

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 сірого чавуну річною продуктивністю 7 300т придатного литва з дослідженням впливу модифікуючої суміші на структурно-фазовий стан і властивості чавуну з пластинчастою формою графіту»**

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 _____ Віталій ЛИМОНЧЕНКО

Науковий керівник: _____ Олександр КУЗИК

Консультант:
з економічної частини _____ Наталія СИСОЛІНА

Допустити до захисту: _____ Олександр КУЗИК

Рецензент: _____

АНОТАЦІЯ

Представлена магістерська робота присвячена проекту ливарного цеху сірого чавуну річною продуктивністю 7 300т придатного литва з дослідженням впливу модифікуючої суміші на структурно-фазовий стан і властивості чавуну з пластинчастою формою графіту. Робота має 5 частин, пояснювальної записки та 12 аркушів графічної частини.

В загальній частині обґрунтовано вибір місця розташування ливарного цеху. Розраховано виробничу програму ливарного цеху, фондів часу роботи обладнання, робітників та основних відділень цеху, а також шихту та баланс металу на 1 т придатного литва. Розроблено план ливарного цеху, визначено площі допоміжних відділень, складів та підібрано необхідне обладнання. Обґрунтовано тему магістерської роботи, поставлена мета та задачі.

В технологічній частині розраховано ливниково-живильну систему та розроблено технологічний процес виготовлення виливка – "Ступиця". Розроблено технологічні креслення модельного комплекту верху, низу, стержневого ящика та форми в зборі.

В науковій частині виявлено, що ефект модифікування визначається способом отримання модифікатора, хімічним складом, розміром часток, хімічною спорідненістю з розплавом і іншими чинниками. Особливе місце серед сучасних методів модифікування чавунів, займає інокулююче модифікування чавунів ультра-і нанодисперсними порошками, яке дозволяє отримувати виливки з однорідним розподілом структурних складових і підвищеним комплексом властивостей.

Досліджений вплив модифікуючої суміші на основі ультрадисперсних частинок TiO_2 , ZrO_2 і кріоліту у кількості 0,3 % від маси розплаву на структурно-фазовий стан і фізико-механічні властивості сірого чавуну з пластинчастою формою графіту. Показано, що структурно-фазовий стан та розподіл пластинчастого графіту в сірому чавуні залежить від умов кристалізації, швидкості охолодження, та хімічного складу.

Металографічним аналізом зразків виявлено характер структуроутворення сірого чавуну в процесі виплавки. Показано, що матриця сірого чавуну до і після модифікування має ферито-перлітну структуру з включеннями графіту

пластинчастої форми. Дослідження структурно-фазового стану сірого чавуну СЧ20 показали, що модифікування сірого чавуну змінює розподіл, розмір та об'ємну частку пластинчастого графіту та фосфідної евтектики.

Встановлено, що після модифікування у сірому чавуні розподіл пластинчастого графіту має колоніальний вигляд, а довжина графіту зменшилася в 2 рази. При цьому, зменшується діапазон об'ємної частки пластинчастого графіту на 5 %, що обумовлює збільшення однорідності розподілення колоній графіту.

Виявлено, що крім основних фаз в сірому чавуні присутня фаза сульфід марганцю, що утворює неметалеві включення, які ідентичні за розміром і характером розподілу в твердому розчині матриці модифікованих та немодифікованих зразках. Показано, що після модифікування підвищується дисперсність ферито-цементитної структури перлітних зерен на 0,24 мкм. Фосфідна евтектика в не модифікованих чавунних зразках розташована у вигляді окремих зерен, а у модифікованих зразках – має сітчастий вигляд.

Показано, що основний фазовий склад зразків до і після модифікування ідентичний за складом і вмістом домішок. Тип дислокаційної структури у вихідному чавуні та модифікованому чавуні МС хаотичний. Модифікування МС сірого чавуну сприяє зменшенню скалярної щільності дислокацій з $1,17 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ до $0,32 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$.

Дослідження фізико-механічних характеристик показали, що модифікуючої суміші на основі ультрадисперсних частинок TiO_2 , ZrO_2 знижує межу міцності на 13,5 %, але при цьому межа текучості, пластичність та твердість чавуну практично не змінюються. Керування вмістом модифікуючої суміші дозволяє отримувати виливки з різним комплексом властивостей сірого чавуну

В енергетичній частині проведено розрахунки потреби ливарного цеху в технологічній, силовій та освітлювальній електроенергії, а також розраховано річну потребу у воді, стисненого повітря пари та палива.

В економічній частині розраховано основні техніко-економічних показників ливарного цеху та заробітної плати, а також, собівартість 1 т. рідкого та придатного литва.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Вибір та обґрунтування місця розташування ливарного цеху

Проектувати та вибирати місце для розташування ливарного цеху необхідно згідно наявності розвиненої виробничої та невиробничої інфраструктури. Тому потрібно враховувати наявність або близькість проходження автомобільних магістралей, залізничних під'їзних шляхів, джерел енергопостачання, газопроводів або інших трубопроводів, палива, води, трудових ресурсів та ін. [1]. Сировина і готова продукція перевозяться залізничним та автомобільним транспортом. Деякий вид сировини можливо транспортування по трубопроводах, формувальні і стержньові піски можна постачати залізницею.

Ливарне обладнання споживає велику кількість електричної енергії і води, тому необхідно постачати технічну воду із водоочисних споруд та питну воду з свердловин розташованих за межами заводу. Енергопостачання здійснювати від енергосистем через підстанцію і цехові трансформаторні підстанції. А її розподіл здійснювати по радіальним і магістральним схемам напругою 380/220В.

Також потрібно враховувати і екологічні проблеми, місце цеху необхідно вибрати на околиці міста, через великі виділення пилу та шкідливих елементів, що погіршують здоров'я жителів міста, вибухонебезпечність та ін. фактори, з урахуванням "розу вітрів".

1.2 Розрахунок річної програми та режиму роботи цеху.

Кожний ливарний цех призначений для випуску визначеного виду продукції. Річна кількість продукції цеху складає його виробничу програму. У виробничу програму цеху входить литво для: основної продукції заводу; запасних частин; запуску виробництва; внутрішніх (власних) потреб ливарного цеху.

За завданням на магістерську роботу продуктивність цеху складає 7300 тон придатного литва на рік. Розрахунок ведемо на ПК за допомогою блоку розрахункових програм "Проект" [3] та наведено в Додатку А.

В розрахунковій програмі враховується: кількість відливоків на виріб; кількість виробів на програму; відсоток браку відливоків; чорнова маса одного відливка; маса ливників на один відливок. На основі розрахункової відомості виконують необхідні при проектуванні розрахунки при складанні відомостей для розрахунку відділень цеху. На основі аналізу виробничої програми встановлюється режим роботи цеху в дві зміни. Який передбачає виконання всіх технологічних операцій одночасно на різних виробничих ділянках цеху [4]. Таким чином, даний цех відноситься до серійного типу виробництва. По встановленому режиму роботи визначаємо фонди часу.

1.3 Розрахунок фондів часу.

При розрахунку економічної частини ливарного цеху застосовуємо наступні фонди часу – роботи обладнання, робочих місць, робітників, календарний, номінальний та дійсний, календарний фонд часу визначаємо за формулою:

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

де T_k - календарний рік, днів; S – кількість змін; t – тривалість зміни, год.

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

Номінальний фонд часу при однозмінній роботі визначаються за формулою:

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

де 40 - кількість робочих годин за тиждень;

52 - кількість тижнів за рік;

$T_{св}$ - кількість святкових днів, $T_{св} = 11$;

$T_{пд}$ - кількість передсвяткових днів, у які тривалість робочого дня (зміни) зменшується на 1 год., $T_{пд} = 5$.

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

Номінальний фонд часу Φ_n , витрачається на виконання роботи за прийнятим режимом без врахування неминучих втрат.

Дійсний річний фонд часу роботи устаткування (робочих місць) визначається за формулою:

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

де Φ_n – номінальний фонд часу при однозмінній роботі; S – кількість змін;

f – регламентовані простой устаткування у відсотках від номінального фонду часу [5].

Визначаємо дійсний фонд часу роботи плавильного устаткування:

$$\Phi_{\text{дн}} = 1987 \cdot 2 \cdot (1 - 0,01 \cdot 6) = 3728 \text{ год}$$

Для автоматичних ліній:

$$\Phi_{\text{дл}} = 1987 \cdot 2 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) = 3490 \text{ год}$$

Для стержневих автоматів:

$$\Phi_{\text{дл}} = 1987 \cdot 2 \cdot (1 - 0,01 \cdot 7) = 3688 \text{ год}$$

Для сумішоприготувального обладнання:

$$\Phi_{\text{дл}} = 1987 \cdot 2 \cdot (1 - 0,01 \cdot 4) = 3807 \text{ год}$$

Для очисного обладнання:

$$\Phi_{\text{дл}} = 1987 \cdot 2 \cdot (1 - 0,01 \cdot 6) = 3728 \text{ год}$$

Всі інші типи обладнання:

$$\Phi^* = 1987 \cdot 2 \cdot (1 - 0,01 \cdot 4) = 3807 \text{ год}$$

Дані розрахунку фондів часу устаткування формуємо в таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 – Фонди часу роботи устаткування

Вид обладнання	Номінальний фонд часу, Φ_n , год	Кількість змін	Регламентовані втрати, %	Дійсний фонд часу, Φ_d , год
Плавильне	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

Дійсний фонд часу робітників визначається за формулою:

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

де C - втрати часу в % на невиходи на роботу з поважних причин, $C=10\ldots12\%$.

Для робітників, які безпосередньо зайняті в процесі виготовлення відливок:

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

Для інших робітників:

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

Дійсний фонд часу робочих місць приймаємо рівним номінальному фонду. Отримані фонди часу використовуються для визначення кількості технологічного обладнання.

1.4 Розрахунок плавильного відділення

1.4.1 Характеристика сплаву та розрахунок балансу металу.

Хімічний склад та мех. властивості ливарного сплаву по якому проводиться розрахунок ливарного цеху зводимо до таблиць 1.2, 1.3.

Таблиця 1.2 – Хімічний склад сплаву СЧ-20

Марка сплаву	Вміст хімічних компонентів у сплаві, %				
	C	Si	Mn	S	P
СЧ 20	3,3...3,5	1,4...2,2	0,7...1,0	<0,15	<0,2

Таблиця 1.3 – Механічні властивості сплаву СЧ-20

Марка сплаву	Тимчасовий опір розриву, МПа	Відносне видовження, %	Твердість НВ, МПа
СЧ 20	200	—	170...241

У залежності від хімічного складу, умов кристалізації та способів обробки у рідкому стані можна одержати різні за структурою і властивостями чавуни [6]. Форма включень графіту є однією з важливих характеристик, що визначають тип чавуну. За формою графіту: чавун поділяється: на звичайний сірий, ковкий та високоміцний.

Сірий чавун з пластинчастим графітом (СЧ) – найбільш поширений ливарний сплав. Механічні властивості СЧ визначаються співвідношенням структурних складових – фериту, перліту, графіту. Включення графіту зменшують міцність за рахунок утворення порожнин у структурі та є концентратами внутрішньої напруги.

На основі даних відомостей розраховуємо масу металевої завалки для плавильних печей.

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

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

С – зливи та сплески, прийняті по виробничим даним, %;

$У$ – угар і безповоротні втрати, прийняті по виробничим даним, %.

Для сплаву СЧ-20:

$$M = \frac{100 \cdot (7300,07 + 1225,7 + 275,22)}{100 - 3 - 5} = 9457,6 \text{ т.}$$

Відносний вміст придатного литва, ливників, браку від металозавалки визначаємо за формулами:

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

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

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

де $П$ – вага придатного литва, т ;

$Л$ – вага ливників, т;

$Б$ – вага браку, т.

$$П = \frac{7300,07}{9457,6} \cdot 100 = 76,13 \%$$

$$Л = \frac{1225,7}{9457,6} \cdot 100 = 12,96 \%$$

$$Б = \frac{275,22}{9457,6} \cdot 100 = 2,91 \%$$

Масова доля угару і безповоротних втрат, зливів та сплесків для високоміцного чавуну марку ВЧ-450-10 визначаємо за формулами, т:

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

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

де $у$ – угар, %; $с$ – зливи та сплески, %.

Для сплаву СЧ-20:

$$У = \frac{5}{100} \cdot 9457,6 = 472,88 \text{ т}$$

$$С = \frac{3}{100} \cdot 9457,6 = 283,73 \text{ т}$$

Кількість рідкого металу визначаємо за формулою, т:

$$Q_{\text{рм}} = M - У - С, \quad (1.11)$$

$$Q_{\text{рм}} = 9457,6 - 472,88 - 283,73 = 8700,99 \text{ т}$$

Баланс металу сплаву СЧ-20 зводимо в таблицю 1.4.

Таблиця 1.4 – Баланс металу сплаву СЧ-20

Компонент	Вміст	
	%	т
Придатне литво	76,13	7300,07
Ливники	12,96	1225,7
Брак відливок	2,91	275,22
Зливи і сплески	3	283,73
Угар та безповоротні втрати	5	472,88
Всього:	100	9457,6

1.4.2 Розрахунок кількості плавильних агрегатів.

Для плавки сплаву СЧ 20 в якості плавильного агрегату використовуємо тигельну індукційну піч [6]. З економічних міркувань доцільніше використовувати кислу футерівку. Шихта, яка при цьому використовується, повинна відповідати технічним умовам за сіркою і фосфором, адже десульфурація і дефосфорація в кислих печах не проводиться. Плавка в індукційних печах сприяє покращенню екологічної обстановки у цехах. Використання у шихті чавунної та сталеної стружки, а також інших відходів із сталі та чавуну сприяє більш економічній та ефективній плавці в даних печах. Також можливий перехід виробництва однієї марки сплаву на іншу. Загальний ККД індукційних тигельних печей складає 70...80 %.

Визначаємо потребу і річному металі.

По заданій потребі рідкого СЧ 20 на годину вибираємо печі які можуть задовольнити цій умові - ІЧТ-10,0. Визначаємо середню продуктивність електропечі: так як тривалість повного циклу плавки в середньому складає 2,04 год, то $q = 10,0/2,04 = 4,95$ т/год.

Кількість печей:

$$n = \frac{M_{\text{заг}} K_n}{q \Phi_{\delta}} \quad (1.12)$$

де $M_{\text{заг}}$ – річна метало завалка, т/рік;

K_n – коефіцієнт нерівномірності роботи печі, $K_n = 1,2$;

Φ_{δ} – дійсний фонд роботи плавильного обладнання, $\Phi_{\delta} = 3728$ год/рік;

g – продуктивність плавильного комплексу, т/год.

$$n = \frac{14877,965 \cdot 1,2}{3728 \cdot 4,95} = \frac{17853,558}{18453,6} = 0,9$$

Врахувуючи коефіцієнт завантаження плавильних агрегатів, уточнюємо кількість печей за формулою:

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

де K_s – коефіцієнт завантаження плавильного обладнання

$$n_1 = \frac{0,9}{0,75} = 1,2 \approx 2 \text{ шт.}$$

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

Враховуючи коефіцієнт використання обладнання приймаємо одну індукційну піч ІЧТ-10,0 (рис. 1.1) технічна характеристика представлена в табл. 1.6.



Рисунок 1.1. – Загальний вид тигельної індукційної печі ІЧТ-10,0

Плавка чорних металів в індукційних печах має ряд переваг перед плавкою в дугових печах, оскільки виключається джерело [забруднення](#). В індукційних печах тепло виділяється всередині металу, а розплав інтенсивно переміщується за рахунок виникаючих у ньому [електродинамічних](#) зусиль. Тому у всій масі розплаву підтримується необхідна температура при найменшому угарі в порівнянні з усіма іншими типами електричних плавильних печей.

Для випуску металу передбачена можливість нахилу печі, що здійснюється за допомогою тельфера на малих печах або за допомогою гідравлічних циліндрів на великих. Тигельна індукційна піч складаються з індуктора, магнітопроводів,

каркасу, футеровки, механізму нахилу, електроустаткування та системи охолодження печі. Індукційні плавильні печі мають індуктор – котушку, яку підключають до мережі змінного струму.

Таблиця 1.6 – Технічні характеристики ІЧТ-10,0

№ п/п	Найменування параметрів	Величина
1	Об'єм тигля, т	10,0
2	Потужність трансформатора, кВт	4000
3	Потужність печі, кВт	687
4	Потужність холостого ходу, кВт	112
5	Робоча температура рідкого металу, °С	1400
6	Теоретична тривалість плавки на твердій шихті, год	2,04
7	Питома витрата електроенергії складає в печі	2160 кДж / кг (0,6 квт-ч/кг).
8	Струм промислової частоти	50 Гц
9	Теоретичні приведені витрати електроенергії на розплавлення і перегрів металу, кВт год/т	585
10	Маса металоконструкції електропечі, т	49
11	Загальна маса печі з розплавленим металом, т	58
12	Тип трансформатора	ЭОМН-1500/10

Для нормальної роботи індукційної печі, велике значення має частота живлення струму. Вибір частоти струму виконують з врахуванням внутрішнього діаметру тигля, що має бути не менше 3,5 глибин проникнення струму в шихту.

Після плавки в індукційній електропечі сплав зливається в міксер, який вміщує тригодинний запас рідкого металу. В міксері метал відстоюється та якщо потрібно доводиться до потрібного по хімічному складу. Роздача рідкого металу ведеться саме з міксера, але й передбачена можливість вести її прямо з печі.

Розраховуємо робочий об'єм міксера, який повинен вміщувати 2-3 годинний запас металу:

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

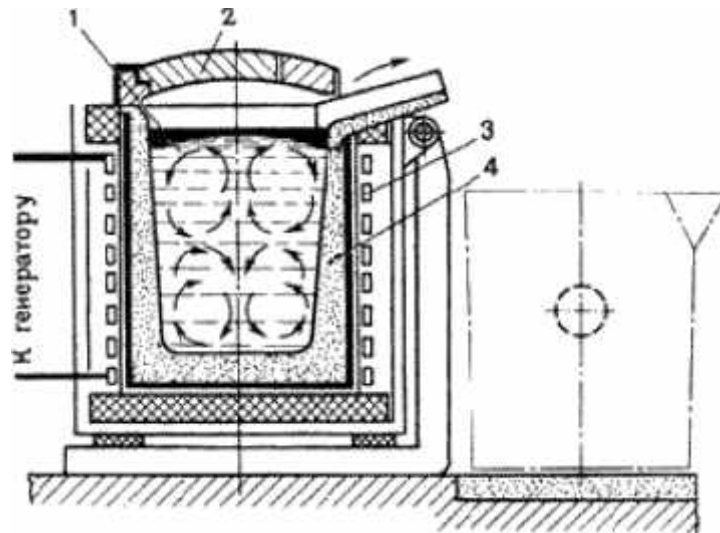
де g – продуктивність печі, т/год;

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

Приймаємо стандартний міксер типу ІЧТМ-6 ємністю 6 тонн. Технічні характеристики міксера ІЧТМ-6 представлені у табл. 1.7 а схема на рис.1.2.

Таблиця 1.7 – Технічна характеристика індукційного тигельного міксеру ІЧТМ - 16

Параметр	Показник
Потужність печі, кВт	1300
Робоча температура перегріву металу, °С	1300- 1400
Ємність печі, т	16
Теоретичні витрати електроенергії при перегріву металу на 100 °С, кВт-год/год	50
Маса металоконструкцій міксеру, т	27



1 – метал; 2 – з'ємне склепіння; 3 – водоохолоджуємих індукторів; 4 – тигель

Рисунок 1.2 – Схема індукційного міксеру:

1.4.3 Розрахунок кількості ковшів

Для транспортування рідкого металу від плавильних агрегатів використовуються кранові чайникові ковші місткістю 1000 кг згідно рекомендацій. Розраховуємо число ковшів, яке забезпечить безперебійне розливання металу, з урахуванням кількості ковшів на 30 % в ремонті і на 15 % в запасі, визначають необхідну кількість ковшів.

Дійсну кількість ковшів розраховуємо за формулою :

$$K_{\text{заг}} = K_0 + 0,15 K_0 + 0,15 K_0 + 0,15 K_0 \quad (1.13)$$

де K_0 - розрахункова кількість ковшів, приймаємо 2 ковші (по 2 ковша на автоматичну лінію).

$$K_{\text{заг}} = 2 + 0,15 \cdot 2 + 0,15 \cdot 2 + 0,1 \cdot 2 \approx 4 \text{ шт}$$

Приймаємо 4 ковша з урахуванням запасних і тих, що знаходяться в ремонті.

Приймаємо 6 барабанних ковшів для розливу чавуну (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Загальний вид барабанного ківша для чавуну

1.4.4 Розрахунок шихти

Розрахунок шихти методом підбору виконано згідно рекомендацій [6], таблиця 1.8. Обчислюємо шихту для плавки сірого чавуну у кислій футеровці. Товщина стінки відливки 40 мм, HB=220, $\sigma = 210$ МПа. Для отримання заданих механічних властивостей, треба мати перлітно-феритну структуру чавуну. За структурною діаграмою сума вмісту вуглецю і кремнію у металі для отримання такої структури у відливці має дорівнювати 5,0%. Це відповідає марці сірого чавуну СЧ-20.

