці;
- бригадир;
- робочий.

Методи контролю за технологічними процесами в різних відділеннях цеху представлені в таблиці 2.30.

Таблиця 2.30 - Управління якістю продукції

Відділення	Об'єкт	Метод контролю
1	2	3
Плавильне	Шихтові матеріали: - кокс ливарний КЛ-1; - сталевий брухт; - феросплави	Здійснюється шляхом проведення хімічного аналізу в лабораторії підприємства для порівняння з сертифікатом заводу постачальника. Якщо будуть відхилення, то має бути виконаний повторний контрольний аналіз подвоєної кількості проб. Середньоарифметичний результат повторного аналізу буде остаточним.
	Рідкий метал: ЧС5 і СЧ20	Здійснюється шляхом проведення хімічного аналізу в експрес-лабораторії цеху для контролю технічного процесу плавки металу. При цьому контролюється хімічний склад сплаву, його температура і так само береться проба на відбіл.
		Концентрація вуглецю і сірки перевіряється кулонометричним способом або титруванням. Усі інші елементи - за допомогою спектрального аналізу. Вимірювання вуглецевого еквівалента відбувається шляхом зняття термограми і за допомогою електричного пірометра. Проба на відбіл перевіряється за допомогою клинової проби.

Формувальне	Пісок: – 1K10 ₂ 02; – 1K10 ₂ 016. Ферохромний шлак; Вугілля мелене; Рідке скло; Розчин їдкого натру; ДС-РАС.	Під час надходження на склад пісок має пройти хімічний аналіз у лабораторії підприємства. Під час підготовки піску контроль якості повинен виконуватися відповідно до технологічного процесу: вологість, газопроникність, газоутворюваність, осипальність. Контроль здійснюється в експрес-лабораторії цеху на відповідному обладнанні. Так само частковий візуальний контроль може бути здійснений робітником на своєму робочому місці.
	Плівка "Севілен 11306-075",	Під час надходження на склад плівка має пройти контроль на відповідність ТУ 6-05-1636-97
Фінішні операції	Відбивання літників	Основний метод контролю - візуальний і здійснюється самим робітником. Робітник так само може скористатися вимірювальними засобами і приладами для здійснення контролю відповідно до заданих геометричних параметрів.
	ВИЛИВОК	Кожен виліток має бути перевірений на відповідність геометричних розмірів. Також виливки мають бути перевірені методами неруйнівного контролю - радіографічною та ультразвуковою дефектоскопією для виявлення внутрішніх дефектів. Якщо було виявлено дефект, то виліток має відправитися на ділянку закладення дефектів. І якщо там не вдається усунути дефект, то такий виліток відправляють на переплав. Виливок-представник має пройти контрольно-здавальні випробування.

2.9.1 Організація і метод контролю виливків

Виливки в цеху, що проектується, контролюються за такими видами контролю:

а) Контроль розмірної точності виливки

Виливок перевіряється на відповідність геометричним розмірам, зазначеним у кресленні. Контроль виконується на розмірній плиті лінійкою, рейсмусом, шаблоном та іншими інструментами. Таким чином, у цеху визначається викривлення, перекіс, піддутисть і різностінність.

Перевіряється кожна перша партія виливків після зміни модельного комплекту.

б) Контроль зовнішнього вигляду виливки

Контроль зовнішнього вигляду виливки виконують візуально на відповідність виливків технічним умовам шляхом порівняння з еталоном.

в) Контроль якості поверхні та виявлення дефектів

Внутрішні дефекти виливків виявляють методами радіографічної та ультразвукової дефектоскопії. Дефекти виливків (шлакові включення, газові та

усадочні раковини, пухкості, пори і тріщини) меншою мірою поглинають (послаблюють) інтенсивність променів, ніж сам метал, тому на спеціальній плівці (яка застосовується в цьому методі) такі дефекти з'являються у вигляді темних плям. Радіографічні методи дають змогу визначити глибину залягання дефекту і його розміри.

Поверхневі дефекти виливків у вигляді тріщин, пір і раковин, пригару і ужимін виявляються різними методами. Видимі дефекти виявляють під час візуального огляду. Невидимі поверхневі дефекти визначають за допомогою люмінесцентної, магнітної та колірної дефектоскопії.

Шорсткість поверхні визначається за спеціальними зразками і контролюється за допомогою еталонів і спеціальних приладів - профілографів і профілометрів.

г) Контроль механічних властивостей

Міцність виливків визначається за спеціальними виливками-зразками, припливами виливків і вирізанням з виливків зразків. Твердість визначається на виливку, а в деяких випадках на зразках, вирізаних з виливків. За спеціальними виливками-зразками так само визначають тимчасовий опір, відносне подовження тощо.

На міцність перевіряють зразки з кожної партії виливків; на твердість - кожен великий виливок, а середні та дрібні вибірково.

д) Контроль мікроструктури

Мікроструктуру перевіряють за стандартними зразками-приливами і за вирізаними з виливків зразками. Зі зразків виготовляють шліфи, за якими в лабораторії металографії визначають мікроструктуру.

Контролю піддаються всі відповідальні виливки; виливки загального призначення перевіряються вибірково.

е) Контроль хімічного складу

Відлиті зразки або стружка виливки піддаються в лабораторії хімічному або іншому спеціальному аналізу. Перевіряється кожна партія виливків.

ж) Випробування на гідропроникність

Випробування проводяться на спеціальних стендах. У випробовувану порожнину наливається вода або гас до необхідного рівня. Місця течі визначають візуально. Виливки, що працюють під тиском, випробовують після механічної обробки. Перевіряється кожен виливок, якщо того вимагають технічні умови.

з) Контроль на відповідність виливки технологічним вимогам

Перевіряється точність деяких геометричних розмірів, наявність спеціальних транспортувальних скоб (для великих і середніх виливків), а також технологічних припливів тощо. Контролюється покриття виливків спеціальними ґрунтовками, їхня жаростійкість та інші параметри.

Підставою для контролю є креслення литої деталі. Перевіряється кожне велике відливання, а середні та дрібні відливки вибірково.

і) Контроль маси

Виливки зважують після перевірки їх на геометричну точність.

2.10 Складське господарство цеху

2.10.1 Зберігання і транспортування оснащення

Моделі та опоки слід зберігати в спеціально обладнаному загальнозаводському складі модельного оснащення.

