

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Механіко-технологічний факультет

Кафедра матеріалознавства та ливарного виробництва

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

Магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **«Проект ливарного цеху сталевого литва річною продуктивністю 8 200т додатних виливків з дослідженням впливу основних технологічних факторів на механізм утворення гарячих тріщин»**

Виконав: магістрант ІІ курсу, групи ОЛ-21М-1,4
напряму підготовки 13 Механічна інженерія
спеціальності 131 Прикладна механіка
спеціалізація: "Обладнання та технології ливарного виробництва"

Магістрант _____ Станіслав ГРІМ

Науковий керівник: _____ Олександр КУЗИК

Консультант:
з економічної частини _____ Наталія СИСОЛІНА

Допустити до захисту: _____ Олександр КУЗИК

Рецензент: _____

АНОТАЦІЯ

Представлена кваліфікаційна магістерська робота присвячена проекту ливарного цеху сталевих литва річною продуктивністю 8 200 т придатних виливків з дослідженням впливу основних технологічних факторів на механізм утворення гарячих тріщин. Робота складається з 5 частин, пояснювальної записки та графічної частини.

В загальній частині магістерської роботи розраховано виробничу програму ливарного цеху сталевих литва, фонди часу роботи обладнання, робітників та інших відділень цеху. Підібрано шихту та баланс металу на 1 т придатного литва. Розроблено план ливарного цеху сталевих литва, визначено площі. Обґрунтовано тему магістерської кваліфікаційної роботи, поставлена мета та задачі.

В технологічній частині проведено розрахунок ливниково-живильної системи та розроблено технологічний процес виготовлення вилівка – "Кронштейн".

В Науковій частині виконано аналіз факторів, що впливають на утворення гарячих тріщин у сталевих виливках показав, що на тріщиностійкість сталевих виливків значно впливають процеси структуроутворення, що відбуваються в поверховій зоні вилівки на етапі її затвердіння. Вивчено вплив різних факторів на процес утворення гарячих тріщин у сталевих виливках

Методом комп'ютерного моделювання проведено розподілу температур рідкого металу за висотою ковша з метою раціоналізації процесу розливання рідкого металу у ливарні форми. Показано негативний вплив на тріщиностійкість зниженої температури заливання металу у форму. Наведений аналіз умов отримання виливків, забракованих через утворення гарячих тріщин, свідчить про існування супутніх гарячих тріщин другорядних дефектів.

Встановлено значний вплив на механізм утворення гарячих тріщин структурних зон, що існують у виливках з характерно різною будовою, причиною утворення яких є нерівномірність затвердіння вилівка за глибиною стінки.

Показано, що на процес утворення гарячих тріщин у виливках можуть впливати другорядні фактори, зокрема гази, розчинені в металі що виділяються в процесі затвердіння. Аналіз будови дефекту та мікроструктурні дослідження поверхні руйнування виявили присутність газової складової при утворенні дефектів, у тому числі в глибині дефекту.

В енергетичній частині розраховано технологічну, силову та освітлювальну електроенергію, та розраховано річну потребу у воді, пари та палива і стисненого повітря.

Економічна частина має розрахунки основних техніко-економічних показників ливарного цеху сталевого литва, заробітної плати, та собівартість 1 т. рідкого та придатного литва.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Вибір та обґрунтування розташування ливарного цеху сталевих литва.

Ливарний цех сталевих литва було вирішено розташувати за межами міста. Причинами такого розташування стали естетичний вигляд, збереження екології житлових кварталів та здоров'я жителів. Новий цех сталевих литва відповідає усім нормам безпеки, цех має доступ до питної та технічної води, має побудовану систему каналізації, доступ до електроенергії, знаходиться на достатній відстані щоб приносити як найменше шкоди природі та жителям міста, має доступ до транспортних доріг. Приймаючи до уваги всі ці фактори розташування нового цеху сталевих литва доцільне.

1.2 Розрахунок виробничої програми і вибір режиму роботи цеху сталевих литва, визначення фондів часу роботи устаткування і робітників

Виробнича програма ливарного цеху сталевих литва – основний документ для розробки технологічної частини кваліфікаційної магістерської роботи. Програма містить завдання на річний випуск лиття по кожному виробу основної продукції, запасних частин, лиття для інших заводів і лиття для власних потреб. В програму включається також випуск відливків на перекриття браку ливарного і механічного цехів. Розрахунок виробничої програми виконано на ПК і наведено в Додатку А. В ливарних цехах використовують 3 види режимів роботи: послідовний, паралельний і комбінований. Роботи в цеху по виконанню виробничого процесу можуть здійснюватися в три, дві і дуже рідко в одну зміну.

В даній кваліфікаційній магістерській роботі застосовуємо двозмінний паралельний режим, так як він є найбільш ефективним. Цей режим роботи цеха сталевих литва доцільно використовувати в умовах крупносерійного та масового типів виробництва з застосуванням поточного та автоматизованого обладнання.

При паралельному режимі роботи всі технологічні операції по

виготовленню відливків виконуються одночасно на різних виробничих дільницях. Даний режим має ряд переваг: скорочується виробничий цикл виготовлення відливків, раціонально використовуються обладнання і площі цеху, покращується якість і знижується собівартість відливків, з'являється можливість ізолювати в окремі приміщення чи локалізувати дільниці з шкідливими виділеннями.

1.2.1 Розрахунок фондів часу.

Фонд часу календарний будемо визначати за наступною формулою:

$$\Phi_k = T_k \cdot S \cdot t, \quad (1.1)$$

де T_k – дні календарного року;

S – кіль-ть змін;

t – час тривалості зміни, в годинах.

$$\Phi_k = 365 \cdot 2 \cdot 8 = 5840 \text{ год}$$

Ном-ний фонд часу будемо визначати за наступною формулою:

$$\Phi_n = 40 \cdot 52 - T_{св} \cdot 8 - T_{пд} \cdot 1, \quad (1.2)$$

де 40 – робочі години (за тиждень);

52 - сума тижнів в році;

$T_{св}$ - святкові дні, $T_{св} = 11$;

$T_{пд}$ - передсвяткові днів, при цьому тривалість зміни зменшуємо на 1 год., $T_{пд} = 5$.

$$\Phi_n = 40 \cdot 52 - 11 \cdot 8 - 5 \cdot 1 = 2080 - 88 - 5 = 1987 \text{ год.}$$

Φ_n , витрачають на виконання роботи за прийнятим режимом.

Дійсний річний фонд часу роботи обладнання визначаємо по формулі:

$$\Phi_{д,уст} = \Phi_n \cdot S \cdot (1 - 0,01 \cdot f), \quad (1.3)$$

де Φ_n – ном-ний фонд часу;

S – кіл-сть змін;

f – регламент простоїв устаткування [5].

Результати розрахунків фондів часу наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Результати розрахунків фондів часу устаткування

Вид обладнання	Номінальний фонд часу, Φ_n , год	Кіль-сть змін	Регламентовані втрати, %	Дійсний фонд часу, $\Phi_{д}$, год
-------------------	---	------------------	-----------------------------	--

Плавильне обладнання	1987	2	6	3728
Автоматичні лінії	1987	2	12	3490
Стержневі автомати	1987	2	7	3688
Сумішоприготувальне	1987	2	4	3807
Очисне	1987	2	6	3728
Все інше обладнання	1987	2	4	3807

Фонд часу робітників, той що дійсний буде визначатися по формулі:

$$\Phi_{др} = \Phi_n \cdot (1 - 0,01 \cdot C), \quad (1.4)$$

де С - невихід на роботу з поважних причин, С=10...12%.

Робітник, який безпосередньо зайнятий в процесі виготовлення відливок:

$$\Phi_{др} = 1987 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) = 1755 \text{ год}$$

$$\text{Для других робочих: } \Phi_{др} = 1987 \cdot (1 - 0,01 \cdot 10) = 1785 \text{ год}$$

Дані фонди часу будемо використовувати для визначення кіль-ті тех. обладнання.

1.3 Проектування і розрахунок плавильного відділення

1.3.1 Характеристика сплаву та розрахунок балансу метала.

Хімі. склад та мех. властивості ливарного сплаву по якому проводиться розрахунок ливарного цеху сталевого литва зводимо до табл. 1.2, 1.3.

Таблиця 1.2 – Хім. склад сплаву Сталі 35Л

Марка	Вміст хімічних компонентів у сплаві, %						
	C	Si	Mn	S	Cr	P	Ni
Сталь 35Л	0,32-40	0,20-0,52	0,40-0,90	<0,045	<0,30	<0,04	<0,30

Таблиця 1.3 – Мех. властивості сплаву Сталі 35Л

Марка	Тимчасовий опір розриву, МПа	Відносне видовження, %	Твердість НВ, МПа
Сталь 35Л	280	15	137...229

Масу металозавалки для плавильних печей розраховуємо за формулою.

$$M = \frac{П + Л + Б}{100 - C - У} \cdot 100, \quad (1.5)$$

де П, Б, Л –придатне литво, брак і ливники відповідно, т;

С – сплески та зливи, %;

$У$ – угар та втрати безповоротні, %.

Для Сталі 35Л:

$$M = \frac{100 \cdot (8200,14 + 739,57 + 171,49)}{100 - 2,5 - 4} = 9744,6 \text{ т.}$$

Відносний вміст $П$, $Б$, $Л$ від металічної завалки визначається:

$$\text{Придатне литво} \quad n = \frac{П}{M} \cdot 100\%, \quad (1.6)$$

$$\text{Вміст ливників} \quad л = \frac{Л}{M} \cdot 100\% \quad (1.7)$$

$$\text{Брак відповідно} \quad б = \frac{Б}{M} \cdot 100\%, \quad (1.8)$$

де $Б$, $Л$, $П$ – вага браку, ливників та придатного литва Сталі 35Л, т ;

Масову долю безповоротних втрат та угару, зливи, сплески визначаємо по формулам, т:

$$У = \frac{у}{100} \cdot M \quad (1.9)$$

$$C = \frac{с}{100} \cdot M \quad (1.10)$$

де $у$, $с$ – відсоток угару та зливів з сплесками, %;

Результати розрахунків відносних вмістів придатного , бруку, ливників, угару та зливів зводимо в таблицю 1.4.

Таблиця 1.4 – Баланс металу сплаву Сталь 35Л

Компонент	Вміст	
	%	т
Придатне литво	84,15	8200,14
Ливники	7,59	739,57
Брак відливок	1,76	171,49
Зливи і сплески	2,5	243,6
Угар та безповоротні втрати	4	389,8
Всього:	100	9744,6

Кіль-ть рідкого металу сплаву Сталь 35Л визначаємо за формулою, т:

$$Q_{pm} = M - У - C, \quad (1.11)$$

$$Q_{pm} = 9744,6 - 389,8 - 243,6 = 9110,6 \text{ т}$$

1.3.2 Розрахунок кількості плавильного обладнання.

Для плавки сплаву Сталь 35Л обираємо індукційну піч ІЧТ-10,0 (рис. 1.1) з технічним характеристиками в табл. 1.6.



Рисунок 1.1. – Загальний вид ІЧТ-10,0

В печах індукційного типу тепло виділяється всередині металу, інтенсивне перемішування металу відбувається за рахунок [електродинамічних](#) зусиль. Таким чином по всьому об'єму розплаву підтримується необхідна температура з найменшим угаром в порівнянні з іншими типами електричних печей.

Таблиця 1.6 – Тех. характеристики ІЧТ-10,0

№ п/п	Найменування параметрів	Величина
1	Тигель об'ємом, т	10,0
2	Трансформатор з потужністю, кВт	4000
3	Піч з потужністю, кВт	687
4	Потужність холостого ходу, кВт	112
5	Температура рідкого металу (робоча), °С	1400
6	Тривалість плавки на твердій шихті (теоретична), год	2,04
7	Питома витрата електроенергії	2160 кДж / кг (0,6 квт-ч/кг).
8	Промислова частота струму	50 Гц
9	Теоретичні витрати електроенергії, кВт год/т	585
10	Маса електропечі, т	49
11	Загальна маса з розплавленим металом, т	58
12	Трансформатор	ЭОМН-1500/10

Кількість печей для виплавки сплаву Сталь 35Л маємо:

$$n = \frac{M_{\text{заг}} K_n}{\dots} \quad (1.12)$$

де $M_{зал}$ –метало завалка на рік, т/рік;

K_n – коеф. нерівномірності роботи, $K_n = 1,2$;

Φ_{ϕ} – плавильного обладнання, $\Phi_{\phi} = 3728$ год/рік;

g – прод-сть печі, т/год.

$$n = \frac{9744,6 \cdot 1,2}{3728 \cdot 4,95} = 0,7$$

З урахуванням коефіцієнту завантаження маємо:

$$n_1 = \frac{n}{K_s}, \quad (1.13)$$

$$n_1 = \frac{0,7}{0,75} = 0,93 \approx 1 \text{ шт.}$$

$$n = \frac{N_{\phi}}{\Phi_{\phi} \cdot q}, \quad (1.14)$$

Після плавки в електропечі сплав Сталь 35Л зливатимуть в міксер, де метал відстоюватиметься та доводитимуть до заданого хім.. складу за потреби. Робочий об'єм міксера вміщує 2-3 годинний запас сплаву:

$$N = g \cdot (2,5 \dots 3) \quad (1.10)$$

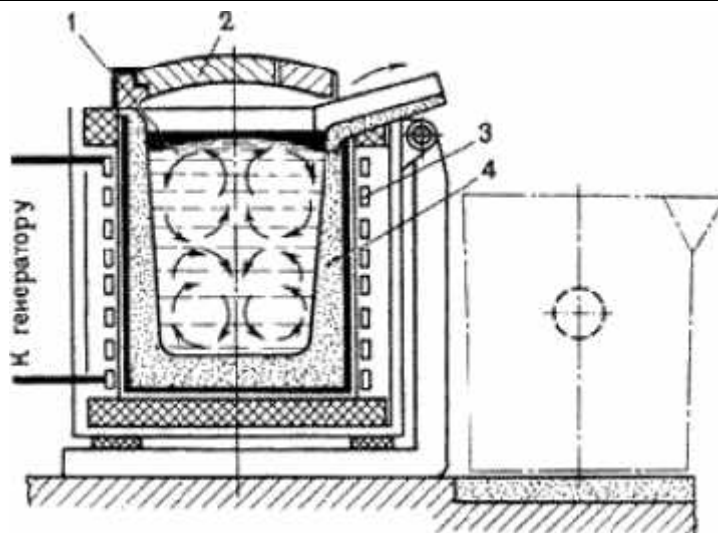
де g – продуктивність пічки, т/год;

$$N = 4,95 \cdot 3 = 14,85 \text{ т/год}$$

Приймаємо стандартний один міксер типу ІЧТМ-6, технічні характеристики якого наведені в табл. 1.7, рис.1.2.

Таблиця 1.7 – Тех. хар-ки індукційного тиг-ного міксера ІЧТМ - 16

Параметр	Показник
Потужність, кВт	1300
Температура перегріву металу (робоча), °С	1300- 1400
Ємність, т	16
Витрати електроенергії (теоретичні) під час перегріву металу на 100 °С, кВт-год/год	50
Маса металоконструкції, т	27



1 – сплав; 2 –склепіння; 3 –індуктор; 4 – тигель

Рисунок 1.2 – Схема ІЧТМ - 16 міксера

Розраховуємо шихту методом підбору згідно рекомендацій [6]. Дані зводимо в таблицю 1.8.

Таблиця 1.8 – Розрахунок шихти для виплавки Сталі 35Л

п/п	Найменування матеріалу	ДСТУ, ГОСТ, ТУ	Марка	% в шихті	C		Si		Mn		S		P	
					В мат.	В шихті	В мат.	В шихті	В мат.	В шихті	В мат.	В шихті	В мат.	В шихті
1	Лом сталевий	Ст. 5сп	1А	5,8	0,32	0,019	0,25	0,015	0,65	0,038	0,04	0,002	0,035	0,002
2	Лом сталевий	Ст. 35	1А	57,78	0,35	0,175	0,36	0,180	0,65	0,325	0,04	0,020	0,035	0,018
3	Відходи власного виробництва	ГОСТ 977-88	35Л	36,22	0,36	0,158	0,36	0,158	0,65	0,286	0,045	0,020	0,04	0,018
4	Феросиліцій	ДСТУ 4127-02	Фс-45	0,0		0,000	25	0,000	0,7	0,000	0,04	0,000	0,05	0,000
5	Феромарганець	ДСТУ 3547-97	ФМн-78	0,2	7	0,014	2	0,004	82	0,164	0,03	0,000	0,03	0,000
	Всього:			100		0,366		0,357		0,813		0,042		0,037
	Угар (-), пригар (+)				-10	-0,03659	5	0,018	-20	-0,163	0	0,000	0	0,000
	Розкислювач (алюміній)	ДСТУ 2839-94	АК5М2	0,20										
	Кінцевий хім. склад					0,33		0,37		0,65		0,042		0,037
	Необхідний хім. склад					0,32-0,40		0,20-0,52		0,45-0,90		до 0,06		до 0,06

1.4 Проектування і розрахунок формувальньо-заливно-вибивного відділення

В цьому відділенні виконують технологічні і організаційно зв'язані між собою операції формовки, зборки і заливки форм, охолодження і вибивки відливків.

Відливки в ливарних цехах масового і крупносерійного виробництва виготовляють в формах, виготовлених “ по-сирому” методом комбінованого ущільнення з використанням єдиних бентонітових сумішей на автоматичних і комплексно-механізованих формівних лініях, які обладнанні автоматичними і механізованими пристроями заливки.

Розрахунок формувальної ділянки проводимо відповідно до програми формувального відділення, яка наведена в Бодатки В. Для формовки обираю автоматичну машину фірми Savelli. [9].