Таблиця 1.8 – Хімічний склад чавуну марки СЧ20 і шихти для плавки у печі

Хімічні елементи у сплаві, %					
Елементи	C	Si	Mn	S	P
У межах вимог	3,3 -3,5	1,4-2,4	0,7 – 1,0	<0,15	<0,2
Середній	3,4	1,9	0,85	-	-
Склад шихти					
У межах вимог	3,527-4,22	1,386-2,711	0,747-1,28	-	-
середній	3,627	2,004	0,989		

Хімічний склад шихти для чавуну вибраного складу буде відрізнятися на величину угару елементів у процесі плавки [6]. Масову долю i -го елемента у шихті $K_{iш}$ для плавки визначаємо за формулою:

$$K_{iш} = K_{iж} \cdot \frac{B}{100 - \Delta K_i}, \quad (1.14)$$

де $K_{iж}$ – масова доля i -го елемента у розплавленому чавуні, що відповідає вмісту елемента у відливках, %;

B – вихід рідкого металу, % маси завалки;

K_i - угар i -го елемента.

$$K_{C \min} = 3,3 \cdot \frac{96}{100 - 15} = 3,52 \quad ; \quad K_{C \max} = 3,5 \cdot \frac{96}{100 - 15} = 3,95 \quad ; \quad K_{C \text{сеп}} = 3,4 \cdot \frac{96}{100 - 15} = 3,84$$

$$K_{Si \min} = 1,4 \cdot \frac{96}{100 - 20} = 1,68 \quad ; \quad K_{Si \max} = 2,4 \cdot \frac{96}{100 - 20} = 2,88 \quad ; \quad K_{Si \text{сеп}} = 1,9 \cdot \frac{96}{100 - 20} = 2,28$$

№ п/п	Найменування компонентів	%	т
Прибуткова частина			
1	Чавун ливарний	45,00	0,669
2	Лом сталевий	15,00	0,223
3	Лом чавунний	10,00	0,148
5	Феросиліцій	0,4	0,0059
6	Феромарганець	0,6	0,0089
7	Відходи власного виробництва	29,00	0,432
Всього		100	1,488
Витратна частина			
1	Придатне литво	57,13	0,850
2	Ливники	33,63	0,500
3	Брак	2,86	0,0425

4	Угар та безповоротні втрати	4,0	0,0595
5	Зливи та сплески	2,5	0,0372
Всього по витратній частині		100	1,488

1.4.5 Будова та робота плавильного відділення.

Шихтові матеріали, які поступають на склад з торцевої сторони ливарного цеху, розвантажуються на спеціальний майданчик. Шихту розвантажують мостовим краном вантажопідйомністю $Q = 15$ т з магнітною шайбою. Доставляють металевої шихти до місця її зберігання для подальшого завантаження в плавильні печі також за допомогою мостового магнітного крана. Флюси завантажуються мостовим грейферним краном в спеціальні ємності. Біля плавильних печей розташовано бункери для шихтових матеріалів і флюсів.

Вогнетривка футерівка виконується вогнетривкою цеглою на розчині, шамотна футерівка має 25...30 % вогнетривкої глини і 70...75 % молотого шамоту або кварцового піску. Подину набивають формувальною сумішшю. Після ремонту футерівку сушать.

1.5 Формувально-заливочно-вибивне відділення

1.5.1 Розрахунок кількості формувального обладнання

Розрахунок кількості форм і об'єму формувальної суміші виконуємо на ПК за допомогою блоку розрахункових програм "Proekt". Розрахункові данні наведені в Додатку В. Основні фактори що забезпечують вибір формовки – це характер виробництва, вага, габарити та клас точності відливок, рід матеріалу, вид виробничої програми та потужність проектуємого цеху. Враховуючи усі ці фактори, в якості формувального обладнання в проектуємому цеху приймаємо італійську автоматичну лінію 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 одну автоматичну лінію 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	Багатопошнєва 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%

Для вибивки відливків з опоки використовуємо вибивні ексцентрикові решітки моделі 423 (рис. 1.4).

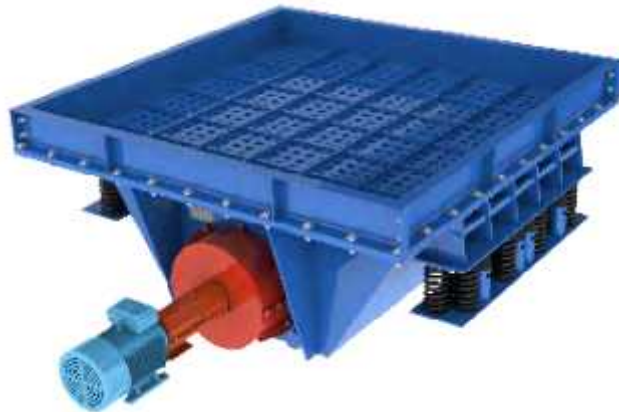


Рисунок 1.4 – Загальний вид вибивної ексцентрикової решітки

Технічні характеристики вибивної ексцентрикової решітки наведено в таблиці 1.12 [10].

Таблиця 1.12 – Технічна характеристика ексцентрикової вибивної решітки моделі 423

Характеристика	Значення	Одиниці виміру
Вантажопід'ємність	2,5	т
Розмір полотна решітки	2000 x 1600	мм
Потужність електродвигунів	7,5	кВт
Габаритні розміри	2430x2220x1020	мм
Продуктивність	3,5	т/год
Маса	3900	кг

Кількість решіток визначаємо за формулою:

$$n = \frac{G \cdot K_n}{\Phi_{\text{д.у.}} \cdot q}, \quad (1.16)$$

де G – маса відливок, т/рік;

K_n – коефіцієнт нерівномірності роботи [10];

$\Phi_{\text{д.у.}}$ – дійсний час роботи устаткування;

q – продуктивність, т/год (табл. 1.12).

$$n = \frac{7200,07 \cdot 1,25}{3804 \cdot 3,5} = \frac{10625}{13314} = 0,79 \text{ шт}$$

З урахуванням коефіцієнту завантаження:

$$n_1 = \frac{0,79}{0,70} = 1,14 \text{ шт.}$$

Приймаємо 2 вибивні решітки моделі 423.

Для видалення феромагнітних частинок та випадкових металічних предметів з відпрацьованої формувальної суміші використовуємо магнітні сепаратори моделі ПН-А-10/64 (рис.1.5).



Рисунок 1.5 Загальний вид магнітного сепаратора ПН-А-10/64

Технічна характеристика магнітного сепаратора моделі ПН-А-10/64 наведена в табл. 1.13 [11].

Таблиця 1.13 – Технічна характеристика магнітного сепаратора ПН-А-10/64

№ п/п	Характеристика	Значення	Одиниці виміру
1	Ширина стрічки конвеєра	1000	мм
2	Висота підвісу	200	мм
3	Габаритні розміри	2190×1390×800	мм
4	Потужність приводу	4,0	кВт
5	Продуктивність	5	т/год
6	Маса	970	кг

Кількість магнітних сепараторів визначаємо за формулою (1.16):

$$n = \frac{51553 \cdot 1,25}{3804 \cdot 5} = \frac{64441}{19020} = 3,39 \text{ шт.}$$

З урахуванням коефіцієнту завантаження:

$$n_1 = \frac{3,39}{0,70} = 4,84 \text{ шт}$$

Приймаємо 5 магнітних сепараторів моделі ПН-А-10/64.

Для розрихлення формувальної суміші перед її подачею на формовку, використовуємо аератори моделі 16142 продуктивністю 70 м³/год (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Зовнішній вид аератора

1.6 Стержньове відділення

Стержні виготовляють у гарячих ящиках з швидкотвердіючих термореактивних сумішей, що дає можливість підвищити точність стержня, а відповідно і точність відливків. Зменшення ливарних припусків дозволяє зменшити витрати на механічну обробку, зникає необхідність у виготовленні каркасів, в громіздких сушильних агрегатах, що обумовлює зростання продуктивності одиниці площі [11].

Приймаємо універсальний автомат для виготовлення стержнів моделі 4509 А, оскільки маса стержнів за номенклатурою не перевищує 6 кг. Підбір технологічного процесу виготовлення стержнів, розрахунок кількості стержневих машин, сушильних агрегатів та іншого обладнання для виконання заданої програми цеху, виконуємо згідно відомості програми стержневого відділення Додаток Г. Технічна характеристика автомату приведена в табл. 1.14.

Таблиця 1.14 – Технічна характеристика піскострільного автомату моделі 4509 А

№ п/п	Назва характеристики	Величина
1	Найбільша маса стержня, кг	10
2	Продуктивність, зйомів/год	70...120
3	Розміри стержневого ящика, мм	800x630x450
4	Тривалість циклу, с	95
5	Ємність робочого резервуара, л	25
6	Потужність електродвигуна, кВт	140
7	Габарити, мм	3600x2600x3000
8	Маса, кг	13000

Кількість автоматів розраховуємо за формулою:

$$n = \frac{N}{K_v \cdot n_{розр} \cdot \Phi_{ду}},$$

де N – кількість стержневих ящиків на рік (табл. 1.13); 321717

K_e – коефіцієнт, враховуючий брак стержнів, $K_e = 0,94-0,96$;

$n_{розр.}$ – циклова продуктивність автомата, зйомів/год., (табл. 1.14);

$\Phi_{д.у.}$ – річний фонд часу автомата (табл. 1.2).

$$n = \frac{321717 \cdot 1,25}{2499,110,004} = \frac{259126}{2499,110,004} = 0,68 \approx 1 шт.$$

Згідно з розрахунками приймаю 1 стержневу машину.

1.6.1 Будова та принцип роботи стержневого відділення

Технологічний процес виготовлення стержнів по гарячій оснастці полягає в тому, що стержнева суміш, яка заповнює порожнину попередньо нагрітого стержневого ящика, на протязі 15 - 60 с твердіє. Отриманий стержень не потребує додаткової сушки, а його міцність достатня для транспортування і постановки в форму. Головна особливість технологічного процесу виготовлення стержнів по гарячій оснастці полягає в тому, що отримані стержні володіють високою міцністю.

На позиції 1 здійснюється прижим стержневого ящика нагрітого до 180...270°C до пісcomетної голівки і заповнення його сумішшю. Позиція 2 передбачена вільною для переналагодження автомата і заміни стержневих ящиків. На 3 - 4 позиціях стержні затвердівають в ящиках нагріваємих печей. На позиції 8 виконується розкриття стержневого ящика, видалення готового стержня і обдув внутрішньої порожнини ящика стиснутим повітрям.

Для очищення робочої поверхні ящика і покриття її роздільним складом машина має рухомі форсунки, які при русі уперед обдувають стиснення повітрям робочу поверхню розкритого ящика, а при русі назад - покривають її роздільним складом.

1.7 Сумішоприготувальне відділення, його будова та принцип роботи

Для розрахунку витрат формувальної суміші на річну програму складаємо відомість витрат формувальної суміші, табл. 1.15.

Таблица 1.15 – Відомість витрат формувальної суміші на рік

Витрати суміші в ущільненому стані $V_{\text{с}}, \text{м}^3$	Річні витрати суміші в неуцільненому стані, $M_{\text{нс}}=1,4 V_{\text{с}}, \text{м}^3$	Витрати суміші в неуцільненому стані з урахуванням просипань $M_{\text{пр}}=(1,1..1,15) \cdot M_{\text{нс}}, \text{м}^3$
51553	72174	83000

Для приготування формувальної суміші вибираємо змішувач ливарний типу бігунів періодичної дії з вертикальними катками моделі 15104 [10]. Технічна характеристика бігунів наведена у 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	Розміри чаші, м - висота х внутрішній діаметр	1130 х 2540 ± 13,5
4	Кількість котків, шт.	2
5	Частота обертання вертикального вала, об/хв	29±3
6	Продуктивність витяжної вентиляції, $\text{м}^3/\text{год}$	6000
7	Габаритні розміри, мм:	3850х3150х3250
8	Маса змішувача, кг	11000

Потрібну кількість змішувачів для виготовлення формівної суміші розраховують за формулою:

$$n_{\text{зм}} = \frac{G_{\text{ф}} \cdot K_{\text{н}}}{\Phi_{\text{д}} g}, \quad (1.17)$$

де $G_{\text{ф}}$ – річна кількість формівної суміші, м^3 ;

$K_{\text{н}}$ – коефіцієнт нерівномірності роботи змішувача і споживання сумішей,

$K_{\text{н}}=1,1-1,3$;

$\Phi_{\text{д}}$ – дійсний річний фонд часу роботи змішувачів, год.;

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

$$n_{\text{зм}} = \frac{83000 \cdot 1,25}{3807 \cdot 40} = \frac{103750}{152280} = 0,68 \text{ шт}$$

Прийнята в проекті кількість обладнання:

$$n = \frac{0,68}{0,75} = 0,92 \text{ шт}$$

Згідно з розрахунками приймаємо 1 змішувач для приготування формівної суміші.

Склад формувальної суміші приймаємо за необхідними вимогами [11] (табл. 1.17).

Таблиця 1.17 – Склад і фізико-механічні властивості формувальної суміші

№ п/п	Складова суміші і параметри	Значення параметру
1	Зворотна суміш, %	96
2	Пісок кварцовий K02, KOIB, %	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

Для розрахунку витрат стержневої суміші складаємо відомість витрат стержневої суміші, табл. 1.18.

Таблиця 1.18 – Відомість витрат стержневої суміші на рік

Витрати суміші в ущільненому стані $V_c, \text{м}^3$	Річні витрати суміші в неуцільненому стані, $M_{н.с.} = 1,4 \cdot V_c, \text{м}^3$	Витрати суміші в неуцільненому стані з урахуванням просипання $M_{пр.} = (1,1 \dots 1,5) M_{н.с.}$
51553	721242	79391,6

Для приготування стержневої суміші приймаємо змішувач ливарний типу бігунів моделі 15101, технічна характеристика якого 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 устаткування для стержневого відділення розраховується за формулами:

$$n = \frac{N_{ст} K_n}{\Phi_{дг}}, \quad (1.18)$$

де $N_{ст}$ – маса стержневої суміші для виконання річної програми, т;

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

$\Phi_{дг}$ – ефективний річний фонд часу роботи стержневого обладнання, год.;

$$n = \frac{4985,8 \cdot 1,25}{3688 \cdot 35} = \frac{62322,5}{128380} = 0,49 \text{ шт.}$$

Прийнята в проєкті кількість обладнання:

$$n = \frac{0,49}{0,75} = 0,65 \text{ шт.}$$

Приймаємо 1 змішувач для приготування стержневої суміші.

Кількість змішувачів визначаємо за формулою:

$$n = \frac{\sim \cdot G \cdot t}{60 \cdot \dots \cdot \Phi_{д.у.}}, \quad (1.17)$$

де $\sim$ - коефіцієнт нерівномірності роботи машини, $a = 1,2$;

G – кількість перероблюваної суміші за рік, $G = 902,59 \text{ м}^3$;

∂ – продуктивність змішувача

$\Phi_{\text{д.у.}}$ - дійсний фонд часу машини, $\Phi_{\text{д.у.}} = 3873 \text{ год}$

$$n = \frac{79391,6}{114210} = 0,71 \text{ шт.}$$

Приймаємо один змішувач моделі 15101.

Склад стержневої суміші приймаємо за необхідними вимогами [11] (табл. 1.20).

Таблиця 1.20 – Склад стержневої суміші і 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

Сумішоприготувальне відділення розташоване біля формувальної і стержневої дільниць. Змішувачі обладнують бункерами для сипучих і рідких компонентів. Матеріали подаються за допомогою стрічкового конвеєра. Відпрацьована суміш з-під вибивної решітки автоматичної формувальної лінії поступає на конвеєр, на якому збирається просип з формувальних машин, просіюється на барабанному решеті, підлягає електромагнітній сепарації і після цього охолодженою до $t - 38...40 \text{ }^\circ\text{C}$ і зволоженою поступає у змішувач для приготування формувальних сумішей.

Стержнева суміш складається з сухого кварцового піску, термореактивного зв'язуючого матеріалу, каталізатора і незначної кількості інших добавок, які покращують технологічні властивості суміші. В якості зв'язуючого матеріалу застосовують карбамідно-фуранові смоли, які представляють собою продукт знання карбамідної смоли з різною кількістю фурилового спирту.

В якості добавок застосовують окис заліза, графіт, стеарат кальцію і рідке скло. Окис заліза підвищує теплопровідність суміші, графіт сріблястий виконує роль вогнетривкого наповнювача, інші добавки - зменшують налипаємість і підвищують текучість суміші.

1.8 Проектування і розрахунок очисного відділення

В числі витрат праці по виготовленню відливків очисні операції складають до 40%, причому в очисних відділеннях застосовується найбільша кількість ручної праці. У очисному відділенні виконуються операції щодо видалення стержнів з відливків, обрізання ливниково-живильної системи, зачистки, обрубки. Для очистки та охолодження відливків із вказаних сплавів приймаємо галтовочний барабан безперервної дії моделі ОБ-90 [1]. Технічна характеристика барабана наведена у табл. 1.21.

Таблиця 1.21 – Технічна 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:

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

де G - маса відливок, т/рік;

K_n - коефіцієнт нерівномірності роботи [8];

$\Phi_{д.у.}$ - дійсний час роботи устаткування;

q - продуктивність, т/год (табл. 1.21).

$$n = \frac{8500 \cdot 1,25}{3728 \cdot 3,5} = 0,814 \text{ шт.}$$

З урахуванням коефіцієнту завантаження:

$$n = \frac{0,814}{0,75} = 1,01$$

Приймаємо 1 барабан.

Для подальшої очистки відливок із чавуну використовуємо дробометний барабан періодичної дії моделі 323, технічна характеристика якого наведена в табл.1.23, а схема на рис. 1.7 [10].

Розрахункова кількість дробометних барабанів:

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

де $G_{ну}$ – маса відливок на річний випуск, т;

k_n – коефіцієнт нерівномірності роботи дробометного барабану;

$\Phi_{д}$ – дійсний річний фонд часу роботи дробометних барабанів, год;

g – продуктивність дробометної камери, т/год (табл. 1.23).

Таблиця 1.23 – Технічна характеристика дробометного барабану періодичної дії моделі 323

Характеристика	Значення	Одиниці виміру
Продуктивність	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 вид дробометного барабану періодичної дії

$$n = \frac{8500,007 \cdot 1,15}{3728 \cdot 3} = \frac{9755,}{11184} = 0,87 \text{ шт.}$$

Дійсна кількість обладнання:

$$n_1 = \frac{0,87}{0,75} = 1,17 \text{ шт.}$$

Згідно з розрахунками, приймаємо 2 дробометних барабани моделі 323.

Для зачистки відливків використовуємо стаціонарні верстати з одним і двома шліфувальними кругами або з одної сторони встановлюється шліфувальний круг, а з іншої сторони – пилка для відрізки підживлювачів (рис. 6.3).

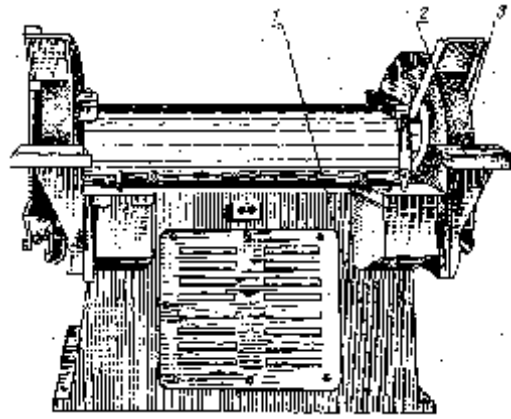


Рисунок 1.8 – Стаціонарний верстат для зачистки відливків та відрізки підживлювачів ЗМ363.

На верстатах подібної конструкції обробляють дрібні відливки масою до 30 кг, які можна утримати в руках. Продуктивність таких верстатів 0,1–0,5 т/год.

Розрахунок кількості зачисних верстатів проводиться за формулою:

$$n = \frac{\Pi K_n}{\Phi_{\text{д}} g} \quad (1.21)$$

де Π – річна програма випуску, т; K_n – коефіцієнт нерівномірності роботи верстату, $K_n = 1,0 \dots 1,2$; $\Phi_{\text{д}}$ – ефективний річний фонд часу роботи, год.; g – продуктивність верстату т/год.

Для подальшої зачистки відливків приймаємо зачисні верстати моделі ЗМ363 [10]. Технічна характеристика наведена в табл. 1.23.

Таблиця 1.23 – Технічна характеристика зачисного станка моделі ЗМ363

Назва характеристики	Величина
Зернистість	80-125
Продуктивність, т/год	0,5 - 0,6
Частота обертання шпинделя, об/хв	955 – 1425
Потужність електродвигуна, кВт	7,5

Кількість зачисних станків розраховуємо за формулою:

$$n = \frac{8925,007 \cdot 1,25}{3728 \cdot 0,5} = 5,98 \text{ шт}$$

Дійсна кількість обладнання:

$$n_1 = \frac{5,8}{0,70} = 8,54 \text{ шт}$$

Приймаємо 9 обдирно-шліфувальних верстатів моделі ЗМ363 з діаметром шліфувального круга 500 мм.

1.9 Проектування і розрахунок допоміжних дільниць

Допоміжні дільниці ливарного цеху включають:

- ковшове відділення, для поточного ремонту ковшів та підготовки їх до роботи;
- модельно-ремонтна майстерня, що забезпечує функціонування модельного оснащення;
- цехові комори, для зберігання допоміжних матеріалів та інструменту;
- цехові лабораторії: земельна, хімічна та ін.;
- ремонтно-механічна майстерня, що виконує поточний і середній ремонт

обладнання цеху;

– санітарно-технічна майстерня, виконує поточний, середній ремонт та підтримує функціонування водопроводів, каналізації, опалення і вентиляції цеху;

– дільниця регенерації суміші;

– електромагнітна майстерня, що обслуговує електрообладнання та освітлення цеху.

Лабораторія механічних випробувань – 36 м^2 , хімічна і спектральна лабораторія – 50 м^2 ; загальна цехова комора – 36 м^2 ; інструментальна комора механіка, електрика та обрізної дільниці – 50 м^2 та 36 м^2 відповідно.

Інструментальна ремонтна майстерня визначається за допомогою таблиці, виходячи з кількості одиниць технологічного та підйомно-транспортного устаткування, установленого в цеху.

Площа на 1 верстат $8 \dots 10 \text{ м}^2$, і місце слюсаря – в межах $4 \dots 6 \text{ м}^2$ [2].

Тому, площу під один верстат приймаємо 8 м^2 , а місце слюсаря 4 м^2 .