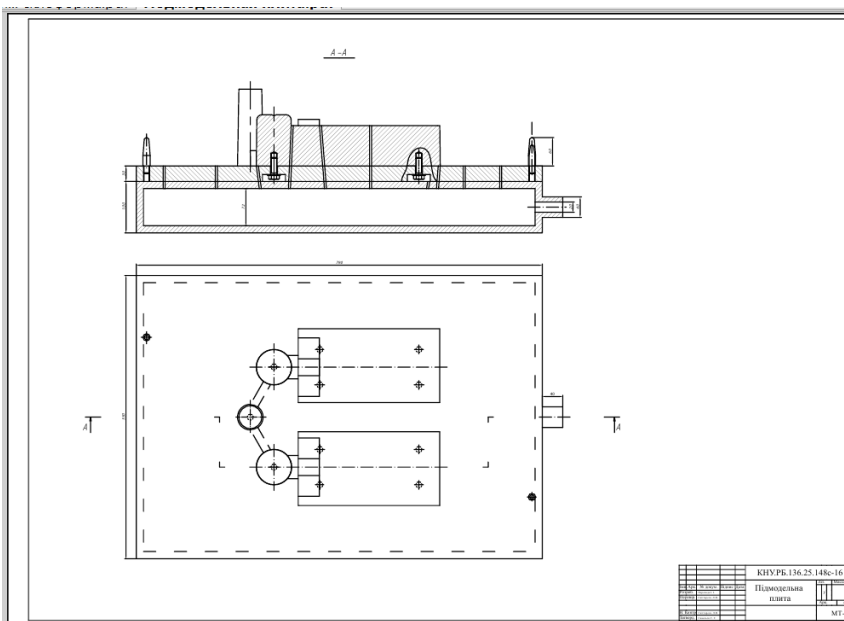
Подача комплектів оснащення в проміжні склади модельного оснащення повинна здійснюватися вилковими електронавантажувачами і електрокарами в уніфікованій тарі, на піддонах, електрокарами з причепами. Проміжні склади модельного оснащення необхідно обладнати підйомними засобами (електронавантажувачами, штабелерами), стелажми, етажерками, які дають змогу зберігати на прокладках моделі, опоки, модельні плити з моделями в кілька ярусів,

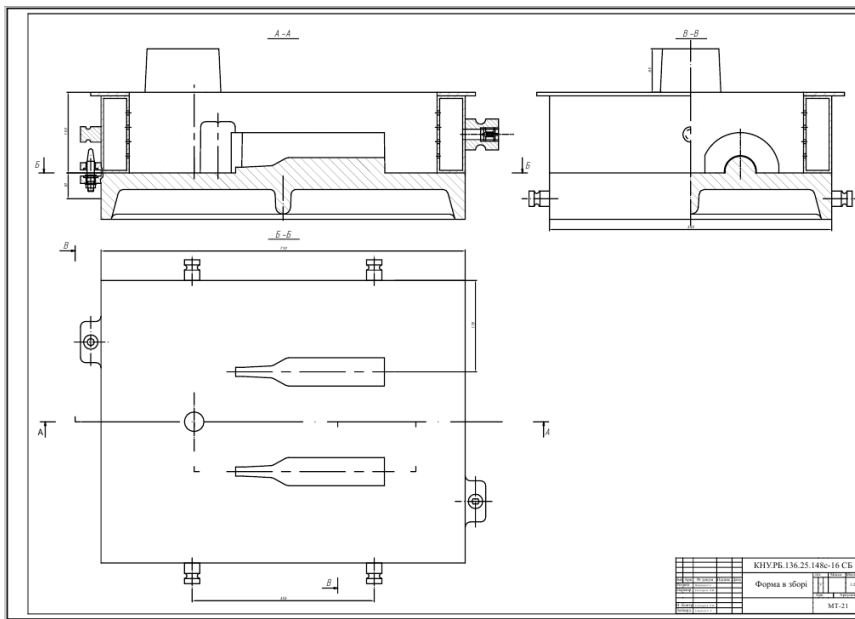
Для зберігання великих опок та іншого ливарного оснащення слід передбачати відкриті або криті естакади. Склади опок повинні розміщуватися в безпосередній близькості до формувальних ділянок.

2.10.2. Зберігання і транспортування виливків і повернення

Готові виливки зберігаються на загальнозаводському складі виливків. Міжопераційні склади виливків передбачимо із застосуванням уніфікованої оборотної тари, що забезпечує багаторярусне укладання електронавантажувачем, а за великих обсягів складів - організацію механізованих і автоматизованих складів із використанням штабелерів.

Повернення власного виробництва (литники і браковані виливки) після різання доставляється в шихтове відділення електронавантажувачем у контейнерах, для подальшого переплаву.





Обґрунтування і вибір способу виготовлення виливки

Цей виливок доцільно виготовляти литтям у вакуум-плівкові піщані форми. Вибір цього способу лиття зумовлений насамперед вимогами до шорсткості поверхні деталі (Rz40, за винятком кількох поверхонь із Rz25, які піддаються механічному обробленню), конфігурацією виливки, матеріалом, з якого виготовляють виливок, а також типом виробництва (дрібносерійне).

Лиття у вакуум-плівкові піщані форми забезпечує простоту виготовлення форм, відносно невеликі капітальні вкладення, не вимагає дорогих матеріалів і висококваліфікованих кадрів, дає змогу одержувати виливки даних габаритів і конфігурації. Ущільнення формувальної суміші проводиться за рахунок вакуумування

Визначення поверхні роз'єму моделі та форми

Роз'єм моделі та форми показано на кресленні відрізком, що закінчується знаком -х, над яким стоїть буквене позначення роз'єму - Ф. Напрямок роз'єму показаний суцільною основною лінією, обмеженою стрілками, перпендикулярною до роз'єму. Площину роз'єму обрано так, щоб забезпечувалося вільне вилучення моделі без поломок форми. Положення виливки у формі під час заливання позначено літерами В (верх) і Н (низ). Букви стоять біля стрілок, що показують напрямок роз'єму форми.

Призначення припусків на механічну обробку і точність розмірів і маси виливки

Припуском на механічну обробку називається шар металу (на бік), який призначений для зняття в процесі механічної обробки. Припуск відповідає серединам

полів допусків деталі та виливки. Припуски на механічну обробку визначають згідно з ГОСТ 26645-85 [9]

Під час вибору технологічності процесу лиття обирається лиття у вакуум - плівкові піщані форми.

Під час вибору типу сплаву вибирають значення, що відносяться до термооброблюваних чавунних і кольорових тугоплавких сплавів. При цьому вибирають менші значення, які стосуються виливків невеликої складності.

а) Клас розмірної точності виливки

Найбільший габаритний розмір виливки - 275,4 мм

Тип сплаву - термооброблюваний чавунний сплав

Технологічний процес лиття - лиття у вакуум - плівкові піщані у вакуумі

Клас точності розмірів - 10

б) Допуск розміру виливка - обирається залежно від класу точності виливка і номінального розміру.

Номінальний розмір 275,4 мм.

Величина допуску - 4,0 мм

в) Ступінь точності поверхні виливки - береться залежно від технологічного процесу лиття, типу сплаву і найбільшого габаритного розміру виливки.