Рисунок 1.4 – Формувальна машина Savelli

Використання цієї автоматичної лінії дозволяє отримати відливки підвищеної точності, чистоти, значно зменшивши їх брак, знизити виробничі шуми в цеху, та дозволяє більш раціонально використовувати площу формувального відділення. На основі програми формувального відділення, визначаємо розрахункову кількість автоматичних ліній Savelli за формулою:

$$n_1 = \frac{N_{\phi} \cdot k}{\Phi_{\partial} \cdot g} \quad (1.15)$$

де N_{ϕ} – кількість форм для виконання річної програми;

k – коефіцієнт нерівномірності роботи лінії;

Φ_{∂} – ефективний річний фонд часу роботи формівного обладнання, год;

g – продуктивність формувальної установки, форм/год.

$$n = \frac{450557 \cdot 1,1}{3490 \cdot 180} = 0,86 \text{ шт}$$

Коефіцієнт використання продуктивності автоматичних ліній лежить в межах 0,55 – 0,75 [9], тоді кількість автоматичних ліній:

$$n_1 = \frac{0,86}{0,55} = 1,57 \text{ шт}$$

Згідно з розрахунками приймаємо 2 автоматичні лінії фірми Savelli. Технічна характеристика автоматичної лінії Savelli наведені у табл. 1.11.

Таблиця 1.11 – Технічна характеристика автоматичної формувальної лінії Savelli

Внутрішні розміри опоки	мінімальний: 640×450×100/200мм максимальний: 1000×800×100/400 мм
Продуктивність	180 повних форм/год
Час циклу	20 сек.
Потрібність у формувальній суміші	30 т/год
Кількість місць для постановки стержнів та перевірки	5 для нижніх опок 5 для верхніх опок
Кількість місць для литва	1 – для автоматичного литва 16 – для ручного литва
Час охолодження від середини лінії розливу	
- з однією охолоджувальною лінією	26,6 хв.
- з двома охолоджувальними лініями	46,6 хв.
Система приводу	Електромеханічні пристрої транспортування з без щітковими електродвигунами, регулюванням прискорення та положення
Формувальна машина	Подвійна турнікетного типу
Кількість формувальних машин	Одна
Формувальна система	FORMIMPRESS®
Можливі способи ущільнення	- передущільнення з допомогою FORMIMPRESS та кінцеве ущільнення активним ущільненням зверху
Ущільнення зверху	Багатопоршнева головка ущільнення з 2 контурами тиску: 1 зовнішній та 1 внутрішній
Заміна внутрішньої моделі (модель А проти В)	Автоматично турнікетом
Заміна внутрішньої моделі (модель А або В проти С)	Автоматично пристроєм
Гідропривід	Централізований
Тиск в гідравлічному контурі	100 бар
Температура масла	50°C ± 5°C
Електросистема	Централізована
Витрата охолоджувальної води (*)	5 м³/год при температурі входу 22°C
Витрата стиснутого повітря 6 бар(*)	100 Нм³/год
Встановлена потужність	250 кВт
Потребляема потужність	150 кВт
Робоча напруга	3 x 400 VAC, 50 Hz, AC
Управляюча напруга	110 VAC, 50 Hz,
Допустимі коливання в електромережі	Напруга + 10% та – 2.5% Hz: ± 5%

1.5 Розрахунок і проектування стержневого відділення

Проектування стержневого відділення полягає в підборі технологічного процесу виготовлення стержнів і розрахунку потрібної кількості стержневих

машин, сушильних агрегатів та іншого обладнання для виконання заданої програми цеху. Для цього складають відомість програми стержневого відділення (Додаток Г).

Технологічні процеси виготовлення стержнів, які застосовують у сучасних ливарних цехах, поділяють на три групи:

- із застосуванням нагріву – в гарячих ящиках; з короткочасним сушінням; з тривалим сушінням;
- з обробкою зовнішніми реагентами – з продуванням вуглекислим газом чи каталізаторами;
- з твердненням в атмосфері цеху в ящиках – з гаряче- і холоднотверднучих, а також рідких самотверднучих сумішей.

Устаткування для стержневого відділення, вибираємо згідно з прийнятим технологічним процесом виготовлення стержнів з урахуванням характеру виробництва відливків. Приймаємо універсальний автомат моделі 4509 А, технічні характеристики якого приведено в табл. 1.14.

Таблиця 1.14 – Технічна характеристика стерж.машини моделі 4509 А

№ п/п	Характеристика	Показник
1	Маса стержня, кг	10
2	Продуктивність	70...120 зйомів/год
3	Габарити стержневого ящика, мм	800x630x450
4	Цикл тривалістю, с	95
5	Робочий резервуар, л	25
6	Потужність ел. двигуна, кВт	140
7	Габарити, мм	3600x2600x3000
8	Маса, кг	13000

Кількість автоматів дорівнює:

$$n = \frac{N}{K_{\text{в}} \cdot n_{\text{розр}} \cdot \Phi_{\text{дв}}},$$

де N – кіль-сть стержневих ящиків на рік (табл. 1.13); 321717

$K_{\text{в}}$ – коефіцієнт браку стержнів, $K_{\text{в}} = 0,94-0,96$;

$n_{\text{розр.}}$ – циклова прод-сть стерж.машини, зйомів/год., (табл. 1.14);

$$n = \frac{317215}{2600 \cdot 110 \cdot 0,94} = 0,83 \approx 1 \text{ шт.}$$

Тому приймаю одну стержневу машину.

1.6 Вибір формувальної та стержневої суміші

Для виготовлення ливарних форм на автоматичній лінії вибираємо єдину формувальну піщано-глинисту суміш, витрати якої наведені в табл. 1.15.

Таблиця 1.15 – Відомість витрат формувальної суміші на рік

Витрати суміші в ущільненому стані $V_c, \text{м}^3$	Річні витрати суміші в неущільненому стані, $M_{nc}=1,4 V_c, \text{м}^3$	Витрати суміші в неущільненому стані з урахуванням просипань $M_{np}=(1,1..1,15) \cdot M_{nc}, \text{м}^3$
52828	73449	84275

Для приготування суміші вибираємо бігуни періодичної дії моделі 15104, технічні характеристики якої наведено в табл. 1.16.

Таблиця 1.16 – Технічна характеристика змішувача моделі 15104

№ п/п	Назва характеристики	Величина
1	Об'єм замісу, т	2,0
2	Продуктивність, $\text{м}^3/\text{год}$	40...60
3	Габаритні розміри чаші	1130 x 2540 ± 13,5
4	Котки, шт.	2
5	Частота обертання валу, об/хв	29±3
6	Продуктивність витяжи, $\text{м}^3/\text{год}$	6000
7	Габаритні розміри, мм:	3850x3150x3250
8	Маса, кг	11000

Кількість змішувачів розраховуємо по формулою:

$$n_{zm} = \frac{G_{ny} \cdot K_n}{\Phi_{\partial} g}, \quad (1.17)$$

де G_{ny} – річна кін-сть формівної суміші, м^3 ;

K_n – коефіцієнт нерівномірності роботи, $K_n=1,1-1,3$;

g – продуктивність змішувача, $\text{м}^3/\text{год}$.

$$n_{zm} = \frac{74300 \cdot 1,25}{3807 \cdot 40 \cdot 0,75} = 0,81 \text{ шт}$$

Приймаємо один змішувач для приготування форм-ї суміші, склад якої приймаємо за необхідними вимогами [11] (табл. 1.17).

Таблиця 1.17 – Склад та властивості формувальної суміші

№ п/п	Склад і параметри суміші	Значення
1	Зворотна суміш, %	96
2	Пісок кварцовий K02, KOI6, %	3
3	Вугілля гранульоване, %	0,15
4	Бентоніт, %	0,15
5	Вода, %	до вологості 3,0-4,0
6	Вміст глиняної складової, %	11
7	Вміст активного бентоніту, %	8
8	Втрати при прожарюванні %	3

9	Вологість, %	3,5
10	Міцність на стиснення у сирому стані, МПа	0,12-0,15
11	Газопроникність, одиниць	80
12	Плинність (по Орлову), одиниць	80

Складаємо відомість витрат стержнєвої суміші для розрахунку її витрат, табл. 1.18.

Таблиця 1.18 – Відомість витрат стержнєвої суміші на рік

Витрати суміші в ущільненому стані $V_c, \text{м}^3$	Річні витрати суміші в неущільненому стані, $M_{н.с.} = 1,4 \cdot V_c, \text{м}^3$	Витрати суміші в неущільненому стані з урахуванням просипання $M_{пр.} = (1,1 \dots 1,5) M_{н.с.}$
31523	42124	59391

Для приготування стержнєвої суміші приймаємо змішувач моделі 15101, технічна характеристика наведена в табл. 1.19.

Таблиця 1.19 – Технічна характеристика бігунів моделі 15101

Назва характеристики	Величина
Місткість замісу, м	0,3
Час перемішування, хв.	15
Продуктивність, м /год	1,5
Потужність, кВт	15
Габарити, мм	2000x1865x2895
Маса, кг	4000

Кількість змішувачів розраховуємо за формулою:

$$n = \frac{N_{ст} K_n}{\Phi_d g}, \quad (1.18)$$

де $N_{ст}$ – маса суміші, т;

K_n – коефіцієнт нерівномірності, $K_n = 1,25$;

$$n = \frac{4786,8 \cdot 1,25}{3688 \cdot 35 \cdot 0,75} = 0,67 \text{ шт.}$$

Приймаємо один змішувач моделі 15101 для приготування стержнєвої суміші.

1.7 Проектування і розрахунок фінішних операцій

Існує багато способів очищення поверхні відливків, з який найбільше розповсюдження отримали очищення в барабанах, дробоструйний і дробометний способи. Для очистки та охолодження відливків приймаємо галтовочний барабан

безперервної дії моделі ОБ-90, технічні характеристики якого наведено в табл. 1.21 [1].

Таблиця 1.21 – Тех. характеристика галтовочного барабана моделі ОБ-90

Назва характеристики	Величина
Продуктивність, т/год	3,5
Об'єм завантаження, м ³	1,8
Габаритні розміри, мм	3500x1650x1500
Маса, т	3,9
Потужність електродвигуна, кВт	7,5

Кількість барабанів визначається за формулою:

$$n = \frac{G \cdot K_n}{\Phi_{\text{д.у.}} \cdot q} \quad (1.18)$$

де G - маса виливків, т/рік;

K_n - коефіцієнт нерівномірності [8];

q – прод-ність, т/год (табл. 1.21).

$$n = \frac{8200 \cdot 1,25}{3728 \cdot 3,5 \cdot 0,75} = 0,98 \text{ шт.}$$

Приймаємо 1 барабан.

Для подальшої очистки використовуємо дробометний барабан моделі 323, тех.. характеристика якого в табл.1.23, та рис. 1.7 [10].

Кількість дробометних барабанів дорівнює:

$$n = \frac{G_{\text{ну}} \cdot k_n}{\Phi_{\text{д}} \cdot g} \quad (1.20)$$

де $G_{\text{ну}}$ – маса виливок на річну програму, т;

k_n – коефіцієнт нерівномірності дроб-го барабану;

g – продуктивність дроб-ої камери, т/год (табл. 1.23).

Таблиця 1.23 – Характеристики дробометного барабану моделі 323

Характеристика	Значення	Одиниці виміру
Прод-ність	2...4	т/год
Найбільший розмір відливки	3000 × 2000 × 3500	мм
Найбільша маса завантаження	800	кг
Потужність електродвигуна	19,5	кВт
Маса	9300	кг
Габаритні розміри: довжина × ширина × загальна висота	5700 × 3100 × 4800	мм



Рисунок 1.7 – Загальний вигляд дробометного барабану

$$n = \frac{8200 \cdot 1,15}{3728 \cdot 3 \cdot 0,75} = 1,07 \text{ шт.}$$

Приймаємо один дробометних барабани моделі 323.

Зачищення виливків виконуємо на стаціонарних верстатах з шліфувальним кругом та відрізної пилки (рис. 6.3). Технічні характеристика в табл. 1.23

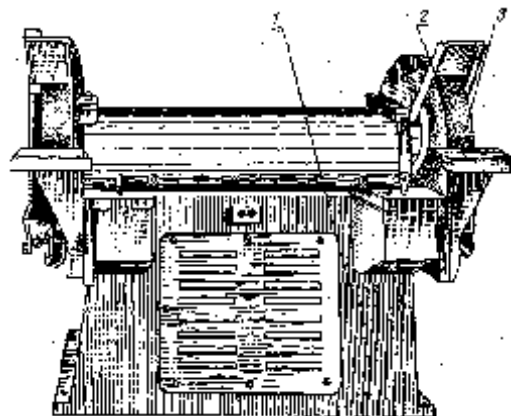


Рисунок 1.8 – Зачисний верстат моделі 3М363.

Розрахунок кількості зачисних верстатів проводиться за формулою:

$$n = \frac{PK_n}{\Phi_{\text{сг}} g'} \quad (1.21)$$

де, g' – продуктивність верстату, 0,1...0,5 т/год т/год.

Таблиця 1.23 – Технічна характеристика зачисного станка моделі 3М363

Характеристика	Величина
Зернистість круга	80-125
Продуктивність станка, т/год	0,5 - 0,6
Частота обертання шпинделю, об/хв	955 – 1425
Потужність ел. двигуна, кВт	7,5

Кількість станків розраховуємо по формулі:

$$n = \frac{8200 \cdot 1,25}{3728 \cdot 0,5} = 5,98 \text{ шт}$$

Приймаємо шість верстатів моделі ЗМ363, діаметр шліф. круга 500 мм.

1.8 Розрахунок площі ливарного цеху та допоміжних ділянок

Площі визначаємо, виходячи з кількості обладнання. На одине обладнання приймається $8 \dots 10 \text{ м}^2$, плюс місце для слюсаря $4 \dots 6 \text{ м}^2$ [2]. Сумарна площа ремонтної майстерні визначаємо за формулою:

$$S_{\text{ін}} = 5 \cdot 10 + 5 \cdot 6 = 80 \text{ м}^2$$

Площа під розміщення ковшів беремо із розрахунку $8 \dots 10 \text{ м}^2$ на 1000 т. придатного литва.

$$S = 10 \cdot 8,2 = 82 \text{ м}^2$$

Площа для зберігання шихтових матеріалів:

$$S_{\text{к}} = 1,1 \cdot (S_{\text{заг}} + S_{\text{зд}}),$$

де $1,1$ – коефіцієнт збільшення площі;

$S_{\text{заг.}}$, $S_{\text{зд}}$ - площі площадок для компонентів шихти, м^2 .

Під зберігання шихти площу визначається за формулою:

$$S = \frac{Q \cdot a \cdot b}{(k \cdot \Phi_e \cdot h \cdot \gamma)},$$

де Q – річний програма придатного литва, т;

a – норма витрат компонента шихти, %;

b – норма зберігання матеріалу, діб;

k – вихід придатного литва, %;

h – висота зберігання шихти, м;

γ – насипна маса шихти, кг/м^3

Площа для зберігання лому сталевого:

$$S_1 = \frac{8200 \cdot 63,5 \cdot 20}{75,14 \cdot 251 \cdot 3 \cdot 3,5} = 123,93 \text{ м}^2$$

Площа для зберігання відходів власного виробництва:

$$S_2 = \frac{8200 \cdot 36,22 \cdot 20}{75,14 \cdot 251 \cdot 3 \cdot 3,5} = 39,35 \text{ м}^2$$

Площа для зберігання модифікатору:

$$S_3 = \frac{8200 \cdot 2,0 \cdot 20}{75,14 \cdot 251 \cdot 3 \cdot 3,5} = 9,17 \text{ м}^2$$

Загальна площа необхідна для зберігання шихтових матеріалів дорівнює:

$$\sum S = 123,93 + 39,35 + 9,17 = 174,77 \text{ м}^2$$

Площа під допоміжні матеріали:

$$S = \frac{Q \cdot a_1 \cdot b}{(k \cdot \Phi_e \cdot h \cdot \gamma)},$$

де a_1 - норма витрат матеріалу на одну тону придатного литва,т

Площу під флюс:

$$S_4 = \frac{8200 \cdot 0,1 \cdot 20}{251 \cdot 1,65 \cdot 4} = 26,15 \text{ м}^2$$

Площа під формувальну глину:

$$S_5 = \frac{8200 \cdot 0,1 \cdot 20}{251 \cdot 0,65 \cdot 10} = 25,7 \text{ м}^2$$

Площа під формувальний пісок:

$$S_6 = \frac{8200 \cdot 1,1 \cdot 20}{251 \cdot 0,67 \cdot 10} = 24,85 \text{ м}^2$$

Загальна площа площадок під допоміжні матеріали:

$$S_{\text{заг.}} = S_7 + S_8 + S_9, \text{ м}^2$$

$$S_{\text{зд}} = 26,15 + 25,7 + 24,85 = 76,7 \text{ м}^2$$

Корисна площа складу є сумарна площі площадок для шихтових та допоміжних матеріалів:

$$S_k = 1,1 \times (174,77 + 76,7) = 254,5 \text{ м}^2$$

1.9 Обґрунтування вибору теми кваліфікаційної магістерської роботи

Гарячі гріщини у сталевих виливках були і є істотною проблемою у ливарному виробництві. Даний вид дефекту зароджується і росте в поверхневій зоні виливки на етапі затвердіння і є одним з найскладніших ливарних дефектів, які можуть утворюватися у виливках.

В даний час актуальність досліджень на цю тематику підтверджується багатьма роботами. Незважаючи на численні дослідження в галузі розробки

способів, спрямованих на скорочення браку сталевих виливків через утворення гарячих тріщин, досі відсутні методи, що гарантують повну ліквідацію даного дефекту. Технологічний процес виготовлення виливків обумовлений низкою складних фізико-хімічних процесів. Утворення гарячих тріщин відбувається за високих температур під впливом великої кількості факторів. Для розробки технологічних заходів, пов'язаних із попередженням утворення газових тріщин, необхідно врахувати більшість цих факторів, вивчити процес їх взаємозв'язку та оцінити рівень впливу залежно від конкретних умов виробництва.

Ливарникам в умовах реального виробництва доводиться знаходити шляхи вирішення скорочення рівня браку через утворення гарячих тріщин, використовуючи індивідуальні підходи для кожної окремої виливки. Складність розв'язання даної науково-технічної задачі частково пояснюється великою кількістю факторів, які мають прямий чи опосередкований вплив на процес утворення гарячих тріщин у виливках..