Сумарну площу ремонтної майстерні визначаємо за формулою:

$$S_{\text{ін}} = 4 \cdot 8 + 4 \cdot 4 = 48 \text{ м}^2$$

Дільниця футеровки ковшів і ремонту ковшових печей.

Ковшова дільниця

Призначена для капітального ремонту й футеровки ковшів, а також для ремонту плавильних печей.

Для футеровки ковшей використовують вогнетривкі матеріали. Ці матеріали зберігаються на складі, а маси для футеровки готують на спеціальній

Дільниці підготовки ковшів. Цю дільницю найчастіше розміщують у плавильному відділенні, у тому самому прольоті, де розливають метал. Площу дільниці беруть із розрахунку $8 \dots 10 \text{ м}^2$ на 1000 т. придатного литва на рік.

$$S = 10 \cdot 7,3 = 73 \text{ м}^2$$

Сумарна площа площадок під зберігання шихтових матеріалів визначається за формулою:

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

де 1,1 – коефіцієнт збільшення розрахункової площі площадок для обліку їх фактичного заповнення;

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

Площі під зберігання складових шихти визначаємо за формулою:

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

де Q – річний випуск придатного литва, т; a – норма витрат компонента шихти, % металозавалки; b – норма зберігання даного матеріалу, діб; k – вихід придатного литва, % металозавалки;

Φ – річний фонд часу роботи плавильного устаткування, діб;

h – висота зберігання компонента шихти, м;

γ – насипна маса даного матеріалу, кг/м^3

Площа, яка необхідна для зберігання рафінованого ливарного чавуну визначаємо за формулою:

$$S_1 = \frac{7300 \cdot 45,00 \cdot 20}{57,13 \cdot 170 \cdot 3 \cdot 3,5} = \frac{7650000}{101977} = 75,016 \text{ м}^2$$

Площу необхідну для зберігання лому сталевих визначаємо за формулою:

$$S_2 = \frac{7300 \cdot 15,00 \cdot 20}{57,13 \cdot 170 \cdot 3 \cdot 3,5} = \frac{2550000}{101977} = 25,0 \text{ м}^2$$

Площу необхідну для зберігання лому чавуну визначаємо за формулою:

$$S_3 = \frac{7300 \cdot 10,0 \cdot 20}{57,13 \cdot 170 \cdot 3 \cdot 3,5} = \frac{1700000}{101977} = 16,67 \text{ м}^2$$

Площа необхідна для зберігання відходів власного виробництва дорівнює:

$$S_4 = \frac{7300 \cdot 30 \cdot 20}{57,13 \cdot 170 \cdot 3 \cdot 3,5} = \frac{5100000}{101977} = 50,01 \text{ м}^2$$

Визначаємо площу, яка необхідна для зберігання феросиліцію:

$$S_5 = \frac{7300 \cdot 3,6 \cdot 20}{57,13 \cdot 170 \cdot 3 \cdot 3,5} = \frac{612000}{101977} = 6 \text{ м}^2$$

Визначаємо площу, яка необхідна для зберігання феромарганцю:

$$S_5 = \frac{7300 \cdot 0,6 \cdot 20}{57,13 \cdot 170 \cdot 3 \cdot 3,5} = \frac{102000}{101977} = 1,0 \text{ м}^2$$

Загальна площа під шихтові матеріали дорівнює:

$$\sum S = 75,016 + 25,0 + 16,67 + 50,01 + 6,0 + 1,0 = 173,69 \text{ м}^2$$

Розрахункова площа під допоміжні матеріали визначається за формулою:

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

де a_1 - норма витрат відповідного матеріалу н 1 тону придатного литва,т

Підраховуємо площу під флюс:

$$S_7 = \frac{7300 \cdot 0,1 \cdot 20}{170 \cdot 1,65 \cdot 4} = \frac{17000}{1122} = 15,15 \text{ м}^2$$

Площа під формувальну глину:

$$S_8 = \frac{7300 \cdot 0,1 \cdot 20}{170 \cdot 0,65 \cdot 10} = \frac{17000}{1105} = 15,38 \text{ м}^2$$

Площа під формувальний пісок:

$$S_9 = \frac{7300 \cdot 1,1 \cdot 20}{170 \cdot 0,67 \cdot 10} = \frac{187000}{1139} = 164,1 \text{ м}^2$$

Загальна площа площадок під допоміжні матеріали:

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

$$S_{заг.} = 15,15 + 15,38 + 164,1 = 194,70$$

Корисна площа складу складає сумарну площу площадок для шихтових матеріалів та допоміжних матеріалів дорівнює:

$$S_{\kappa} = 1,1 \times (173,69 + 194,70) = 368,39 \text{ м}^2$$

Після виконання розрахунків, вибору обладнання та його кількості, викорнуємо компоновку плану ливарного цеху.

Таким чином, в загальній частині дипломного проекту виконано вибір та обґрунтування розташування ливарного цеху, розрахунок фондів часу обладнання та робітників, річної програми цеху, основних відділень, обґрунтовано вибір новітнього обладнання, визначені площі допоміжних відділень та складів.

1.10 Обґрунтування вибору теми магістерської роботи

До деталей виготовлених з чавуну пред'являються високі експлуатаційні вимоги. Виливки виготовленні із сірого чавуну повинні відповідати ТУ за якими контролюються: границя міцності на розтяг σ_B і твердість HB чавуну, його мікроструктура, хімічний склад, щільність вилівка та ін. При виготовленні виливків в піщано-глинистих формах не забезпечуються умови стабільного отримання заданої мікроструктури та механічних властивостей чавуну. Тому оптимізація технологічних процесів, що забезпечують отримання чавуна заданої мікроструктури із високими механічними властивостями виливків є актуальною проблемою.

Вплив різних структуроутворюючих факторів на процеси формування структури і властивостей виливків з чавуну, методи моделювання ливарних процесів і керування якістю ливарної продукції недостатньо вивчені у вітчизняній і зарубіжній практиці, що ускладнює отримання в реальних виробничих умовах виливків з високим комплексом властивостей. Аналіз проблеми дозволяє сформулювати мету і основні задачі роботи.

Метою роботи є теоретично та експериментально дослідити вплив модифікуючої суміші на структурно-фазовий стан і властивості чавуну з пластинчастою формою графіту.

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

- проаналізувати властивості, застосування та виробництво сірих чавунів;
- виконати аналіз впливу механізму модифікування на структуру у сірих чавунах з пластинчастою формою графіту;
- встановити закономірності процесу структуроутворення сірого чавуну та її зміни в процесі модифікування розплав і затвердіння виливків;
- встановити закономірності впливу модифікатора на основі ультра- і нанодисперсних порошкових матеріалів на структуру і властивості сірого чавуну.
- вивчити структурно-фазовий стан виливків з сірого чавуну до і після модифікування;

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз конструкції деталі і технологічних умов на виливок

Для розробки технології виготовлення відливка пропонується ступиця (рис. 2.1).

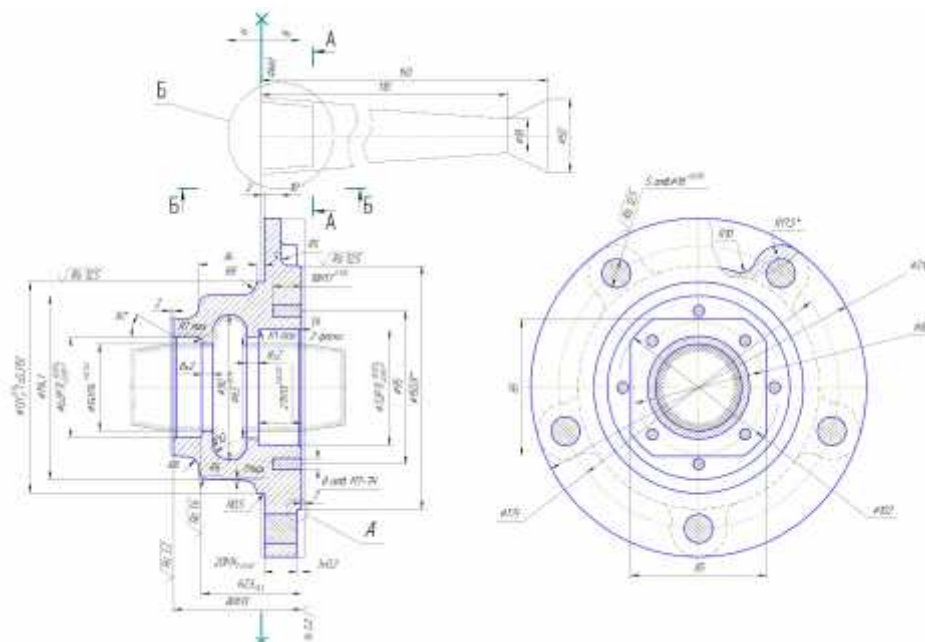


Рисунок 2.1 – Відливок ступиця

Дана деталь відноситься до XI класу точності за ГОСТ 26645–85, виготовляється із сірого чавуну марки СЧ 20 за ГОСТ 1412 – 85 [1]. Різностінність не більше 3 мм, короблення не більше 2 мм, перекіс по роз'єму до 2 мм. На оброблюваних поверхнях допускаються одиничні раковини довжиною не більше 1/3 кола, шириною не більше 5 мм, або мілкі раковини найбільшим розміром 3 мм не більше 5 штук. На необроблюваних поверхнях допускаються одиничні раковини розміром не більше 9 мм, глибиною не більше 4 мм і в кількості не більше 8 штук на поверхню. У місцях спряження стержня і форми допускається присутність кільцевих заусениць довжиною до 1,5 мм.

Деталь "Ступиця" представляє собою частину пристрою, який використовують в с/г машинах. Маса деталі 2 кг, габаритні розміри 121,5×112,5×80 мм, твердість 131...157 НВ. Оброблюваними поверхнями являються посадкові місця на вал. Інші поверхні не оброблюються. Даний відливок є технологічним. Зовнішні поверхні відливка представляють собою прямолінійні контури, з'єднані плавними переходами, які забезпечують деяку деформацію відливка при його усадці під час охолодження у формі і зниження залишкових напружень в місцях спряження прямолінійних ділянок. Відливок має чотири стержні, немає з'єднаних частин, роз'єм моделі і форми один.

2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення відливка

2.2.1. Визначення положення відливка у формі.

Положення відливка у формі в період заливанні вибираємо горизонтальним, так як оброблювані поверхні – посадочні місця на валу – повинна бути розташовані вертикально, для запобігання отримання раковин, дефектів із-за забруднення, рихлості. Поверхня роз'єму моделі і форми при цьому займає вертикальне положення і являється єдиною для даного відливка, що полегшує застосування машинної формовки. Поверхня роз'єму розташовується так, що модель не має з'ємних частин. Роз'єм моделі і форми розташовується таким чином, що відливки знаходяться в нижній і верхній напівформах симетрично. Такий роз'єм забезпечує хорошу набивку форми, її складання, надійність встановлення стержнів, зручність контролю розмірів форми, вільне вилучення моделі із форми.

2.2.2 Вибір припусків на механічну обробку і усадку, радіусів галтелей і формувальних ухилів, розміри стержнів та стержневих знаків.

Розміри відливка відрізняються від розмірів готової деталі на величину припусків на механічну обробку. Величину припусків для СЧ 20 вибираємо по ГОСТ 26645-85. На кресленні межі припусків обводяться тонкою лінією і вказується величина припуску, яка по ГОСТ 26645-85 для даної деталі складає 1 мм [4].

Припуск на ливарну усадку виражається в процентах від розміру відливка. Значення величини ливарної усадки для СЧ 20 вибираємо з [2].

Для середніх відливків вільна усадка рівна 2 %. Величину радіуса заокруглень вибираємо в межах $1/5 \dots 1/3$ середнього арифметичного товщини спряжених стінок. Для даного відливка радіус заокруглень складає 2 мм. Мінімальні радіуси заокруглень вибираємо із [3].

Радіуси заокруглень проставляємо на кресленні деталі, не вказані радіуси вказуємо на вільному полі креслення.

Формівні ухили назначаємо в залежності від ливарних розмірів відливка і прийнятої технології виготовлення форми і стержня у відповідності з ГОСТ 3212-57. Величини мінімальних формівних ухилів вибираємо із [4]. Для даного відливка, величина ухилу складає 3° . Величини ухилів вказуємо на кресленні, не вказані ухили проставляємо на вільному полі креслення.

Розміри стержня вибирають з урахуванням припуску на механічну обробку і ливарну усадку. Розміри стержневих знаків вибираємо у відповідності з ГОСТ 3606-57 із [3]. В залежності від номінального розміру отвору і відношення довжини отвору до цього розміру вибираємо вертикальні знаки стержнів довжиною 16 мм [4].

Величину зазорів між знаками і формою вибираємо в залежності від максимального розміру стержня [4]. Для горизонтального знака бокові зазори рівні 0,1 мм, торцевий зазор 0,2 мм.

2.3 Розрахунок і конструювання ливникової системи

2.3.1 Визначення габаритних розмірів опоки.

Габарити опок визначаються конструкцією автоматичної лінії, габаритами відливка, числом відливків в одній опоці, розмірами ливникової системи, правильністю розміщення моделей на підмодельній плиті.

Правильність розміщення моделей на підмодельній плиті для даного розміру опок визначається коефіцієнтом металоємності, тобто співвідношення загальної ваги металу у формі до ваги формівної та стержньової маси опоки. Коефіцієнт металоємності залежить від складності, товщини тіла і габаритів відливка і знаходиться у межах 0,25...1,2.

Між окремими моделями відстань дорівнює $(0,3...0,5) \cdot h$, де h – відстань від моделі до верху форми та від моделі до низу форми. При формовці в одній опоці декількох відливоків, залитих через загальну ливникову систему, відстань в площині роз'єму між ними повинна бути $\leq 20...25$ мм [4]. Відстань від тіла відливка до стінок опок складає 50...100 мм, від стержньового знаку до бокової стінки опоки 0...50 мм.

Відстань від моделі до верхньої і нижньої площини рівна 60...120 мм [4]. Враховуючи, що для виготовлення відливка застосовуємо автоматичну лінію Savelli Італійської фірми Savelli S.P.A., з розмірами опоки 900×600×150 мм приймаємо кількість відливоків отримуємо в одній опоці рівним 5 шт.

2.3.2 Оптимальна тривалість заливанні.

Ливникова система складається з послідовно з'єднаних між собою каналів за допомогою яких розплавлений метал підводиться у ливарну порожнину форми.

Оптимальна тривалість заливанні визначається за формулою [1]:

$$t = S_1 \cdot \sqrt[3]{\delta \cdot C_1}, \quad (2.1)$$

де S_1 – коефіцієнт, $S_1 = 1,45$ [4];

δ – середня товщина стінок відливка, $\delta = 12$ мм;

C_1 – вага однієї відливки з ливниковою системою, кг

$$C_1 = C_g + 0,4 \cdot C_g \quad (2.2)$$

$$C_1 = 2 + 0,3 \cdot 2 = 2,6 \text{ кг}$$

Тоді:

$$t = 1,45 \cdot \sqrt[3]{12 \cdot 2,6} = 4,2 \text{ сек}$$

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 заливанні, сек.

$$V = \frac{100}{4,2} = 20,2 \text{ мм / сек.}$$

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

2.3.3. Визначення площі перерізу каналів ливникової системи.

Загальна площа живильників на один відливок:

$$\sum F_{ж} = \frac{G \cdot 1000}{\mu \cdot t \cdot \sqrt{r \cdot g \cdot H_p}}, \quad (2.4)$$

де G – вага одного відливка, з ливниками і т.п., кг;

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

g – прискорення вільного падіння, м/сек²;

H_p – середній метало статичний тиск, см.

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, $H_0 = 140$ мм;

p – висота відливка над рівнем підйому металу, $p = 40$ мм;

c – загальна висота відливка, $c = 80$ мм.

$$H_p = 140 - \frac{40^2}{80} = 120 \text{ мм} = 12 \text{ см}$$
$$\sum F_{жс} = \frac{2,6 \cdot 1000}{0,5 \cdot 4,2 \cdot 7,2 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 12}} = 11,2 \text{ см}^2$$

Приймаємо форму поперечного перерізу живильника трапецію.

Розраховуємо площу шлаковловлювача:

$$\sum F_{жсзг} : \sum F_{ш} : \sum F_{см} = 1:1,15:1,2 \quad (2.6)$$
$$\sum F_{ш} = \sum F_{жсзг} \cdot 1,15 = 12 \cdot 1,15 = 13,8 \text{ см}^2$$

Площа поперечного перерізу стояка:

$$F_{см} = \sum F_{ш} \cdot 1,2 \quad (2.7)$$
$$F_{см} = 3,42 \cdot 1,2 = 4,1 \text{ см}^2$$

Оскільки:

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

Діаметр стояка:

$$d_{см} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{см}}{R}} \quad (2.9)$$
$$d_{см} = \sqrt{\frac{8 \cdot 4,1}{3,14}} = 3,23 \text{ см}$$

Із технологічних міркувань приймаємо $d = 35$ мм.

Визначимо діаметр чаші:

$$D = (2,7 \dots 3) \cdot d_{см.в} \quad (2.10)$$
$$D = 3 \cdot 35 = 105 \text{ мм}$$

2.4 Технологічний процес виготовлення відливка

У масовому і серійному виробництві рекомендується використовувати єдину формівну суміш. Під формувальною лінією розміщені стрічкові конвеєри для збору суміші, що транспортують суміш яка просипається, до вибивної решітки. Далі суміш після вибивки збирається і транспортується до нахилоного стрічкового конвеєра. Цей нахилений конвеєр підіймає суміш на рівень іншого стрічкового конвеєра, що подає її на полігональне сито. Охолоджувач суміші охолоджує її приблизно на $+20^\circ\text{C}$ вище ніж температура навколишнього середовища за допомогою повітря та води. Вода розпилюється на поверхню суміші, а повітря продуває її (аерація). Вологість та температура суміші контролюється за допомогою датчиків. Вміст вологи суміші на виході не повинен перебільшувати 2-3%. Далі стрічковий конвеєр транспортує суміш до бункера де вона зберігається. Потім, перед подачею суміші на змішувач, вона зволожується до потрібного рівня

та зважується. Після змішування формовочна суміш транспортується до бункера перед формовочним автоматом. Усі стрічкові конвеєри оснащені аварійними тросами, мостиками та захисними ковпаками, де це необхідно. Магнітні сепаратори та шків встановлені для захисту стрічкових конвеєрів та для видалення металу із суміші.

Оскільки маса стержнів не перевищує 10 кг, то для їх виготовлення використовуємо універсальний стержньовий автомат моделі 4509 С.

Стержні виготовляються у гарячих ящиках з швидкотвердіючих термореактивних сумішей, що дає можливість підвищити точність стержнів, а відповідно і точність відливків.

2.4.1 Збирання та заливання форм.

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

Температура чавуну при заливанні повинна бути 1320 – 1370°C. Заливка може виконуватись з рухомою і нерухомою формою. Розплавлений метал з міксера потрапляє у попередньо нагрітий ківш барабанного типу ємністю 2т, який транспортується краном. Цей ківш встановлюють на спеціальному стенді для подальшої роздачі металу в розливні ковші.

Для заливання металу використовують ковші конічного 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 заливанні швидко заповнити металом ливникову чашу і тримати її заповненою до кінця заливання форми. Забороняється переливати чашу, недолив чаші дозволяється – 20мм. Заливка повинна бути безперервною. Після заливання залишки металу повинні зливатись у спеціальні форми. Тип плавильного агрегату вибирають в залежності від роду металу, а також вимог, які висуваються до якості відливки.

2.4.2. 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 ливникова система.

Потім відливки поступають в прохідну дробометну камеру де вони позбавляються від пригару. Після цієї операції відливки проходять зачистку від заусениць на наждачних верстатах.

Далі вони поступають на дільниця контролю де проходять проміжний контроль (по всіх стадіях технологічного процесу) і кінцевий. Перевіряють хімічний склад, структуру, геометричні розміри. Поверхневі дефекти визначають візуально.

2.5. Опис процесу проектування ливарної оснащення

При крупносерійному і масовому виробництві для збільшення строку служби моделей, їх необхідно виготовляти металевими. Заготовки металевих моделей отримують литтям у піщані форми по дерев'яним моделям (промоделям). Промоделі виготовляються з припуском на механічну обробку моделі і відливки, а також з урахуванням усадки сплаву моделі. Модель виготовляється із сірого чавуна марки СЧ 20. Обробляються моделі вручну, припуск на механічну обробку відливка – 1 мм. Товщину тіла моделі визначають із номограми в залежності від габаритів моделі. З урахуванням малих габаритних розмірів відливка модель відливається суцільною. Після механічної обробки моделі монтується на раніше підготовані промодельні плити. При монтажі напівмоделей на плити необхідно враховувати розміри опок. Контур опоки в світлі 900×600 мм. Таким чином обидві промоделі розташовуються на плиті так, щоб відстань від напівмоделей до країв складала не менше 300 мм. Ливникова система монтується у відповідності з кресленням ливникової системи. Кріплення моделей і ливникової системи виконується заклепками. Монтаж моделей на плитах виконується за допомогою монтажного шаблону, виготовленого з листової сталі товщиною 2...5 мм [15].

Моделльні плити виготовляються зі сталі. Товщина плит складає 40 мм так як вони повинні витримувати навантаження при формовці. Робоча поверхня плит повинна бути оброблена. На підготовлені плити накладається монтажний шаблон, встановлюються напівмоделі і просвердлюються отвори для кріплення.

Для виготовлення стержнів піскострільним способом застосовується алюмінієвий стержневий ящик. Заготовку ящика отримуємо литтям у піщані форми по дерев'яним моделям.

