

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 високоміцного чавуну річною продуктивністю 7 500т придатного литва з дослідженням особливостей отримання магнієвих чавунів з вермикулярною 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 _____ Сергій ЦИРУЛЕНКО

Науковий керівник: _____ Олександр КУЗИК

Консультант:
з економічної частини _____ Наталія СИСОЛІНА

Допустити до захисту: _____ Олександр КУЗИК

Рецензент: _____

ВСТУП

Високі вимоги до деталей та параметрів машин та механізмів, діджиталізація та конкурентоспроможність підприємств в умовах інноваційної економіки, потребують розробку нових видів матеріалів з більш високими фізико-механічними властивостями та створення ефективних технологій виробництва виливків з високим комплексом властивостей.

Високоміцні чавуни вермикулярною формою графіту, за своїми технічними властивостями залишаються є одними з перспективних конструкційних матеріалів для широкої номенклатури відповідальних виливків в галузі металургії та машинобудуванні.

Специфічна «вермикулярна» форма графіту дає можливість поєднувати високі міцнісні та теплофізичні властивості, завдяки чому даний чавун є одним із найперспективніших конструкційних матеріалів для деталей виготовлених методом лиття, що працює в умовах підвищених температурах, високих теплових і механічних навантажень.

Відомі на сьогодні способи виплавлення чавуну з вермикулярною формою графіту не дають стабільних результатів отримання переважної більшості вермикулярного графіту. Оскільки, до технології виплавки даного чавуну ставляться особливі вимоги до початкового розплаву, способу введення добавок, модифікування і ретельного контролю всіх операцій. Найбільш ефективним є обробка рідкоземельними металами, яка забезпечує стабільне утворення вермикулярного графіту і комплекс заданих властивостей чавуну. Зазначимо, що рідкоземельні метали використовують у вигляді складних лігатур, що містять рідкоземельні метали, які дозволяють знизити вартість модифікатора, підвищити ступінь засвоєння рідкоземельних елементів, а також забезпечує екологічність технологічного процесу.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Проектування ливарного цеху високоміцного чавуну

Проектування та вибір місця розташування ливарного цеху необхідно згідно Правил охорони праці у ливарному виробництві (заводів, цехів, дільниць). Для роботи ливарного цеху необхідна наявність розвиненої виробничої та невиробничої інфраструктури. Тому враховуємо наявність та близькість автомобільних магістралей, залізничних під'їздів, енергопостачання, газопроводу, палива, води, та інших ресурсів. Сировину та готову продукцію перевозитимуть залізничним та автомобільним транспортом. Деякі види сировини можна транспортувати по трубопроводах а формувочну і стержневу суміш постачати залізницею. Через велике споживання електричної енергії і води, необхідно постачати воду як технічну так і питну з розташованих свердловин за межами заводу. Енергопостачання буде здійснюватися через підстанцію і цехові трансформатори, а розподіл – радіальними і магістральними схемам напругою ел. мережі цеху 380/220В.

Значним фактор є врахування екологічних проблем, та "рози вітрів"бажане розташування з підвітряного боку від міста. Прийнявши ці та інші фактори розташування нового ливарного цеху є доцільним.

Ливарні цеха призначені для випуску певного виду продукції, річна кількість продукції якого складається з його виробничої програми: кількості відливків на виріб та їх кіл-ть на програму; відсоток бракованих відливків; чорнова вага одного виливка та маса ливників на один виливок. На основі виробничої програми виконують необхідні розрахунки при складанні відомостей для розрахунку відділень цеху та ін..

За завданням на магістерське проектування роботи продуктивність цеху складає 7500 тон придатного литва на рік. Розраховуємо виробничу програму на ПК за допомогою програми "Proekt", розрахунки якого наведено в Додатку А [3].

На основі аналізу виробничої програми встановлюємо режим роботи цеху. Оптимальним є паралельний режим роботи в дві зміни, при цьому всі

технологічні операції виконують одночасно на різних ділянках цеху [4]. Таким чином, ливарний цех відноситься до серійного типу виробництва. За встановленим режимом роботи визначаємо фонди часу. Календарний фонд часу будемо визначати 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 визначаємо 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 – кіль-ть тижнів за рік;

$T_{св}$ – кіль-ть святкових днів, $T_{св} = 11$;

$T_{пд}$ – кіль-ть передсвяткових днів, тривалість робочого дня при цьому зменшується на одну год., $T_{пд} = 5$.