Метою кваліфікаційної магістерської роботи є теоретично та експериментально дослідити впливу основних технологічних факторів на механізм утворення гарячих тріщин.

Для реалізації поставленої мети в магістерській роботі розв'язуються наступні задачі:

- провести аналіз механізмів утворення гарячих тріщин та фактори, що впливають на їх виникнення, а також способи боротьби з цими дефектами у сталевих виливках.
- провести структурні дослідження дефектної області виливків в зоні утворення гарячих тріщин.
- провести аналізі ливарних процесів, що протікають у в момент утворення дефектів типу гарячих тріщин.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Конструктивна особливість деталі та технологічні умови на неї

Даний відливоч має XI клас точності за ГОСТ 26645 – 85, та виготовляється із сталі 35Л чи сталі 20Л за ГОСТ 977 – 75 [1]. Різностінність, короблення та перекіс не більше 3 мм, 2 мм та 2 мм відповідно. На поверхнях допускаються поодинокі раковини довжиною не більше 1/3 кола, та ширина до 5 мм, мілкі раковини до 3 мм і не більше 5 штук. Необроблювані поверхні – одиничні раковини до 9 мм, глибина не більше 4 мм і не більше 8 штук на поверхню. Спряжені місця стержня і форми – присутність кільцевих заусениць до 1,5 мм довжиною.

Деталь "Кронштейн" представляє собою частину пристрою, який призначено для транспортування важких вантажів. Маса деталі 14 кг, габаритні розміри 402 × 180 × 100 мм, твердість 131...157 НВ.

Оброблюваними поверхнями являються посадкові місця на вал. Інші поверхні не оброблюються. Даний відливоч є технологічним. Зовнішні поверхня відливка представляє собою прямолінійні контури, зчленовані плавними переходами, які забезпечують деяку деформацію відливка при його усадці під час охолодження у формі і зниження залишкових напружень в місцях спряження прямолінійних ділянок. Відливоч має два стержня, немає з'ємних частин, роз'єм моделі і форми один.

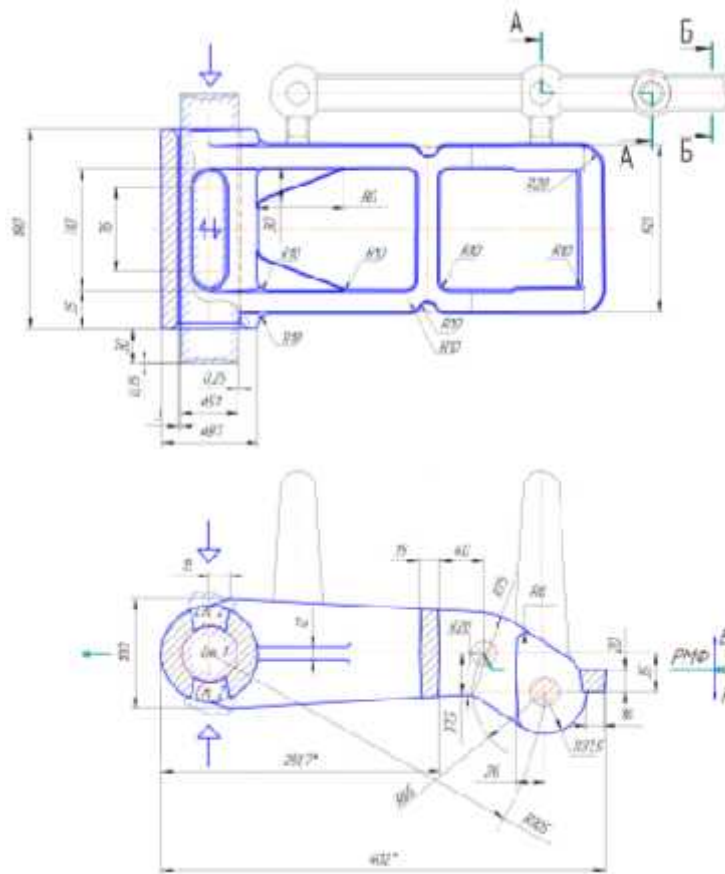


Рисунок 2.1 – Відливок Кронштейн

2.2 Розробка технології виготовлення відливка

Положення відливка у формі. Вибираємо горизонтальне положення у формі відливка оскільки оброблювані поверхні під вал повинні розташовані вертикально, що запобігає раковинам, дефектам та рихлості. Поверхня роз'єму моделі і форми теж вертикальне та є єдиною для даного відливка. Модель не має з'ємних частин, оскільки поверхня роз'єму розташовується таким чином, що відливочок знаходиться симетрично в нижній і верхній напівформах.

«Припуски механічної обробки, усадки, радіуси галтелей та формувальні уклони, розмір стержня та стержневі знаки» Розміри відливка відрізняються від розмірів деталі на величину механічної обробки. Величину припусків для сталі 35Л вибираємо за ГОСТом 26645-85, обводячи тонкими лініями, вказуючи величину припусків [4].

Припуск на усадку виражаємо в процентах від розміру відливочка [2]. Для середніх розмірів відливочків вільна усадка – 2 %. Радіус заокруглення – в межах 1/5...1/3 середнього арифметичного товщини стінок. Для даного відливка кронштейн радіус заокруглень – 2 мм. Мінімальні радіуси заокруглень кронштейна вибираємо з [3], та проставляємо на кресленні деталі.

Формівні уклони назначаємо враховуючи ливарні розміри відливочка і технологію виготовлення форму і стержня згідно ГОСТ 3212-57. Мінімальні величини формівних уклонів з [4]. Для кронштейна уклон складає 3°.

Габарити стержнів вибираємо враховуючи припуск на механічну обробку і усадку. Враховуючи номінальні розміри отвору і відношення довжини отвору до цього розміру вибирається вертикальні знаки стержнів – 16 мм [4]. Зазори між

знаками і формою вибираємо залежно від макс-ного розміру стержня [4]. Для горизонтального знака бокові зазори – 0,1 мм, торцевий зазор 0,2 мм.

2.3 Конструювання ливникової системи та її розрахунок

Опочні розміри визначають конструкцією авт. лінії, габ-ми відливка та числом їх в одній опоці, розмірами ливникової системи, правильністю розміщення моделей на підмодельній плиті. Розміщують моделі на підмодельній плиті для даного розміру опок з урахуванням коефіцієнту металоємності, (співвідношенням загальної маси металу у формі до маси формівної та стержньової маси опоки. Коефіцієнт металоємності знаходиться у межах 0,25...1,2 та залежить від складності, товщини і габаритів відливка.

Між окремими моделями відстань дорівнює в межах $(0,3...0,5) \cdot h$, де h – висота верхньої та нижньої моделі напівформи, від моделі до верху та низу форми. Відстань від стержньових знаків до бокової стінки опоки в межах 0...50 мм, від тіла відливочка до стінок опок – 50...100 мм. Від моделі до верхньої і нижньої площини відстань рівна 60...120 мм [4]. Для виготовлення відливка вибираємо автоматичну лінію Savelli Італійської фірми Savelli S.P.A.

Ливникова система складається з послідовного з'єднання собою каналів за допомогою яких розплавлений метал підводиться у ливарну порожнину форми.

Оптимальна тривалість заливки визначається за формулою [1]:

$$t = S_1 \cdot \sqrt[3]{\delta \cdot G}, \quad (2.1)$$

де S_1 – коеф-нт, $S_1 = 1,35$ [4];

δ – середня товщина стінок відливка, $\delta = 18$ мм;

G – металоємність форми, кг

$$G = (G_g + G_g \cdot 0,3) \cdot n, \text{ кг}, \quad (2.2)$$

де G_g - маса одного відливка, кг;

n – кількість відливків у формі, шт.

$$G = (14 + 14 \cdot 0,3) \cdot 2 = 36,4 \text{ кг}.$$

Тоді:

$$t = 1,35 \cdot \sqrt[3]{36,4} = 13,05 \text{ сек}$$

Середня швидкість рівня підйому металу у формі визначається по формулі:

$$V = \frac{C}{t}, \quad (2.3)$$

де C – висота відливка, мм;

t – оптимальна тривалість заливки, сек.

$$V = \frac{100}{13,05} = 7,7 \text{ мм / сек.}$$

Оптимальна тривалість заливки забезпечує необхідну швидкість підйому рідкого металу у формі [2].

2.3.3. Визначення площі перерізу каналів ливникової системи. Загальна площа живильників на один відливочок:

$$\sum F_{жс} = \frac{G \cdot 10000}{\mu \cdot t \cdot \sqrt{r \cdot g \cdot H_p}}, \text{ см}^2 \quad (2.4)$$

де G – метал-сть форми, яка дорівнює масі відливків, з ливниково-живильною системою, кг;

μ – коефіцієнт витрат металу, $\mu = 0,5$ [1];

g – прискорення вільного падіння, м/сек²;

H_p – середній метало статичний тиск, м.

Металоемність форми:

$$G = (G_{\text{с}} + G_{\text{с}} \cdot 0,3) \cdot n, \text{ кг,}$$

де $G_{\text{с}}$ - маса одного відливка, кг;

n – кількість відливків у формі, шт.

Тоді:

$$G = (14 + 14 \cdot 0,3) \cdot 2 = 36,4 \text{ кг.}$$

Середній метало статичний тиск визначаємо за формулою:

$$H_p = H_0 - \frac{p^2}{c}; \quad (2.5)$$

де H_0 – висота металу в чаші, $H_0 = 200$ мм;

p – висота відливка над рівнем підйому металу, $p = 50$ мм;

c – загальна висота відливка, $c = 100$ мм.

$$H_p = 200 - \frac{50^2}{100} = 175 \text{ мм} = 17,5 \text{ см}$$

$$\sum F_{жс} = \frac{36,4 \cdot 10000}{0,5 \cdot 13,05 \cdot 7600 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,175}} = 3,96 \text{ см}^2$$

Так як відливочок має два живильника, то:

$$F_{\text{жс}} = \frac{\sum F_{\text{жс}}}{2} = 1,98 \text{ см}^2$$

Приймаємо форму поперечного перерізу живильника трапецію.

Розраховуємо площу шлаковловлювача:

$$\sum F_{\text{жс}} : \sum F_{\text{ш}} : \sum F_{\text{см}} = 1 : 1,15 : 1,2 \quad (2.6)$$

$$\sum F_{\text{ш}} = \sum F_{\text{жс}} \cdot 1,15 = 3,96 \cdot 1,15 = 4,55 \text{ см}^2$$

Площа поперечного перерізу стояка:

$$F_{\text{см}} = \sum F_{\text{ш}} \cdot 1,2 \quad (2.7)$$

$$F_{\text{см}} = 3,96 \cdot 1,2 = 4,75 \text{ см}^2$$

Оскільки:

$$F_{\text{см}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{см}}^2}{4} \quad (2.8)$$

Діаметр стояка:

$$d_{\text{см}} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{см}}}{\pi}} \quad (2.9)$$

$$d_{\text{см}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,75}{3,14}} = 2,5 \text{ см}$$

Приймаємо $d = 25 \text{ мм}$.

Для двох відливків:

$$F_{\text{см}} = 4,75 \cdot 2 = 9,50 \text{ см}^2$$

$$d_{\text{см}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 9,5}{3,14}} = 3,5 \text{ см}$$

Із технологічних міркувань приймаємо $d = 35 \text{ мм}$.

Визначимо діаметр чаші для одного відливка:

$$D = (2,7 \dots 3) \cdot d_{\text{см.в}} \quad (2.10)$$

$$D = 3 \cdot 25 = 75 \text{ мм}$$

Діаметр чаші для двох відливків:

$$D = 3 \cdot 35 = 105 \text{ мм}$$

Діаметр підживлювача визначаємо за формулою:

$$D_{\text{піджс}} = (0,4 \dots 0,5) \cdot \sqrt{V_y} + \delta \quad (2.11)$$

$$D_{\text{піджс}} = 0,4 \cdot \sqrt{56,25} + 2 = 5 \text{ см}$$

2.4 Технологічний процес виготовлення відливка

У масовому і серійному виробництві рекомендується використовувати єдину формівну суміш. На автоматичній лінії ІЛ 225 використовується формівна суміш з підвищеною рідинотекучістю. Склад та механічні властивості стержньової та формувальної суміші приведені у таблицях 2.1, 2.2.

Основну частину форми одержують машинною формовкою. За допомогою машин механізовано дві основні операції – ущільнення, видалення моделі з форми і деякі інші.

Таблиця 2.1 Склад і фізико-механічні властивості формувальної суміші

Складова суміші і параметри	Значення параметру
Зворотня суміш, %	96
Пісок кварцевий КО2, КО16, %	3
Вугілля гранульоване, %	0,15
Бентоніт, %	0,15
Вода, %	до вологості 3,0 - 4,0
Вміст глиняної складової, %	11
Вміст активного бентоніту, %	8
Втрати при прожарюванні %	3
Вологість, %	3,5
Міцність на стиснення у сирому стані, МПа	0,12 - 0,15
Газопроникність, одиниць	80
Плинність (по Орлову), одиниць	80

Формувальна суміш подається в бункери встановлені над машиною. Порожні опоки подаються за допомогою рольгангів. Нижню і верхню напівформи виготовляють на різних машинах. Потім за допомогою дозатора заповнюють опоки формівною сумішшю з бункера. Далі суміш ущільнюють, готову напівформу кантують, знімають надлишок суміші і виконують обдув форми. Потім напівформи транспортують на збирання.

Таблиця 2.2 - Склад стержньової суміші і її фізико-хімічні властивості

Складові суміші і властивості	Значення параметра
Пісок кварцевий, %	95,24
Смола СФ, %	3,54
Каталізатори М1, %	0,7

Гас, %	0,52
Керосин освітлювальний, %	0,62
Газопроникність, одиниць	80
Міцність на стиснення у сирому стані, МПа	0,005 - 0,01
Вологість, %	1,8-2,8

Збирання форм. Точність збирання в значній мірі визначає точність геометричних розмірів відливка. В об'єм робіт по збиранню форми входять такі операції: збирання форми; спарювання верхньої та нижньої опок.

Заливка форм. Температура сталі при заливці повинна бути 1490 – 1550°C. Заливка може виконуватись з рухомою і нерухомою формою. Розплавлений метал з печі потрапляє у попередньо нагрітий ківш барабанного типу ємністю 1т, який транспортується краном. Цей ківш встановлюють на спеціальному стенді для подальшої роздачі металу в розливні ковші.

Для заливки металу використовують ковші чайникового типу ємністю 250 кг. Перед заливкою металу, потрібно видалити шлак з розливного ковша. Підводимо ківш і встановлюємо носок ковша над ливниковою чашею на відстані 150 - 200мм. При заливці швидко заповнити металом ливникову чашу і тримати її заповненою до кінця заливки форми. Забороняється переливати чашу, недолив чаші дозволяється – 20мм. Заливка повинна бути безперервною. Після заливки залишки металу повинні зливатись у спеціальні форми. Тип плавильного агрегату вибирають в залежності від роду металу, а також вимог, які висуваються до якості відливка.

Вибивка і обрубка. Залиті та охолоджені форми подаються на вибивний пристрій. Коливання решітки передається суміші і відливкам. В цих умовах суміш інтенсивно розсипається і проходить в шпориш решітки, та поступає на подальшу переробку. Відливки ковзають на пластинчатий конвеєр рухаючись по якому вони зовсім охолоджуються, подають в галтувальний барабан в якому відділяється формівна суміш, відливки очищуються та охолоджуються.

Потім відливки поступають в прохідну дробометну камеру де вони позбавляються від пригару. Далі вони поступають на діляниця контролю де проходять проміжний контроль (по всіх стадіях технологічного процесу) і

кінцевий. Перевіряють хімічний склад, структуру, геометричні розміри. Поверхневі дефекти визначають візуально.

Потім відливки потрапляють на ділянку відрізання ливниково-живильної системи на дискових пилах. Після цієї операції відливки проходять зачистку від заусениць на наждачних верстатах.

2.6. Проектування ливарної оснастки

Для збільшення строку служби моделей виливків, їх виготовляють з металу, заготовки яких отримують литтям по піщаних формах та дерев'яних моделей. Моделі можна виготовляти із сірого чавуна СЧ 20, обробляти вручну, з припуском на механічну обробку – 1 мм. В залежності від габаритів моделі, визначають товщину тіла моделі із номограми. При малих розмірів, відливки моделей відливається суцільною. Після мех.. обробки моделі монтують на раніше підготовані про модельні плити. Монтаж напівмоделей на плиту виконують з врахуванням розмірів опоки (900×600 мм). Ливникову систему монтуємо у відповідності з кресленням ливникової системи, кріплення яких виконують заклепками. Монтуємо моделі на плиту за допомогою монтажного шаблону, з листової сталі 2...5 мм товщиною [15].

Модельні плити виготовляємо з сталі товщиною 40 мм для витримки навантаження при формовці, робоча поверхня якої повинна оброблятися. На підготовлену плиту накладаємо монтажні шаблони, що встановлюються напівмоделі і просвердлюються отвори для кріплення.

Напівмодель - це кондуїт з отворами свердленими одночасно в плиті та моделі. Плита з отворами накладається на іншу в якій просвердлюються отвори. Встановлені на плиту напівмоделі і кріпимо гвинтами, після чого встановлюємо ливникову систему. До плити нижньої напівформи кріпимо моделі живильника, на плиту верха – шлаковловлювача. Виготовляємо стержнів піскострільним способом застосовуючи алюмінієвий стержневий ящик. У піщаних формах по дерев'яним моделям, отримуємо заготовки ящика литтям.

Під час виготовлення моделей ящика враховуємо усадку 1,25 % сплаву алюмінію. Необхідно враховувати припуски механічної обробки ящика – 0,4 мм. При цьому товщина стінок ящика визначається із номограми [16]. Для стержневих ящиків – товщина стінок складає 10 мм. Ребра жорсткості і радіуси галтелей визначаємо по табл. [16]. Товщину ребер жорсткості вибираємо 10 мм, радіус галтелей – 5 мм. Стержневий ящик відливаємо відповідно розмірам з урахуванням механічній обробці. Роз'ємну площа ящика шліфуємо для якісного прилягання половинок одна до одної, з'єднання яких виконуємо штирями.