При виготовленні моделі ящика необхідно врахувати усадку алюмінієвого сплаву, яка складає 1,25 %. Також враховуємо припуск на механічну обробку ящика, який при зачистці складає 0,4 мм. Для визначення товщини тіла стержневого ящика необхідно знати габаритні розміри. Товщину стінок ящика визначаємо із номограми [16]. Для стержневих ящиків із алюмінієвих сплавів товщина стінок складає 10 мм. По таблицям [16] визначаємо товщину ребер жорсткості і радіус галтелей. При товщині стінок стержневого ящика 10 мм товщина ребер жорсткості складає 10 мм, а радіус галтелей рівний 5 мм. Стержневий ящик відливається у відповідності з розмірами і піддається механічній обробці. Площина роз'єму ящика шліфується для якісного прилягання обох половин ящика одна до одної. Половини ящика з'єднуються за допомогою штирів.

Для видалення повітря із ящика при виготовленні стержня, встановлюються венти. Розрахунок вент виконується із співвідношення:

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

де $F_{\text{вент}}$ – сумарна площа вент;

$F_{\text{вд.отв.}}$ – сумарна площа вдувних отворів

$$\begin{aligned} F_{\text{вент}} &= 0,4 \cdot F_{\text{вд.отв.}} \\ F_{\text{вд.отв.}} &= \frac{\pi \cdot 31^2}{4} = 750 \text{ мм}^2 \\ F_{\text{вент}} &= 0,4 \cdot 750 = 300 \text{ мм}^2 \end{aligned}$$

Площа однієї вентри при діаметрі 6 мм дорівнює 28 мм^2 . Звідси для забезпечення щільної набивки стержня необхідно на один вдувний отвір діаметром 31 мм мати 8 вент. Застосовуємо щільовидні прорізи у вентах.

В технологічній частині дипломного проекту розроблена технологія виготовлення відливка “Ступиця”, виконано аналіз конструкції деталі і технологічних умов на відливку, розроблено технологічний процес виготовлення відливка, розраховано і сконструйовано ливникову систему, описано технологічні процеси виготовлення відливка, проектування ливарної оснастки, контролю якості відливків.

3 НАУКОВА ЧАСТИНА

3.1 Структурно-фазові перетворення залізобуглецевих сплавів

Сплави на основі Fe-C займають найбільший відсоток застосування в техніці та машинобудуванні в порівнянні з іншими існуючими сплавами. Залізо та вуглець є основними компонентами, від яких залежать структура та властивості залізобуглецевих сплавів. Структурно-фазовий склад залізобуглецевих сплавів розглядають відповідно до діаграми стабільного стану Fe-C (рис. 3.1 [16]).

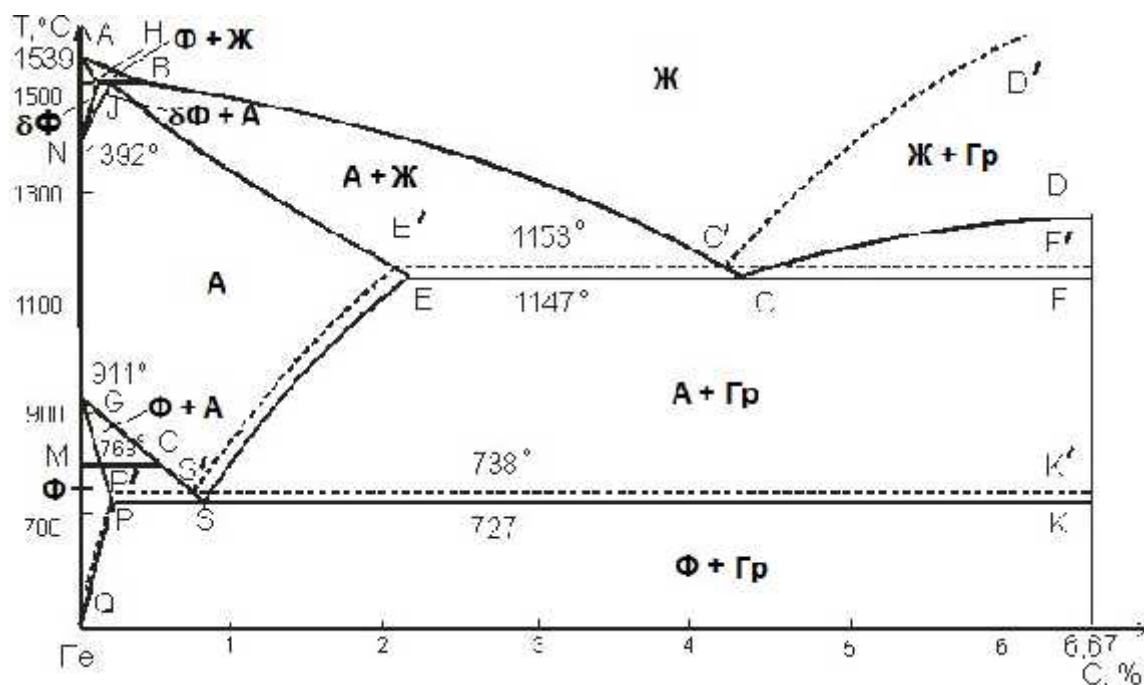


Рисунок 3.1 – Діаграма стану стабільної системи Fe-C [16]

На діаграмі стану стабільної рівноваги (рис. 3.1) Fe-C штриховими лініями виділено графіту (C), суцільними – цементит (Fe_3C) [16]. Діаграма станів Fe-C та Fe- Fe_3C побудовані за результатами численних досліджень, а буквене позначення

вузлових точок у діаграмі є загальноприйнятим та використовується як в Україні , так і за кордоном. Відомо, що поєднати на одному графіку рівноважну та нерівноважну діаграму недоцільно, оскільки це ускладнює використання діаграм стану для вирішення наукових та практичних питань.

Відповідно до [17] на рис. 3.2, представлений вид повної рівноважної діаграми стану системи Fe –C.

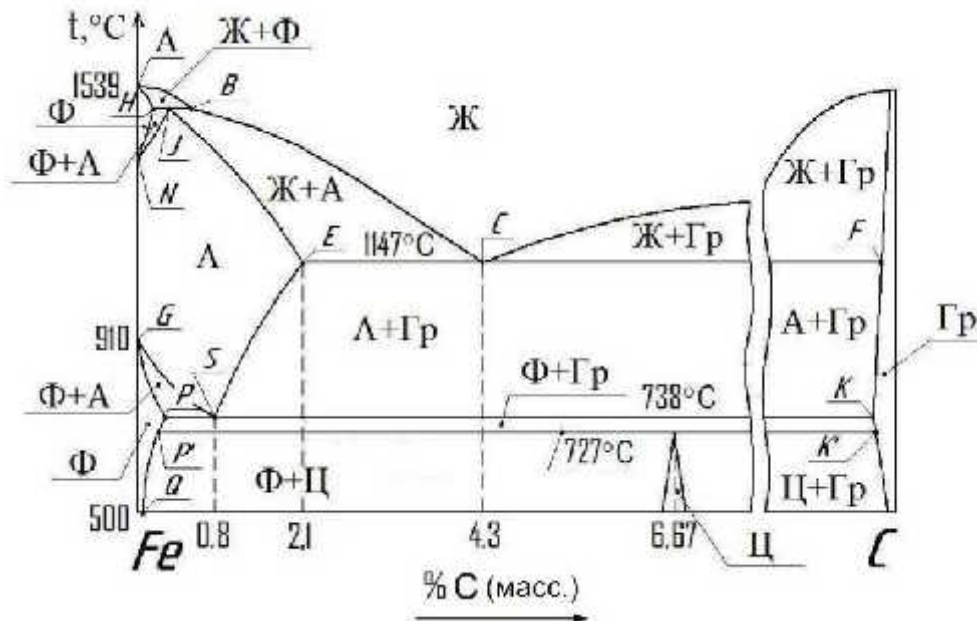


Рисунок 3.1 – Діаграми стану повної рівноважної системи Fe–C [16]

На цій діаграмі представлені рівноважні фазові складові, що включають:

- однорідний розплав заліза та вуглецю (P);
- ферит (Ф, Fe- α , α -Fe) - це твердий розчин вуглецю в α -Fe, розчинність вуглецю дуже мала 0,008...0,02 % при температурі 727 °C;
- аустеніт (А, Fe- γ , γ -Fe) - це твердий розчин вуглецю в γ -Fe, розчинність вуглецю в залізі від 0,8 до 2,14 %, що залежить від температури сплаву;
- графіт (Гр) – вільний вуглець із гексагональною кристалічною решіткою. У чавунах міститься у вигляді включень різних геометричних форм: пластинчастої, пластівчастої, кулястої та вермикулярної [18];
- цементит (Ц, Fe₃C) – кристалічна структура, утворена атомами заліза та вуглецю.

Для опису мікроструктури залізовуглецевих сплавів використовують також характеристики складних фазових сумішей, такі як [17, 21, 22]: ледебурит (Л), перліт (П), сорбіт, тростит та бейніт [16].

До складу сталей та чавунів крім вуглецю входять і інші елементи, що визначають хімічний склад сплаву. В залежності від стану вуглецю в чавуні,

швидкості охолодження, хімічного складу, вмісту домішок та подальшої обробки розрізняють наступні види чавунів:

- білий чавун, у якому весь вуглець знаходиться у вигляді цементиту Fe_3C ;
- сірий чавун, вуглець частково або повністю знаходиться у вільному стані (пластинчастому графіті);
- високоміцний чавун, в якому весь вуглець або його частина знаходиться у вигляді кулястого графіту;
- ковкий чавун, отримують в результаті відпалу білого чавуну. У ковкому чавуні вуглець повністю або частково знаходиться у формі пластівчастого графіту (у вільному стані).

3.2 Структурно-фазові перетворень у сірих чавунах із пластинчастою формою графіту

У сірих чавунах більшість вуглецю знаходиться у вигляді пластинчастого графіту (у вільному стані). Кристалізація та структуроутворення в таких чавунах відбувається при повільному охолодженні. Слід зазначити, що кристалічні структури цементиту та аустеніту схожі, а кристалічні структури аустеніту та графіту занадто відрізняються. Утворення кристалів цементиту з рідини та аустеніту буде проходити легше, ніж при кристалізації графіту. При розгляді діаграми стану $\text{Fe}-\text{C}$ слід враховувати, що кінетично з рідини та з аустеніту більш вигідна кристалізація складу $\text{A}+\text{Ц}$ або $\text{Ф}+\text{Ц}$, а не складу $\text{A}+\text{Гр}$ або $\text{Ф}+\text{Гр}$. Але, графіт є більш стійкою фазою, тому склад $\text{A}+\text{Гр}$ або $\text{Ф}+\text{Гр}$ має меншу вільну енергію, що обумовлює утворенню графіту, а не цементиту [15, 16, 23].

З діаграми стану $\text{Fe}-\text{C}$, видно, що утворення складу $\text{A}+\text{Гр}$ або $\text{Ф}+\text{Гр}$ відбувається при високих температурах, відповідно, лінії фазових рівноваг зміщуються в області вищих температур. Таким чином, діаграма стану $\text{Fe}-\text{C}$ представлена подвійними лініями, де суцільні лінії переходу до рівноваги складів $\text{A}+\text{Ц}$ та $\text{Ф}+\text{Ц}$, а штрихові лінії переходу до рівноваги складів $\text{A}+\text{Гр}$ та $\text{Ф}+\text{Гр}$ (рис. 3.1). Зміщення вліво ліній S'E' і C'D' щодо ліній SE і CD обумовлене меншою здатністю рідини і аустеніту розчиняти графіт, ніж цементит [16, 23].

Відомо, що на процес графітизації впливає швидкість охолодження виливка та хімічний склад чавуну, для виділення графіту необхідне повільне охолодження. Слід зазначити, що чим нижча температура розплаву, тим меншою має бути швидкість охолодження виливка. Якщо швидкість охолодження перевищує швидкість виділення графіту, то процес виділення графіту повністю або частково припиняється. Виділенню вуглецю у вигляді пластинчастого графіту в сірих чавунах, сприяють такі графітизуючі елементи як: Si, Ti, Ni, Cu, Al. Елементи, що перешкоджають виділенню графіту називають антиграфітизуючими, до них відносять Mn, Mo, Cr, V, W, S. В залежності від умов кристалізації в чавунах з пластинчастою формою графіту формується різна структура металевої основи (рис. 3.3).

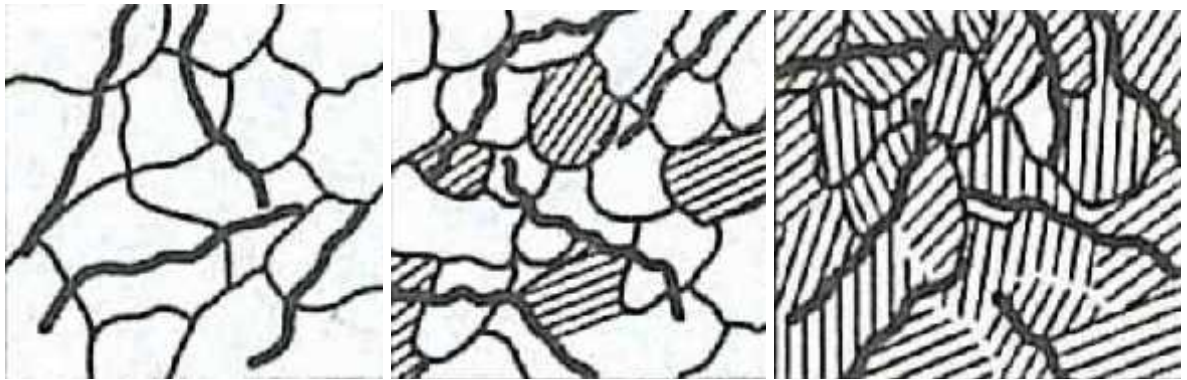


Рисунок 3.3 – Схематичне зображення структури металевої основи у сірих чавунах: а – феритна ; б - ферито-перлітна ; в – перлітна

При малих швидкостях охолодження в інтервалі температур 738...723 °С відбувається повне перетворення $A \rightarrow \Phi$ і що обумовлює феритну металеву основа з графітним включенням, структура $\Phi + \text{Гр}$ (рис. 3.3, а). Дані чавуни мають понижені механічні властивості, малу межу міцності і крихкість [16, 23].

Збільшення швидкості охолодження, в діапазоні температур 738...723 °С, призводить до перетворення частини аустеніту у Φ , що розташований біля графітних включень. Аустеніт, що розташований на периферії від графітових включень, в подальшому переохолодиться нижче лінії PSK і розпадеться $A \rightarrow (\Phi + \text{Ц})$. Сформований таким чином сірий чавун на ферито-перлітній основі з

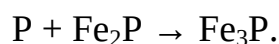
графітовими включеннями (рис. 1.7, б), має вищі механічні властивості, ніж у сірому чавуні на феритній основі [18, 23].

При великих швидкостях охолодження в інтервалі температур 738...723 °С між лініями P'S'K' та PSK перетворення аустеніту у фериту не відбудеться, тому А переохолодиться нижче лінії PSK і розпадеться на перліт, що обумовлює утворення перлітної структури з графітними включеннями, структура П+Гр (рис. 1.7, в). Сірий чавун на перлітній основі має найбільш високі механічні та ливарні властивості та може бути використаний як антифрикційний матеріал [16, 19].

Зазначимо, що до складу сірих чавунів крім Fe і С входить такі домішки як: Si, Mn, S, P та ін., які істотно впливають на структурно-фазовий стан та властивості виливків. Домішки обумовлюють утворення неметалевих включення різного фазового складу (сульфід марганцю, фосфіди заліза, силікоферит, оксиди та ін.), які негативно впливають на властивостей та обробку сірого чавуну та мають різний вплив на будову [15, 16, 18, 23, 46, 47].

До прикладу Mn збільшує стійкість карбідів заліза, утворюючи карбід Mn_3C , та перешкоджає виділенню графіту. При цьому, взаємодіючи з S і нейтралізуючи її шкідливий вплив, утворює сульфід марганцю у вигляді шлаку (MnS) [48]. В працях [4, 49] зазначено, що включення сульфиду марганцю $Mn(X)S$, при певному співвідношенні Mn та S перетворюються на центри кристалізації графіту, де X – стабільні оксиди, що виконують роль ядра для формування сульфиду марганцю.

Зазначимо, що фосфор у межах 0,1...1,2 % утворює подвійну (Fe+Fe₃P) та потрійну фосфідну евтектику (Fe+FeP+Fe₃C), що обумовлює підвищення міцності та зносостійкість сірих чавунів [18, 21]. Згідно з діаграмою стану Fe-P (рис. 3,4) хімічні сполуки Fe₃P утворюється за перитектичною реакцією при $T=1166^{\circ}C$ [50]:



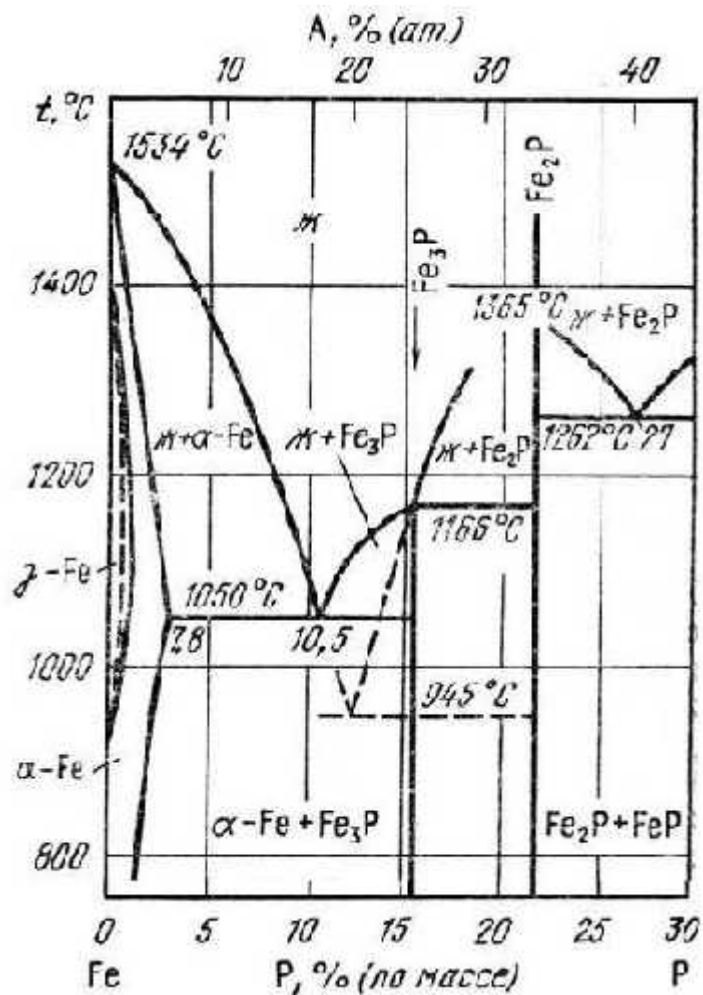


Рисунок 3.4 – Загальний вигляд діаграми стану Fe–P.

Евтектика ($\alpha\text{-Fe} + \text{Fe}_3\text{P}$) утворюється при рівноважній кристалізації при температурі $T \approx 1050^\circ\text{C}$, а при сильному переохолодженні ($T \approx 930^\circ\text{C}$) метастабільна евтектика ($\alpha\text{-Fe} + \text{Fe}_2\text{P}$) [27, 50].

Максимальна розчинність фосфору в $\alpha\text{-Fe}$ становить 4,5...4,9%, а в $\gamma\text{-Fe}$ $\sim 0,25 \dots 0,55\%$. При високих температурах розчинність фосфору може досягати 1,2 %, але з пониженням температури розплаву розчинність фосфору в $\alpha\text{-Fe}$ різко знижується до 0,02...0,03% (рис. 3,5).

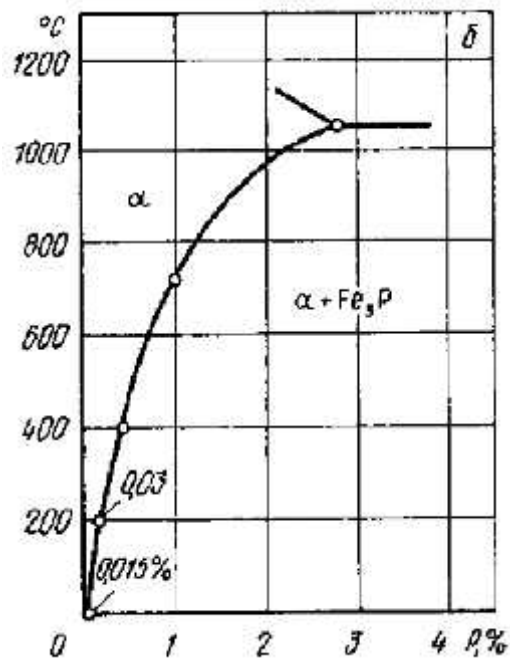


Рисунок 3.5 – Діаграма розчинності фосфору в α -Fe

Слід зазначити, що на будову та властивості сірих чавунів значно впливає кремній, зменшує розчинність вуглецю в γ -Fe та зміщує точки E' і C' на діаграмі ліворуч. Зміщення евтектичної точки C' ліворуч призводить до того, що доевтектичний чавун стає заевтектичним, і при охолодженні рідини в розплаві відбувається кристалізація графіту, а не аустеніту. Додавання феросиліцію обумовлює локальне збагачення розплаву кремнієм, і призводить до появи структури з дрібнопластинчастим графітом [4, 15, 18, 23].

Таким чином, структурно-фазовий стан та розподіл пластинчастого графіту в сірому чавуні залежить від умов кристалізації, швидкості охолодження, та хімічного складу. Керуючи вміст модифікуючої суміші дозволяє отримувати виливки з різним комплексом властивостей, та марок сірого чавуну (табл. 4.6) [54].