Виливок простий, виготовляється в умовах дрібносерійного виробництва

Ступінь точності поверхні виливки - 11

г) Ряд припусків на механічну обробку виливка - вибирається за ступенем точності поверхні. **Ряд припусків - 6**

д) Ступінь викривлення елементів виливка вибирається за елементом виливки з найбільшим ступенем викривлення. Тобто відношення найменшого розміру елемента виливки до найбільшого має бути мінімальним.

$$\delta/l = 76,1/275,4 = 0,28$$

Ступінь викривлення виливки - 6

е) Допуск форми і розташування елементів виливки - вибирають за ступенем викривлення і номінальним розміром нормованої ділянки.

Номінальний розмір нормованої ділянки - 275,4 мм

Ступінь викривлення елементів виливки - 6

Допуск форми і розташування елементів виливки - 1,0 мм

ж) Остаточний вид механічної обробки з урахуванням похибок форми і розташування поверхні виливки

Чистова механічна обробка

з) Точність обробки і припуски виливків.

Вибираємо неавтоматизоване обладнання за високого рівня точності обробки за середньої точності верстатів.

і) Загальний допуск елементів виливки - вибирається залежно від допуску розміру від поверхні до бази і від допуску форми і розташування поверхні. (Для поверхонь симетричних або утворених тілом обертання береться половинний допуск).

Допуск розміру від поверхні до бази - 4,0 мм

Допуск форми і розташування поверхні - 1,0 мм

Загальний допуск - 4,0 мм (не більше)

к) Загальний припуск на бік - визначається за загальним допуском елемента поверхні, видом остаточної механічної обробки і рядом припуску на механічну обробку.

Загальний допуск елемента поверхні - 4,0 мм

Остаточна механічна обробка - чистова

Ряд припуску - 6

Загальний припуск на сторону -4,8 мм (не більше)

л) Клас точності маси виливки - обирається виходячи з технологічного процесу лиття, номінальної маси виливки і типу сплаву.

Номінальна маса виливки -15,0 кг

Технологічний процес лиття - лиття у вакуум - плівкові піщані форми

Тип сплаву - термооброблюваний чавунний сплав

Клас точності маси виливки - 9

м) Допуск маси виливки та припуски на обробку

Номінальна маса виливки -15,0 кг

Клас точності маси - 9

Допуск маси виливки - 8 %. Маса виливки з урахуванням припусків 16,2 кг

н) Мінімальний ливарний припуск на бік

Ряд припуску виливки - 6

Мінімальний ливарний припуск -0,6 мм (не більше)

о) Допуск зміщення виливки за площиною роз'єму - обирають за класом розмірної точності виливки і номінальним розміром найтоншої зі стінок виливки, що виходять на роз'єм або перетинають його.

Клас розмірної точності - 10

Номінальний розмір - 40 мм

Допуск зміщення - 2,2 мм

Таким чином, Точність відливання: 10 - 6 - 11 - 9 Див. 2,2 ГОСТ 26645-85

Маса 15-0,08-0-16,2 ГОСТ 26645-85

Вибір усадки сплаву

Величина лінійної (вільної) усадки сірого чавуну ЧС5 відповідає 0,5 - 1,2 %. Коефіцієнт об'ємної усадки (β) у рідкому і твердо-рідкому станах для чавуну ЧС5 приймається рівним 2 % .

Призначення формувальних ухилів і галтелей

На вертикальних стінках моделей передбачають спеціальні ухили для того, щоб модель можна було вільно видалити з форми без будь-яких пошкоджень форми.

Формувальні ухили на оброблюваних поверхнях виливки виконують понад припуск на механічну обробку. Ухили встановлюються за ГОСТ 3212-80 . Отже, для $H=76,1$ ухил дорівнює 25' або .0,75 мм

Для отримання плавних переходів від однієї поверхні виливки до іншої передбачаються галтелі.

Вибір і розрахунок надливів, холодильника і ливникової системи

За формулою (18) Намюра-Шкленника розрахуємо обсяг надлива:

$$V_{np.} = m \cdot \xi \cdot R_{\text{э.т.у.}}^3 \cdot (1 + \beta)^3 \cdot y \cdot Z + 3\beta \cdot V_{\phi}, \quad (18)$$

де m - безрозмірний коефіцієнт, що залежить від відстані між надливом і місцем підведення металу;

β - об'ємна усадка сплаву, %/100;

ξ - безрозмірний коефіцієнт конфігурації надливу;

y - безрозмірний коефіцієнт, що враховує відносну тривалість затвердіння теплового вузла і надливу залежно від їхньої конфігурації;

z - безрозмірний коефіцієнт, що характеризує тепловий стан надливу і теплового вузла;

V_{ϕ} - обсяг форми або тієї її частини, для якої розраховується надлив, см^3

$R_{\text{э.т.у.}}$ - ефективна, приведена товщина теплового вузла виливка.

Для відстані між надливом і живильником ливникової системи, що дорівнює >2 товщини стінки виливки, $m = 1,0$.

Для найбільш часто вживаного надливу зі співвідношенням висоти і діаметра $H_{np} = 1,25d_{np}$ значення $\xi = 108$.

Ефективна наведена товщина теплового вузла виливка визначається за співвідношенням (19):

$$R_{\text{э.т.у.}} = \frac{V_{\text{т.у.}}}{S_{\text{э.т.у.}}}, \quad (19)$$

де $V_{\text{т.у.}}$ - об'єм теплового вузла, см^3 ;

$S_{\text{э.т.у.}}$ - площа поверхні, на якій здійснюється тепловідведення, см^2 .

Тоді зі співвідношення (19) ефективна приведена товщина теплового вузла виливки дорівнює:

$$R_{\text{э.т.у.}} = \frac{364}{1536} = 2,37 \text{ см}$$

Вибираємо коефіцієнт об'ємної усадки. Оскільки виливок виготовляється з високоміцного чавуну, то коефіцієнт об'ємної усадки дорівнює: $\beta = 0,04$.

Прийmemo $y = 1,62$ для циліндричного надливу.

Коефіцієнт $Z = 1$ для піщаної форми.

Обсяг форми $V_{\phi} = V_{\text{т.у.}} = 364 \text{ см}^3$.

Отже, за формулою (18) обсяг прибутку дорівнює:

$$V_{np.} = 1,0 \cdot 108 \cdot 2,37^3 \cdot (1 + 0,04)^3 \cdot 1,62 \cdot 1 + 3 \cdot 0,04 \cdot 364 = 2663,57 \text{ см}^3.$$

З отриманих даних знаходимо висоту і діаметр надливу:

$d_{np.} = 6,9 \text{ см}$.

$H_{np.} = 10,0 \text{ см}$.