Розрахунок вент виконується:

$$\frac{F_{\text{вент}}}{F_{\text{вд.отв.}}} = 0,1 \div 0,9, \quad (6.1)$$

де $F_{\text{вент}}$ – сума площ вент;

$F_{\text{вд.отв.}}$ – сума площ вдувних отворів

$$F_{\text{вент}} = 0,4 \cdot F_{\text{вд.отв}}$$

$$F_{\text{вд.отв.}} = \frac{\pi \cdot 31^2}{4} = 750 \text{ мм}^2$$

$$F_{\text{вент}} = 0,4 \cdot 750 = 300 \text{ мм}^2$$

При діаметрі 6 мм, площа однієї венті дорівнює 28 мм². Таким чином, на 1 вдувний отвір діаметром 31 мм треба мати 8 вент, у вигляді щільовидних прорізів.

3. НАУКОВА ЧАСТИНА

3.1 Аналіз факторів, що впливають на механізм утворення гарячих тріщин в сталевих виливках

Сталеві виливки, що мають ливарні дефекти у вигляді гарячих тріщин – є одними з найскладніших. Даний вид дефекту утворюється на поверхнях сталевих виливках ще на етапі затвердіння. При розгляді механізму утворення гарячих тріщин, актуальними залишаються питання про деформаційну здатність сталевих виливків і величини напружень, що виникають в результаті гальмування лінійної усадки [13-20]. У ливарному виробництві використовують різний опис гарячих тріщин. Однак, в основі ідентифікації дефекту типу гарячих тріщин, виділяють шість кваліфікаційних ознак [35]:

- форма несучільності, у вигляді рваної, розгалуженої тріщини;
- головна тріщина має численні короткі відгалуження, які мають міжзерений розподіл;
- дендритна морфологія поверхні тріщини.
- злам тріщини має окислену поверхню у вигляді темного матового шару, що вказує на високу температуру утворення даного дефекту;
- дефект утворюється безпосередньо в зоні критичних значень усадочних напружень при кристалізації сплаву;
- дефект проявляється тільки в сплавах, схильних до утворення гарячих тріщин, що мають інтервал затвердіння та розвинену ливарну усадку.

Згідно з ДСТУ 2541-1994 «Ливарне виробництво. Терміни та визначення» під гарячими тріщинами у ливарному виробництві розуміють дефект у вигляді розриву або надриву тіла вилівка усадкового походження, які виникли в інтервалі температур твердіння. Там же зазначено, що відмінною особливістю ливарних

гарячих тріщин є нерівна окислена поверхня, де іноді видно дендрити. Слід зазначити, що механізм утворення гарячих тріщин, саме усадкового походження.

За класифікацією А. А. Рижикова виділено одинадцять типів дефектів (тріщин) типу гарячих тріщин [37]: 1) що утворюються в великогабаритних виливках виготовлених в кокілі; 2) внаслідок нерівномірної усадки окремих частин виливки; 3) в наслідок недостатньої податливості форми і стрижня; 4) в наслідок зварювання окремих стінок виливка; 5) фазові гарячих тріщин; 6) внаслідок розчинених газів в металі; 7) внаслідок сторонніх включень у металі; 8) формуються у місцях переходу від товстих перерізів до тонких; 9) спричинені неправильною конструкцією деталі; 10) в наслідок невідповідності хімічного складу; 11) внаслідок технологічних особливостей плавки.

На підставі аналізу опису даного дефекту в залежності від технологічного процесу основна відмінність гарячих тріщин полягають у тому, що вони відповідно до розглянутого визначення виникають у період кристалізації сплаву, коли він знаходиться у твердорідкому стані.

3.2 Аналіз технологічних факторів, що впливають на процес утворення гарячих тріщин

Наявність гарячих тріщин у виливках обумовлена деякими факторами, що пов'язані з параметрами технологічного процесу їх виготовлення.

Проаналізувавши вплив основних компонентів сталі на утворення гарячих тріщин у виливках. Виявлено, що зміна хімічного складу сталі в межах відповідності марки сплаву може впливати на стійкість до тріщин сплаву, механічні властивості та величину лінійної усадки. Тому при виготовленні виливків відповідального призначення, хімічний склад суворо регламентований [23, 63]. Загальний вплив хімічних елементів на тріщиностійкість представлено на рисунку 3.1 [64].

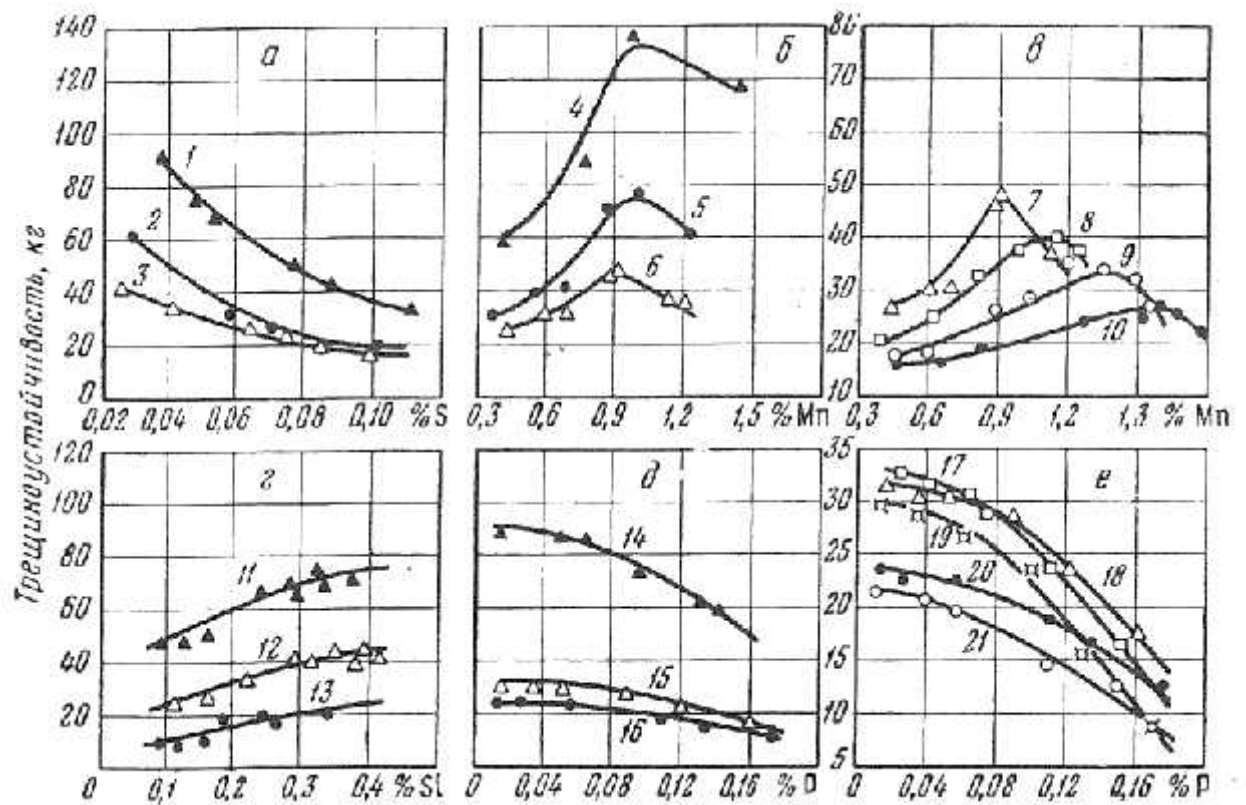


Рисунок 3.1 – Вплив хімічного складу: сірки (а); марганцю (б); сірки та марганцю (в); кремнію (г); фосфору (д); фосфору, сірки та марганцю (е); та температури на тріщиностійкості вуглецевої сталі від вмісту: 1 - 0,19% С; 2 - 0,13% С; 3 – 0,42%; 4 – 0,17%; 5 - 0,12% С; 6 - 0,44% С; 7 - 0, 03% S; 8 - 0,05% S; 9 - 0,08% S; 10 - 0,10% S; 11 - 0,19% С; 12 - 0,44% С; 13 - 0,06% С; 14 - 0,21% С; 15 - 0,39%; 16 - 0,09% С; 17 - 0,40%; 0,96% Mn ; 0,050% S; 18 - 0,39%; 0,46% Mn ; 0,025% S; 19 - 0,43% С; 0,89% Mn ; 0,058% S; 20 - 0,09%; 0,40% Mn ; 0,025% S; 21 - 0,08%; 0,95% Mn ; 0,058% S. Температура заливання + 50°C вище точки ліквідусу [64]

Як бачимо, внаслідок низької розчинності сірки у твердому залізі, утворює легкоплавкі сульфідів типу FeS , AlS , що мають низьку температурою плавлення, збільшують час існування рідких прошарків та розширюють ефективний інтервал кристалізації. Вплив сірки на тріщиностійкість сталі залежить від вмісту вуглецю, геометрії та умов охолодження виливка. Кожному вмісту вуглецю відповідає певний критичний вміст сірки, вище якого схильність сталі до утворення гарячих тріщин різко збільшується [23, 64, 65]. Зменшити шкідливий вплив сірки можна введенням у сталь марганцю. Марганець утворює із сіркою тугоплавкий сульфід, який розташовується всередині зерен у процесі кристалізації. Зміст марганцю в сталі, необхідне забезпечення максимальної тріщиностійкості , залежить кількості

вуглецю і розчиненого кисню. Максимальна тріщиностійкість спостерігається при відношеннях марганцю до сірки, за різними джерелами, в межах 21...33, і це відношення зростає в міру зниження сталі вуглецю. Так як марганець у сталі витрачається і на розкислення, відношення марганцю до сірки, необхідне для максимальної тріщиностійкості, зміщується в бік підвищеного вмісту в сталі марганцю [64].

Фосфор бере участь у формуванні рідких міжкристалічних прошарків, викликаючи їхнє потовщення. Товщина міжкристалічних прошарків значно впливає на характер розвитку деформацій в інтервалі твердорідкого стану [27]. Збільшення вмісту вуглецю та сірки, при незмінному відношенні марганцю до сірки, посилює негативний вплив фосфору. З підвищенням вмісту кремнію тріщиностійкість сталі збільшується [64, 66-68].

Алюміній змінює температуру плавлення та поверхневий натяг сульфідів. Збільшення вмісту алюмінію знижує тріщиностійкість внаслідок підвищення розчинності сульфідів, що утворюють ланцюжки за межами зерен. Значення критичного вмісту алюмінію залежить від вмісту вуглецю сталі. Подальше підвищення вмісту алюмінію збільшує тріщиностійкість внаслідок виділення тугоплавких сульфідних включень типу Al_2S_3 [56, 64, 68-71].

Сталі з вмістом вуглецю в межах 0,12...0,30% найбільш схильні до утворення гарячих тріщин. Але результати експериментів, вказують, що сталь із вмістом вуглецю 0,18...0,21% має найбільшу міцність [64, 73-76]. У роботах [64, 77] показано, що тріщиностійкість падає лише до 0,5% вуглецю в сталі, а потім зростає (рис. 3.2).

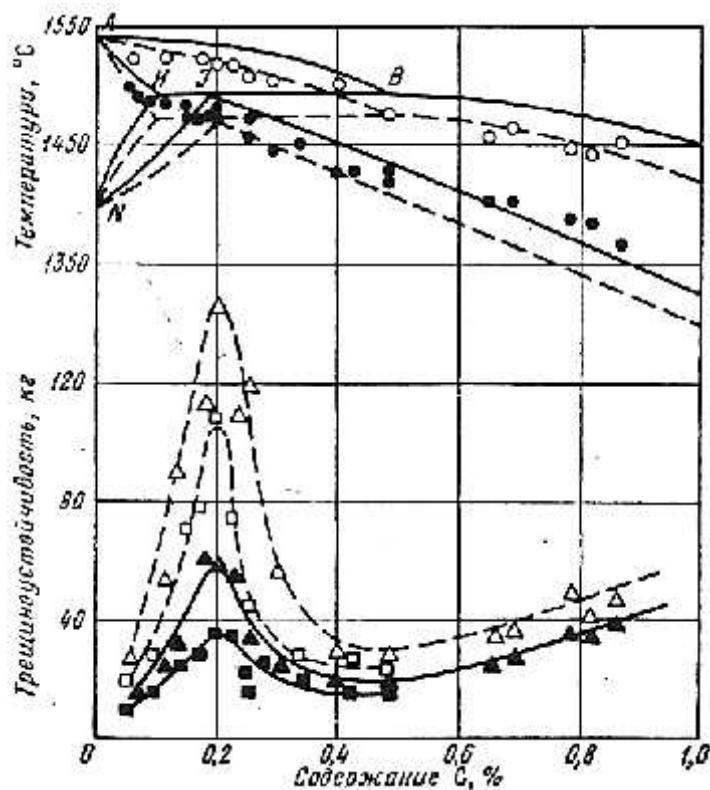


Рисунок 3.2 – Вплив вуглецю на тріщиностійкість та температуру утворення гарячих тріщин: ○ - температура нерівноважного ліквідусу; ● - температура гарячих тріщин; ▲ Δ – 0,8% Mn ; □ – 0,4% Mn ; ▲ □ температура заливки 1600 °С та 1550 °С [64]

Таким чином, температурний інтервал кристалізації сплаву значно впливає на процес утворення гарячих тріщин: чим ширший інтервал кристалізації, тим нижча тріщиностійкість..

Слід зазначити, що значний вплив на утворення гарячих тріщин виконує конфігурація виливки, наявності стрижнів, виступаючі частини форми та місця підведення ливарного сплаву [25, 69, 73, 74, 82-86]. При проектуванні необхідно враховувати мінімальні перепади товщини стінок, виключення термічних вузлів або розміщення їх на певних відстанях один від одного, виконання жолобників у місцях сполучення стінок.

Для ефективності слід розосереджувати усадку, вибираючи конструктивні та технологічні елементи та їхнє взаємне розосередження. Розташування виливки у формі та розстановка стрижнів повинні бути такими, щоб чинити якомога менший опір усадці [87]. При конструюванні ливниково-живильної системи необхідно організовувати розосереджене підведення металу по можливості в тонкостінних

частин виливків. Конфігурація виливка не може сильно відрізнятися від конфігурації майбутнього виробу, тому можливості боротьби з гарячих тріщин на стадії проектування обмежені. У таких випадках необхідно попередньо вивчити «проблемні» місця шляхом моделювання ливарних процесів або статистичної обробки інформації про шлюб, а потім, використовуючи різні способи боротьби з гарячих тріщин, спробувати їх усунути. Напруги, що виникають у виливку через нерівномірність усадки різних її частин, є основною причиною утворення гарячих тріщин. У процесі затвердіння на виливок впливає сума внутрішніх напруг, що складається з усадкових, термічних і фазових складових [25, 48, 87-90].

Фазові напруження з'являються в результаті неодночасного перебігу фазових і структурних перетворень у виливку, послаблюючи або посилюючи термічні напруги. У роботі [78] виявлено значний вплив перетворення $\delta \rightarrow \gamma$ на ймовірність утворення гарячих тріщин у виливках із сталі 20ГЛ.

Неоднорідність товщин виливка та низька теплопровідність сталі сприяють термічних напруженням. Зниження негативного впливу термічної напруги досягається організацією рівномірного затвердіння неоднорідних по товщині стінок виливки. Вирівнювання швидкості охолодження різних частин виливки можливе шляхом більш рівномірного підведення рідкого металу у форму. З цією метою необхідно прагнути збільшувати кількість живильників, які забезпечать більш рівномірне за профілем і прискорене підведення розплаву в робочу порожнину ливарної форми. Використання холодильників або формувальних та стрижневих матеріалів з підвищеною теплопровідністю та теплоємністю також дозволяє керувати процесами затвердіння виливків. При такому підході, з метою забезпечення рівномірного затвердіння, необхідно використовувати технологічні прийоми для «захолодження» теплових вузлів [5, 25, 28, 88-99].

Зазначимо, що на величину внутрішніх напружень значно впливають усадочні напруження, у вигляді опору ливарної форми та стрижнів під час кристалізації виливка. Тому необхідно проводити оптимізацію складів формувальних і стрижневих сумішей, збільшуючи їх податливості, особливо при високих температурах, і зменшення площі поверхонь, що гальмують усадку [70-72].

Відомо, що на схильність до утворення гарячих тріщин у виливках зі сталі суттєво впливає температура заливання [28, 60, 72].

3.3 Вплив швидкості охолодження, температури заливання та інших факторів на утворення гарячих тріщин

Встановлено, що на утворення гарячих тріщин занадто впливає швидкість охолодження з погляду її взаємозв'язку з рівнем напружень у деталі [77]. Висока швидкість тепловідведення з поверхні виливки призводять до фронтального характеру кристалізації, зростання градієнту температурного поля двофазної зони фронту кристалізації, звуження ширина двофазної зони, покращення умов проникнення розплаву в ізолювані області між кристалітами, при цьому швидкість перевищує швидкість їх розкриття внаслідок розвитку усадкового процесу [28, 45].

Середні швидкості кристалізації та великий інтервал між температурами ліквідусу та солідуса особливо небезпечні з точки зору утворення поверхневих гарячих тріщин. Тріщини утворюються в «ослаблених» місцях виливки, які в процесі затвердіння охолоджуються повільніше. Виливки з більшим змінним перерізом більш схильні до гарячих тріщин, ніж однорідні за товщиною. При однаковій відносній зміні товщини стінок у товстостінних і тонкостінних виливків останні схильні до утворення тріщин [37]. Через різниці швидкості охолодження товстостінних і тонкостінних виливків у останніх формується більший температурний градієнт по перерізу, а значить, стовпчаста будова найбільш сильно вражає тонкостінний виливок. Тверда кірка, що утворюється при затвердінні виливки, сприймає діюче напруження тим самим збільшує опір руйнуванню [106].