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

Дійсний річний фонд часу роботи устаткування або робочого місця визначаємо за формулою:

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

де Φ_n – номінальний фонд часу;

S – кіль-ть змін;

f – простій устаткування, що визначається у відсотках від Φ_n [5].

Визначаємо дійсний фонд часу роботи для прикладу плавильного устаткування, решту розраховуємо аналогічно та зводимо в таблицю 1.1:

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

Таблиця 1.1 – Номінальний та дійсний фонди часу роботи обладнання

Вид обладнання	Номінальний фонд часу, Φ_n , год	Кількість змін	Регламентовані втрати, %	Дійсний фонд часу, $\Phi_{дн}$, 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 визначаємо за формулою:

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

де C - втрати часу пов'язані з невиходом на роботу з поважних причин, $C=10...12\%$.

Для робітників, які безпосередньо зайняті в процесі виготовлення відливок:

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

Для інших робітників:

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

Зазначимо, що дійсний фонд часу робочого місця приймаємо як номінальний фонд, а отримані дані використаємо для визначення кількості технологічного обладнання.

1.2 Розрахунок відділень ливарного цеху

1.2.1 Сплав та розрахунок його балансу.

Згідно завдання магістерської роботи в ливарному цеху виготовляють виливки з ВЧ 450 ДСТУ 3925-99, властивості та хімічний склад якого наведено в таблиці 1.3, 1.4

Таблиця 1.3 – Хім. склад високоміцного чавуну ВЧ-450

Марка сплаву	Вміст хімічних компонентів у сплаві, %				
	C	Si	Mn	S	P
ВЧ 450	2,7...3,8	1,9...2,9	0,2...0,6	0,02	0,1

Таблиця 1.4 – Мех. властивості високоміцного чавуну ВЧ-450

Марка сплаву	Тимчасовий опір розриву, МПа	Відносне видовження, %	Твердість НВ, МПа
ВЧ-450	450	10	140...225

Масу металевої завалки сплаву ВЧ-450 для плавильних печей розраховуємо за формулою.

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

де $\Pi, \text{Л}, \text{Б}$ –придатне литво, ливники та брак, відповідно, т;

С – зливи, сплески, згідно виробничих даних, %;

У – угар і безповоротні втрати, згідно виробничих даних, %.

$$M = \frac{100 \cdot (7500,56 + 1327,1 + 291,8)}{100 - 3 - 5} = 10238,7 \text{ т.}$$

Відносний вміст придатного литва, виливників, браку визначаємо за формулами:

$$\text{Придатного литва} \quad n = \frac{\Pi}{M} \cdot 100\%, \quad (1.6)$$

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

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

де $\Pi, \text{Л}, \text{Б}$ – ваги придатного литва, ливників та браку відповідно, т ;

$$n = \frac{7500,56}{10238,7} \cdot 100 = 75,14 \%$$

$$\text{л} = \frac{1327,1}{10238,7} \cdot 100 = 13,01 \%$$

$$\text{б} = \frac{291,8}{10238,7} \cdot 100 = 2,85 \%$$

Угар, зливи та сплески визначаємо за формулою, т:

$$\frac{Y}{100} \cdot M, \quad (1.9)$$

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

де Y – угар, %;

C – зливи та сплески, %.

Для сплаву ВЧ-450:

$$Y = \frac{5}{100} \cdot 10238,7 = 511,9 \text{ т}$$

$$C = \frac{3}{100} \cdot 10238,7 = 307,16 \text{ т}$$

Масу рідкого металу визначаємо за формулою, т:

$$Q_{pm} = M - Y - C, \quad (1.11)$$

$$Q_{pm} = 10238,7 - 511,9 - 307,16 = 9419,64 \text{ т}$$

Баланс металу сплаву ВЧ 450 зводимо в таблицю 1.5.

Таблиця 1.5 – Баланс сплаву високоміцного чавуну ВЧ-450

Компонент	Вміст	
	%	т
Придатне литво	75,14	7500,56
Ливнички	13,01	1327,1
Брак відливників	2,85	291,8
Зливи і сплески	3	307,19
Угар та безповоротні втрати	5	511,9
Всього:	100	10238,7

1.2.1 Плавильне обладнання.