Таблиця 4.6 - Основні марки сірих чавунів та їх основні властивості

Марка сірого чавуну	Тимчасовий опір (σ_B), МПа	Межа міцності на стиск ($\sigma_{ст}$), МПа	Щільність (ρ), кг / м ³	Твердість, НВ
СЧ15	150	500...800	7000	130...224
СЧ20	200	850...950	7100	143...240
СЧ25	250	850...950	7200	156...255
СЧ30	300	1100...1200	7300	163...270

3.2 Аналіз впливу хімічного складу на структуру та властивості чавуну з пластинчастою формою графіту

Комплекс властивостей, а отже, і атомарно-молекулярна та структурна будова, істотно залежать від хімічного складу чавунів. Теорією графітизації і структуроутворення в чавунах займалися І.М. Богачев, К.П. Бунін, К.І. Ващенко, Н.Г. Гиршович [7], А.А. Горшков, А.А. Жуков, М.М. Александров [2], Л.М. Романов, І.К. Кульбовский, Г.І. Сильман, Я.М. Маліночка, М.А. Криштал, Б.С. Мільман, В. Паттерсон, В. Овен, В. Тіллер, А. Вітмозер і ін. [9-12]. Зазначимо, що найважливішими елементами, які впливають на властивості і мікроструктуру чавуну, є вуглець і кремній. Вуглець сприяє графітизації, укрупнення графіту, ліквідує його небажану орієнтацію та збільшує кількість фериту в матриці. В той час кремній на ступінь графітизації впливає менше. При збільшенні вмісту кремнію величина відбілу і розмір включень графіту знижуються. Проблема вибору оптимального хімічного складу для чавунних виливків різного призначення досить висвітлена в літературі [6, 19].

Використання добавок Ni, Cr, V, Si, Sb і Mo, сприяє отриманню у виливках рівномірної дисперсної структури та стабілізації її властивостей. Нікель і мідь мають незначний графітизуючий вплив, подрібнюють графіт, що не сприяє кристалізації міждендритного графіту. Завдяки перлітизуючому впливу ці елементи впливають на форму, розмір і характер розподілу графітових включень, що обумовлює підвищення комплексу властивостей виливків. Алюміній є сильним графітизатором чавуну, що сприяє феритизації і утворенню міждендритного графіту, та знижує механічні властивості чавуну [12, 14, 17, 29].

Елементи Si, V, Mo, і Mn є карбідоутворюючими, знижують ступінь графітизації і збільшують вміст структурно вільного цементиту в структурі чавуну. Механізм впливу зазначених елементів полягає головним чином в легуванні матриці і подрібненні продуктів розпаду аустеніту. Сприяючи перлітизації структури, ці елементи інтенсивно підвищують міцність і твердість, знижуючи в'язкість і пластичність чавуну. Так, при введенні 0,15...0,25% ванадію в чавун різко збільшується кількість перліту і його дисперсність в металевій матриці, подрібнюються пластинки графіту, що збільшує міцність чавуну.

В той час вплив фосфору на механічні властивості чавуну здійснюється завдяки легування цементиту, подрібненню евтектичного зерна і утворення включень фосфідної евтектики. При цьому підвищується міцність і твердість чавуну, однак підвищений вміст фосфору призводить до виділення більшої кількості фосфідної евтектики, особливо несприятливої її форми у вигляді суцільної сітки, при якій знижуються властивості чавуну [17, 29].

З підвищенням вмісту фосфору підвищується пористість чавунних виливків. Хром, сірка і марганець та інші елементи, що гальмують графітизацію, сприяють збільшенню усадочних пустот. Кисень і азот при нормальних концентраціях не впливають на величину обсягу усадочних порожнин, а водень збільшує їх обсяг.

Вплив легуючих елементів на комплексні властивості чавунів зростає при комплексному модифікуванні, що дозволяє їх ширше використовувати, в тому числі навіть такі, які окремо діють негативно. Згідно з роботами [15, 20, 27], серед модифікаторів з позиції сили впливу і тривалості модифікуючого ефекту найбільш ефективними є сілікобарій і силікокальцій.

Керування структурою та властивостями чавуну за рахунок варіювання його хімічного складу у встановлених границях можливо тільки на основі відповідних кількісних залежностей. Для чавуну залежності всіх параметрів структури і макробудови виливків від хімічного складу отримані на основі досліджень І.К. Кульбовського [17]. Результати досліджень свідчать, що хімічний склад і технологія виплавки сплаву значно впливають на структуру і механічні властивості виливків. Однак забезпечити стабільну якість, наприклад, масивних виливків тільки за рахунок оптимізації режиму плавки і варіювання хімічного складу в вузько регламентованих ТУ границях складно.

Відомо багато формул і діаграм для визначення мікроструктури і властивостей чавуну у виливках залежно від його хімічного складу та швидкості охолодження розплаву.

Найбільш відомі емпіричні формули Паттерсона для визначення σ_b і НВ сірого чавуну в зразках в залежності від ступеню його евтектичності, що розраховується за вмістом С, Si, Р, Але в них не враховується вміст інших елементів, зміна товщини стінки, температура заливання, в зв'язку з чим для практичного застосування вони виявилися непридатними. Відомі також формули і номограми Циглера, Гейленберга, Кайля-Франкенберга, Ухліча-Аппеля, Калло, Гіршовича-Юффе та інші [29] для визначення механічних властивостей чавуну, які також не можуть бути практично використані для виливків, так як не відображають вплив усіх важливих структуроутворюючих факторів. Для визначення структури чавуну відомі рівноважні діаграми стану Fe-C і Fe-C-Si-систем і структурні діаграми, побудовані на основі експериментальних даних або емпіричних формул по визначенню константи графітизації чавуну типу $K_g = C + nSi = 4,3$. Однак рівноважні умови охолодження і рівномірність температури по перетину відсутні, тому їх структура не відповідає тій, що визначається за рівноважною діаграмою стану.

Є велика кількість структурних діаграм для визначення структури чавуну при охолодженні в нерівноважних умовах, але вони є якісними, оскільки базуються в основному на значенні K_g і не враховують повного хімічного складу, геометрії виливка, властивостей форми, умов термочасової обробки і заливання металу та ін. Структурна діаграма чавуну - Маурера - не має практичної цінності, через побудованість в ординатах C-Si і в ній лінійні межі структурних областей сходяться в одній точці (рис. 3.6).

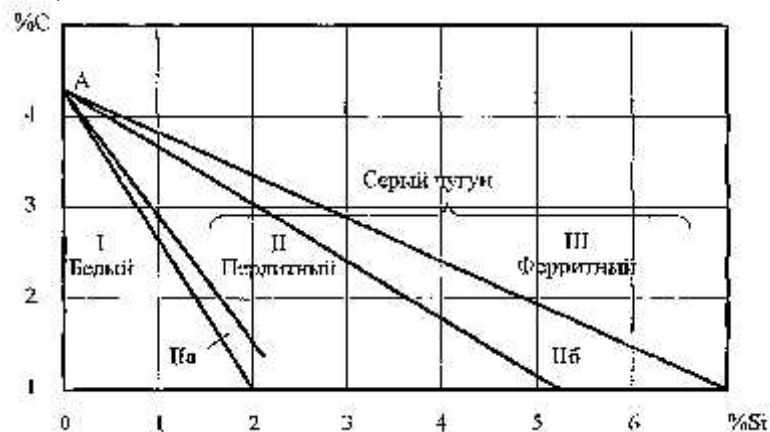


Рисунок 3.6 – Структурна діаграма чавуну Маурера

Подальше вдосконалення даної цієї діаграми, виконане Хольцгаузенем, Грейнером, Шварцем, Стьопіним, Дубиніним, Какуріним, Зіппом, Гіршовічем і іншими дослідниками, було спрямоване на уточнення меж структурних областей

чавуну на основі тієї ж величини Кг, що не додало їм практичну цінність. Найбільш сучасними серед них є номограми Гіршовіча-Іоффе [16], Жукова [9], Баландіна і Каннуннікова [3]. Однак всі вони не відображають вплив інших елементів, а також вплив умов термочасової обробки, модифікування і заливанні, товщини стінки виливка і властивостей форми.

3.3 Аналіз типів модифікаторів та вплив їх хімічного складу на формування структури та властивостей сірих чавунів

Термін "модифікатор" (від лат. *modifico*) – зміна форми. Тому модифікатором в металургії називають певні сплави і композиційні матеріали, невелика кількість яких при введенні в розплав призводить до істотної зміни структурної будови і властивостей виливків. Основними характеристиками, що визначають ефективність модифікування структури чавуну є:

- хімічний склад, кількість і спосіб введення модифікаторів;
- якість початкових шихтових матеріалів і спосіб їх переплавки;
- спосіб подачі металу в ливарну форму;
- швидкість і умови кристалізації чавуну в різних зонах виливків.

Формуванню структури тієї або іншої марки чавуну сприяло виробництво графітизуючих, стабілізуючих і сфероїдизуючих модифікаторів, використання яких на сьогодні вважають застарілим і неефективним. Найбільшу ефективність і значущість представляє позапічна обробка чавунів ультра- і нанодисперсними порошками різного хімічного складу.

Класичними, або традиційними, модифікаторами для обробки залізовуглецевих сплавів прийнято вважати: графіт; феросплави на основі Cr, V, Ti, W, Nb, Zr, V, Mg, Mn; модифікатори на основі Si (силікокальцій, силикобарію, феросиліцій), та інші лігатури.

Традиційні модифікатори, що використовуються для чавунів поділяються на [89]:

- графітизуючі – стимулюють процес графітизації, це модифікаторами: графіт, ферофосфор, феросиліцій, силікокальцій, карбід кремнію з добавками V, Mn і РЗМ [4].

- стабілізуючі – практично не впливають на процес графітизації, використовуються для збереження цементитної фази після евтектичного перетворення, забезпечуючи зростання міцності. Використовують сплави на основі Mg, Cr, Cu, Sn, Sb та ін. [60].

- сфероїдизуючі - змінюють форму графіту у бік наближення її до глобулярної, використовуються для отримання чавунів з вермикулярної і кулястою формою графіту. Зміна форми графіту досягається при введенні в розплав лігатур, Mg, що містять, Ca, Y, Ce і PЗМ [4, 60].

Завданням графітуючого модифікування є створення в розплаві сприятливих умов для активного зародження центрів кристалізації і зростання графіту. Графітуюче модифікування чавуну полягає в дії на зародження і зростання кристалів графіту при евтектичній температурі. Елементи графітуючих модифікаторів взаємодіють з сіркою і газами, зв'язуючи їх в хімічні сполуки, усуваючи тим самим утворення карбідних фаз. В процесі графітизації відбуваються дифузія вуглецю в розплав і його подальша кристалізація у вигляді графіту на зародках, якими можуть виступати оксиди, сульфід, нітрид, карбіди і т. д. [90]. У практиці ливарного виробництва переважно використовують графітуючі модифікатори на основі феросиліцію, при розчиненні модифікатора на основі Si в розплаві виникає локальна хімічна і теплова неоднорідність, за рахунок якої і досягається ефективність дії модифікатора. В результаті виділяється надмірний вуглець, який згодом утворює первинний графіт.

Згідно з дослідженнями [4, 90, 92-94], наявність Ca, Sr, Zr, Ba і PЗМ в графітуючих модифікаторах збільшує тривалість дії модифікаторів, знижуючи шкідливий вплив As, Pb, Ti, Sb, Bi і інших елементів. Модифікування сприяє подрібненню розмірів графітових включень, зміні форми і розподілу графіту в структурі чавуну, зменшенню евтектичного зерна, підвищенню його механічних і експлуатаційних властивостей.

Широке поширення мають модифікатори, що містять Ba, вони поліпшують властивості, ізотропність структури, та усувають карбідоутворення в тонкостінних виливках. Використання Ba з Si призводить до повільнішого

випаровування елементів і збільшення періоду взаємодії їх з киснем і сіркою, що сприяє ефективнішому протіканню процесам модифікування [42]. Барій-вмісні модифікатори активують мікрочастинки графіту, в наслідок видалення з рідкого чавуну кисню, що знаходиться в більшості у вільному стані. Підвищення концентрації Si і пониження концентрації O в локальних зонах забезпечують підвищення активності C, створюючи умови для стимулювання процесу зародкоутворення і кристалізації графіту [90].

РЗМ і Sr також є сильними розкислювачами і десульфаторами, зв'язуючи в міцні високотемпературні інтерметалідні з'єднання шкідливих домішки металів і газів в розплаві. Оскільки ці елементи утворюють додаткові фази, які можуть бути центрами кристалізації графіту, їх вводять до складу графітізуючого модифікатора замість Ca і Ba для посилення ефекту модифікування [8]. Стабілізуючі модифікатори використовують для зміцнення сірого чавуну, такими елементами, які гальмують процес графітизації: Mg, Cr, Cu, Sn, Sb [60].

В якості сфероїдизуючих модифікаторів використовують як правило, феросплави на основі FeSi з вмістом в якості основного елементу Mg від 4 мас. % до 10 мас. %, а також додатково ЛЗМ (Ca, Ba, Sr) [94, 103], РЗМ (Y, La, Ce) [18, 104], карбідо- і нітридоутворюючі (Ti, Z, V, Nb, B) [97, 105], а також легуючі (C, Si, Ni, S, Mn, Cu, Mo) елементи [4, 8, 60, 106]. Найбільш ефективним сфероїдизуючим елементом є Mg, оскільки він забезпечує найбільш правильну форму кулястих глобулей графіту в чавуні.

Механізм впливу сфероїдизуючих елементів обумовлений їх дією на дифузію атомів вуглецю до графіту, внаслідок чого зростає переохолодження і знижується лінійна швидкість зростання кристалів графіту в розплаві. Внаслідок низького коефіцієнта розподілу між твердою і рідкою фазами в процесі твердіння ці елементи накопичуються поблизу області кристалізації і їх дія на формування структури посилюється [107-109].

В практиці лив. виробництва використовують комплексні модифікатори – Mg, Ca, Ba, Sr, Al, Li, Be, Ce, Y і інші РЗМ, ЛЗМ, карбідо- і нітридоутворювальні склади [60, 67, 98, 105, 113-116]. Використання яких дозволяє запобігти відбілу,

підвищує щільність, міцність, твердість і зносостійкість чавунів, забезпечує однорідність структури і властивостей у відливках різної товщини.

Аналіз літературних джерел показує, що досьгодні учені розробляють і проводять випробування нових комплексних модифікаторів графітизуючої та сфероїдизуючої дії, а також нові технології для підвищення якості і експлуатаційних властивостей чавунів [4, 6, 8, 90, 112].

3.3.1. Модифікатори на основі ультра- і нанодисперсних порошкових матеріалів.

Останнім часом актуальним напрямом в модифікуванні сплавів є використання ультра- і нанодисперсних порошків металів та їх з'єднань [64, 119-124]. Таке модифікування дозволяє створити дрібнозернисту структуру на етапі її формування за рахунок розподілу ультра- і нанодисперсних частинок в об'ємі, які є центрами кристалізації. Оскільки собівартість ультра- і нанодисперсних порошків різних хімічних сполук відносно невелика, це дає можливість широко їх використання [125].

При розгляді процесу модифікування чавунів, з позиції взаємодії ультра- і нанодисперсних частинок з розплавом, дані модифікатори поділяться на 3 типи [127, 128]: розчинні, тугоплавкі та розкладні. До розчинних відносяться модифікатори графітизуючої і сфероїдизуючої дії, а також порошки металів і сплавів. До тугоплавких малорозчинних модифікаторів відносяться порошки тугоплавких металів або їх з'єднань з високою температурою плавлення, що мають інокулюючу дію (Ti, W, Mo, V, Nb, TiN, TiC, TiCN, TaC, VC, ZrC, SiC_{in}) [66, 128]. До модифікаторів, що розкладаються в розплаві, відносяться модифікатори графітизуючої дії : SiC, Ca₂C, Si₃N₄ і сфероїдизуючої дії : Mg₂Si, Mg₃N₂, MgC₂ [66].

Як і традиційні модифікатори, суміші ультра- і нанодисперсних порошків різних хімічних складів призводить до підвищення ефективності дії комплексних модифікаторів на структуроутворення і механічні властивості чавунів. Ультра- і нанодисперсні порошки отримують переважно плазмохімічним синтезом [121,

135]; термолізом; високошвидкісним самопоширюючим синтезом [135]; криохімічним синтезом і помелом.

Ефективність модифікатора тим вище, чим менша розчинність і наявність електронної спорідненості модифікатора і розплаву, вища термодинамічна стійкість частинок і більша різниця температур частинок з'єднання та розплаву. З порівняльного аналізу термодинамічних показників тугоплавких малорозчинних з'єднань по модифікуючій ефективності розташовують їх в наступному порядку по спаданню:

$\text{TiCN} \rightarrow \text{ZrN} \rightarrow \text{TiN} \rightarrow \text{BN} \rightarrow \text{TaC} \rightarrow \text{TiC} \rightarrow \text{ZrC} \rightarrow \text{TaC} \rightarrow \text{NbC} \rightarrow \text{VC} \rightarrow \text{WC} \rightarrow \text{W}_2\text{C}$ [66]

Карбонітрид титану (TiCN) є оптимальним з'єднанням, яке повністю задовольняє вимогам, що пред'являються до інокулюючим модифікаторам [66]. Слід зазначити, що в більшості для підвищення якості і експлуатаційних характеристик чавунів модифікуванням ультра- і нанодисперсними порошками використовують TiCN і TiN [29, 63, 66, 123, 133, 137].

У роботі [137] показано, що введення частинок TiCN в розплав ускладнюється із-за підвищеного вмісту газів в матеріалі порошку, що обумовлює утворення в ньому твердих адсорбційно-дифузійних розчинів. Змочування оксидних фаз рідкими металами порівняно низька, тому однією з умов перед введенням частинок в розплав є їх глибока дегазація з можливістю відновлення оксидів за рахунок зміни термодинамічної активності компонентів у вакуумі. Тому для досягнення ефекту модифікування частки TiCN плакували захисною оболонкою з речовини основи модифікатора [137]. Автори стверджують, що в якості плакуючої речовини необхідно використати елементи, що входять до складу сплаву, і що мають найбільшу хімічну спорідненість до хімічних елементів частинки і що утворюють з ними хімічні сполуки [137].

Таким чином, серед сучасних методів обробки чавунів особливе місце займає інокулююче модифікування чавунів ультра- і нанодисперсними порошками, яке дозволяє отримувати виливки з однорідним розподілом структурних складових і підвищеними механічними властивостями.

3.3 Методи досліджень властивостей, хімічного складу та структури сірих чавунів

3.3.1 Методика проведення металографічних досліджень сірих чавунів

Підготовка шліфів для металографічних досліджень проводили на шліфувально-полірувальному верстаті із застосуванням абразивного матеріалу - алмазної пасти. Травлення шліфів здійснювалося згідно стандартних методик 4% спиртовим розчином HNO_3 (ГОСТ 4461-77). Дослідження мікроструктури проводилося на мікроскопах МИМ-8 у відбитому світлі при збільшеннях 100, 400, 500. Оцінку отриманої структури для сірого чавуну проводили за ГОСТ 3443-87. Оцінку дисперсності перліту проводили згідно з ГОСТ 8233-56 [24].

3.3.2 Методика проведення механічних випробувань сірого чавуну

В ході проведення досліджень виникла необхідність визначення механічних характеристик отриманих зразків з сірого чавуну. Границю міцності чавуну на розтягання σ_b визначали за ГОСТ 1497-84, регламентуючому методи випробувань на розтяг металів і виробів з них.

Твердість HB отриманих зразків визначалася за ГОСТ 9013-59. Вимірювання проводили на твердомірі методом Брінелля.

3.3.3. Характеристика модифікуючої суміші

В якості модифікуючої суміші (МС) використали ультрадисперсні порошки TiO_2 , ZrO_2 . Ультрадисперсні порошки TiO_2 і ZrO_2 були отримані термохімічним методом з розчинних солей рідкісних металів на виробничих потужностях ТОВ "Лазерхім" (Україна). В якості поверхнево-активної речовини використали кріоліт технічний [152]. Однорідна суміш була отримана механічним шляхом з використанням змішувача.

Згідно з гістограмою розподілу, частинки МС мають розмір в діапазоні $\sim 0,07 \dots 14$ мкм. Середній розмір частинок МС складає $d_{\text{сер.}} \sim 0,9$ мкм, стандартне відхилення $\sim 1,2$ мкм. При модифікуванні чавунів в ківш вводили МС у кількості 0,3 мас. % від маси рідкого металу.

Таким чином, частинки модифікатора на основі ультрадисперсних частинок оксидів тугоплавких металів і кріоліту слабо контролюватимуться гравітаційними силами, що забезпечить їх кінетичну стійкість в розплаві. Ще в 1905 р. А. Ейнштейном і М. Смолуховским було доведено, що частки розміром ~ 1 мкм мають

достатню енергію броунівського руху для того, щоб знаходитися в постійному русі і не осідати під дією сили тяжіння на дно ковша [157]. Коагуляція частинок при русі залежить від питомої поверхневої енергії на межі "метал - частинка". Відомо, що різке зниження питомої поверхневої енергії починається при розмірі частинок менше ~15 нм [158, 159]. В ультра- і нанодисперсному діапазоні питома поверхнева енергія максимальна, і частинки мають високу адсорбційну здатність, тому зародження кристалів первинної фази на їх поверхні має високу вірогідність [66].

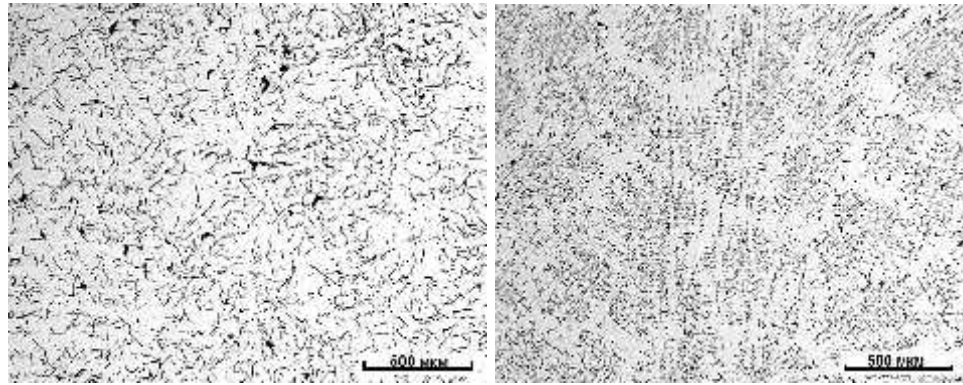
Модифікування чавунів проводилося по існуючій заводській технології без використання додаткових пристроїв. Модифікування в розплав здійснювалося шляхом завантаження МС на дно розливного ковша в розрахунку 3 кг МС на 1 тону розплаву. Після витримки розплаву в печі робилося розливання чавуну в ківш з МС. Після 1...3 хв витримки в розливному ковші з модифікатором чавун починали розливати у форми. В таблиці 3.2 поданий хімічний склад досліджуваних не модифікованого та модифікованого чавуну.