Розрахунок перешийка проводиться за формулою (20):

$$\frac{ab}{a+b} \geq R' \left(2 - \frac{nR'}{c} \right), \quad (20)$$

де a, b і c - розміри перешийка, мм;
 n - коефіцієнт теплообміну;
 R' - приведена товщина надливу, см

$$\frac{30 \cdot 30}{30 + 30} \geq 2,37 \cdot \left(2 - \frac{1 \cdot 2,37}{30} \right)$$

$$15 \geq 4,55$$

Отже, розміри перешийка будуть:

$a = 30\text{мм}$; $b = 30\text{мм}$; $c = 30\text{мм}$.

Вибір і розрахунок елементів ливникової системи

Для живлення виливка вибираємо середньобокову горизонтальну ливникову систему, як найзручнішу для формування, що дає змогу отримати максимальну щільність виливки. У формі розташовано 2 виливки.

Вибираємо ливникову систему, що розширюється, як таку, що забезпечує спокійну заливку і, відповідно, вищу якість виливків. У такій системі найвужчим місцем буде поперечний переріз стояка.

Таким чином, шлаковловлювачі та ливникові ходи розташовані збоку виливки в горизонтальній порожнині форми, що зручно щодо формування.

Усі розрахунки елементів ливникової системи ведуться від площі найвужчого перерізу. Площу найвужчого перерізу знаходять за формулою (21):

$$F_{\text{оч}} = \frac{10000 \cdot M \cdot N}{\tau \cdot \rho \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_p}}, \quad (21)$$

де M - маса одного виливка, що дорівнює 16,2 кг (з урахуванням припусків);

N - число виливків у формі, що дорівнює 2 шт;

τ - тривалість заповнення форми металом;

ρ - густина рідкого металу, $\rho = 6950 \text{ кг/м}^3$;

μ - коефіцієнт витрати ливникової системи, $\mu = 0,6$ - оскільки опір системи малий, використовується 1 поворот і горизонтальна середньобокова ливникова система;

H_p - розрахунковий статичний напір металу.

Тривалість часу затвердіння форми обчислюється від початку виходу металу з живильників і до підходу його до стелі робочої порожнини форми. Для усунення дефектів, які можуть з'явитися у виливках у вигляді недоливів, незлитин, ужимін і засмічень, що виникають унаслідок тривалого теплового впливу розплаву на стінки форми, необхідне більш швидке заповнення форми.

Тривалість заповнення форми металом визначається за формулою (22) (формула Соболева - Дубицького):

$$\tau = S \cdot \sqrt[3]{M \cdot \delta} \quad (22)$$

де τ - тривалість заповнення форми, с;

δ - переважна товщина стінки виливки, мм;

S - коефіцієнт, що залежить від роду сплаву, типу ливарної форми, конструкції ливникової системи;

M - маса виливки, кг.

Таким чином тривалість заповнення форми металом за формулою (22) дорівнює:

$$\tau = 1,8 \cdot \sqrt[3]{16,2 \cdot 40} = 15,6 \text{ с}$$

Розрахунковий статичний напір металу розраховується за формулою (23):

$$H_p = H_{cm} - \frac{p^2}{2 \cdot c} + H_1, \quad (23)$$

де H_p - розрахунковий статичний напір, м;

H_{cm} - висота стояка, м;

p - висота від осі живильників до верху виливки;

c - висота виливки;

H_1 - відстань від форми до рівня металу в поворотному ковші, м.

За формулою (23) для опоки з висотою 150 мм розрахунковий статичний напір дорівнює:

$$H_p = 0,15 - \frac{0,0761^2}{2 \cdot 0,0761} + 0,10 = 0,212 \text{ м}$$

Таким чином за формулою (21):

$$F_{yz} = \frac{10000 \cdot 2 \cdot 16,2}{15,6 \cdot 6950 \cdot 0,6 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 0,212}} = 2,5 \text{ см}^2 = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

Діаметр стояка розраховується за формулою (24):

$$D_{ст.в} = 2 \cdot \sqrt{\frac{F_{yz}}{\pi}}, \quad (24)$$

де F_{yz} - площа поперечного перерізу вузького місця, см².

Тоді діаметр стояка за формулою (24) дорівнює:

$$D_{ст.в} = 2 \cdot \sqrt{\frac{2,5}{\pi}} = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Оскільки у виробництві використовуються стандартні стояки, обираємо мінімальний діаметр стояка 3 см і отримуємо площу вузького перерізу $F_{yz} = 7,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$.

Поперечний переріз шлаковловлювача і живильників розрахуємо згідно з такими співвідношеннями. Для чавуну співвідношення площ поперечних перерізів

стояка, шлаковловлювача і живильників ливникової системи, що розширюється, становить: $F_{ст}: \Sigma F_{шл}: \Sigma F_{піт} = 1 : 1,2 : 1,5$.

Звідси $F_{шл} = 7,1 \cdot 1,2 = 8,5 \text{ см}^2$; $\Sigma F_{піт} = 7,1 \cdot 1,5 = 10,7 \text{ см}^2$

Коло в перерізі - найпоширеніша форма стояків. У виробництві для зручності формування стояк має зворотний конус.

Діаметр стояка внизу визначається за формулою (25):

$$D_{ст.н} = D_{ст.в} + 0,01 \cdot H_{ст} \quad (25)$$

$$D_{ст.н} = 3 + 0,01 \cdot 0,15 = 3,1 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Висота стояка приймається рівною висоті напівформи $h_{нд} = h_{\text{півформи}} = 15 \text{ см}$

Найчастіше застосовують шлаковловлювач постійного перерізу у вигляді трапеції, площу якого визначають за прийнятим співвідношенням площ. Їх визначають після розрахунку його площі поперечного перерізу.

Ширина шлаковловлювача біля основи визначається за формулою (26):

$$b_n = \sqrt{\frac{F_{шл}}{1,26}}, \quad (26)$$

Тоді ширина нижньої основи шлаковловлювача за формулою (26) дорівнює:

$$b_n = \sqrt{\frac{8,5}{1,26}} = 2,6 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Ширина шлаковловлювача вгорі визначається за формулою (27):

$$b_v = 0,8 \cdot b_n \quad (27)$$

Отже, за формулою (27):

$$b_v = 0,8 \cdot 2,6 = 2,1 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Висота шлаковловлювача визначається за формулою (28):

$$h_{ш} = 1,4 \cdot b_n \quad (28)$$

$$h_{ш} = 1,4 \cdot 2,6 = 3,64 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Товщина живильника визначається за формулою (29):

$$\delta_{піт.} = 0,75 \cdot b_{отл} \quad (29)$$

$$\delta_{піт.} = 0,75 \cdot 40 = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Сумарну ширину живильників розраховують із рівності (30)

$$\sum b_{num} = \sum F_{num} / \delta_{num} \quad (30)$$

Тоді з рівності (30) ширина живильників дорівнює:

$$\sum b_{num} = 10,7 / 3 = 3,6 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Отже ширина одного живильника дорівнює:

$$b_{nm} = \frac{\sum b_{nm}}{k} = \frac{3,6}{4} = 0,9 \cdot 10^{-2} \text{ м},$$

де $k = 4$ - число живильників.