Для плавлення високоміцного чавуну вибираємо тигельну індукційну піч промислової частоти, ККД яких складає 70...80 %, тому обираємо плавильний комплекс MFTGe 5,00 [6] (рис 1.1).



- 1 - піч; 2 –ковпак витяжний; 3 – система зважування; 4 – захист; 5 – гідравліка; 6 – панель керування; 7 – перетворювач частоти струму; 8 –конденсатори; 9 – трансформатор; 10 – водяне охолодження; 11 – повітряне охолоджувач; 12 – загрузочний пристрій; 13 – система обезпилювання 14 – аварійна яма

Рисунок 1.1 – Загальний вид комплексу MFTGe 5,00

Електропід індукційна призначена для плавки й перегріву чавуну, а також для одержання синтетичного чавуну на основі відходів металообробної промисловості. Технічні характеристики печі наведено в табл. 1.6.

Таблиця 1.6 – Технічні характеристики індукційної пічки

Характеристика	Значення	Одиниці виміру
Ємність електропечі	5	т
Споживана потужність з мережі	3000,0	кВт
Частота струму	250	Гц
Номинальна напруга живильної мережі	7000-11000	В
Швидкість плавлення й перегріву	5	т/год
Витрата холодної води	2	м ³ /год
Кількість печей	2	-
Діаметр тигля в світлі	865	мм
Глибина тигля в світлі	1660	мм
Потужність відводу тепла	1100	кВт
Циркуляційна кількість	52	м ³ /г
Тиск насоса	6,5	бар
Температура подачі	20	°С
Температура відведення при максимальній темп.	58	°С
Об'єм охолоджуючого контуру	4	м ³
Температура повітря	30	°С
Рівень звукового тиску	65	db
Потрібна кількість води	2	м ³ /год
Потрібний тиск на вході	2	бар
Температура підводу макс.	25	°С
Відвідна потужність	17	кВт
Циркуляційна кількість	22	м ³ /год

Індукційна піч зарекомендували себе як надійна та практична плавильна установка, а рівномірність розподілу температури розплаву і його гомогенність щеї додаткові переваги. Плавлення металу відбуваються за рахунок протікання струмів, що виникають від електромагнітного поля індуктора. При цьому виникають також електродинамічні сили, які створюють інтенсивне перемішування металу, що забезпечує рівномірність температури і однорідність складу рідкого металу. У процесі розплавлення металу автоматично підтримується на індукторі напруга заданої величини.

Кількість плавильних агрегатів визначаємо за формулою:

$$n = \frac{M_{\text{заг}} K_n}{\Phi_{\text{д}} g}, \quad (1.11)$$

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

K_n – коефіцієнт, що враховує нерівномірність роботи печей, $K_n = 1,2$;

$\Phi_{\text{д}}$ – дійсний фонд плавильного обладнання, $\Phi_{\text{д}} = 3734$ год/рік;

g – продуктивність комплексу, т/год.

$$n = \frac{10238,7 \cdot 1,2}{3734 \cdot 4,5} = 0,73$$

Уточнення кількості печей плавильних агрегатів, враховуючи коефіцієнт завантаження визначаємо за формулою:

$$n_1 = \frac{n}{K_3}, \quad (1.12)$$

де K_3 – коефіцієнт завантаження обладнання плавильного

$$n_1 = \frac{0,73}{0,75} = 0,97 \approx 1 \text{ шт.}$$

Таким чином, приймаємо 2 плавильні комплекси MFTGe 5,00.

1.2.2 Розрахунок ковшів.

Транспортування рідкого металу виконуємо крановими чайниковими ковшами місткістю 1000 кг. Кількість необхідних ковшів визначаємо за формулою :

$$K_{\text{заг}} = K_0 + 0,15 K_0 + 0,3 K_0 \quad (1.13)$$

де K_0 - розрахункова кількість ковшів на одну автоматичну лінію.

$$K_{\text{заг}} = 2 + 0,15 \cdot 2 + 0,3 \cdot 2 \approx 2,9 \text{ шт}$$

Приймаємо 3 барабанні ковші з урахуванням запасних і, що на ремонті (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Вид загальний барабанного ковша для чавуну

Перед виплавленням сплаву, необхідно розрахувати шихту. Склад шихти при плавці високоміцного чавуну в індукційній електропечі наведено в таблиці 1.10. Шихту розраховуємо методом підбору згідно рекомендацій [6], таблиця 1.8. Дані балансу металу на одну тону придатного литва зводимо до таблиці 1.10.