Слід зазначити, що на механізм утворення гарячих тріщин у виливках також впливають такі види дефектів, як спай, недолив та ін.. Внаслідок порушення суцільності структури, дані дефекти значно знижують комплекс властивостей на момент утворення гарячих тріщин. Місцеві усадкові та газові раковини послаблюють переріз виливки [83-90] і є локальними місцями концентрації напружень, що сприяють утворенню гарячих тріщин. Молекулярний водень, що

скупчується в раковинах, хімічна неоднорідність складу, також знижують міцність металу при температурах утворення гарячих тріщин.

3.4 Дослідження закономірності впливу основних технологічних факторів на механізм утворення гарячих тріщин.

Зазначимо, що на утворення гарячих тріщин впливає велика кількість технологічних факторів. Виробнича практика ліквідації гарячих тріщин показує, відсутність закономірності виникнення дефектів у певних місцях конкретної виливки. Дотримуючись однакової технології виготовлення виливків з розплаву однієї плавки, зустрічається кілька виливків з дефектами типу гарячих тріщин, в той час як переважна партія в серії без дефектів. В результаті досліджень було виявлено певну закономірність виникнення гарячих тріщин у виливках в залежності від черговості заливання у форму.

За результатами досліджень виявлено, що виливки, що заливали на початковому та кінцевому етапах, мали гарячі тріщини у вигляді надривів з нерівною окисленою поверхнею по межах кристалів і дендритних осередків (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Гаряча тріщина у вигляді надривів з нерівною окисленою поверхнею по межах кристалів

Виявлено, що поряд із гарячими тріщинами у тих же виливках були наявні недоливи, незлиття та спаї (рис. 3.4).

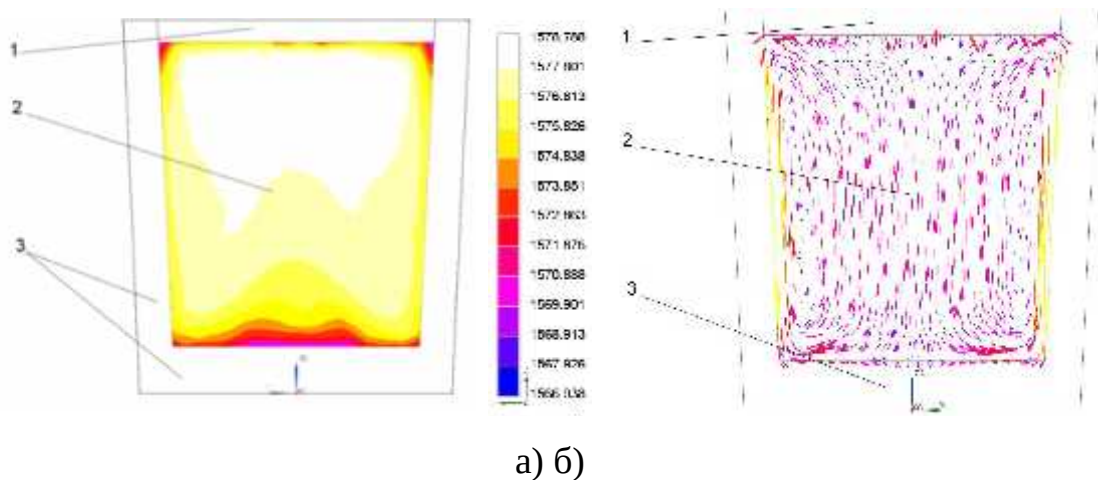


а)

б)

Рисунок 3.4 – Гаряча тріщина (а) та не злиття

Результати аналізу макроскопічного дослідження виявили поєднання дефектів типу гарячих тріщин, недоливів, незлиття та спаїв, що свідчить про низьку температуру заливання розплаву. Комп'ютерного моделювання процесів тепломасоперенесення в ковші ємністю 10 т при витримці та у процесі транспортування ковша вказують на нерівномірність розподілу температур по висоті ковша (рисунок 3.5 а).



а) б)

1 – шар шлаку; 2 – рідкий метал; 3 – футерування ковша

Рисунок 3.5 – Розподіл температур рідкого металу (а) та швидкостей конвекційних потоків (б) по висоті ковша.

Дане явище можна пояснити інтенсивною віддачею тепла нижніх шарів рідкого металу футеровці дна, а верхні шари охолоджуються під час розливання. Явище конвекційні потоків у ковші (рисунок 3.5 б) можна пояснити, опусканням в нижню частину ковша певний об'єм розплаву, що має нижчу температуру. У міру

розливання розплаву через стопорний отвір, розташований у днищі ковша, розплав у верхній частині охолоджуватиметься за рахунок теплопередачі та інших факторів. Таким чином, перші та останні форми заливаються більш холодним металом зі зниженою рідиною.

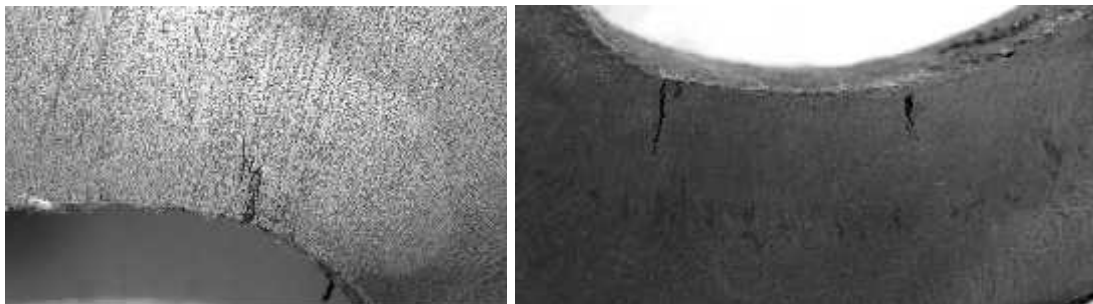
3.5 Дослідження дефекту гарячих тріщин та навколодефектної зони

Недостатність опрацювання технологічного процесу отримання виливків супроводжується, такими явищами як, усадочні процеси при кристалізації або насичення розплаву газами при плавленні металу або заливанні форм, що обумовлюють утворення різних дефектів у виливках (рис. 3.6).



Рисунок 3.6 – Дефект гарячих тріщин у вигляді розриву тіла виливки та вигляд дендриту з гілками другого порядку

Дослідження поперечних розрізів дефектних зон виявили морфологічні особливості будови гарячих тріщин (рис. 3.7, б, г, д).



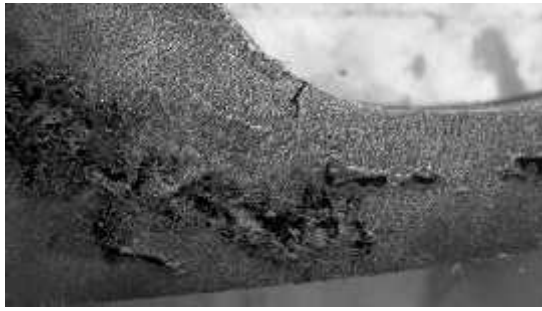


Рисунок 3.7 – Макроструктура зразків з дефектами гарячих тріщин з глибиною поперечного розрізу стінки: 4 мм (а), 8 мм (б) та 5 мм (в), х 2;

З аналізу макроструктури можна бачити, що явні та приховані гарячі тріщини мають тенденцію до розширення при поширенні тріщини до поверхні виливка. Довжина окремих надривів становила в межах 3...5 мм, що визначається глибиною структурних зон (рис. 3.7 б, д), при цьому відстань між кінцями сусідніх щаблів становить в межах 0,5...2 мм. Слід зазначити паралельне розташування кількох надривів (рис. 3.7, б, г), що свідчить про складність внутрішньої будови гарячих тріщин та ідентичність процесів руйнування.

Відомо, що гарячі тріщини виникають у високотемпературному інтервалі кристалізації, коли сплав знаходиться у твердорідкому стані [11, 12, 19, 20, 25, 28]. Більшість визначень гарячих тріщин, які у різних технологічних процесах, вказують однією відмітний ознака – сильно окислена поверхню. Поверхня тріщини може окислитись і за відносно низьких температур, це залежатиме від умов охолодження та складу навколишнього середовища [56].

В умовах стабільного технологічного процесу зростання кількості забракованих виливків може бути пов'язане із синергетичним ефектом, викликаним незначним посиленням деяких інших факторів. Дані фактори можуть бути пов'язані з насиченням розплаву газами, що обумовлює збільшення усадочних напружень, що сприяють утворенню гарячих тріщин.

Слід зазначити, що утворення дефектів типу газових тріщин можуть бути не тільки в наслідок усадкових напружень, але й за рахунок різних газових процесів, які, посилюють напруження в теплових вузлах, та сприяють утворенню тріщин змішаної природи [37, 87]. В локальних ділянках виливків, що схильні до утворення гарячих тріщин, можуть утворюватися різні ідентичні ливарні дефекти, які при

макроаналізі можуть бути інтерпретовані як класичні гарячі тріщини, що не завжди правильно.

Однією з причин утворення гарячих тріщин у сталевих виливках є наявність у міждендритному просторі легкоплавких сульфідних та інших неметалевих включень [20, 37, 85]. Методом Баумана, було досліджено розподіл сульфідних неметалевих включень у навколодефектній зоні забракованих та придатних виливків, рисунок 3.8.

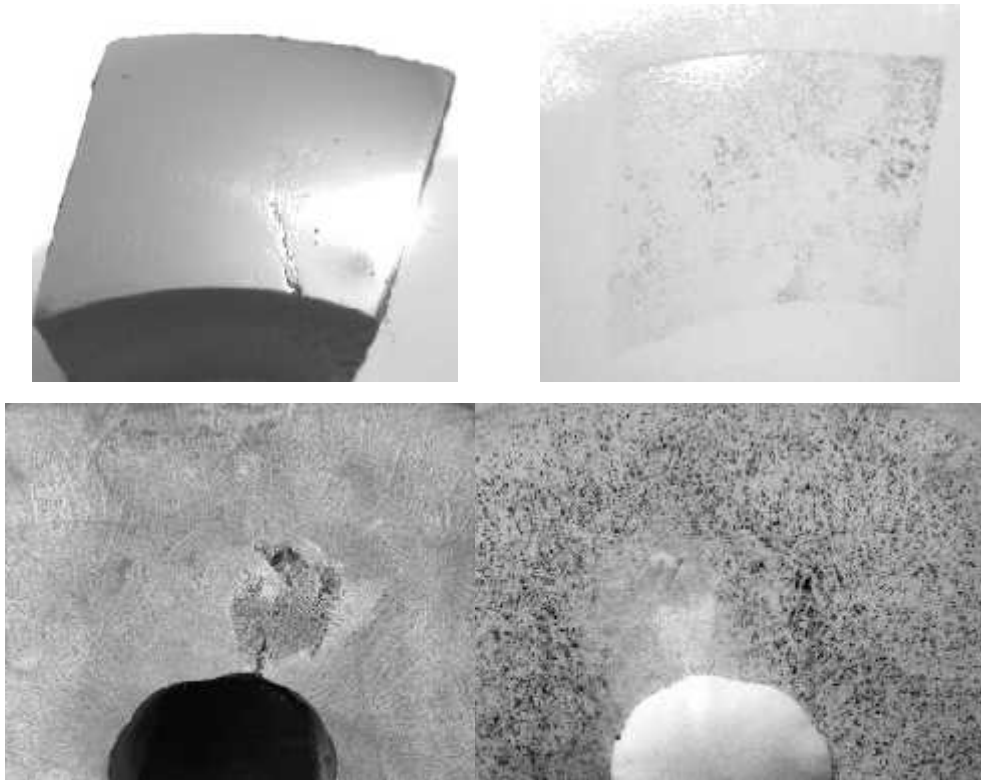


Рисунок 3.8 – Розподіл сульфідних включень в зоні утворення гарячих тріщин для бракованих виливків

З аналізу відбитків видно, що сульфідні включення сконцентровані в області оточення гарячих тріщин. Найбільша їхня концентрація спостерігається в центральній зоні стінки виливки. Дане можна пояснити тим, що сульфідні як найбільш легкоплавкі компоненти в результаті ліквідації витісняються дендритними кристалами, що зростають від стінок центральної зони, представлену рівноосними кристалами. Слід зазначити, що центральна частина стінки виливки є концентратором всіляких дефектів змішаного газо-збіжного і усадкового походження, які підсилюють під дією ливарних процесів концентрацію в цих

ділянках сульфідних включень. Найбільший інтерес викликала проба Баумана, отримана щодо достойної, бездефектної частини (рис. 3.8).

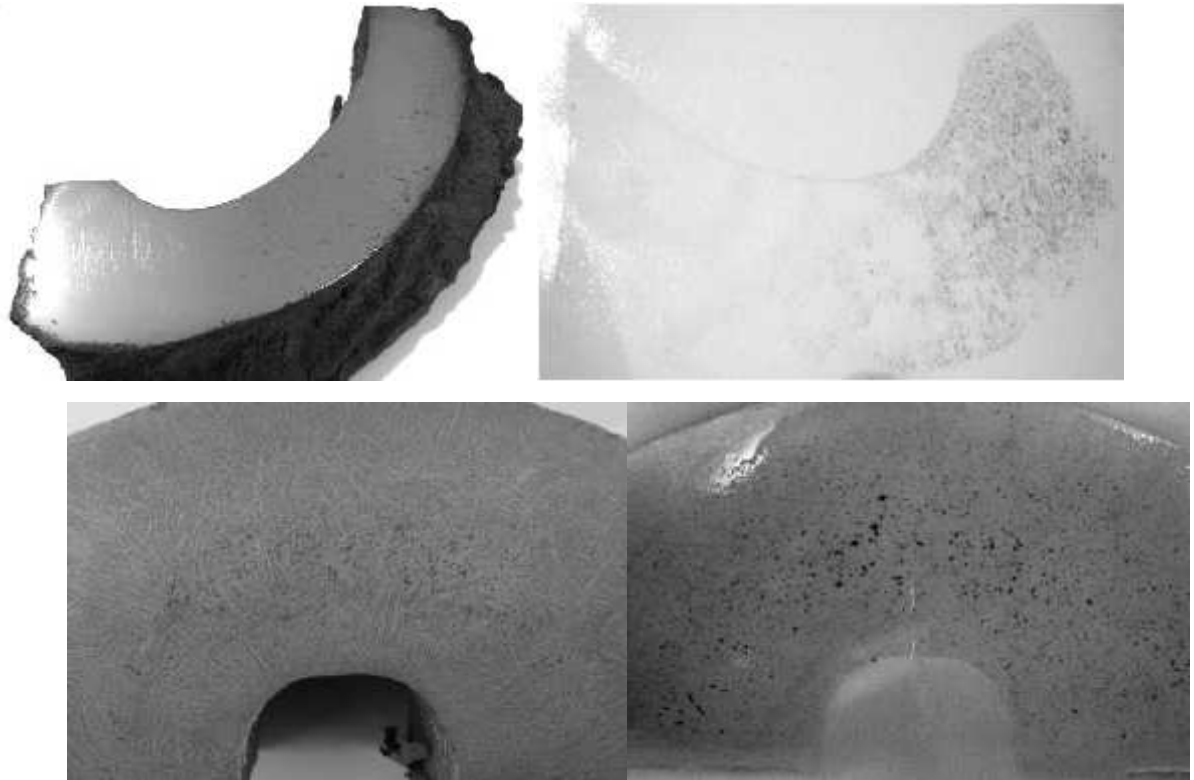


Рисунок 3.8 – Розподіл сульфідних включень в зоні можливого утворення гарячих тріщин для придатних виливків.

Макроскопічним аналізом виявлено, що сульфідні включення здебільшого сконцентровані в тепловому вузлі, у переході до потовщеної частини стінки. Практично всі сульфідні включення були витіснені в тепловий вузол, який закристалізувався в останню чергу.

Спектральним аналізом перерізу стінки дефектної зони вивчено розподіл хімічних елементів перерізу зразка бракованих виливків, результати яких наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Хімічний склад за товщиною дефектної зони стінки

Відстань від поверхні виливки, мм	Концентрація хімічних елементів, %				
	C	Si	Mn	P	S
0	0,205	0,345	1,18	0,017	0,022
2	0,243	0,340	1,20	0,015	0,025
4	0,232	0,340	1,21	0,016	0,026
6	0,228	0,338	1,23	0,021	0,026

За результатами вимірювань хімічного складу були отримані графічні залежності, що демонструють зміну концентрацій хімічних елементів, що

впливають на процес утворення гарячих тріщин по перерізу стінки у дефектній зоні виливки (рис. 3.9).