Довжина живильників розраховується за формулою (31):

$$l_{піт.} = 0,65 \cdot h_{(ш)} \quad (31)$$

З формули (31) видно, що довжина живильників дорівнює:

$$l_{\text{пит.}} = 0,65 \cdot 3,64 = 2,37 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Розміри ливникової чаші визначають за формулою (32):

$$a = \sqrt[3]{0,24 \cdot V_{\text{мет}}}, \quad (32)$$

де $V_{\text{мет}}$ - об'єм металу, що заливається у форму, м^3 .

З формули (32) розмір ливникової чаші дорівнює:

$$a = \sqrt[3]{0,24 \cdot 5,73 \cdot 10^{-3}} = 0,11 \text{ м}.$$

Розрахунок часу витримки виливки у формі

Час витримки виливки у формі розраховується за формулою (33), яка містить час для зняття перегріву, час кристалізації сплаву і час, необхідний для охолодження виливки до температури вибивання:

$$t_{\text{вид}} = t_{\text{пер}} + t_{\text{кр}} + t_{\text{охл}}, \quad (33)$$

де $t_{\text{вид}}$ - час витримки виливки у формі, с;

$t_{\text{пер}}$ - час для зняття перегріву, с;

$t_{\text{кр}}$ - час кристалізації, с;

$t_{\text{охл}}$ - час охолодження до температури вибивання, с.

Час для зняття перегріву розраховується за формулою (34):

$$t_{\text{пер}} = \frac{\pi}{16} \cdot S_0^2 \cdot \rho_{\text{жс}}^2 \cdot C_{\text{жс}}^2 \cdot \left(\frac{b_{\phi} + b_{\text{жс}}}{b_{\phi} \cdot b_{\text{жс}}} \right)^2 \cdot \left[\ln^2 \frac{(T_{\text{зал}} - T_{\text{н.ф.}})}{(T_{\text{кр}} - T_{\text{н.ф.}})} \right] \quad (34)$$

де S_0 - переважна товщина стінки виливки, м;

$\rho_{\text{жс}}$ - густина рідкого металу, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$C_{\text{жс}}$ - теплоємність рідкого металу, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$;

b_{ϕ} - коефіцієнт акумуляції теплоти формою, $(\text{Вт} \cdot \text{с}^{1/2})/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

$b_{\text{жс}}$ - коефіцієнт акумуляції теплоти рідким металом, $(\text{Вт} \cdot \text{с}^{1/2})/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

$T_{\text{зал}}$ - температура заливки металу, К;

$T_{\text{нф}}$ - початкова температура форми, К;

$T_{\text{кр}}$ - температура кристалізації сплаву, К.

Тоді за формулою (34):

$$t_{\text{пер}} = \frac{3,14}{16} \cdot 0,04^2 \cdot 6950^2 \cdot 850^2 \cdot \left(\frac{1260 + 11500}{1260 \cdot 11500} \right)^2 \cdot \left[\ln^2 \frac{(1573 - 298)}{(1443 - 298)} \right] = 98 \text{ с}$$

Час кристалізації виливки розраховується за формулою (35):

$$t_{\text{кр}} = \frac{\pi}{16} \cdot S_0^2 \cdot \rho_{\text{т-жс}}^2 \cdot C_{\text{эф}}^2 \cdot \left(\frac{b_{\phi} + b_{\text{т-жс}}}{b_{\phi} \cdot b_{\text{т-жс}}} \right)^2 \cdot \left[\ln^2 \frac{(T_{\text{кр}} - T_{\text{н.ф.}})}{(T_{\text{с}} - T_{\text{н.ф.}})} \right] \quad (35)$$

де $\rho_{\text{т-жс}}$ - густина металу в твердо рідкому стані, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$C_{\text{эф}}$ - ефективна теплоємність металу, що кристалізується, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$;

$b_{\text{т-жс}}$ - коефіцієнт акумуляції теплоти металу в твердо-рідкому стані,

$(\text{Вт} \cdot \text{с}^{1/2})/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

T_c - температура солідус, К.

Ефективна теплоємність металу, що кристалізується, обчислюється за формулою (36):

$$C_{\text{эф}} = C_{\text{т-ж}} + \frac{L_{\text{кр}}}{T_{\text{л}} - T_{\text{с}}} \quad (36)$$

де $C_{\text{т-ж}}$ - теплоємність металу в твердо рідкому стані, Дж/(кг · К);

L - питома теплота затвердіння даного сплаву, Дж/(кг · К).

Тоді за формулою (36) ефективна теплоємність металу, що кристалізується, дорівнює:

$$C_{\text{эф}} = 700 + \frac{215000}{1200 - 1150} = 5000,0 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$$

З рівності (35) час кристалізації виливки дорівнює:

$$t_{\text{кр}} = \frac{3,14}{16} \cdot 0,04^2 \cdot 7100^2 \cdot 5000,0^2 \cdot \left(\frac{1260 + 12500}{1260 \cdot 12500} \right)^2 \cdot \left[\ln^2 \frac{(1443 - 298)}{(1423 - 298)} \right] = 94 \text{ с}$$

Час охолодження виливки до температури вибивання, розраховується за формулою (37):

$$t_{\text{охл}} = \frac{\pi}{16} \cdot S_0^2 \cdot \rho_m^2 \cdot C_m^2 \cdot \left(\frac{b_{\phi} + b_m}{b_{\phi} \cdot b_m} \right)^2 \cdot \left[\ln^2 \frac{(T_c - T_{\text{н.ф.}})}{(T_{\text{выб}} - T_{\text{н.ф.}})} \right] \quad (37)$$

де ρ_m - густина металу в твердому стані, кг/м³;

C_m - теплоємність металу в твердому стані, Дж/(кг · К);

b_m - коефіцієнт акумуляції теплоти металу в твердому стані, $(\text{Вт} \cdot \text{с}^{1/2})/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

$T_{\text{выб}}$ - температура вибивання, К.

З формули (37) час охолодження виливки до температури вибивання дорівнює:

$$t_{\text{охл}} = \frac{3,14}{16} \cdot 0,04^2 \cdot 7200^2 \cdot 560^2 \cdot \left(\frac{1260 + 14000}{1260 \cdot 14000} \right)^2 \cdot \left[\ln^2 \frac{(1423 - 298)}{(773 - 298)} \right] = 2840 \text{ с}$$

Підставляючи знайдені значення у формулу (33) отримуємо:

$$t_{\text{выд}} = 98 + 94 + 2840 = 3032 \text{ с}$$

Час витримки виливки до вибивання становить 3032 секунд або 50,5 хвилин.