Таблиця 1.10 – Розрахунок шихти для високоміцного чавуну ВЧ450-10 при плаві в MFTGe 5,000 (DISA)

№ п/п	Найменування матеріалу	Марка	Вміст матеріалу в шихті, кг	Вміст матеріалу в шихті, %	Масова частка елементу, %													
					C		Si		Mn		S		P		Cr		Mg	
					У мат., шихті	У шихті	У мат., шихті	У шихті	У мат., шихті	У шихті	У мат., шихті	У шихті	У мат., шихті	У шихті	У мат., шихті	У шихті	У мат., шихті	У шихті
1	Чавун переробний	ПЛ(ПЛЗ) ГР2 Клас А, Кат.1 ГОСТ 805-95	252,1	15	4	0,6	0,5	0,07	0,4	0,06	0,02	0,003	0,05	0,00	0,01	0,00	-	-
2	Брухт сталевий	Вит 10 ДСТУ 4121-2002	697,98	41,53	0,2	0,08	0,2	0,08	0,5	0,20	0,02	0,008	0,04	0,01	0,1	0,04	-	-
3	Повернення власного виробництва	ВЧ450-10 ДСТУ 3925-99	630,25	37,5	3,5	1,31	2,7	1,01	0,5	0,18	0,015	0,005	0,04	0,01	0,06	0,02	0,02	0,00
4	Феросиліцій	ФС-45-4 ДСТУ 4127-02	40,67	2,42	0,2	0,00	40	0,96	0,3	0,00	0,01	0,000	0,03	0,00	-	-	-	-
5	Феромарганець	ФМн-78-4 ДСТУ 3547-97	3,36	0,2	7	0,01	6	0,01	75	0,15	0,01	0,000	0,18	0,00	-	-	-	-
6	Графіт подрібнений П-4	ТУ У 26.8-05394618-0262011	56,3	3,53	75	2,51	-	-	-	-	0,05	0,001	-	-	-	-	-	-
7	Всього	-	1680,67	100	4,527	2,151	2,151	0,612	0,612	0,019	0,04	0,0655	0,0075	0,04	0,0655	0,0008	0,0075	0,0075
8	Угар(-), пригар(+)	-	-	-	-13	-13	0,28	0,08	-13	-6	0,001	-	-	-	-	-	-90	0,00
9	Вміст у рідкому чавуні	-	-	-	3,938	1,871	0,533	0,018	0,533	-	-	-	-	-	0,0655	0,0008	-	-
10	До модифікування	-	-	-	3,7-3,9	1,9-1,7	0,4-0,8	0,02	До 0,1	До 0,02	До 0,02	До 0,02	До 0,02	До 0,02	До 0,085	До 0,004	До 0,004	До 0,004
11	Молибден	VL 63(MD), Фракція 4-10 мм	30,25	1,8	-	-	45	0,81	-	-	-	-	-	-	-	-	6	0,10
12	Молибден	ФС65Бс4, Фракція 02-0,7 мм	5,04	0,3	-	-	65	0,19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	Угар(+),пригар(-)	-	-	-	-7	0,27	-	-	-	-	-20	0,003	-	-	-	-	-40	0,04
Остаточний хім.склад					3,663	2,876	0,533	0,014	0,4	0,04	0,066	0,0085	0,0075	0,04	0,066	0,0085	0,0075	0,0075
Необхідний хім.склад					3,5-3,7	2,7-2,9	0,4-0,6	0,015	До 0,05	До 0,015	До 0,015	До 0,015	До 0,015	До 0,015	До 0,015	До 0,015	До 0,015	До 0,015

Шихту зберігатимуть в закромах, які заглиблені відносно на глибину 4 м. Печі завантажуватимуть мостовим краном вантажопідйомністю Q = 15 тон з магнітною

шайбою.