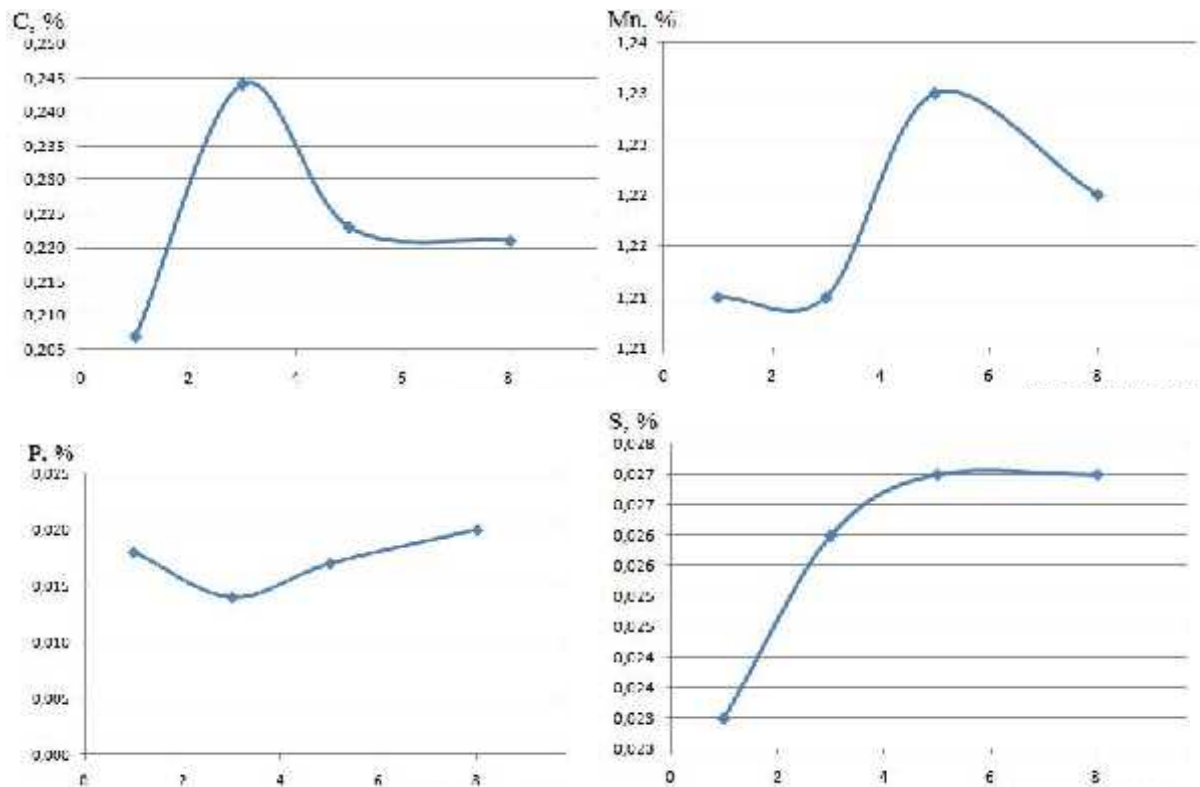


Рисунок 3.9 – Залежність вмісту хімічних елементів в сталі виливка від товщиною стінки в зоні гарячих тріщин: а – С; б - Мн ; в - Р; г – S

Можна бачити, що по мірі віддалення від поверхні вглиб стінки виливка, концентрація вуглецю зростає (рис. 3.9 а). Таку закономірність у розподілі вуглецю можна пояснити утворенням структурних зон та ліквідацією даного компонента сплаву при затвердінні виливки. Поверхнева структурна зона виливка, представлена дезорієнтованими кристалами, виходить фактично знеуглецьованою. У цій зоні відбувається інтенсивне утворення дрібних кристалів, і сплав у цій частині виливка інтенсивно окислюється, взаємодіючи із зовнішньою атмосферою, що сприяє знеуглецюванню.

Концентрація марганцю від поверхні вглиб стінки збільшується спільно з сіркою, що пояснюється утворенням сталі при затвердінні сульфиду марганцю (рис. 3.9, б, г). Виявлено поступове збільшення вмісту сірки до сталого значення величини, після чого не змінюється, концентрація якої переважно зосереджена в осьовій зоні стінки виливки (рис. 3.9 г). Таким чином, присутність сульфідних включень у зоні утворення гарячих тріщин є часто не причиною її виникнення, а

наслідком процесів, пов'язаних із заповненням маточним розплавом гарячих тріщин, що раніше утворилися. Матковий розплав, сконцентрований у теплових вузлах виливки, збагачений великою кількістю легкоплавких компонентів розплаву, зокрема сульфідів, потрапляючи у розриви поверхневої кірки виливки.

Висновки з наукової частини

1. Аналіз факторів, що впливають на утворення гарячих тріщин у сталевих виливках показав, що на тріщиностійкість сталевих виливків значно впливають процеси структуроутворення, що відбуваються в поверховій зоні виливки на етапі її затвердіння. Вивчено вплив різних факторів на процес утворення гарячих тріщин у сталевих виливках

Методом комп'ютерного моделювання проведено розподілу температур рідкого металу за висотою ковша з метою раціоналізації процесу розливання рідкого металу у ливарні форми. Показано негативний вплив на тріщиностійкість зниженої температури заливання металу у форму. Наведений аналіз умов отримання виливків, забракованих через утворення гарячих тріщин, свідчить про існування супутніх гарячих тріщин другорядних дефектів.

Встановлено значний вплив на механізм утворення гарячих тріщин структурних зон, що існують у виливках з характерно різною будовою, причиною утворення яких є нерівномірність затвердіння виливка за глибиною стінки.

Показано, що на процес утворення гарячих тріщин у виливках можуть впливати другорядні фактори, зокрема гази, розчинені в металі що виділяються в процесі затвердіння. Аналіз будови дефекту та мікроструктурні дослідження поверхні руйнування виявили присутність газової складової при утворенні дефектів, у тому числі в глибині дефекту.

4 ЕНЕРГЕТИЧНА ЧАСТИНА

4.1 Потреба ливарного цеху в річній електроенергії

Потребу ливарного цеху сталевих литва в технологічній, силовій та освітлювальній електроенергії [5].

Загальні витрати електроенергії складають:

$$W = W_T + W_c, \quad (4.1)$$

де W_T – витрати ел.енергії та силові ел.приводи, кВт/рік;

W_c – потреба ел.енергії на силовий ел.привод, кВт·рік;

Потребу електроенергії розраховуємо на основі потужності устаткування та річній його роботи. Укрупнення розрахунків виконуємо за формулою:

$$W_c = P_c \cdot Q_z \cdot K_w, \quad (4.2)$$

де P_c – питома витрата сил-ї ел. енергії на 1т придатного сталевих литва , кВт·рік [6];

Q_z – випуск придатних сталевих відливок, т/рік;

$K_w = 1,05$ – коефіцієнт врахування втрати ел.енергії в мережі.

$$W_c = 120 \cdot 8200 \cdot 1,05 = 1033200 \text{ кВт/рік}$$

Витрати електроенергії на технологічні потреби на рік визначаємо по формулі:

$$W_T = P_m \cdot Q_z \cdot K_w, \quad (4.3)$$

де P_m – питома витрата технологічної електроенергії на 1т придатного литва, кВт·рік [8];

$$W_T = 420 \cdot 8200 \cdot 1,05 = 3307500 \text{ кВт·рік}$$

Витрати електроенергії загальні:

$$W = 1033200 + 3307500 = 4340700 \text{ кВт·рік}$$

Потреби в освітлювальній електроенергії за рік визначається по формулі:

$$W_0 = 0,001 \cdot \rho \cdot F \cdot T_0 \quad (4.4)$$

де ρ – середні витрати за 1 годину на 1м² площі (для виробничих відділень ливарного цеху, $\rho = 12 \text{ Вт}$) [6];

F – освітлювальна площа, м²;

T_0 – річне число годин освітлювального навантаження.

$$W_0 = 0,001 \cdot 12 \cdot 7920 \cdot 5631 = 535170 \text{ кВт/рік}$$

4.2 Потреба ливарного цеху сталевих литва у воді

Вода в ливарному цеху чавунного литва витрачається на приготування формувальної суміші, охолодження дугової печі, грануляцію шлаку, господарчі та побутові потреби, а також санітарно-гігієнічні потреби. Витрачення води на тех.. потреби розраховуються по формулі:

$$P_m = P_v \cdot Q_{річн} , \quad (4.5)$$

де P_m – питомі витрати технологічної води на 1т придатного литва [1], м³/т.

$$P_m = 35 \cdot 8200 = 287000 \text{ м}^3$$

Якщо, витратити по 45 літрів води на побутові потреби, господарсько-питні на 1 чоловіка в зміну, тоді маємо:

$$P_x = 45 \cdot 32 \cdot 2 = 2880 \text{ м}^3$$

Потребу цеху в воді на рік визначаємо:

$$P = P_m + P_x , \quad (4.6)$$

$$P = 287000 + 2880 = 289880 \text{ м}^3$$

Воду в ливарному цеху також використовують для охолодження виливків, гасіння залишків вибивки вагранок, охолодження плавильних агрегатів, зволоження формувальної і стрижньової суміші, грануляції шлаку, гідроочищення виливків і ін. На охолодження устаткування вода витрачається по вигляду устаткування, його кількості і часу роботи.

4.3 Розрахунок стисненого повітрі для потреб ливарного цеху сталеволитва

На стисненому повітрі працюють формувальні, пневматичні підйомники, пневмоінструмент, піскодувні і піскострільні машини, дробеструйні камери і інше устаткування. На 1т придатного литва розрахунок ведемо по формулі:

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot Q_z , \quad (4.7)$$

де P_{cm} – витратна стисненого повітря на 1т придатного литва, $P_{cm} = 750 \dots 850 \text{ м}^3/\text{т}$ [8].

$$Q_{cm} = 750 \cdot 8200 = 6150000 \text{ м}^3$$

Для кожної одиниці устаткування, витрата повітря визначається за паспортними даними залежно від режиму роботи цеху.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Капітальні вкладення в проект ливарного цеху сталевого литва

При проектуванні ливарного цеху сталевого литва, визначаємо капіталовкладення, розраховуючи окремі елементи по балансовій вартості з даних таблиці 5.2 за формулою:

$$K = K_{yc} + K_{буд} + K_y + K_{осн} + K_{инв} + K_{пр}, \quad (5.1)$$

де K_{yc} , $K_{буд}$ – кап.вкладення в устаткування та будівлі відповідно, грн;
 $K_{осн}$, $K_{инв}$ – кап.вкладення в технологічне оснащення та інвентар, грн;
 $K_{пр}$ – кап.вкладення в проектування діляниці, грн.

Капіталовкладення в устаткування розраховуються за формулою:

$$K_{yc} = K_{yt} + K_{ye} + K_{пту} + K_{км}, \quad (5.2)$$

де K_{yt} , K_{ye} – кап.вкладення в технологічне та енергетичне устаткування відповідно, грн;

$K_{пту}$ – кап.вкладення в підйомно-транспортне устаткування, грн;

$K_{км}$ – кап.вкладення у засоби комплексної механізації, грн.

$$K_{yc} = 3007290 + 300729 + 2105103 + 751822,5 = 6164944,5 \text{ грн}$$

Капітальні вкладення у технологічне устаткування розраховуємо за формулою:

$$K_{yt} = \sum [C_o \cdot (1 + \alpha_t + \alpha_c + \alpha_m) \cdot Z], \text{ грн}, \quad (5.3)$$

де C_o – оптова ціна устаткування, грн;

α_m – коефіцієнт, що враховує транспортно-заготівельні витрати на придбанням устаткування ($\alpha_m \approx 0,05$ маса вища за 30 т, та 0,1 в інших випадках);

α_c – коефіцієнт врахування витрат на будівельні роботи;

α_m – коефіцієнт, врахування витрат на монтаж та освоєння устаткування;

Z – число типорозмірів устаткування.

Розрахунок витрат проводимо на стрелковий автомат моделі DISA CORE 10 EP:

$$K_{ym} = 117000 \cdot (1 + 0,05 + 0,03 + 0,1) \cdot 1 = 138060 \text{ грн}$$

Аналогічно проводимо розрахунки для іншого обладнання та заносимо їх до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Техніко-економічні показники обладнання

Найменування устаткування	Модель	Кількість	Оптова ціна одиниці, грн.	Величина коефіцієнта			Балансова вартість, грн.	Всього
				α_m	α_c	α_m		
Плавильний комплекс	ІЧТМ-6	1	877500	0,1	0,02	0,1	1070550	1070550

ОТТО Yunker								
Формувальна лінія	Savelli	1	1105000	0,05	0,05	0,1	1326000	1326000
Стержневий автомат	4509 A	1	117000	0,05	0,03	0,1	138060	138060
Установка для приготування суміші	15104 15101	2	54600	0,05	0,05	0,1	65520	131040
Галтовочний барабан	ОБ-90	1	88400	0,05	0,05	0,1	106080	106080
Дробеметна установка	42322М	1	123500	0,05	0,05	0,1	148200	148200
Обдирочно-шліфувальний Верстат	3М363	8	9100	0,05	0,05	0,1	10920	87360
Всього								3007290

Капіталовкладення в енергетичне устаткування (приймаємо 10 % від вартості технологічного устаткування):

$$K_{ye} = K_{yt} \cdot 0,1 \quad (5.4)$$

$$K_{ye} = 3007290 \cdot 0,1 = 300729 \text{ грн}$$

Капіталовкладення в підйомно-транспортне устаткування – 70% вартості технологічного устаткування:

$$K_{пту} = K_{yt} \cdot 0,7 \quad (5.5)$$

$$K_{пту} = 3007290 \cdot 0,7 = 2105103 \text{ грн}$$

Капіталовкладення у засоби комплексної механізації і автоматизації. Приймаємо 25 % [24] вартості технологічного устаткування

$$K_{км} = K_{yt} \cdot 0,25 \quad (5.6)$$

$$K_{км} = 3007290 \cdot 0,25 = 751822,5 \text{ грн}$$

Капітальні вкладення в будівлі:

$$K_{буд} = S_{цех} \cdot h \cdot \Pi_{буд}, \quad (5.7)$$

де $S_{цех}$ – загальна площа цеху (згідно плану цеху). $S_{цех} = 5760 \text{ м}^2$;

h – висота приміщення цеху, $h = 12,6 \text{ м}$;

$\Pi_{буд}$ – вартість 1 м^3 будівлі, $\Pi_{буд} = 1300 \text{ грн/м}^3$;

$$K_{буд} = 5760 \cdot 12,6 \cdot 1300 = 94348800 \text{ грн.}$$

Капітальні вкладення у споруди та обладнання, внутрішньо цехові рейкові колії, повітропроводи та інші пристрої – 10 % від вартості будівлі:

$$K_{сп.обл} = K_{буд} \cdot 0,10 \quad (5.8)$$

$$K_{сп.обл} = 94348800 \cdot 0,10 = 9434880 \text{ грн.}$$

У технологічне оснащення приймаємо капітальні вкладення в розмірі 7% вартості технологічного устаткування:

$$K_{тех.осн} = K_{yt} \cdot 0,07 \quad (5.9)$$

$$K_{тех.осн} = 3007290 \cdot 0,07 = 210510,3 \text{ грн}$$

Капітальні вкладення у виробничий та господарський інвентар (стелажі, предмети протипожежного устаткування, засіки, тумбочки) приймаємо в розмірі 2 % від вартості технологічного устаткування:

$$K_{інв} = K_{yt} \cdot 0,02 \quad (5.10)$$

$$K_{інв} = 3007290 \cdot 0,02 = 60145,8 \text{ грн}$$

Капітальні вкладення в проектування ливарного цеху сталевих литва визначаються за формулою:

$$K_{np} = \left(\sum_{i=1}^n M_i \cdot K_i \cdot O_i \right) \cdot K, \text{ грн} \quad (5.11)$$

де M_i – кількість місяців роботи над проектом;
 K_i – кількість задіяних конструкторів, технологів і т.д.;
 O_i – посадовий оклад за місяць, $O_i=8700$ грн (технолог та конструктор);
 K – поправочний коефіцієнт, що враховує додаткові витрати, $K = 1,1$.

$$K_{np} = (2 \cdot 3 \cdot 8700 \cdot 1,1) + (2 \cdot 3 \cdot 8700 \cdot 1,1) = 114840 \text{ грн}$$

Результати розрахунків капітальних вкладень зводяться до таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Капіталовкладення цеху

№ п/ п	Група основних фондів	Розмір капітальних вкладень, Грн.	Відсотків
1	2	3	4
1	Технологічне устаткування	3007290	2,72
2	Енергетичне устаткування	300729	0,27
3	Підйомно-транспортне устаткування	2105103	1,91
4	Будівлі та споруди	103783680	94,06
5	Ливарна оснастка	210510,3	0,19
6	Засоби механізації і автоматизації	751822,5	0,68
7	Виробничий та господарський інвентар	60145,8	0,05
8	Капітальні вкладення в проектування ливарного цеху сталевих литва	114840	0,1
Всього		110334121	100%

5.2 Техніко-економічні розрахунки ливарного цеху

Загальна чисельність виробничих робітників визначається по трудомісткості робіт на 1 т литва:

$$R_{сп.в}^{заг} = \frac{Q_{np} \cdot t_n}{\Phi_{др} \cdot K_v}, \text{ чол} \quad (5.12)$$

де Q_{np} – маса придатного литва на річну програму, т;
 t_n – продуктивність 1т литва, нормо-год;
 K_v – коефіцієнт виконання норм, $K_v = 1$.

$$R_{сп.в}^{заг} = \frac{8200 \cdot 15}{1747 \cdot 1} = 70 \text{ чол}$$

Кількість виробничих робітників по професіях розраховуємо за робочими місцями відповідних дільниць в залежності від обраного типу устаткування:

$$R_{cn} = \frac{M \cdot H_{бр}}{K_{вик}} \cdot S \quad (5.13)$$

де M – прийнята кількість одиниць устаткування, шт;
 $H_{бр}$ – число робітників в бригаді, чол;
 $K_{вик}$ – коефіцієнт використання робочого часу.

$$K_{\text{вик}} = 1 - 0,01 \cdot C, \quad (5.14)$$

де C - коефіцієнт невиходу на роботу з поважних причин.

$$K_{\text{вик}} = 1 - 0,01 \cdot 12 = 0,88$$

Приймаємо один плавильника на плав. комплекс.