3.2. Розроблення оптимального варіанта лиття виливки "Склоформа" на основі комп'ютерного моделювання

Нині не можна назвати сферу людської діяльності, в якій би не застосовувалися методи моделювання. Особливо це стосується сфери управління різними процесами на основі одержуваної інформації. Моделювання є основним методом досліджень у всіх галузях знань, а також науково обґрунтованим методом оцінок характеристик складних систем, що використовується для прийняття рішень у різних сферах інженерної діяльності. Існуючі та проєктовані системи можна ефективно досліджувати за допомогою математичних моделей (аналітичних та імітаційних), які

реалізують на ПК, які в цьому разі виступають як інструмент для роботи експериментатора з моделлю системи.

Основною метою проведеного моделювання є дослідження процесу заповнення порожнини форми рідким металом із подальшим затвердінням

Моделювання здійснювалося за допомогою комп'ютерної програми LVMFlow.

Пакет програм LVMFlow - це система комп'ютерного моделювання теплових і гідродинамічних процесів лиття. Ядром пакета є рівняння тепломасопереносу.

Застосування пакета в ливарному виробництві дає змогу:

- знизити роль натурного експерименту, що скорочує витрати на відпрацювання технології лиття;
- виготовляти виливки високої якості, вельми складної конфігурації, які практично не потребують додаткової обробки;
- використовувати велику номенклатуру сплавів;
- підвищувати професійний рівень технолога-ливарника.

Послідовність роботи в модулі Initial.

а) Створюємо різницеву сітку в розрахунковій області, на якій будуть розв'язуватися рівняння тепломасопереносу. У LVMFlow елементарним осередком різницевої сітки є куб. Тому для автоматичної генерації сітки достатньо ввести один параметр - розмір осередку (крок сітки), або задати загальну кількість вузлів сітки. Що менший крок сітки, то точніше рішення, яке вийде в процесі обчислення.

б) На межах розрахункової області задаємо умови теплообміну. Завдання граничних умов на межі розрахункової області здійснюється вибором одного з чотирьох варіантів:

- а) на межі розрахункової області підтримується задана температура;
- б) межа розрахункової області є площиною симетрії;
- в) за межами межі розрахункової області розташовується нескінченна форма;
- г) межа розрахункової області є межею форма-повітря.

в) Задаємо початкові температури форми і металу, що заливається.

г) Формулюємо параметри заливки. У LVMFlow закладена можливість моделювання двох видів заливки: гравітаційне лиття і лиття під тиском. Завдання місця живлення металом (ливникової точки) проводиться на межі розрахункової області в точці, що належить виливці або ливниково-живильній системі. Для гравітаційного лиття задається тиск - висота стовпа рідини над перерізом, у якому встановлена ливникова точка, і коефіцієнт, що характеризує зменшення потоку розплаву, викликане тертям рідини об стінки заливального пристрою.. Зміну швидкості вхідного потоку в часі можна задати спочатку формуванням таблиці "час-швидкість" або організацією системи сенсорів. Встановлені у виливок сенсори працюють так: коли фронт розплаву проходить через сенсор, відбувається зміна швидкості вхідного потоку.

д) Вводимо параметри додаткових технологічних прийомів. На межі метал-форма можна ввести параметри, що характеризують протипригарне покриття, а також параметри, що враховують утворення повітряних зазорів між металом і формою в процесі затвердіння виливка.

е) Встановлюємо датчики. Для більш детального аналізу користувач може встановити датчики в будь-якому місці розрахункової області (у виливку або оснащенні). Показання датчиків виводяться у вигляді графіків часової залежності виведеної функції (температури, швидкості зміни температури, частки рідкої фази, швидкості течії розплаву, вхідного потоку розплаву).

Більшість параметрів спочатку встановлені за замовчуванням системою Системні установки. У процесі роботи достатньо відкоригувати параметри або не змінювати їх взагалі. Введення значень параметрів можна здійснювати в довільному порядку..

Гідродинамічний аналіз заповнення форми

У модулі Гідродинаміка моделюється заповнення форми розплавом, яке розглядається як течія ідеальної нестисливої рідини без урахування процесів теплопередачі. Течія описується рівняннями Нав'є - Стокса, де в'язкість враховується у вигляді поправки. Для вивчення руху в розплаві сторонніх (шлакових) частинок у пакеті передбачена можливість моделювання руху кулястих частинок заданого радіуса і густини. У пакеті можливе одночасне моделювання процесів заповнення форми розплавом і його затвердіння.

У кожному окремому модулі процеси тепломасопереносу описуються замкненою динамічною системою рівнянь, що ґрунтуються на законах збереження енергії, імпульсу, маси, рівнянь стану багатокомпонентних сплавів, які розв'язуються на прямокутній сітці методом скінченних різниць МКР з автоматичним вибором кроку інтегрування за часом. Такий підхід є найоптимальнішим порівняно, наприклад, із методом скінченних елементів МСЕ:

а) проста автоматична генерація скінченно-різницевої сітки;

б) для досягнення однієї й тієї самої точності розв'язання скінченно-різницевої методи потребують значно менше машинної пам'яті та часу лічби.

Динаміка процесу несе в собі велику кількість інформації, тому відображенню результатів моделювання в пакеті приділено велику увагу. Результати моделювання, такі як температура, частка рідкої фази, швидкість течії розплаву, тиск у розплаві, частка усадкових дефектів, виводяться на кожному часовому кроці. Виведення образу виливки (так само як і полів функцій, що характеризують її стан) здійснюється у вигляді ізометричного зображення (3D) і в довільному плоскому перерізі (2D), у колірній гамі, що відповідає встановленій шкалі. Функції обертання і масштабування доповнюють можливості перегляду. Для отримання більш детальної інформації можна зчитати чисельне значення поля (температури, частки рідкої фази, швидкості, частки дефектів) у довільній точці розрахункової області.

Беручи до уваги все вище сказане, можна стверджувати, що LVMFlow є чудовим інструментом не тільки на виробництві, а й для освітніх цілей і є важливим компонентом для підготовки кваліфікованого персоналу для ливарних виробництв.

Процес моделювання здійснювався з різними технологічними параметрами. Використовували різні способи заливки форми металом, ливникові системи тощо.

Варіант 1. Використовується бічна ливникова система з підведенням металу по довжині виливки, надлив розташовано на виливку (розрахунок здійснювали за формулою Намюра-Шкленника (18)), усі поверхні виконують у піщаній формі.

У тілі виливка і в надливі є усадочна раковина і пористість. Максимальний обсяг усадочної пористості в тілі виливки досягає 70 %.

За технічними вимогами усадочна пористість не повинна перевищувати 1,5 %. Оскільки усадочна пористість перевищує нормовані значення, такий спосіб лиття неприпустимий.