1.2.3 Формувально-заливочно-вибивне відділення

За допомогою блоку розрахункових програм “Proekt” на ПК, розраховуємо кількість форм і об’єм формувальної суміші Додаток В. Врахувавши всі ці фактори, обираємо автоматичну лінію фірми DISA MATCH 24/28 [9] (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – формувальна машина DISA MATCH 24/28

Використання DISA MATCH 24/28 дозволяє отримати відливки з високою точністю, чистоти та значно меншим браком. В залежності типу відливок можна застосовувати допоміжні пристрої такі як, пристрій швидкої заміни модельних плит та укладчик стержнів. Кількість ліній розраховуємо за формулою, шт:

$$n_1 = \frac{N_{\phi} \cdot k}{\Phi_0 \cdot g} \quad (1.15)$$

де N_{ϕ} – кількість форм на річну програми;

k – коефіцієнт нерівномірності обладнання;

Φ_0 – річний фонд часу роботи обладнання, год;

g – продуктивність установки, форм/год.

$$n = \frac{351025 \cdot 1,1}{3490 \cdot 120} = 0,9 \text{ шт.}$$

Таким чином, приймаю одну автоматичну лінію, характеристики якої наведено в табл. 1.12.

Таблиця 1.12 – Технічні характеристики автоматичної лінії АМН

Хар-тика	Значення	Одиниці виміру
Розміри форми	711x611x178-254	мм
Продуктивність	120	форм/годину
Максимальна вага форми після заливки	390	кг
Габаритні розміри	46770x6600x3956	мм

1.2.4 Стержнєве відділення

Оскільки технологічний процес виготовлення стержнів вимагає підбір і розрахунок потрібної кількості стержневих машин, сушильних агрегатів та ін.. обладнання, тому необхідне складання відомості програми стержневого відділення Додаток Г. Для стержневого відділення, устаткування вибираємо згідно з даного технологічного процесу виготовлення стержнів та урахування характеру виробництва відливків. Таким чином, обираємо стержневу машину DISA CORE 10 EP (рис. 1.4), з технічними характеристиками табл.1.14.



Рисунок 1.4 – Стержнева машина DISA CORE 10 EP

Таблиця 1.14 – Технічні характеристики DISA CORE 10 EP.

Об'єм піскострельної головки	Значення	Од.вим.
Об'єм постріл	10	дм ³
Оснащення:		
мах висоту ящика	480	мм
мін висоту ящика	230	мм
мах ширина ящика	695	мм
мах глибина	650	мм
Розміри бокових затискних плит	200x400	мм
Розміри затискної зони	440x500	мм
Розміри піскострельної площі макс	300x500	мм
Розміри піскострельної площі мін	60x300	мм
Макс вага ящика	150	кг
Вага машини	5000	кг
Робоче переміщення:		
мах хід столу	275	мм
мах хід бокових циліндрів	550	мм
мах хід виштовхуючої плити	40	мм
Базовий час циклу		
При горизонтальній лінії рознімання	13	сек
При вертикальній	17	сек

Кількість стержневих установок розраховуємо за формулою:

$$n = \frac{N_{\text{ящ}}}{\Phi_{\text{д}} \cdot g}, \quad (1.15)$$

де $N_{\text{ящ}}$ – річна кількість стержневих ящиків, шт;

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

g – продуктивність стержневої установки, зніманий/год.

$$n = \frac{490125}{3490 \cdot 211} = 0,69 \text{ шт.}$$

Прийнята в проекті кількість обладнання:

$$n_1 = \frac{0,67}{0,7} = 0,97 \approx 1 \text{ шт.}$$

Згідно з розрахунками приймаю 1 стержневу машину.

Стержнева суміш до стержневих машин надходить за допомогою стрічкового конвеєра із сумішоприготувального відділення. Процес виготовлення стержнів полягає в заповненні порожнини сумішшю, попередньо нагрівши стержневий ящик. Отриманий стержень, що на протязі 15 - 60 с затвердіває, не потребує додаткової сушки, та має достатню міцність.

1.2.5 Сумішоприготувальне відділення, будова та принцип його роботи

Виготовлення ливарних форм виконуємо з єдиної формувальної піщано-глинистої суміші (табл. 1.15). Витрати формувальної суміші наведено у відомості, Додаток Д.