Таблиця 3.2 – Хімічний склад сірого чавуну марки СЧ20

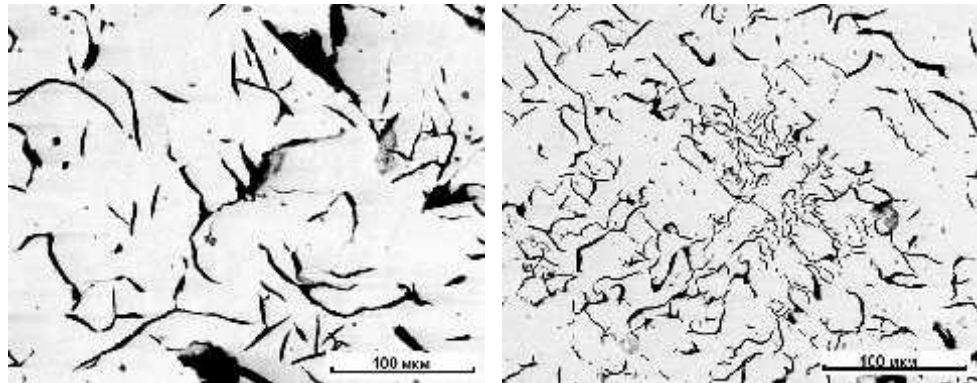
Состояние образца	Вміст хім. елементів, масс. %, остальное – Fe								
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Al
Немодифікований	4,1	0,4	1,8	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	–
Модифіцирований	4,2	0,4	1,8	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,02

3.4. Вплив модифікуючої суміші на структурно-фазовий стан сірого чавуну с пластинчастою формою графіту

Якість виливків з сірого чавуну оцінювали за розподілом та дисперсністю пластинчастого графіту, морфологічними характеристиками та фазовим складом основи матриці. Аналіз мікроструктур не модифікованих та модифікованих зразків виявив зміни характеру розподілу та розміру пластинчастого графіту (рис. 3.7).



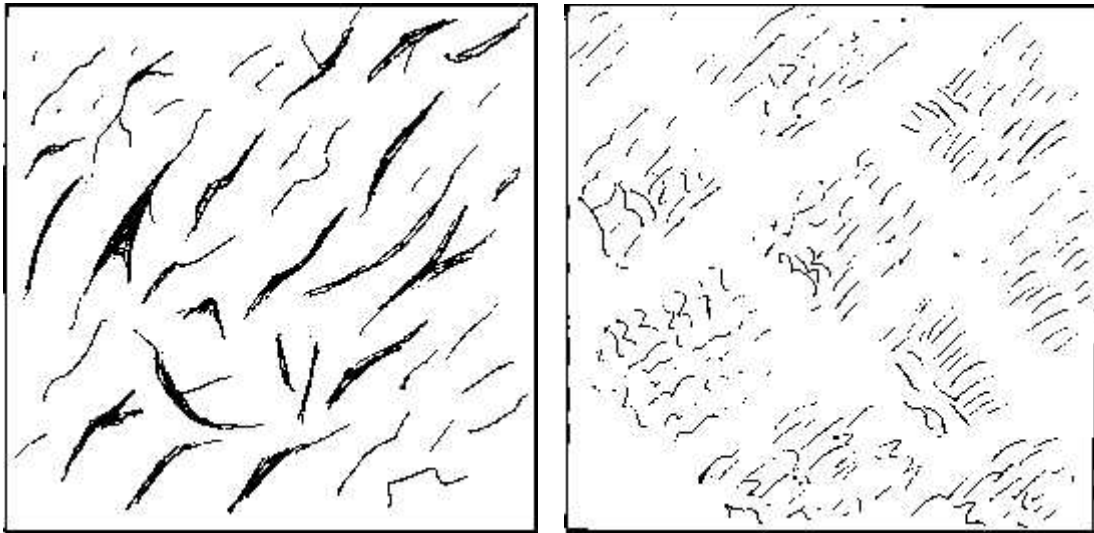
а) б)



в) г)

Рисунок 3.7 – Металографія сірого чавуну марки СЧ25: *а – б* – вихідний зразок; *в,г* - зразок після модифікування.

З металографічного аналізу немодифікованого зразка виявлено, характерне рівномірне розподілення графіту пластинчастої форми в металевій матриці (рис. 3.7, *а, в*). Після додавання модифікуючої суміші, виявлено колоніальний розподіл пластинчастого графіту в металевій матриці та значне зменшення розміру довжини пластинчастого графіту (рис. 3.7, *б,г*). Слід зазначити, що модифікування МС сірого чавуну змінює об'ємну частку графіту, яка становить 4...6 %. Зменшення об'ємної частки графіту в модифікованих зразках підтверджує факт підвищення однорідності розподілу колоній графіту за перерізом виливки. Структурно схематичне зображення зміни стану графіту в сірому чавуні СЧ25 наведено на рисунку 8.8.



а) б)

Рисунок 3.8 – Структурно схематичне зображення локалізації пластинчастого графіту в матриці немодифіковано сірого чавуну (а) та модифікованого (б)

Виявлено, що після модифікування сірого чавуну зменшився діапазон значень об'ємної частки графіту в модифікованих зразках в порівнянні з немодифікованими 9...15% та 9...27 % відповідно. Дане можна пояснити підвищенням однорідності розподілу колоній графіту у виливках.

Відповідно до гістограми розподілу, розмір довжини (l) пластинчастого графіту лежить в межах 13...266 мкм, середня довжина становить приблизно $l_{cp}=41$ мкм (рис. 3.9, а). Відповідно до гістограми, розмір довжини пластинчастого графіту після модифікування МС лежить в межах 6...114 мкм, тобто в 2 рази нижче порівняно з немодифікованими зразками, середня довжина становить $l_{cp} = 30$ мкм (рис. 3.9, б)

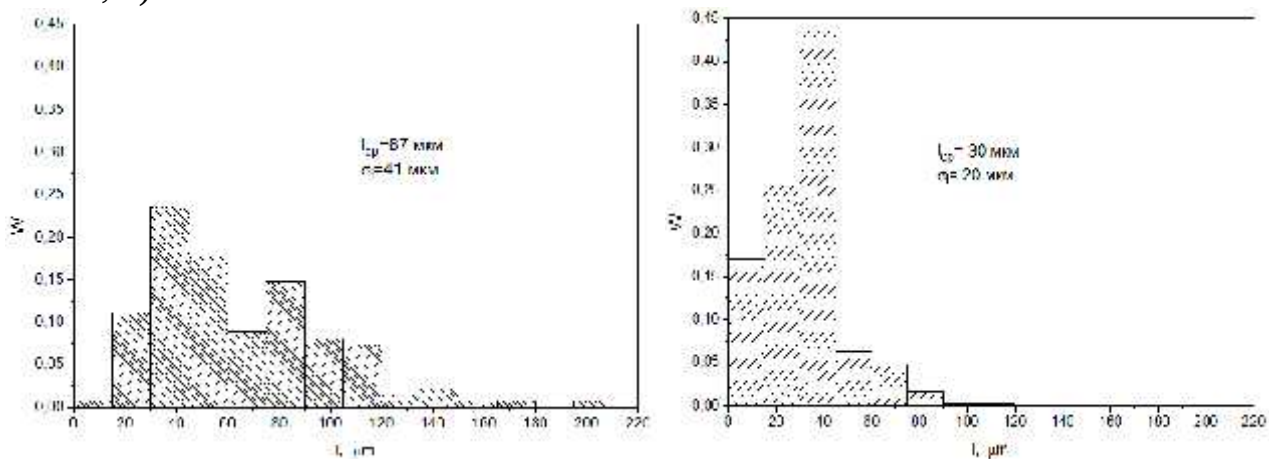


Рисунок 3.9 – Гістограма розподілу наявності пластинчастого графіту: а – вихідний зразок; б - результат після модифікування

Аналіз гістограми розподілу за розміром зеренної структури ферито-перлітної матриці показав, що частка фериту в немодифікованому чавуні та чавуні після модифікування становить лише 5%. У сірих чавунах як у вихідному стані, так і після модифікування (рис. 3.10) розмір зерен ферито-перлітної матриці лежить в межах 4...22 мкм. При цьому середній розмір зерен в не

модифікованому та модифікованому сірому чавуні становить 15 мкм (рис. 3.10, а), та 10 мкм (рис. 3.10, б) відповідно.

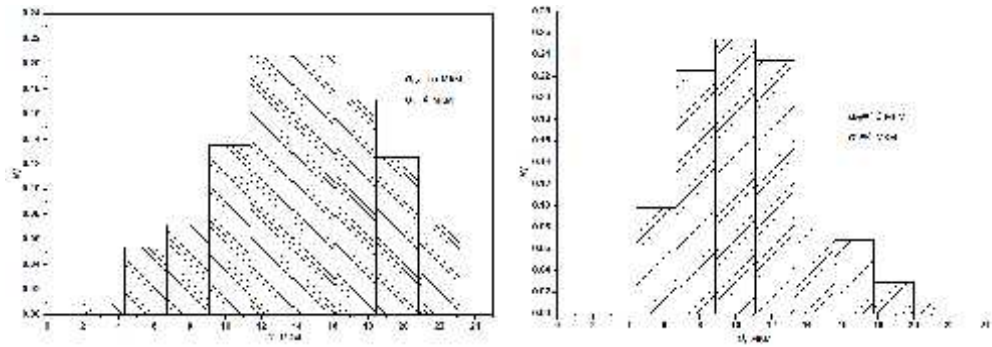
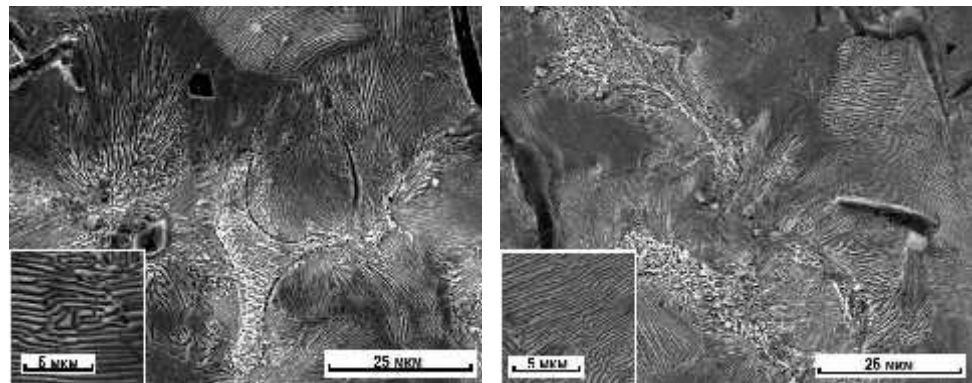
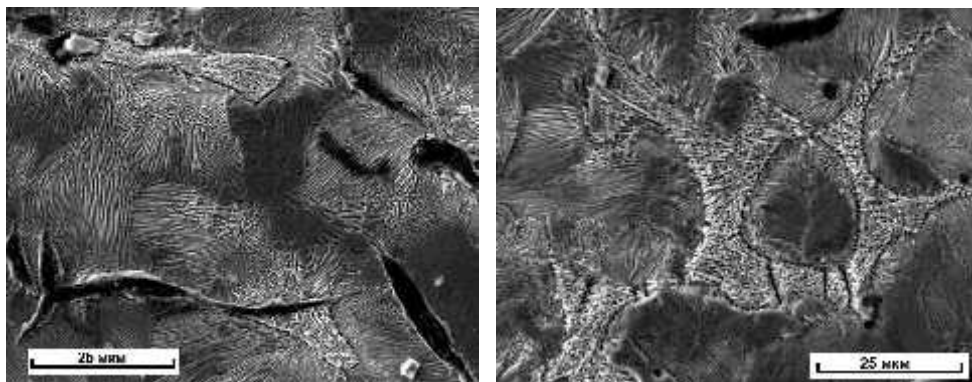


Рисунок 3.10 – Гістограма розподілу за розмірами зеренної структури феррито-перлітної матриці: а – вихідний зразок; б - зразок після модифікування

За даними РЕМ матриця не модифікованого та модифікованого сірого чавуну характеризується ферито-перлітною структурою (рис. 3.11).



а) б)



в) г)

Рисунок 3.11 – Мікроструктура (а, б) та утворення фосфідної евтектики (в, г) сірого чавуну СЧ20: в – вихідний травлений зразок; г – травлений зразок після модифікування.

З металографічного аналізу мікроструктури сірого чавуну, виявлено різну дисперсність ферито-цементитної структури перлітних зерен у вихідному чавуні та чавуні після введення модифікуючої суміші (рис. 3.11, а, б). Дисперсність

пластин у вихідному чавуні становила $D = 0,57$ мкм, що відповідає дрібнопластинчатому перліту, при цьому введення модифікуючої суміші збільшило дисперсність пластин до величини $D = 0,32$ мкм, що відповідає скритопластинчатому перліту. Слід зазначити і зміну розподілу розташування фосфідної евтектики. У вихідному зразку фосфідна евтектика розподілена за перерізом зразка хаотично у вигляді окремих зерен (рис. 3.11, а,б), а в зразку після модифікування розмір і протяжність фосфідної евтектики збільшилися, і в деяких ділянках вона має вигляд сітки (рис. 3.11, в,г). Схематично зміну структурного стану фосфідної евтектики та дисперсності перліту в сірому чавуні наведено на рис. 3.12.

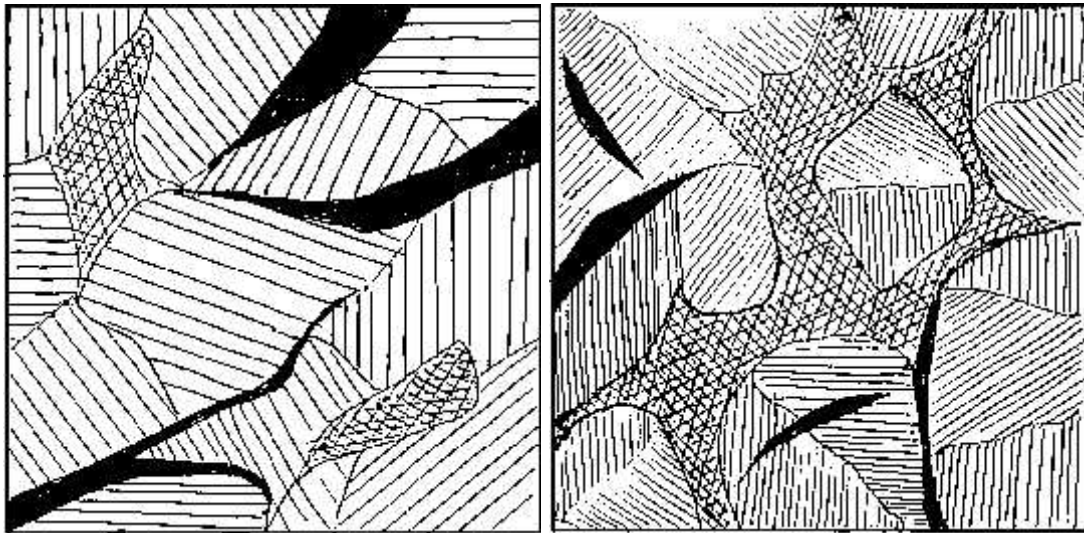


Рисунок 3.12 – Схематичне зображення зміни структурного стану фосфідної евтектики та дисперсності перліту не модифікованого (а) та модифікованого (б) сірого чавуну.

Результати експериментальних даних просвічуваної електронної мікроскопії, свідчать наявність неметалевих включень сульфід марганцю - MnS в металевій основі вихідного та модифікованого МС чавуну (рис. 3.13). У немодифікованому та модифікованому МС сірому чавуні частинки сульфиду марганцю мають розмір в межах 6...9 мкм.

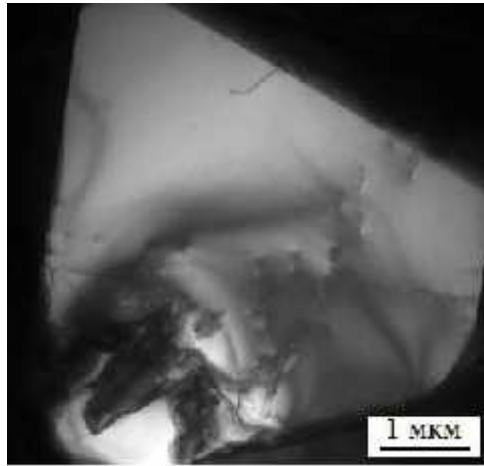
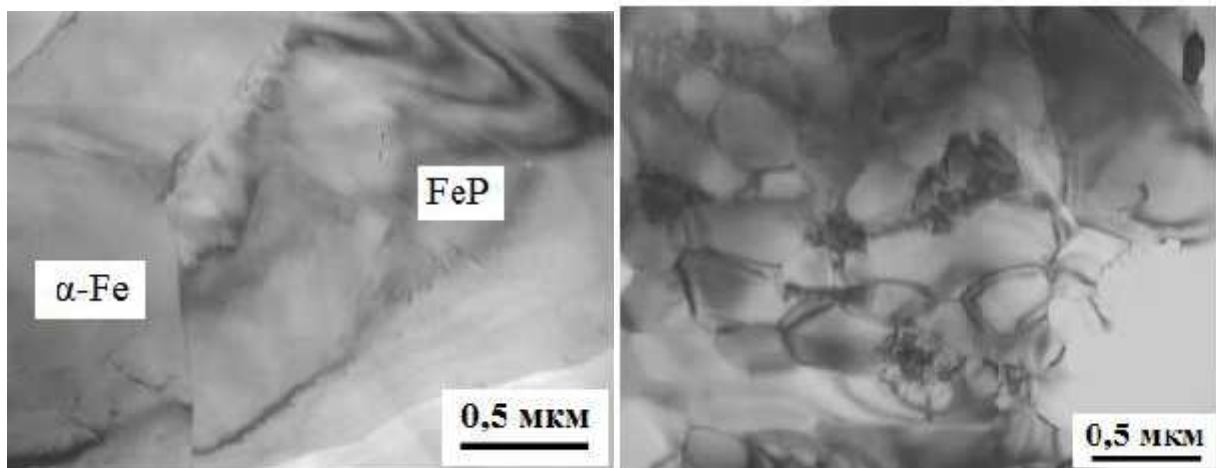


Рисунок 3.13 – Електронно-мікроскопічне зображення сульфїду марганцю

Дослідження будови структури показало, що у матриці немодифікованого сірого чавуну присутні частинки складу фосфїд залїза FeP (рис. 3.14,а). Модифїкування сірого чавуну МС, сприяло дрібнозернистій структурї фосфїду залїза (рис 3.14, б).



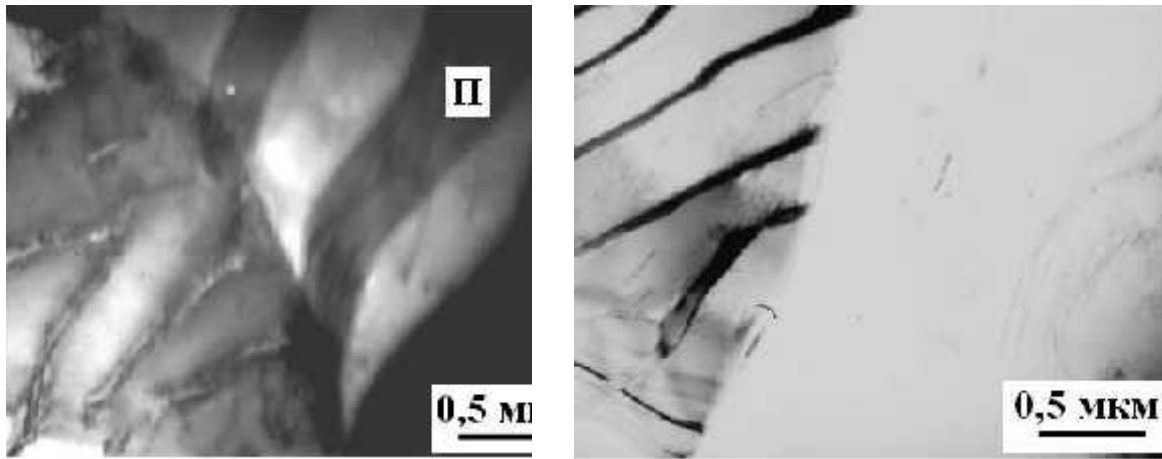
а) б)

Рисунок 3.14 – Електронно-мікроскопічне зображення фосфїд залїза FeP не модифїкованого сірого чавуну (а) та дрібнозерниста структура фосфїду залїза модифїкованого сірого чавуну (б)

З електронно-мікроскопічного зображення видно, що склад фосфїдної евтектики у різних місцях виливка відрізняється за складом та розміром зеренної структури, з розміром зерен в межах 0,1...0,5 мкм. Згідно з діаграмою стану Fe-P, евтектика такого складу утворюється при високому вмісті фосфору (> 20 мас. %). Можливо, утворенню фосфїдної евтектики складу (FeP + Fe₂P) сприяє локальне

збагачення фосфором, за рахунок якого відбувається утворення фаз, характерних для високого вмісту фосфору [53].