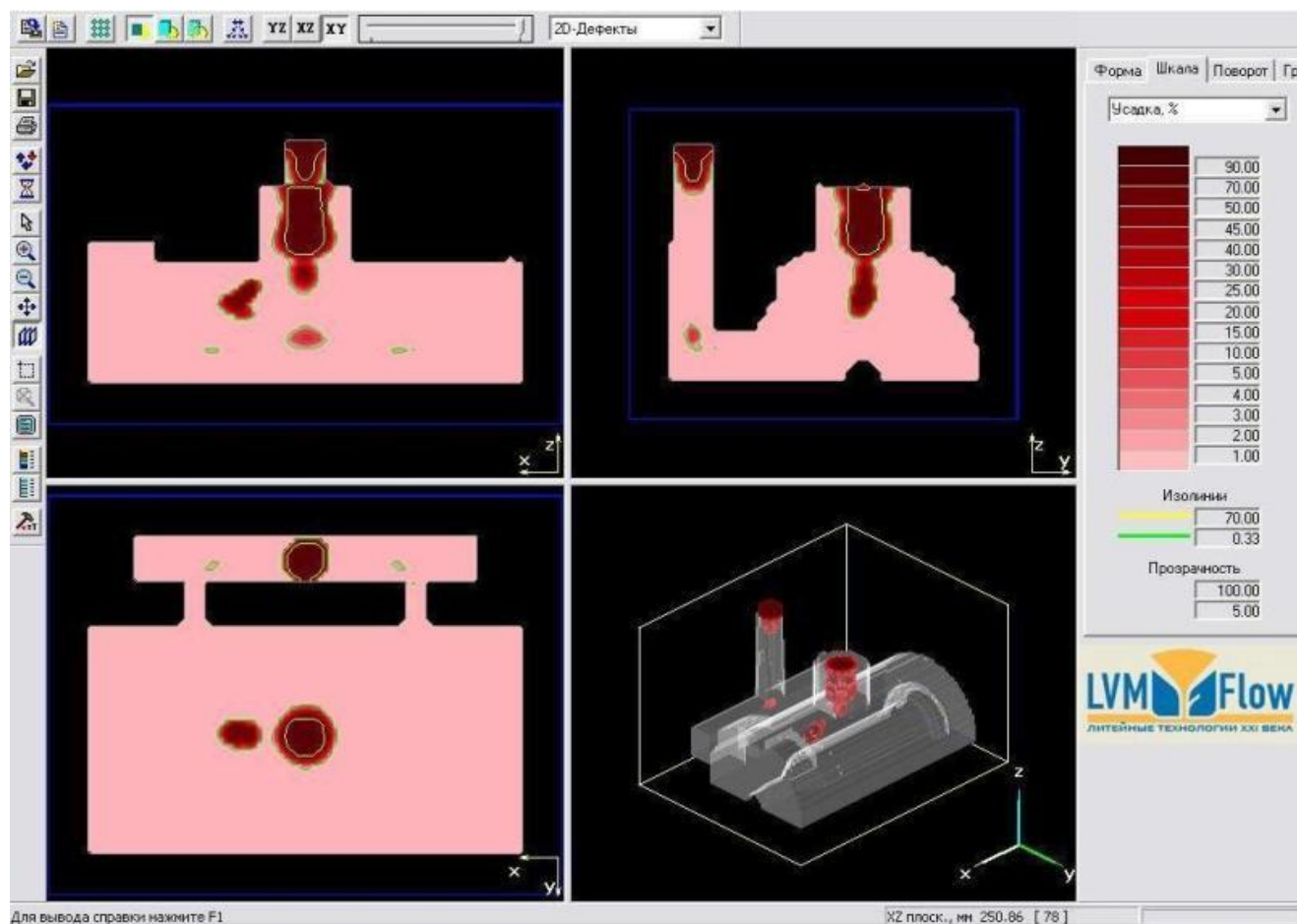


Рис. 7.1- Моделювання затвердіння виливки за варіантом 1

Варіант 2. Використовується бічна ливникова система з підведенням металу в торцеву частину виливка, живлення виливка здійснюється через стояк, колектори, проливні надливи, перешийки. Результат моделювання представлений на рис 3.4.

З видно, що пористість зберігається, але вже в меншій кількості (до 25 %). Але оскільки значення пористості все ще перевищує нормоване, цей варіант ливникової системи не підходить.