Таблиця 1.15 – Характеристики формувальної піщано-глинистої суміші

Матеріал	ГОСТ	Кількість			Властивості суміші		
		В об'ємних відсотках	В одиницях об'єму (л)	В вагових одиницях, %	Газопроникність од.	Межа міцності на стиск в вологому стані, МПа	Масова частка вологи, %
формова суміш, що в обороті	2138-91	92,72	500	94,0	не менше 85	0,05-0,08	3,5-4,3
Пісок кварцевий K016		4,64	23	4,09			
Бентонітова суспензія		2,64	13	1,91			
Всього		100	536	100			
Паливо нафтове (вище 100%)	10585-75	0,3	2	0,22			

Таблиця 1.16. – Витрати формувальної суміші на рік

Витрати в ущільненому стані $V_c, \text{м}^3$	Витрати суміші в неуцільненому стані, $M_{nc} = 1,4 \cdot V_c, \text{м}^3$	Витрати суміші в неуцільненому стані з урахуванням просипань $M_{np} = (1,1 \dots 1,15) \cdot M_{nc}, \text{м}^3$
100112	112545	135328

Стержневі суміші мають більш високі вимоги, ніж формувальні (міцність, податливість, газопроникність і вогнетривкість). Для виготовлення стержнів використовуємо стержневу суміш зі складом та властивостями наведеними в табл.1.18. Витрати стержневої суміші зведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.17 – Характеристики стержневої суміші для виготовлення стержнів ХТС процесом.

Масова частка складових, %			Характеристика суміші		
Кварцовий пісок	Газхарц 7241	Активатор 6324	Вологість, %	Межа міцності на розтяг МПа	Осипаємість
100	0,8	0,8	1,2	0,5	0,06

Таблиця 1.18 – Витрати стержневої суміші на рік

Витрати суміші в ущільненому стані $V_c, \text{м}^3$	Річні витрати суміші в неуцільненому стані, $M_{nc} = 1,4 \cdot V_c, \text{м}^3$	Витрати суміші в неуцільненому стані з урахуванням просипань $M_{np} = (1,1 \dots 1,15) \cdot M_{nc}, \text{м}^3$
1438	2013,2	2214,5

Приготування формувальної суміші здійснюємо установкою марки ТМ-240-90 (рис. 1.4), характеристики якої наведено в табл. 1.19.



Рисунок 1.4 – Загальний вид установки ТМ-240-90

Таблиця 1.19 – Характеристики змішувача ТМ-240-90

Параметр	Значення	Одиниці виміру
Об'єм замісу	1400	кг
Продуктивність	35	м ³ /год.
Час змішування	70-80	сек
Турбіна	45	кВт
Габаритні розміри:		
- довжина	5357	мм
- ширина	3155	мм
- висота	3381	мм

Кількість змішувачів для виготовлення формувальної суміші розраховуємо за формулою:

$$n_{зм} = \frac{G_{ну} \cdot K_n}{\Phi_d g}, \quad (1.17)$$

де $G_{ну}$ – річна кількість формовочної суміші, м³;

K_n – коефіцієнт нерівномірності роботи змішувача та споживання сумішей,
 $K_n=1,1-1,3$;

Φ_d – дійсний річний фонд часу роботи обладнання, год.;

g – продуктивність змішувача, м³/год

$$n_{зм} = \frac{135328 \cdot 1,25}{3807 \cdot 35} = 2,02 \text{ шт}$$

Прийнята в проекті кількість обладнання:

$$n = \frac{2,02}{0,75} = 2,67 \text{ шт.}$$

Таким чином, приймаємо 3 змішувачів.

Установки для стержневого відділення розраховуємо за формулою:

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

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

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

Φ_d – ефективний річний фонд часу роботи стержневого обладнання, год.;

g – продуктивність стержневої установки, т/год.

$$n = \frac{2142,5 \cdot 1,3}{3807 \cdot 30} = 0,03 \text{ шт.}$$

Прийнята в проекті кількість обладнання:

$$n = \frac{0,3}{0,75} = 0,4 \text{ шт.}$$

Таким чином, для приготування стержневої суміші, приймаємо один змішувач.

Для проектування сумішоприготувального відділення необхідно визначити потреби формівного і стержневого відділення у відповідних сумішах, які визначають, виходячи з розміру і кількості виготовлюваних форм для всієї номенклатури відливків, виключаючи зайнятий об'єм відливком з ливниковою системою і стержнями.