На заливочному обладнанні – 1 заливщик на одну автоматичну лінію.

$$R_{\text{сн}} = \frac{1 \cdot 1}{0,88} \cdot 2 = 3 \text{ чол}$$

Кількість робітників на сумішоприготувальному обладнанні:

$$R_{\text{сн}} = \frac{2 \cdot 1}{0,88} \cdot 2 = 5 \text{ чол}$$

Кількість робітників на стержнеприготувальному обладнанні:

$$R_{\text{сн}} = \frac{1 \cdot 1}{0,88} \cdot 2 = 5 \text{ чол}$$

На очисному обладнанні: $R_{\text{сн}} = \frac{8 \cdot 1}{0,88} \cdot 2 = 18 \text{ чол}$

Повний склад виробничих робітників приводиться в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Склад виробничих робітників ливарного цеху сталевого литва

Відділення	Професія	Кількість, чол.	Розряди роботи					
			1	2	3	4	5	6
Плавильне	плавильники	2				+		
	підручні	1		+				
Заливочне	заливники	2				+		
	наладчики-оператори	1		+				
Сумішеприготувальне	наладчики-оператори	5				+		
Стержнеприготувальне	наладчики-оператори	3			+			
Очисне	оператори	16			+			
	наладчики	2				+		
Всього		34						

Чисельність допоміжних робітників визначається за формулою:

$$R_{\text{доп}}^{\text{max}} = R_{\text{сп.в}}^{\text{заг}} \cdot B, \quad (5.15)$$

де, B – коефіцієнт, що враховує допоміжних працівників, $B = 0,65$ [23].

$$R_{\text{доп}}^{\text{max}} = 32 \cdot 0,65 = 21 \text{ чол}$$

Професії допоміжних робітників і їх середній розряд вказані у табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Штатний розклад кількості допоміжних робітників

№ групи	Професія	Кількість чоловік	Середній розряд роботи	Методика розрахунку та джерело інформації
1.	Чергові слюсарі Чергові електрики Наладчики устаткування	2 2 2	4 4 4	Приймаємо згідно технологічної потреби
2.	Верстатники по ремонту устаткування Електрозварювальники Пічники (ремонт печей та ковшів всіх видів)	2 1 1	4 4 4	5% від $R_{\text{доп}}$ 1 робітник 6-7 тис.т.потужності 3% від $R_{\text{доп}}$
3.	Стропальники Водії відповідного транспорту	2 2	2 2	По кількості робочих місць У відповідності до транспорту та числу змін
4.	Лаборанти хім.лаб.	2	2	4% від $R_{\text{доп}}$
5.	Контролери БТК Комірники	2 2	4 2	6% від виробничих робітників 4% від $R_{\text{доп}}$
6.	Прибиральники виробничих приміщень	2	2	Приймаємо 1 прибиральник на зміну на 2500-3000м ² площі цеху
7	Підсобні робітники на очисній дільниці	2	2	4% від $R_{\text{доп}}$
Всього $\Sigma R_{\text{макдоп}}$ 24				

Чисельність керівників і спеціалістів приймається у відсотках від чисельності робітників:

$$R = 20\% \cdot (34 + 24) = 12 \text{чол}$$

Таблиця 5.5 – Штатний розклад керівників і спеціалістів цеху

№	Посада	Кількість	Посадовий оклад, грн/міс	Сума, грн.
1	Начальник цеху	1	14500	14500
2	Головний металург	1	10700	10700
3	Головний технолог	1	10700	10700
4	Головний енергетик	1	10700	10700
5	Головний механік	1	10700	10700
6	Спеціаліст металург	1	8700	8700
7	Спеціаліст технолог	1	8700	8700
8	Спеціаліст конструктор	2	8700	17400
9	Спеціаліст енергетик	1	8700	8700
10	Економіст	1	8100	8100
11	Майстер зміни	1	8700	8700
	Всього	12		117600

Загальний склад працюючих в цеху заносимо до зведеної таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Загальний склад працюючих ливарного цеху сталевому литва

Категорія працюючих	Всього чоловік	Відсоток від загальної кількості працюючих
Виробничі працівники	34	48,57
Допоміжні робітники	24	34,29
Керівники і спеціалісти	12	17,14

Всього	70	100 %
--------	----	-------

5.3 Фонди заробітної плати працівників ливарного цеху

Запланований ФЗП виробничих виробників визначаємо за формулами:

$$\Phi_o^c = L_{\text{год}} \cdot R_{\text{сп}}^{\text{зар}} \cdot \Phi_{\text{дв}} \cdot (1 + K_{\text{пр}} + K_{\text{д}} + K'_{\text{д}}), \quad (5.18)$$

де $L_{\text{год}}$ – середньогодинна тарифна ставка робітників

$$L_{\text{год}} = \frac{\sum_{i=1}^Z l_{\text{год}} \cdot R_{\text{спп}} \cdot K_y}{R_{\text{сп}}^{\text{зар(д)}}}, \quad (5.19)$$

де Z – номенклатура професій виробничих (допоміжних) робітників;

$L_{\text{год}}$ – годинна тарифна ставка робітника відповідного розряду;

$R_{\text{спп}}$ – кіль-ть виробничих робітників відповідного розряду;

$R_{\text{сп}}^{\text{зар(д)}}$ – загальна кількість, виробничих (допоміжних) робітників;

K_y – коеф., який враховує доплати за умови праці;

$K_{\text{пр}}$ – коеф. врахування премії робітникам, $K_{\text{пр}} = 0,15$ [28];

$K_{\text{д}}$ – доплата за фактично вироблений час, $K_{\text{д}} = 0,075...0,08$ [27];

$K'_{\text{д}}$ – додаткова заробітна плата за не відроблений час, $K'_{\text{д}} = 0,08...0,1$ [27].

$$З_{\text{міс}}^c = \frac{\Phi_{\text{міс}}^c}{R_{\text{сп}}^{\text{зар(д)}} \cdot M}, \quad (5.20)$$

де M – середня кіл-сть місяців роботи виробничих робітників, $M = 11,2$ міс.

Середньо-годинна тарифна ставка допоміжних робітників:

$$L_{\text{год}} = \frac{\sum L_{\text{год}} \cdot R_{\text{спп}}}{R_{\text{сп}}^{\text{зар}}}, \quad (5.21)$$

$$L_{\text{год}} = \frac{(42 \cdot 12 + 49 \cdot 12)}{24} = 45,5 \text{ грн.}$$

ФЗП допоміжних робітників:

$$\Phi_o^{c(\partial)} = 45,5 \cdot 24 \cdot 1747 \cdot (1 + 0,15 + 0,08 + 0,1) = 2537272,9 \text{ грн.}$$

Середньо-місячна заробітна плата одного допоміжного робітника:

$$З_{\text{міс}}^c = \frac{2537272,9}{24 \cdot 11,2} = 9439,3 \text{ грн.}$$

Середньо-годинна тарифна ставка виробничих робітників:

$$L_{\text{год}} = \frac{(42 \cdot 2 + 46 \cdot 19 + 49 \cdot 9)}{34} = 41,15 \text{ грн/год}$$

ФЗП виробничих робітників:

$$\Phi_o^{c(o)} = 41,15 \cdot 34 \cdot 1747 \cdot (1 + 0,15 + 0,08 + 0,1) = 3059597,9 \text{ грн.}$$

Середньомісячна заробітна плата виробничих робітників:

$$З_{\text{міс}}^c = \frac{3059597,9}{34 \cdot 11,2} = 8034,7 \text{ грн.}$$

Плавильне відділення

$$L_{\text{зод}} = \frac{2 \cdot 49 + 1 \cdot 42}{3} = 46,7 \text{ грн/год.}$$

$$\Phi_o = 46,7 \cdot 3 \cdot 1747 \cdot (1 + 0,15 + 0,08 + 0,1) = 325523,7 \text{ грн.}$$

$$З_{\text{міс}} = \frac{325523,7}{3 \cdot 11,2} = 9688,2 \text{ грн.}$$

Основний ФЗП без робітників плавильної дільниці:

$$\Phi_o^c = 3059597,9 - 325523,7 = 2734074,2 \text{ грн.}$$

Сумарний фонд заробітної плати:

$$\sum \Phi_o^c = 3059597,9 + 2537272,9 + 117600 \cdot 11,2 = 5728582,8 \text{ грн.}$$

Витрати пов'язані з утриманням і експлуатацію устаткування:

$$\sum P_o = (1,0 \dots 3,5) \cdot \sum \Phi_o^c = 3,5 \cdot 5728582,8 = 20050039,8 \text{ грн.}$$

$$t_y = \frac{\sum P_o}{T_{\text{річ}}}$$

$$T_{\text{річ}} = Q_n \cdot t_n$$

де $T_{\text{річ}}$ – трудомісткість виробничої програми цеху;

t_n – трудомісткість 1 т литва, нормо-год, $t_n = 15$ нормо-год.

$$T_{\text{річ}} = 8200 \cdot 15 = 123000 \text{ нормо-год.}$$

$$t_y = \frac{20050039,8}{123000} = 163 \text{ грн./нормо-год.}$$

Процент цехових витрат приймаємо по даних ПрАТ “Металит” –
 $K \sum_{\text{цех}} \% = 176 \% .$

5.4 Собівартість сталевих відливків

Вартість шихтових матеріалів по сплаву Сталь 35Л:

$$M_{\text{ш}} = \sum_{i=1}^n a_p \cdot \Pi_m \cdot K_{\text{тр}} , \quad (5.24)$$

Визначаємо цехову собівартість тони рідкого металу по сплаву Сталь 35Л (табл. 5.7) за формулою:

$$C_{\text{ц}} = M + З_o + З_d + З_{\text{відр}} + P_o + K_{\text{ц}} , \quad (5.22)$$

де M – вартість матеріалів металеві шихти та паливо технологічне, грн;

$З_o$ – основна з/п виробничих виробників плавильної дільниці, грн;

$З_d$ – додаткова з/п виробничих робітників, грн;

$З_{\text{відр}}$ – відрахування в соціальні фонди виробничих робітників, грн;

P_o – витрати пов'язані з утриманням і експлуатацію устаткування, на одну тонну рідкого металу, грн;

$K_{\text{ц}}$ – цехові витрати, які приходяться на одну тонну рідкого металу

Цехову собівартість 1т придатних відливків Сталь 35Л (табл. 5.8) визначаємо за формулою:

$$C_{ц} = M + Z_o + Z_d + Z_{відр} + P_o + K_{ц}, \quad (5.23)$$

де Z_o – основна ЗП виробничих виробників плавильної дільниці, грн;

Z_d – додаткова ЗП виробничих робітників без плавильної дільниці, грн;

$Z_{відр}$ – відрахування в соціальні фонди виробничих робітників без плавильної дільниці, грн;

P_o – витрати на утримання і експлуатацію устаткування, які приходяться на одну тонну придатних відливків, грн;

$K_{ц}$ – цехові витрати, які приходяться на одну тонну придатних відливок

Вартість шихтових матеріалів Сталь 35Л:

$$M_{ш} = \sum_{i=1}^n a_p \cdot C_m \cdot K_{тр}, \quad (5.24)$$

де a_p – норма витрати і-го матеріалу на 1т придатного литва, кг;

C_m – ціна 1 кг і-го матеріалу;

$K_{тр}$ – коеф., який враховує транспортно-заготівельні витрати, $K_{тр}=1,1$;

z – номенклатура шихтових матеріалів.

$$M_{ш} = (58 \cdot 6,15 + 568 \cdot 6,63 + 20 \cdot 86)1,1 + (354 \cdot 7,57) \cdot 1,02 = 9160,1 \text{ грн.}$$

Основна заробітна плата робітників плавильної дільниці:

$$Z_o = \frac{\Phi_{опл}}{Q_{р.м}}$$

де Φ – основний фонд ЗП виробничих робітників плавильного цеху, грн;

$Q_{р.м.}$ – маса рідкого металу на річну програму (9685,8), т.

$$Z_{о.пл} = \frac{325523,7}{9685,8} = 33,6 \text{ грн.}$$

$$Z_{о.без.пл} = \frac{2734074,2}{9685,8} = 282,3 \text{ грн.}$$

Додаткова ЗП виробничих робітників плавильної дільниці:

$$Z_d = Z_o \cdot (K_d + K_{д1}), \quad (5.25)$$

$$Z_{д.пл} = 33,6 \cdot (0,08 + 0,1) = 6 \text{ грн.}$$

$$З_{д.без.пл} = 282,3 \cdot (0,08 + 0,1) = 50,8 \text{ грн.}$$

Відрахування на соціальне страхування виробничих робітників:

$$З_{відр} = (З_o + З_d) \cdot \frac{K_c}{100}$$

де K_c – коефіцієнт відрахування на соціальне страхування, $K_c=22\%$ [24].

$$З_{відр.пл} = \frac{22}{100} \cdot (33,6 + 6) = 8,7 \text{ грн.}$$

$$З_{відр.безпл} = \frac{22}{100} \cdot (282,3 + 50,8) = 73,3 \text{ грн.}$$

Витрати пов'язані з утриманням та експлуатацію устаткування, на одну тону рідкого металу (придатного литва):

$$P_o = t_y \cdot \frac{t_{пл}}{1000} \cdot 1000, \quad (5.26)$$

де t_y – витрати на утримання і експлуатацію устаткування, яке припадає на 1т рідкого металу (придатного литва), грн/т;

$t_{пл}$ – трудомісткість плавильної дільниці на 1т придатного литва, $t_{пл}=0,2 \cdot t_n=0,2 \cdot 15 = 3,0$

$$P_o = 163 \cdot \frac{3,0}{1000} \cdot 1000 = 489 \text{ грн.}$$

$$P_o = 163 \cdot \frac{12}{1000} \cdot 1000 = 1956 \text{ грн.}$$

Загально-цехові витрати, що припадають на 1т рідкого металу (придатного литва):

$$P_o = \frac{\%K_{ц}}{100} \cdot (З_o + P_o) \quad 3 \ 386,4 \quad (5.27)$$

$$K_{ц.р.м.} = \frac{176}{100} \cdot (33,6 + 489) = 919,8 \text{ грн.}$$

$$K_{ц.пр.л} = \frac{176}{100} \cdot (282,3 + 1956) = 3939,4 \text{ грн.}$$

Калькуляцію цехової собівартості 1т придатного литва заносимо до табл. 5.7 та 5.8.

Таблиця 5.7 – Планова калькуляція 1т рідкого металу сплаву Сталь 35Л

№ Рядка	Найменування статей	Кількіст ь, кг	Ціна, грн/кг	Сума, грн.
1	Лом сталевий Ст.5сп	58	6,15	356,7
	Лом сталевий Ст. 35	568	6,63	3765,8
	Розкислювачі ФМн-78	20	86	1720
	Відходи власного виробництва	354	7,57	2679,8
	Металозавалка	1050		9160,1
2	Угар і безповоротні втрати	50		
3	Вихід рідкого металу	1000		9160,1
4	Паливо технологічне, Електроенергія	500	1,69	845
5	Основна заробітна плата робітників плавильної дільниці			33,6
6	Додаткова заробітна плата виробничих робітників			6
7	Відрахування в соціальні фонди			7
8	Витрати на утримання і експлуатацію устаткування			489
9	Загальноцехові витрати			919,8
10	Цехова собівартість 1т рідкого металу			11460,5

Таблиця 5.8 – Планова калькуляція 1т придатних відливок сплаву Сталь 35Л

№ рядка	Найменування статей	Кількість, кг	Ціна, грн/кг	Сума, грн.
1	Рідкий метал	1188,3	11,46	13618,6
2	Відходи:			
	Ливники	141	6,00	846
	Зливи і сплески	25	-	-
	Брак	22	7,57	166,5
3	Придатне литво	1000		14631,1
4	Основна заробітна плата виробничих робітників цеху без робітників плавильної дільниці			282,3
5	Додаткова заробітна плата без плавильної дільниці			50,8
6	Відрахування на соціальне страхування			73,3
7	Витрати на утримання і експлуатацію устаткування			1956
8	Загально-цехові витрати			3939,4
9	Цехова собівартість 1т придатного литва			20932,9

Техніко-економічні показники ливарного цеху сталевих литва заносимо в таблицю 5.9.

Фондовіддачу розраховуємо за формулою:

$$f_0 = \frac{1,3 \cdot C}{\Phi_{\text{осн}}}, \quad (5.28)$$

де $C_{\text{пов}}$ – вартість річної виробничої продукції цеху.

За даними ПрАТ “Металит”, визначаємо вартість річної виробничої продукції ливарного цеху сталевих литва з врахуванням позавиробничих витрат і прибутку:

$$B_{\text{пр}} = 1,3 \cdot C \quad (5.29)$$

$$B_{\text{пр}} = 1,3 \cdot 20932,9 = 27212,8 \text{ грн.}$$

Тоді:

$$f_0 = \frac{27212,8 \cdot 8200}{110334121 - 114840} = 2,03 \text{ грн./грн.}$$

Таблиця 5.9 – Техніко-економічні показники цеху сталевого литва

№ п/п	Найменування показників	Одиниця виміру	Величина показників
1	Річний випуск чавунного литва	Т	8200
2	Працюючі в ливарному цеху:		
	- виробничих робітників	чол	34
	- допоміжних робітників	чол	24
	- керівників і спеціалістів	чол.	12
3	Фонд заробітної плати:		
	- виробничих робітників	грн	3059597,9
	- допоміжних робітників	грн	2202687,5
	- керівників і спеціалістів	грн.	1003184
4	Собівартість 1т рідсталі	Грн.	11460,5
5	Собівартість 1т придатної сталі	Грн.	20932,9
6	Капіталовкладення всього, в тому числі і технологічного устаткування	Грн.	110334121
		грн.	3007290
7	Загальна площа цеху	м ²	5760
8	Випуск литва на 1-го виробничого робітника	т/чол.	234
9	Середня заробітна плата на одного виробничого робітника	Грн.	8034,7
10	Трудомісткість 1т придатної сталі	н-год/т	15
11	Зєм з 1м ² загальної площі	т/м ²	1,25
12	Фондовіддача	грн/грн.	2,03

Спроектований цех є рентабельний, виходячи з отриманої фондовіддачі та основних ТЕП ливарного цеху сталевого литва показників.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розроблено проект ливарного цеху сталевого литва річною продуктивністю 8 200т придатних виливків з дослідженням впливу основних технологічних факторів на механізм утворення гарячих тріщин. Розраховано виробничу програму ливарного цеху сталевого литва, фонди часу роботи обладнання, робітників та інших відділень цеху. Підібрано шихту та баланс металу на 1 т придатного литва. Розроблено план ливарного цеху сталевого литва, визначено площі. Обґрунтовано тему магістерської кваліфікаційної роботи, поставлена мета та задачі.

2. Проведено розрахунок ливниково-живильної систему та розроблено технологічний процес виготовлення виливка – "Кронштейн".