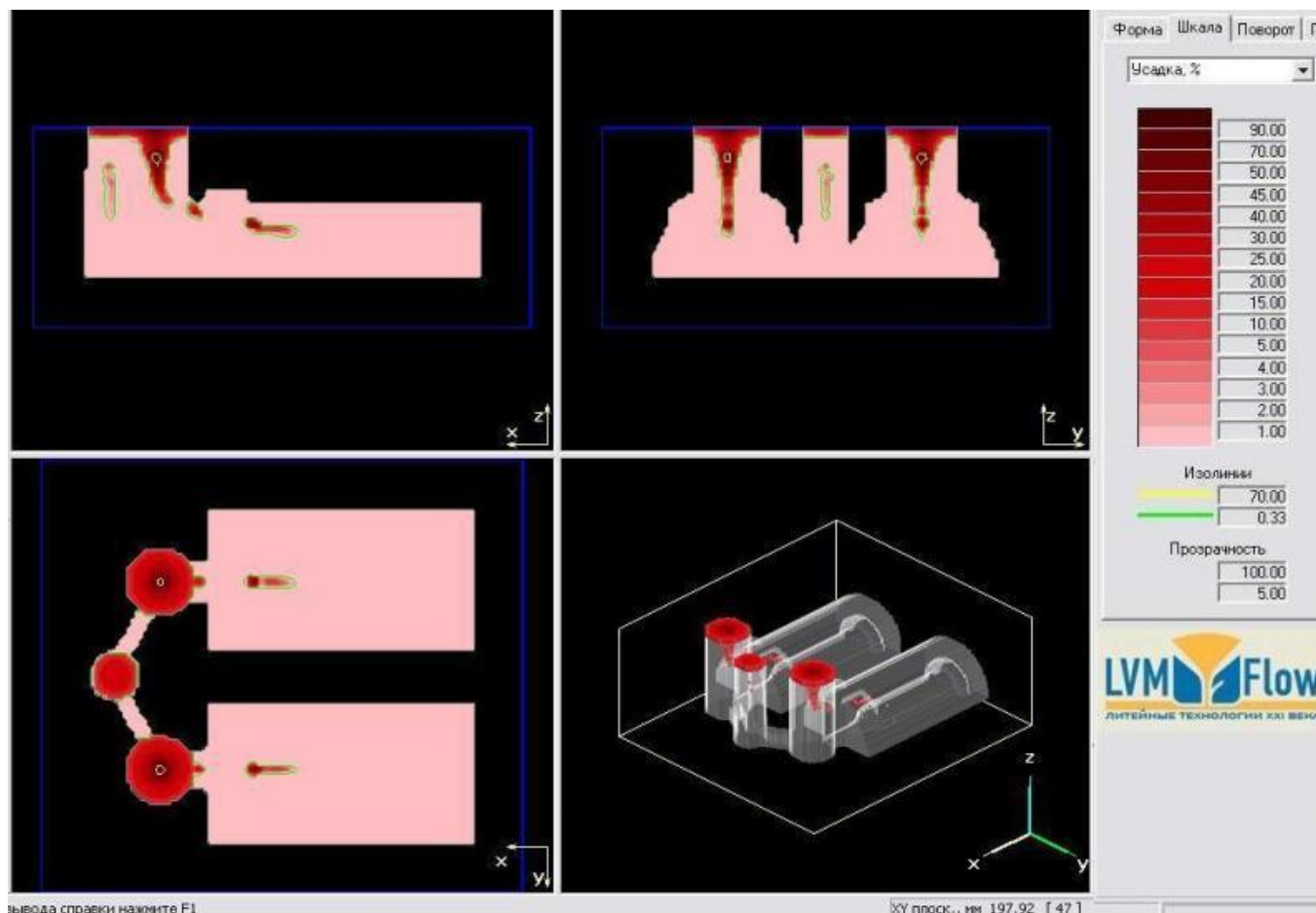


Рис. 3.5 - Моделювання затвердіння виливки за варіантом 2

Варіант 3. За результатами моделювання попередніх варіантів було ухвалено рішення використовувати комбіновану ливникову систему. Тобто використовувати замість нижньої піщаної напівформи холодильник. Він створює умови для спрямованої кристалізації, прискоривши охолодження виливки в нижній частині, і тим самим дає змогу усунути усадкову пористість. Результат моделювання представлений на рис 3.6.

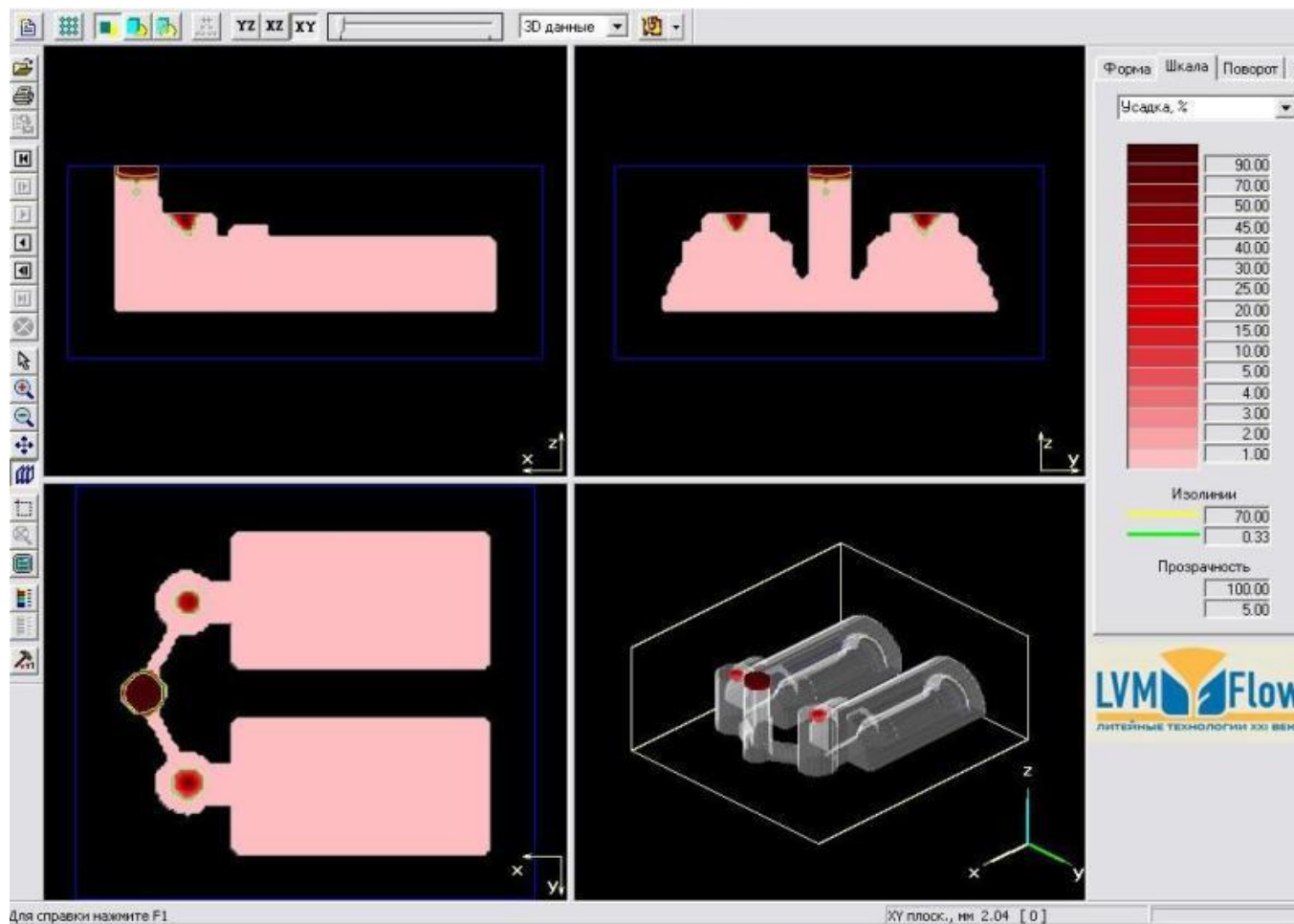


Рис. 3.6 - Моделювання затвердіння виливки за варіантом варіанту варіанту 3

Висновок: На підставі проведеного моделювання було ухвалено рішення про виготовлення виливки "Склоформа" комбінованим способом. Використання цього варіанта ливникової системи дало змогу значно знизити усадкову пористість до допустимих значень.

ВИСНОВКИ

У роботі проведено обґрунтування проекту будівництва ливарного цеху потужністю 2500 тонн придатних виливків на рік.

На основі аналізу номенклатури виливків розраховано виробничі програми всіх відділень проєктованого цеху. На основі цих програм вибрано необхідне технологічне обладнання необхідної потужності.

Для контролю якості продукції запропоновано систему контролю вихідних матеріалів за всіма переділами. Ця система дає змогу проконтролювати якість виготовлених виливків від контролю якості вихідних матеріалів до контролю якості вже готового виливка.

У технологічній частині роботи виконані розрахунки та комп'ютерне моделювання процесу заповнення і затвердіння виливки і на основі отриманих результатів обрано найоптимальніший варіант отримання виливки в комбінованій формі.