Виявлено, що в немодифікованому та модифікованому МС чавуні, частина фаз має чітко виражений дефектний характер, а на всіх ділянках ферито-перлітної матриці має хаотичний дислокаційний тип структури (рис. 3.15).



а) б)

Рисунок 3.15 – Електронно-мікроскопічне зображення не модифікованого (а) та модифікованого (б) сірого чавуну

Встановлено, що у немодифікованому сірому чавуні щільність дислокацій становить $1,17 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$, а у чавуні після модифікування МС – $0,32 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$, тобто щільність дислокацій в сірому чавуні зменшилась у 3 рази.

Таким чином, дослідження структурно-фазового стану сірого чавуну СЧ20 показали, що модифікування сірого чавуну змінює розподіл, розмір та об'ємну частку пластинчастого графіту та фосфідної евтектики. Розподіл пластинчастого графіту має колоніальний вигляд, а розмір графіту зменшився в 2 рази. Фосфідна евтектика в не модифікованих чавунних зразках розташована у вигляді окремих зерен, а у модифікованих зразках – має сітчастий вигляд.

Показано, що основний фазовий склад зразків до і після модифікування ідентичний за складом і вмістом домішок. Тип дислокаційної структури у вихідному чавуні та модифікованому чавуні МС хаотичний. Модифікування МС сірого чавуну сприяє зменшенню скалярної щільності дислокацій з $1,17 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ до $0,32 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$.

4.3. Вплив модифікуючої суміші на властивості сірого чавуну з пластинчастою формою графіту

Дослідження властивостей сірого чавуну СЧ20 до та після модифікування показало, що пластичність обох сплавів практично однакова. Модифікування розплаву сірого чавуну дещо підвищує межі міцності та текучості (табл. 3.6)

Таблиця 3.6 - Хімічний склад сірого чавуну марки СЧ20

Зразки	Твердість, НВ	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ , %	$\Delta\epsilon$, %
Немодифікований	198	370	900	0,16	0,08
модифікований	198	410	990	0,17	0,10

Слід зазначити, що твердість модифікованих та немодифікованих чавунів марки СЧ20 не змінилася і становить в межах 205...208 НВ. Таким чином, модифікування сірого чавуну позитивно впливає на міцність та щільність виливків, при цьому не змінюється пластичність і твердість. В результаті модифікації сірого чавуну СЧ20 знижується коефіцієнт деформаційного зміцнення, що обумовлює, більшу різницю між межами міцності не модифікованого та модифікованого чавуну ніж межі текучості (рис. 3.16).

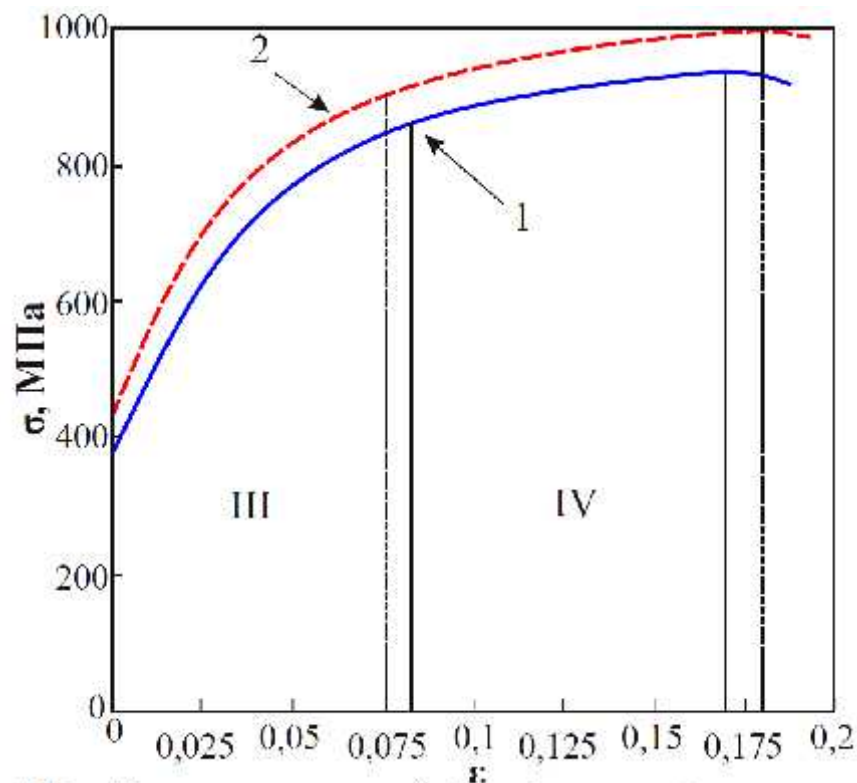


Рисунок 3.16 - Залежність напруження від деформації сірого чавуну : 1 – в немодифікованому чавуні; 2 - в чавуні після модифікування

Можна бачити, що модифікування сірого чавуну зумовило невелике підвищення межі текучості. Таке положення можна пояснити збільшенням дисперсності феритоцементитної структури перлітних зерен. Збільшення міцності у немодифікованому зразку, можна пояснити утворенням фосфідної евтектики, фосфор у межах 0,1...1,2 % утворює подвійну та потрійну фосфідну евтектику, тим самим підвищуючи міцність [16, 23].

Висновки по науковій частині

1. Виявлено, що ефект модифікування визначається способом отримання модифікатора, хімічним складом, розміром часток, хімічною спорідненістю з розплавом і іншими чинниками. Особливе місце серед сучасних методів модифікування чавунів, займає інокулююче модифікування чавунів ультра- і нанодисперсними порошками, яке дозволяє отримувати виливки з однорідним розподілом структурних складових і підвищеним комплексом властивостей.

2. Досліджений вплив модифікуючої суміші на основі ультрадисперсних частинок TiO_2 , ZrO_2 і кріоліту у кількості 0,3 % від маси розплаву на структурно-фазовий стан і фізико-механічні властивості сірого чавуну з пластинчастою формою графіту. Показано, що структурно-фазовий стан та розподіл пластинчастого графіту в сірому чавуні залежить від умов кристалізації, швидкості охолодження, та хімічного складу.

3. Металографічним аналізом зразків виявлено характер структуроутворення сірого чавуну в процесі виплавки. Показано, що матриця сірого чавуну до і після модифікування має ферито-перлітну структуру з включеннями графіту пластинчастої форми. Дослідження структурно-фазового стану сірого чавуну СЧ20 показали, що модифікування сірого чавуну змінює розподіл, розмір та об'ємну частку пластинчастого графіту та фосфідної евтектики.

4. Встановлено, що після модифікування у сірому чавуні розподіл пластинчастого графіту має колоніальний вигляд, а довжина графіту зменшилася в 2 рази. При цьому, зменшується діапазон об'ємної частки пластинчастого графіту на 5 %, що обумовлює збільшення однорідності розподілення колоній графіту.

5. Виявлено, що крім основних фаз в сірому чавуні присутня фаза сульфід марганцю, що утворює неметалеві включення, які ідентичні за розміром і характером розподілу в твердому розчині матриці модифікованих та немодифікованих зразках. Показано, що після модифікування підвищується дисперсність ферито-цементитної структури перлітних зерен на 0,24 мкм. Фосфідна евтектика в не модифікованих чавунних зразках розташована у вигляді окремих зерен, а у модифікованих зразках – має сітчастий вигляд.

6. Показано, що основний фазовий склад зразків до і після модифікування ідентичний за складом і вмістом домішок. Тип дислокаційної структури у вихідному чавуні та модифікованому чавуні МС хаотичний. Модифікування МС сірого чавуну сприяє зменшення скалярної щільності дислокацій з $1,17 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ до $0,32 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$.

7. Дослідження фізико-механічних характеристик показали, що модифікуючої суміші на основі ультрадисперсних частинок TiO_2 , ZrO_2 знижує межу міцності на 13,5 %, але при цьому межа текучості, пластичність та твердість чавуну практично не змінюються. Керування вмістом модифікуючої суміші дозволяє отримувати виливки з різним комплексом властивостей сірого чавуну

4 ЕНЕРГЕТИЧНА ЧАСТИНА

4.1 Річна потреба в електроенергії

Визначаємо потребу цеху в технологічній, силовій освітлювальній електроенергії по типовим нормам витрат на 1т придатного литва [5].

Загальні витрати електроенергії по цеху складають:

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

де W_T , W_c – річна витрата та потреби електроенергії на електропривод силових установок, кВт·рік;

На основі встановленої потужності устаткування і річної кількості його робіт, визначаємо річну потреба електроенергії на 1т придатного литва по формулі:

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

де P_c – питома витрата силової електроенергії на 1т придатного литва, кВт·рік [6];

Q_z – випуск придатних відливків, т/рік;

$K_w = 1,05$ – коефіцієнт, який враховує втрати електроенергії в мережі.

$$W_c = 120 \cdot 7300 \cdot 1,05 = 982800 \text{ кВт·рік}$$

Річну витрату електроенергії на технологічні потреби 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];

$$W_T = 420 \cdot 7200 \cdot 1,05 = 3439800 \text{ кВт·рік}$$

Загальні витрати електроенергії:

$$W = 982800 + 3439800 = 4422600 \text{ кВт·рік}$$

Річна потреба в освітлювальній електроенергії 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 1 м^2 площі (для виробничих відділень ливарного цеху, $\rho = 18 \text{ Вт}$) [6];

F – освітлювальна площа, м^2 ;

T_0 – річне число годин освітлювального навантаження.

$$W_0 = 0,001 \cdot 18 \cdot 7920 \cdot 5631 = 802755 \text{ кВт/рік}$$

4.2 Річна потреба ливарного цеху у воді

Витрати води на технічні потреби розраховуються по формулі:

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

де P_m – питомі витрати технологічної води на 1т придатного литва [1], $\text{м}^3/\text{т}$.

$$P_m = 35 \cdot 7300 = 273000 \text{ м}^3$$

Витрати води на побутові потреби, господарсько-питні: 45 л на 1 чоловіка в зміну. Тоді:

$$P_x = 45 \cdot 87 \cdot 2 = 7830 \text{ м}^3$$

Річну потребу цеху в воді визначаємо:

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

$$P = 273000 + 7830 = 280830 \text{ м}^3$$

Також вода в ливарних цехах використовується для охолодження виливків, гасіння залишків вибивки вагранок, грануляції шлаку, охолодження плавильних агрегатів, зволоження формувальної і стрижньової суміші, гідроочищення виливків і ін. Витрата води на охолодження устаткування визначається по вигляду устаткування, його кількості і часу роботи.

4.3 Річна потреба ливарного цеху в стисненому повітрі

У ливарному цеху на стисненому повітрі працюють формувальні, піскодувні і піскострільні машини, пневматичні підйомники, пневмоінструмент, дробеструйні камери і інше устаткування. Розрахунок ведемо на 1т придатного литва 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].

$$Q_{cm} = 800 \cdot 7300 = 9240000 \text{ м}^3.$$

Витрата повітря визначається для кожної одиниці устаткування за паспортними даними залежно від режиму роботи цеху.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Розрахунок капітальних вкладень

Капітальні вкладення при проектуванні цеху визначаються методом розрахунку окремих елементів (по балансовій вартості):

$$K = K_{\text{ус}} + K_{\text{буд}} + K_{\text{у}} + K_{\text{осн}} + K_{\text{інв}} + K_{\text{пр}}, \quad (5.1)$$

де K_{yc} – капіталовкладення в устаткування, грн; $K_{буд}$ – капіталовкладення в будівлі, грн; $K_{осн}$ – капіталовкладення в технологічне оснащення, грн; $K_{інв}$ – капіталовкладення в інвентар, грн; $K_{пр}$ – капіталовкладення в проектування ділянки, грн.

$$K = 4679740 + 94348800 + 9434880 + 159796 + 45656 + 114840 = 108783712 \text{ грн}$$

Капіталовкладення в устаткування розраховуються за формулою:

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

де K_{yt} – капіталовкладення в технологічне устаткування, грн; K_{ye} – капіталовкладення в енергетичне устаткування, грн; $K_{пту}$ – капіталовкладення в підйомно-транспортне устаткування, грн; $K_{км}$ – капіталовкладення у засоби комплексної механізації, грн.

$$K_{yc} = 2282800 + 228280 + 1597960 + 570700 = 4679740 \text{ грн}$$

Капітальні вкладення у технологічне устаткування розраховуємо за формулою:

$$K_{yt} = \sum [C_0 \cdot (1 + \alpha_t + \alpha_c + \alpha_m) \cdot Z], \text{ грн}, \quad (5.3)$$

де C_0 – 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 стрижневий автомат моделі 4509 А:

$$K_{yt} = 90000 \cdot (1 + 0,05 + 0,03 + 0,1) \cdot 2 = 212400 \text{ грн}$$

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_t	α_c	α_m		
Плавильний комплекс	ІЧТМ-6	1	650000	0,1	0,02	0,1	793000	793000
Формувальна лінія	Savelli	1	850000	0,05	0,05	0,1	1020000	1020000
Стержневий автомат	4509 А	1	90000	0,05	0,03	0,1	106200	106200
Установка для приготування суміші	15104 15101	2	42000	0,05	0,05	0,1	50400	100800
Галтовочний барабан	ОБ-90	1	68000	0,05	0,05	0,1	81600	81600
Дробеметна установка	42322М	1	95000	0,05	0,05	0,1	114000	114000
Обдирочно-шліфувальний Верстат	3М363	8	7000	0,05	0,05	0,1	8400	67200
Всього								2282800

Капіталовкладення в енергетичне устаткування приймаємо 10 % від вартості технол-го устаткування:

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

$$K_{ye} = 2282800 \cdot 0,1 = 228280 \text{ грн}$$

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

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

$$K_{\text{пту}} = 2282800 \cdot 0,7 = 1597960 \text{ грн}$$

Капіталовкладення у засоби комплексної механізації і автоматизації приймаємо – 25 % [24] вартості технологічного устаткування

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

$$K_{\text{км}} = 2282800 \cdot 0,25 = 570700 \text{ грн}$$

Капітальні вкладення в будівлі:

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

де $S_{\text{цех}}$ – загальна площа цеху. $S_{\text{цех}} = 5760 \text{ м}^2$; h – висота цеху, $h = 12,6 \text{ м}$; $\Pi_{\text{буд}}$ – вартість 1 м^3 будівлі, $\Pi_{\text{буд}} = 1300 \text{ грн/м}^3$;

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

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

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

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

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

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

$$K_{\text{тех.осн}} = 2282800 \cdot 0,07 = 159796 \text{ грн}$$

Капітальні вкладення у виробничий та господарський інвентар приймаємо 2 % від вартості технологічного устаткування:

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

$$K_{\text{інв}} = 2282800 \cdot 0,02 = 45656 \text{ грн}$$

Капітальні вкладення в проектування лив. цеху визначаємо за формулою:

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

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

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

Результати розрахунків капітальних вкладень зводимо до таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Капіталовкладення ливарного цеху

№ п/ п	Група основних фондів	Розмір капітальних вкладень, грн	Відсотків
1	2	3	4
1	Технологічне устаткування	2282800	3,36
2	Енергетичне устаткування	228280	0,33
3	Підйомно-транспортне устаткування	1597960	2,37
4	Будівлі та споруди	103783680	92,73
5	Ливарна оснастка	159796	0,23

6	Засоби механізації і автоматизації	570700	0,83
7	Виробничий та господарський інвентар	45656	0,05
8	Капітальні вкладення в проектування ливарного цеху	114840	0,1
Всього		108783712	100%

5.2 Техніко-економічна частина

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

$$R_{\text{сп.в}}^{\text{заг}} = \frac{Q_{\text{пр}} \cdot t_{\text{н}}}{\Phi_{\text{др}} \cdot K_{\text{в}}}, \text{чол}, \quad (5.12)$$

де $Q_{\text{пр}}$ – маса придатного литва на річну програму, т; $t_{\text{н}}$ – продуктивність 1 т сплаву, нормо-год; $\Phi_{\text{др}}$ – дійсний фонд часу роботи працівників, год; $K_{\text{в}}$ – коефіцієнт виконання норм, $K_{\text{в}} = 1$.

$$R_{\text{сп.в}}^{\text{заг}} = \frac{7300 \cdot 15}{1747 \cdot 1} = 62 \text{ чол}$$

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

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

де M – прийнята кількість одиниць устаткування, шт; $H_{\text{бр}}$ – число робітників в бригаді, чол; $K_{\text{вик}}$ – 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 1 плавильника на плавильний комплекс, кількість – 1 шт.

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

На заливочному обладнанні – 1 заливщик на одну автоматичну лінію.

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

Кількість робітників на сумішоприготувальному обладнанні:

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

Кількість робітників на стержнеприготувальному обладнанні:

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

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

Повний склад виробничих робітників наводимо в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Виробничі робітники ливарного цеху

Відділення	Професія	Кількість, чол.	Розряди роботи					
			1	2	3	4	5	6
Плавильне	Плавильники підручні	2 1		+		+		
Заливочне	Заливники наладчики-оператори	2 1		+		+		
Сумішеприготувальне	наладчики-оператори	5				+		
Стержнеприготувальне	наладчики-оператори	3			+			
Очисне	Оператори наладчики	16			+			
		2			+			
Всього		32						

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].

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

По міжремонтному обслуговуванню чисельність допоміжних працівників визначається за формулою:

$$R = \frac{R_o}{m_o \cdot K} \cdot S, \text{ чол} \quad (5.16)$$

де, m_o – норма обслуговування одним робітником; R_o – обсяг робіт мех. та електричної частини устаткування РО.

Таким чином:

$$R_o = \frac{Q_n}{100} \cdot R_n, \quad (5.17)$$

де R_n – норматив ремонтних одиниць, $R_n^M = 190$; $R_n^e = 140$ [23].

$$R_o = \frac{73}{100} \cdot 190 = 138,7$$

$$R_o = \frac{73}{100} \cdot 140 = 102,2$$

Для обслуговування обладнання на виробництві використовуємо по дві бригади чергових слюсарів та електриків, які працюють позмінно.

– для чергових слюсарів $m_o = 650$: – для чергових електриків $m_o = 150$:

$$- R_{cn2} = \frac{138,7}{650 \cdot 0,88} \cdot 2 = 0,49;$$

$$- R_{cn3} = \frac{102,2}{150 \cdot 0,88} \cdot 2 = 1,55$$

Приймаємо по 1 робітнику. 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	2	4	Приймаємо згідно технологічної потреби
	Чергові електрики	2	4	
	Наладчики устаткування	2	4	
2.	Верстатники по ремонту устаткування	2	4	5% від $R_{\text{доп}}$
	Електрозварювальники	1	4	1 робітник 6-7 тис.т.потужності
	Пічники (ремонт печей та ковшів всіх видів)	1	4	
3.	Стропальники	2	2	По кількості робочих місць У відповідності до транспорту та числу змін
	Водії відповідного транспорту	2	2	
4.	Лаборанти хім.лаб.	2	2	4% від $R_{\text{доп}}$
5.	Контролери БТК	2	4	6% від виробничих робітників 4% від $R_{\text{доп}}$
	Комірники	2	2	
6.	Прибиральники виробничих приміщень	2	2	Приймаємо 1 прибиральник на зміну на 2500-3000м ² площі цеху
7	Підсобні робітники на очисній ділянці	2	2	4% від $R_{\text{доп}}$
Всього $\Sigma R_{\text{максдоп}}$ 24				

Чисельність керівників і спеціалістів приймається у відсотках від чисельності робітників: $R = 20\% \cdot (32 + 24) = 12 \text{чол}$

Таблиця 5.5 – Посадові оклади 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

Категорія працюючих працівники	Всього чоловік	Відсоток від загальної кількості працюючих
--------------------------------	----------------	--

Виробничі	32	50,58
Допоміжні	24	34,48
Керівники і спеціалісти	12	14,94
Всього	68	100 %

5.3 Розрахунок фонду заробітної плати працівників

Запланований фонд заробітної плати (ФЗП) виробничих виробників за рік визначається за формулами:

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

де $L_{\text{зод}}$ – середньо-годинна тарифна ставка робітників

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

де Z – номенклатура допоміжних робітників; $L_{\text{зод}}$ – годинна тарифна ставка робітника відповідного розряду; $R_{\text{спп}}$ – кількість виробничих робітників відповідного розряду; $R_{\text{сп}}^{\text{зар(д)}}$ – загальна кількість допоміжних робітників; K_y – коефіцієнт, який враховує доплати за умови праці; $\Phi_{\text{др}}$ – дійсний річний фонд часу роботи одного робітника, год; $K_{\text{пр}}$ – коефіцієнт премії робітникам, $K_{\text{пр}} = 0,15$ [28]; $K_{\text{д}}$ – доплата за фактично вироблений час, $K_{\text{д}} = 0,075 \dots 0,08$; $K'_{\text{д}}$ – додаткова заробітна плата за не відроблений час, $K'_{\text{д}} = 0,08 \dots 0,1$ [27].

$$3_{\text{міс}}^c = \frac{\Phi_{\text{міс}}^c}{R_{\text{сп}}^{\text{зар(д)}} \cdot M}, \quad (5.20)$$

де M – середня кількість місяців роботи виробничих (допоміжних) робітників, $M = 11,2$ міс.