3. Виконано аналіз факторів, що впливають на утворення гарячих тріщин у сталевих виливках показав, що на тріщиностійкість сталевих виливків значно впливають процеси структуроутворення, що відбуваються в поверховій зоні виливки на етапі її затвердіння. Вивчено вплив різних факторів на процес утворення гарячих тріщин у сталевих виливках

4. Методом комп'ютерного моделювання проведено розподілу температур рідкого металу за висотою ковша з метою раціоналізації процесу розливання рідкого металу у ливарні форми. Показано негативний вплив на тріщиностійкість зниженої температури заливання металу у форму. Наведений аналіз умов отримання виливків, забракованих через утворення гарячих тріщин, свідчить про існування супутніх гарячих тріщин другорядних дефектів.

5. Встановлено значний вплив на механізм утворення гарячих тріщин структурних зон, що існують у виливках з характерно різною будовою, причиною утворення яких є нерівномірність затвердіння виливка за глибиною стінки.

6. Показано, що на процес утворення гарячих тріщин у виливках можуть впливати другорядні фактори, зокрема гази, розчинені в металі що виділяються в процесі затвердіння. Аналіз будови дефекту та мікроструктурні дослідження поверхні руйнування виявили присутність газової складової при утворенні дефектів, у тому числі в глибині дефекту.

7. В енергетичній частині розраховано технологічну, силову та освітлювальну електроенергію, та розраховано річну потребу у воді, пари та палива і стисненого повітря.

8. Економічна частина має розрахунки основних техніко-економічних показників ливарного цеху сталевих литва, заробітної плати, та собівартість 1 т. рідкого та придатного литва.

Список використаних джерел

1. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Граневский Ю.В. Планирование экспериментов при поиске оптимальных условий-М.: Наука, 1971,-283 с.

2. Александров Н.Н., Ковалевич Е.В., Поддубный А.Н. Производство высококачественных чугунов //Литейное производство – 1996. №11.- С. 11-14.

3. Баландин Г.Ф. Основы теории формирования отливки. В 2-х частях. 4.1. Тепловые основы теории. Затвердевание и охлаждение отливки М.: Машиностроение 1976. 348 с.

4. Березуцький В.В. Основи Охорони праці. Навч. Посібник / Березуцький В.В., Бондаренко Т.С., Валенко Г.Г. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Х.: Факт, 2007. – 480 с.

5. Богачев И.Н. Metallurgy чугуна, М., Машгиз. 1962.-542 с.

6. Великанов К. М. Экономика и организация производства в дипломных проектах: Уч. пособие / К. М. Великанов, Э. Г. Васильева. – М.: Машиностроение, 1986. – 285 с.

7. Великанов К.М. Расчёты экономической эффективности новой техники. Справочник / под ред. К.М. Великанова. – М.: Машиностроение, 1975. – 432с.

8. Глиняна Н. М. Охорона праці у ливарному виробництві: курс лекцій для студентів вищих навчальних закладів напряму 0904 “Металургія” / Н.М. Глиняна. – Краматорськ: ДДМА, 2009. – 184 с.

9. Гуляев А.П. Metallovedenie. - М.: Metallurgy, 1977.- 647с.

10. Гуляев Б.Б. Теория литейных процессов. - М.: Машиностроение, 1976 - 327 с.

11. Гуменюк О. Л. Охорона праці. Методичні вказівки до виконання розділу "Охорона праці" в дипломних проектах для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня “бакалавр” галузі знань 0501 – інформатика та обчислювальна техніка / О.Л. Гуменюк – Чернігів: ЧДТУ, 2013. – 21 с.

12. Економічні розрахунки при проектуванні ливарних цехів. Методичні вказівки до курсової та дипломної роботи для студентів спеціальності 8.090205 / цкл. Сисоліна Н. П., Лебедева Л. В. – Кіровоград: КДТУ, 1993. – 63с.

13. Жидецький В.Ц. Практикум із охорони праці. Навчальний посібник / Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Сторожук В.М. – Львів, Афіша, 2000. – 352 с.

14. Жуков А.А. Геометрическая термодинамика сплавов железа. - М.: Metallurgy, 1979,- 232 с.

15. Колесниченко А.Г., Доценко Г.С., Резцова В.Н. Влияние легирующих элементов на механические свойства, микроструктуру и износостойкость чугуна. // Литейное производство.- 1987,- №9.- С. 26.
16. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. - М.: Машиностроение, 1990,- 528 с.
17. Логвинов И. З. Проектирование литейных цехов. Минск: Высшая школа, 1975. – 320с.
18. Марукович, Е. И. Механизм формообразования графита при кристаллизации чугуна / Е. И. Марукович, В. Ю. Стеценко // Литейное производство. – 2000. № 11. – С. 18-19.
19. Машиностроение.. Энциклопедия. Том П-2. Стали. Чугуны // Под ред. Г.Р.Мухина; А/И.Белякова, Н.Н-Александрова: М-:Машиностроение, 2000.-783с.
20. Москалев И. Н. Методические указания к дипломному проектированию для студентов специальности 0502 / И. Н. Москалев, А. П. Владимиров, В. С. Миронов. – Кировоград: КИСМ, 1985. – 75с.
21. Методические указания к курсовому проектированию по дисциплине “Технология литейной формы” для специальностей 0202. Составители: В. С. Миронов, В. М. Телин, В. И. Кудя. – Кіровоград: КИСМ, 1995. – 75с.
22. Методичні вказівки до проєктивних занять по дисципліні «Проектування ливарних цехів» для студентів спеціальності 8.090205 / В.І. Кудя, О.В. Скрипник – Кіровоград: КДТУ. 1999. – 27с.
23. Методичні вказівки по виконанню економічних розрахунків по «Організації та плануванню виробництва при проектуванні ливарних цехів» / І. Л. Шаповалов, І. Н. Москалев. Кіровоград: КДТУ, 1996. – 41с.
24. Могилев В. К., Лев О. И. Справочник литейщика. – М.: Машиностроение, 1988. – 271 с.
25. Могилев В.К., Лев О.И.. Справочник литейщика. – М.: Машиностроение, 1988. – 271с.
26. Москалев І. Н. Ливарні сплави та їх плавка: Навчальний посібник. – К.: НМКВО, 1993. – 368с.

27. Оборудование литейных цехов / П. Н. Аксенов. – М.: Машиностроение, 1977. – 510с.
28. Основы проектирования литейных цехов и заводов / под ред. Б. В. Кнорре. – М.: Машиностроение, 1985. – 320с.
29. Проектирование машиностроительных цехов и заводов: Справочник (под ред. Е. С. Ямпольского) – М.: Машиностроение, 1984. – 414с.
30. Рибальченко Н. А. Проектирование литейных цехов. Харьков: Издательство Ордена трудового Красного Знамени Государственного университета им. А.М. Горького, 1965. – 307с.
31. Рыжиков, А.Л. Структура и свойства чугуна с шаровидным графитом, обработанного комплексными модификаторами [Текст] / А.Л. Рыжиков, А.С. Кузнецов, Ю.И. Роматовский; под ред. А.А. Горшкова. - Киев. - 1971. - 288 с.
32. Сабірзянов Т.Г.Теплотехніка ливарних процесів / Т.Г. Сабірзянов, В.М. Кропівний. – Кіровоград: КНТУ, 2005. – 402 с.
33. Савуляк, В. І. Економічні технології високоміцних графітізованих сплавів заліза: монографія / В. І. Савуляк, О. Б. Янченко. – Вінниця: ВНТУ. 2014. 160 с.
34. Сазонов В.Я. Справочник по литейному оборудованию. М.: Машиностроение, 1985. – 320с.
35. Сумцов В. П. Устаткування ливарних цехів. – К: ІСДО, 1993. – 552с.
36. Титов И. Д., Степанов Ю. А. Технология литейного производства. – М.: Машиностроение, 1966. – 271 с.
37. Туманський Б. Ф. Проектування ливарних цехів. – К.: НМКВО, 1992. – 188с.
38. Чугун. Под ред. А.Д. Шермана и А.А. Жукова. М.: Металлургия. – 1991.-576 с.
39. Шестопал В. М., Поляков Я. Т.. Технология и оборудование литейного производства. – М.: ВИНТИ, 1979. – 271с.
40. Ямпольский Е.С. Проектирование машиностроительных заводов и цехов. Справочник. В шести томах. Т. 2. / Е.С. Ямпольский, В.М. Шестипал. – М.: Машиностроение, 1974. – 294 с.

41. Кимстач Г. М., Муховецкий Ю. П., Борисов В. Д., Лобанов С. В. О модифицировании сплавов Al - Si // Литейное производство. 1981. №8.
42. Кубашевски О., Олкокк С. Б. Metallургическая термoхимия. М.: Metallургия. 1982. С. 392
43. Мартыненко, С. В. Использование компьютерных методов для повышения качества крупногабаритных тонкостенных стальных отливок / С. В. Мартыненко, О. М. Огородникова, В. М. Грузман // Литейное производство. – 2009. - № 11. – С. 21-26.
44. Коротченко, А. Ю. К вопросу образования горячих трещин в отливках / А. Ю. Коротченко // Литейщик России. – 2011.- №12. – С. 17-21.
45. Поздняков, А. В. Об оценке горячеломкости алюминиевых сплавов при их разработке / А. В. Поздняков, В. С. Золоторевский // Литейное производство. – 2011. - № 11. – С. 21 – 25.
46. Влияние технологии выплавки стали на качество отливок / С. А. Иодковский [и др.] // Литейное производство. – 2010. - № 7. – С. 10 – 14.
47. Шатов, А. Я. Условия разрушения литых сталей вблизи температур кристаллизации / А. Я. Шатов // Вестник БГТУ. – 2004. - №4. – С. 28-31.
48. Тимофеев, А. А. Пластическая деформация в отливках при температурном торможении усадки / А.А. Тимофеев // Литейное производство. – 1976. - № 2. – С. 8-11.
49. Шатов, А. Я. Повышение сопротивляемости отливок образованию горячих трещин / А. Я. Шатов, В. Н. Яковлев, М. Б. Копылов // Литейное производство. – 1980. - № 8. – С. 18-19.
50. Огородникова, О. М. Прогнозирование кристаллизационных трещин в стальных отливках / О. М. Огородникова, С. В. Мартыненко, В. М. Грузман. // Литейное производство. – 2008. - №10. – С. 29-34.
51. Прохоров, Н. Н. Технологическая прочность металлов в процессе кристаллизации при литье / Н. Н. Прохоров // Литейное производство. – 1962. - №4. – С. 24-27.
52. Прохоров, Н. Н. Пластичность кристаллизующихся металлов / Н. Н. Прохоров // Литейное производство. – 1962. - №4. – С. 27-30

56. К вопросу о горячих (кристаллизационных) трещинах при литье и сварке / А. А. Бочвар [и др.] // Литейное производство. – 1960. - №10. – С. 47.

54. Баландин, Г. Ф. Реологическое исследование трещиностойкости отливок во время их затвердевания / Г. Ф. Баландин, Л. П. Каширцев // Литейное производство. – 1978. - № 1. – С. 5-8.

55. Кульбовский, И. К. О влиянии температуры заливки и химсостава стали 20ГЛ на образование горячих трещин в железнодорожных отливках / И. К. Кульбовский, Е. А. Тупатилов, В. Н. Михайлов // Литейное производство. - 2010. - № 7. - С. 5-9.

56. Шагалов, В. Л. Технологическая проба для испытания стали на трещиностойкость/ В. Л. Шагалов, С. И. Попов// Литейное производство. - 1989. - №5. - С.7-8.

57. Производство стальных отливок: учебник для вузов / Л. Я. Козлов, В. М. Колокольцев, К. Н. Вдовин [и др.] / под ред. Л. Я. Козлова. — М. :МИ-СИС, 2003. — 352 с.

58. Новиков, И. И. Горячеломкость цветных металлов и сплавов / И. И. Новиков. – М.: Наука, 1966. – 300 с.

59. Баландин, Г. Ф. Основы теории формирования отливки: в 2 ч. Ч. 2. Формирование макроскопического строения отливки / Г. Ф. Баландин. - М.: Машиностроение, 1979. – 335 с.

60. Campbell, J. Castings / John Campbell. - Oxford, Amsterdam, Boston: Butterworth Heinemann, 2003. – 335 p.

61. Рыжиков, А. А. Теоретические основы литейного производства / А. А. Рыжиков. – М.: МАШГИЗ. 1961. – 440 с.

62. Ольховик, Е. О. Разработка механической концепции образования горячих трещин в стальных отливках / Е. О. Ольховик, В. В. Десницкий // Литейщик России. – 2007.- №11. – С. 21-25.

63. Грузман, В. М. Анализ причин вспышки брака серийной отливки / В. М. Грузман // Литейное производство. – 2004. - №6. – С. 27-28

64. Гуляев, Б. Б. Усадочные процессы в металлах: Труды третьего совещания по теории литейных процессов / Б. Б. Гуляев.- М.: Издательство Академии наук СССР, 1960. - 284 с.

65. Пронов, А. П. Кристаллизация стального слитка / А. П. Пронов. - М.: Академия наук СССР, 1960. - 151 с.

66. Волков, В. Н. Оптимизация химсостава стали 110Г13Л для производства литых заготовок / В. Н. Волков, М. С. Зудова // Литейное производство. – 2012. - №4. – С. 10-11

67. Голиков, И. Н. Дендритная ликвация в стали / И. Н. Голиков. - М.: Металлургиздат, 1958.-207 с.

68. Ладыженский, Б. Н. Выплавка стали для фасонного литья / Б. Н. Ладыженский, В. П. Тунков. - М.: Машгиз, 1954. - 384 с.

69. Бутаков, Д. К. Грануляция стали как причина трещин в отливках / Д. К. Бутаков // Современная технология получения высококачественных стальных отливок: труды конференции / под ред. Н. С. Крещановского. М.: Машгиз, 1953.- 265 с.

70. Шатов, А. Я. Контроль качества стали по кривым линейной усадки / А. Я. Шатов, В. П. Чернобровкин // Литейное производство. – 1966. - №7. – С. 8 – 10.

71. Федоров, В. Г. Причины появления межкристаллитных трещин в стальных отливках/ В. Г. Федоров// Литейное производство. - 1972. - № 7. - С. 7 – 10.

72. Корольков, А. М. Литейные свойства металлов и сплавов / А. М. Корольков. – М.: Наука, 1967. – 200 с.

73. Трубицын, Н. А. Влияние технологии и конструкции на образование горячих трещин в стальных отливках / Н. А. Трубицын, В. Д. Харченко // Литейное производство. – 1976. - № 10. – С. 12-15.

74. Влияние химического состава стали 20Л на образование горячих трещин в тонкостенных отливках / Л. С. Константинов [и др.] // Литейное производство. – 1968. - № 4. - С. 29-31.

75. Шатов, А. Я. Линейная усадка стальных отливок, ее связь с диаграммой состояния Fe-Fe₃C / А. Я. Шатов, Д. А. Бойков, А. А. Ступак // Вестник Брянского ГТУ. – 2007. - №2(14). – С. 20-26.

76. Вдовин, К. Н. Прогнозирование трещиностойкости крупных стальных отливок / К. Н. Вдовин, А. С. Савинов, Н. А. Феоктистов // Литейное производство. – 2014. - № 12. - С. 8 - 10.

77. Монастырский, А. В. Особенности моделирования возникновения трещин в отливках на примере СКМ ЛП «ПолигонСофт» / А. В. Монастырский, А. Ф. Смыков // Литейное производство. – 2010. - № 12. – С. 13-14.

78. Трухов, А. П. Расчет склонности отливок к образованию горячих трещин / А. П. Трухов // Литейное производство. – 1980. - №10. – С. 4-6.

79. Степанов, Ю. А. Роль трения отливки о форму при образовании горячих трещин / Ю. А. Степанов // Изв. вузов. Машиностроение. - № 4. - 1960 - С. 86-94.

80. Корольков, А. М. Усадочные явления в сплавах и образование трещин при затвердевании / А. М. Корольков. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 72 с.

81. Константинов, Л. С. Рассредоточение усадочной деформации как метода предотвращения трещин в отливках / Л. С. Константинов, В. Д. Илюхин // Литейное производство. – 1975. - № 1. – С. 20-21.

82. Ромашкин, В. Н. Условия образования горячих трещин в отливках при использовании ХТС / В. Н. Ромашкин, А. А. Бречко, Г. Ф. Великанов // Литейное производство. – 1985. - № 1. – С. 24.

83. Трубицын, Н. А. Механизм образования горячих трещин в стальных отливках / Н. А. Трубицын // Литейное производство. – 1962. - №4. – С. 33-34.

84. Рыжиков, А. А. Внутреннее строение отливок из стали, склонной к образованию трещин / А. А. Рыжиков [и др.] // Литейное производство. – 1974. - № 3. – С. 30.

85. Чуркин, Б. С. Теория литейных процессов: учеб. / под ред. Э. Б. Гофмана. – Екатеринбург, 2006. – 454 с.

86. Евлампиев, А. А. К вопросу о связи неметаллических включений и усадочных дефектов в отливках / А. А. Евлампиев, Е. А. Чернышов, М. А. Шведов // Литейщик России. – 2010.- №8. – С. 43-45.

87. Об образовании газовых дефектов в стальных отливках / Е. А. Чернышов [и др.] // Литейное производство. – 2012. - №8. – С. 23-25.

88. Воронин, Ю. Ф. Методология снижения брака отливок / Ю. Ф. Воронин // Литейщик России. – 2008.- №12. – С. 22-27.

89. Макаренко, К.В. Влияние дефектов группы «несплошностей» на механизм образования горячих трещин в стальных отливках [Текст] / К. В. Макаренко, С. С. Кузовов // Инновационные материалы и технологии в машиностроительном производстве: материалы II Международной заочной конференции / отв. ред. А. А. Веселовский. – Орск: ОГТИ ОГУ, 2013. – С. 141-144.

90. Евлампиев, А. А. Диагностика причин образования газовых дефектов / А. А. Евлампиев, Е. А. Чернышов // Заготовительные производства в машиностроении. – 2005. - №1. – С. 6-9.