Середньо-годинна тарифна ставка допоміжних робітників:

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

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

Фонд заробітної плати 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 1 допоміжного робітника:

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

Середньо-годинна тарифна ставка виробничих робітників:

$$L_{\text{зод}} = \frac{(42 \cdot 2 + 46 \cdot 19 + 49 \cdot 11)}{32} = 46,8 \text{ грн/год}$$

Фонд заробітної плати виробничих робітників:

$$\Phi_o^{c(o)} = 46,8 \cdot 32 \cdot 1747 \cdot (1 + 0,15 + 0,08 + 0,1) = 3479688,5 \text{ грн.}$$

Середньо-місячна заробітна плата виробничих робітників:

$$3_{\text{міс}}^c = \frac{3479688,5}{32 \cdot 11,2} = 9708,9 \text{ грн.}$$

Плавильне відділення $L_{\text{зод}} = \frac{2 \cdot 49 + 1 \cdot 42}{3} = 46,7$ 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 фонд заробітної плати без робітників плавильної ділянки:

$$\Phi_o^c = 3479688,5 - 325523,7 = 3154164,8 \text{ грн.}$$

Сумарний фонд заробітної плати:

$$\sum \Phi_o^c = 3479688,5 + 2537272,9 + 117600 \cdot 11,2 = 7334081,4 \text{ грн.}$$

Витрати пов'язані з утриманням і експлуатацію устаткування:

$$\sum P_o = (1,0 \dots 3,5) \cdot \sum \Phi_o^c = 3,5 \cdot 7334081,4 = 25669284 \text{ грн.}$$

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

$$T_{\text{річ}} = Q_n \cdot t_n$$

де $T_{\text{річ}}$ – трудомісткість річної виробничої програми цеху; t_n – трудомісткість однієї т литва, нормо-год, $t_n = 15$ нормо-год.

$$T_{\text{річ}} = 7300 \cdot 15 = 108000 \text{ нормо-год.}$$

$$t_y = \frac{25669284}{108000} = 237,7 \text{ грн./нормо-год.}$$

Процент цехових витрат приймаємо по даних ПрАТ “Металит” –

$$K \sum_{\text{цех}} \% = 176 \% .$$

5.4 Калькуляція собівартості відливків

Визначаємо цехову собівартість тони рідкого металу по сплаву СЧ 20 за формулою:

$$C_{\text{ц}} = M + Z_o + Z_d + Z_{\text{відр}} + P_o + K_{\text{ц}}, \quad (5.22)$$

де M – вартість металевих шихти та технологічного палива, грн; Z_o – основна з/п виробничих виробників плавильної ділянки, грн; Z_d – додаткова з/п виробничих робітників, грн; $Z_{\text{відр}}$ – 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 на одну тонну рідкого металу

$$C_{\text{ц}} = 8773,8 + 845 + 34,4 + 6,2 + 8,9 + 713,1 + 1315,6 = 11697 \text{ грн.}$$

Цехову собівартість 1т придатних відливків сплаву СЧ 20 визначаємо за формулою:

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

де Z_o – основна заробітна плата виробничих виробників плавильної ділянки, грн; Z_d – додаткова заробітна плата виробничих робітників без плавильної ділянки, грн; $Z_{\text{відр}}$ – відрахування в соціальні фонди, грн; P_o – витрати на утримання і

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

$$C_{ц} = 13744,7 + 333,5 + 60 + 86,6 + 2852,4 + 5607,2 = 23463,8 \text{ грн.}$$

Вартість шихтових матеріалів по сплаву СЧ 20:

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

де a_p – норма витрати i -го матеріалу на 1т придатного литва, кг; C_m – ціна 1 кг i -го матеріалу; $K_{тр}$ – коеф., який враховує транспортно-заготівельні витрати, $K_{тр}=1,1$; z – номенклатура шихтових матеріалів.

$$M_{ш} = (661,50 \cdot 9 + 128,31 \cdot 6,63) 1,1 + (260,19 \cdot 7,57) \cdot 1,02 = 9493,6 \text{ грн.}$$

Основна заробітна плата робітників плавильної дільниці:

$$Z_0 = \frac{\Phi_{\text{опл}}}{Q_{p.m}}$$

де Φ – основний фонд заробітної плати виробничих робітників плавильного цеху, грн;
 $Q_{p.m.}$ – маса рідкого металу на річну програму, т.

$$Z_{o.пл} = \frac{325523,7}{9457,6} = 34,4 \text{ грн.}$$

$$Z_{o.без.пл} = \frac{3154164,8}{9457,6} = 333,5 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата виробничих робітників плавильної дільниці:

$$Z_d = Z_o \cdot (K_d + K_{d1}), \quad (5.25)$$

$$Z_{d.пл} = 34,4 \cdot (0,08 + 0,1) = 6,2 \text{ грн.}$$

$$Z_{d.без.пл} = 333,5 \cdot (0,08 + 0,1) = 60 \text{ грн.}$$

Відрахування на соціальне страхування виробничих робітників:

$$Z_{\text{відр}} = (Z_o + Z_d) \cdot \frac{K_c}{100}$$

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

$$Z_{\text{відр.пл}} = \frac{22}{100} \cdot (34,4 + 6,2) = 8,9 \text{ грн.}$$

$$Z_{\text{відр.безпл}} = \frac{22}{100} \cdot (333,5 + 60) = 86,6 \text{ грн.}$$

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

$$P_0 = t_y \cdot \frac{t_{пл}}{1000} \cdot 1000, \quad (5.26)$$

де t_y – витрати на утримання і експлуатацію устаткування, яке припадає на 1т рідкого металу (придатного литва), грн/т; $t_{пл}$ – трудомісткість плавильної ділянки на 1т рідкого металу (придатного литва), $t_{пл}=0,2 \cdot t_n=0,2 \cdot 15 = 3,0$

$$P_0 = 237,7 \cdot \frac{3,0}{1000} \cdot 1000 = 713,1 \text{ грн.}$$

$$P_0 = 237,7 \cdot \frac{12}{1000} \cdot 1000 = 2852,4 \text{ грн.}$$

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

$$P_0 = \frac{\%K_{ц}}{100} \cdot (3_0 + P_0) \quad (5.27)$$

$$K_{ц,р.м.} = \frac{176}{100} \cdot (34,4 + 713,1) = 1315,6 \text{ грн.}$$

$$K_{ц,пр.л} = \frac{176}{100} \cdot (333,5 + 2852,4) = 5607,2 \text{ грн.}$$

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

Таблиця 5.7 – Планова калькуляція 1т рідкого металу сплаву СЧ 20

№ рядка	Найменування статей	Кількість, кг	Ціна, грн/кг	Сума, грн.
1	Чавун ливарний Л5 або Л6	661,50	9	5953,5
	Лом сталевий (Вид 21)	128,31	6,63	850,7
	Відходи власного виробництва	260,19	7,57	1969,6
	Металозавалка	1050		9493,6
2	Угар і безповоротні втрати	50		
3	Вихід рідкого металу	1000		9493,6
4	Паливо технологічне електроенергія	500	1,69	845
5	Основна заробітна плата робітників плавильної ділянки			34,4
6	Додаткова заробітна плата виробничих робітників			6,2
7	Відрахування в соціальні фонди			8,9
8	Витрати на утримання і експлуатацію устаткування			713,1
9	Загальноцехові витрати			1315,6
10	Цехова собівартість 1т рідкого металу			12416,8

Таблиця 5.8 – Планова калькуляція 1т придатних відливок сплаву СЧ 20

№ рядка	Найменування статей	Кількість, кг	Ціна, грн/кг	Сума, грн.
---------	---------------------	---------------	--------------	------------

1	Рідкий метал	1335	12,4	16554
2	Відходи:			
	Ливники	262	6,00	1572
	Зливи і сплески	33	-	-
	Брак	40	7,57	302,8
3	Придатне литво	1000		14679,2
4	Основна заробітна плата виробничих робітників цеху без робітників плавильної дільниці			333,5
5	Додаткова заробітна плата без плавильної дільниці			60
6	Відрахування на соціальне страхування			86,6
7	Витрати на утримання і експлуатацію устаткування			2852,4
8	Загально-цехові витрати			5607,2
9	Цехова собівартість 1т придатного литва			24398,3

Техніко-економічні показники цеху заносимо в таблицю 5.9.

Фондовіддача розраховується за формулою:

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

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

Вартість річної виробничої продукції цеху з врахуванням позавиробничих витрат і прибутку за даними ПрАТ “Металит”:

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

$$B_{прп} = 1,3 \cdot 24398,3 = 31717,8 \text{ грн.}$$

Тоді:

$$f_0 = \frac{31717,9 \cdot 7300}{108783712 - 114840} = 2,13 \text{ грн./грн.}$$

Таблиця 5.9 – Техніко-економічні показники ливарного цеху

№ п/п	Найменування показників	Одиниця виміру	Величина показників
1	Річний випуск литва	Т	7300
2	Кількість працюючих в цеху:		
	- виробничих робітників	чол	32
	- допоміжних робітників	чол	24
	- керівників і спеціалістів	чол.	12
3	Фонд заробітної плати:		
	- виробничих робітників	грн	3983386,8
	- допоміжних робітників	грн	2202687,5
	- керівників і спеціалістів	грн.	1003184
4	Собівартість 1т рідкого металу	Грн.	12416,8
5	Собівартість 1т придатного литва	Грн.	24398,3
6	Капіталовкладення всього, в тому числі і технологічного устаткування	Грн.	108710782
		грн.	2282800
7	Загальна площа цеху	м ²	5760
8	Випуск литва на 1-го виробничого робітника	т/чол.	225

9	Середня заробітна плата на одного виробничого робітника	Грн.	9708,9
10	Трудомісткість 1т придатного литва	н-год/т	15
11	Зйом з 1м ² загальної площі	т/м ²	1,25
12	Фондовіддача	грн/грн	2,13

Виходячи з отриманої фондовіддачі та основних техніко-економічні показники ливарного цеху показників, спроектований цех – рентабельний.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розроблено проект ливарного цеху сірого чавуну річною продуктивністю 7 300т придатного литва з дослідженням впливу модифікуючої суміші на структурно-фазовий стан і властивості чавуну з пластинчастою формою графіту.

Обґрунтовано вибір місця розташування ливарного цеху. Розраховано виробничу програму ливарного цеху, фондів часу роботи обладнання, робітників та основних відділень цеху, а також шихту та баланс металу на 1 т придатного литва. Розроблено план ливарного цеху, визначено площі допоміжних відділень, складів та підібрано необхідне обладнання. Обґрунтовано тему магістерської роботи, поставлена мета та задачі.

В технологічній частині розраховано ливниково-живильну систему та розроблено технологічний процес виготовлення виливка – "Ступиця".

Розроблено технологічні креслення модельного комплексу верху, низу, стержневого ящика та форми в зборі.

В науковій частині виявлено, що ефект модифікування визначається способом отримання модифікатора, хімічним складом, розміром часток, хімічною спорідненістю з розплавом і іншими чинниками. Особливе місце серед сучасних методів модифікування чавунів, займає інокулююче модифікування чавунів ультра- і нанодисперсними порошками, яке дозволяє отримувати виливки з однорідним розподілом структурних складових і підвищеним комплексом властивостей.

Досліджений вплив модифікуючої суміші на основі ультрадисперсних частинок TiO₂, ZrO₂ і кріоліту у кількості 0,3 % від маси розплаву на структурно-фазовий стан і фізико-механічні властивості сірого чавуну з пластинчастою формою графіту. Показано, що структурно-фазовий стан та розподіл пластинчастого графіту в сірому чавуні залежить від умов кристалізації, швидкості охолодження, та хімічного складу.

Металографічним аналізом зразків виявлено характер структуроутворення сірого чавуну в процесі виплавки. Показано, що матриця сірого чавуну до і після модифікування має ферито-перлітну структуру з включеннями графіту пластинчастої форми. Дослідження структурно-фазового стану сірого чавуну

СЧ20 показали, що модифікування сірого чавуну змінює розподіл, розмір та об'ємну частку пластинчастого графіту та фосфідної евтектики.

Встановлено, що після модифікування у сірому чавуні розподіл пластинчастого графіту має колоніальний вигляд, а довжина графіту зменшилася в 2 рази. При цьому, зменшується діапазон об'ємної частки пластинчастого графіту на 5 %, що обумовлює збільшення однорідності розподілення колоній графіту.

Виявлено, що крім основних фаз в сірому чавуні присутня фаза сульфиду марганцю, що утворює неметалеві включення, які ідентичні за розміром і характером розподілу в твердому розчині матриці модифікованих та немодифікованих зразках. Показано, що після модифікування підвищується дисперсність ферито-цементитної структури перлітних зерен на 0,24 мкм. Фосфідна евтектика в не модифікованих чавунних зразках розташована у вигляді окремих зерен, а у модифікованих зразках – має сітчастий вигляд.

Показано, що основний фазовий склад зразків до і після модифікування ідентичний за складом і вмістом домішок. Тип дислокаційної структури у вихідному чавуні та модифікованому чавуні МС хаотичний. Модифікування МС сірого чавуну сприяє зменшенню скалярної щільності дислокацій з $1,17 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ до $0,32 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$.

Дослідження фізико-механічних характеристик показали, що модифікуючої суміші на основі ультрадисперсних частинок TiO_2 , ZrO_2 знижує межу міцності на 13,5 %, але при цьому межа текучості, пластичність та твердість чавуну практично не змінюються. Керування вмістом модифікуючої суміші дозволяє отримувати виливки з різним комплексом властивостей сірого чавуну

В енергетичній частині проведено розрахунки потреби ливарного цеху в технологічній, силовій та освітлювальній електроенергії, а також розраховано річну потребу у воді, стисненого повітря пари та палива.

В економічній частині розраховано основні техніко-економічних показників ливарного цеху та заробітної плати, а також, собівартість 1 т. рідкого та придатного литва.

Список використаних джерел

1. Н.А. Рибальченко. Проектирование литейных цехов. Харьков: Издательство Ордена трудового Красного Знамени Государственного университета им. А.М. Горького, 1965. – 307с.
2. Логвинов И. З. Проектирование литейных цехов. Минск: Высшая школа, 1975. – 320с.
3. 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.
4. В.К. Могилев, О.И. Лев. Справочник литейщика. – М.: Машиностроение, 1988. – 271с.
5. Проектирование машиностроительных цехов и заводов: Справочник (под ред. Е. С. Ямпольского) – М.: Машиностроение, 1984. – 414с.
6. Туманський Б. Ф. Проектування ливарних цехів. – К.: НМКВО, 1992. – 188с.
7. Сазонов В.Я. Справочник по литейному оборудованию. М.: Машиностроение, 1985. – 320с.
8. Основы проектирования литейных цехов и заводов / под ред. Б. В. Кнорре. – М.: Машиностроение, 1985. – 320с.
9. Сумцов В. П. Устаткування ливарних цехів. – К: ІСДО, 1993. – 552с.
10. Оборудование литейных цехов / П. Н. Аксенов. – М.: Машиностроение, 1977. – 510с.
11. Зейгер И. Б. Оборудование литейных цехов. – М.: Высш. школа, 1980. – 368с.
12. Методические указания к дипломному проектированию для студентов специальности 0502 / И. Н. Москалев, А. П. Владимиров, В. С. Миронов. – Кіровоград: КИСМ, 1985. – 75с.

13. 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.

14. В. М. Шестопал, Я. Т. Поляков. Технология и оборудование литейного производства. – М.: ВИНТИ, 1979. – 271с.

15. Москалев І. Н. Ливарні сплави та їх плавка: Навчальний посібник. – К.: НМКВО, 1993. – 368с.

16. Титов И. Д., Степанов Ю. А. Технология литейного производства. – М.: Машиностроение, 1966. – 271 с.

17. Могилев В.К., Лев О.И. Справочник литейщика. – М.: Машиностроение, 1988. – 271 с.

18. Гиршович Н.Г. Справочник по чугуному литью. / Н. Г. Гиршович. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1978. – 758 с.

19. Куликов И. С. Десульфурация чугуна / И. С. Куликов. – Москва, 1962. – 306 с.

20. Дюдкин Д.А. Производство стали. Том 2. Внепечная обработка жидкого чугуна / Д. А. Дюдкин, В. В. Кисиленко. – М.: “Теплотехник”, 2008. – 400 с.

21. Воронова Н. А. Десульфурация чугуна магнием / Н. А. Воронова – М.: “Металлургия”, 1980. – 239 с.

22. Сабірзянов Т.Г.Теплотехніка ливарних процесів / Т.Г. Сабірзянов, В.М. Кропівний. – Кіровоград: КНТУ, 2005. – 402 с.

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

24. 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.

25. Маслов А.Ф. Экономика, организация и планирование литейного производства. Учебн. Пос. Для машиностроительных техникумов/ А.Ф. Маслов. - М.: Машиностроение, 1975. – 325 с.

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

27. 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.

28. 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.

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

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

31. 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.

32. Богачев И.Н. Металлургия чугуна, М., Машгиз. 1962.-542 с.

33. Бунин К.П., Таран Ю.Н. Строение чугуна. - М. - Metallurgia. 1972. - 170 с.

34. Генералов С.Г., Вихлянцев А.А., Покровский В.Ю., Мельников Ю.И. Влияние химического состава чугуна на брак отливок гильз цилиндров по газоусадочным дефектам. //Литейное производство.-1980.- №2.- С. 33.

35. Гиршович Н.Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. М.: Машиностроение, 1966.- 563 с.

36. Болдырев Д.А., Давыдов СВ., Сканцев В.М. Основные принципы экономической эффективности внедрения новых типов модификаторов в

чугунолитейном производстве // Заготовительные производства в машиностроении. 2007. - №9. - С 9-16.

37. Жуков А.А. Конодная номограмма для расчета состава, структуры и прочностных: свойств перлитных чугунов.- Литейное производство, 1959, №1. - С. 36-41.

38. Жуков А.А. Геометрическая термодинамика сплавов железа. - М.: Металлургия, 1979,- 232 с.

38. Жуков А.А. Ликвация кремния в чугуне и построение структурных диаграмм // Диссертация на соискание кандидатской степени.- М. ЦНИИТмаш, 1959.-346 с.

39. Жуков А.А., Давыдов СВ., Добровольский И.И. Температурная зависимость влияния меди и алюминия на склонность чугуна к графитизации // Литейное производство, — 1999. №5. - С. 17-19;

40. Калинина О.Н.. Панкин В.Ф. Математическая статистика. - М. Высшая школа, 1994, - 336 с.

41. Колесниченко А.Г., Доценко Г.С., Резова В.Н. Влияние легирующих элементов на механические свойства, микроструктуру и износостойкость чугуна.// Литейное производство.- 1987,- №9.- С. 26.

42. Кульбовский И.К. Методы определения оптимального легирования и модифицирования синтетического чугуна. // Литейное производство.- 1986.-№8;- С. 5-7.

43. Кульбовский И.К. Прогнозирование свойств и структуры отливок, из чугуна на основе математических моделей и расчетов на ЭВМ// Тез. докл. Всесоюзн. научи техн. конф.- Андропову 1987,- С.79-80.

44. Кульбовский И.К. Разработка теоретических основ и оптимальной технологии получения отливок из экономнолегированного и модифицированного синтетического чугуна с заданной структурой. Автореферат докторской диссертации.- Брянск: БИТМ, 1994, - 40 с.

45. Кульбовский И.К. Факторы, влияющие на форму графита в чугунах. // Литейное производство.-1991.- №2.- С. 8.
46. Кульбовский И.К., Добровольский И.И., Давыдов С.В. Исследование влияния химического состава, механических свойств и параметров структуры антифрикционного чугуна втулок и поршневых колец судовых дизелей большой мощности на их износостойкость//Антифрикционные и износостойкие чугуны: Тез. докл. междунар. научн.-техн. конф.- Винница. 1992.-С.36.
47. Курагин О.В., Соловьев М.П., Михайлов Д.П. Продолжительность действия графитизирующих модификаторов // Известия вузов. Черная металлургия. -1992. №3.-0.56-58.
48. Машиностроение.. Энциклопедия. Том П-2. Стали. Чугуны // Под ред. Г.Р.Мухина; А/И.Белякова, Н.Н-Александрова: М-:Машиностроение, 2000.-783с.
49. Мельников В.П., Гамза А.П. Механические свойства чугуна для крупных отливок цилиндрической группы. // Литейное производство 1990:- №3:- С. 32.
50. Сильман Г.И. Чугуны. Рекомендации по выбору вида и марки чугуна для литых деталей машин и оборудования // Брянск, Изд. БГИТА, 1999. - 56 с.
51. Снежной Р.Л. Интенсификация процессов затвердевания и регулирования структуры и свойств чугунных отливок. Докл. дисс. - М.: МВТУ им. Баумана, 1981.-345 с.
52. Справочник по чугунному литью, - М.: Машиностроение, 1978.-758 с.
53. Тупатилов Е.А., Кульбовский И.К. Разработка оптимальной технологии модифицирования отливок из чугуна // Сб. информ. материалов междунар. научно-техн. конф. Часть П.- Брянск: Изд-во БГИТА, 2000.- С. 86-87.
54. Филинков М.Д., Гуревич Ю.Г., Фраге Н.Р., Афонаскин А.В. Повышение механических свойств чугуна в отливках при модифицировании. // Литейное производство.-1985.-№4.-С. 11-12.
55. Черепов А.А., Михальков Н.С. Влияние бора на структуру и свойства чугуна в толстостенных отливках.// Литейное производство 1981.- №3.- С. 5-6.

56. Чугун. Под ред. А.Д. Шермана и А.А. Жукова. М.: Металлургия. – 1991.-576 с.
57. Гуляев А.П. Металловедение. - М.: Металлургия, 1977.- 647с.
58. Гуляев Б.Б. Теория литейных процессов. - М.: Машиностроение, 1976 - 327 с.
59. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. - М.: Машиностроение, 1990,- 528 с.
60. Савуляк, В. І. Економічні технології високоміцних графітізованих сплавів заліза: монографія / В. І. Савуляк, О. Б. Янченко. – Вінниця: ВНТУ. 2014. 160 с.
61. Марукович, Е. И. Механизм формообразования графита при кристаллизации чугуна / Е. И. Марукович, В. Ю. Стеценко // Литейное производство. – 2000. № 11. – С. 18-19.
62. Рипоза, И. Центры кристаллизации графита в серых чугунах / И. Рипоза, М. Чизамера, Т. Скаланд, М. И. Онсойен // Elkem ASA, Foundry Products. – 2006. – С. 24-37.
63. 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.
64. 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.
65. Жидецький В.Ц. Практикум із охорони праці. Навчальний посібник / Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Сторожук В.М. – Львів, Афіша, 2000. – 352 с.
66. 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.