Готова суміш із змішувачів автоматично видається і доставляється в бункери, а потім розподіляється по бункерах, розміщених над формівними або над стержневими машинами. Для розпушування суміші після виходу з бункерів застосовують аератори. У ливарних цехах багатосерійного і масового виробництва відливків формівні і стержневі суміші виготовляють безпосередньо біля ліній по виготовленню форм і стержнів. Це технологічно необхідно для самотверднучих сумішей, а для піщано-глинистих сумішей дозволяє скоротити витрати на транспортні засоби і зменшити висихання суміші при перевезеннях. Формівну і

стержневу суміш готують у змішувачах різних конструкцій періодичної і безперервної дії.

1.2.6 Проектування очисного відділення

Технологія процесу обробки виливків характеризується кількістю, послідовністю та іншими особливостями операцій, встановлюють з урахуванням властивостей сплаву, габаритних розмірів, маси та конфігурації відливків.

Очищення поверхні виливків є важливим технологічним процесом, що забезпечує високу якість виливка. Для очистки відливків та їх охолодження приймаємо галтовочний барабан моделі DISA COOL 2900 (рис. 1.8), технічні характеристики якого наведені у табл. 1.20.

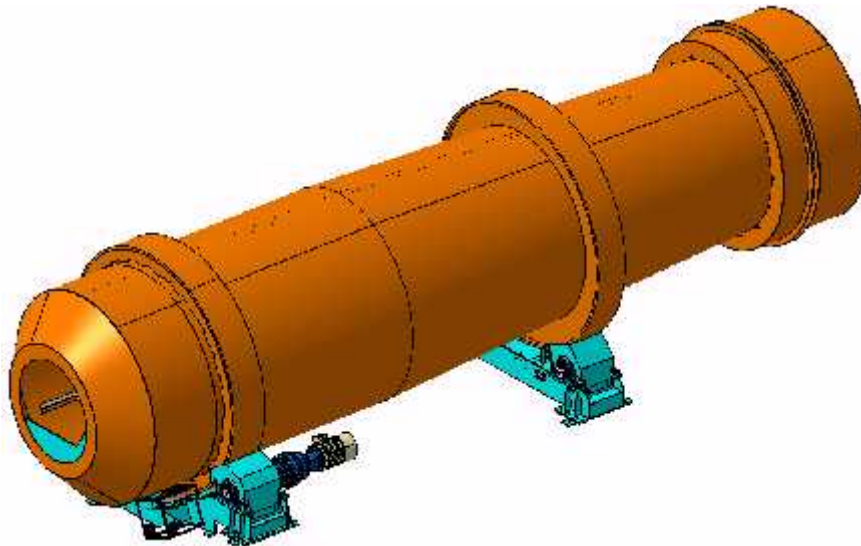


Рисунок 1.6 – Охолоджуючий галтовочний барабан

Таблиця 1.20 – Характеристики галтовочного барабана DISACOOL 2900

Характеристика	Значення	Одиниці виміру
Габаритні розміри	3,3x12,5	м
Продуктивність	7	т/год
Середній час обробки	20-25	хв
Вага електродвигуна	23	т

Кількість барабанів визначаємо за формулою:

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

де G - маса відливок, т/рік;

K_n - коефіцієнт нерівномірності роботи [8];

$\Phi_{\partial y}$ - дійсний час роботи устаткування;

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

$$n = \frac{7500,56 \cdot 1,2}{3728 \cdot 7} = 0,35 \text{ шт.}$$

Враховуючи коефіцієнт завантаження, маємо:

$$n_1 = \frac{0,35}{0,75} = 0,47$$

Таким чином, приймаємо один оходжуючий барабан для очистки відливків.

Для подальшої очистки використовуємо дробометний барабан SHLIK MB 900S рис. 1.7.



Рисунок 1.7– Схема дробометної установки.

Принцип дії якої полягає в дробометній обробці на конвеєрній стрічці, яка рухається, що дозволяє безперервно вести обробку деталей. Характеристика дробометної установки наведена в табл. 1.21.

Таблица 1.21 – Характеристики дробометної установки SHLIK MB 900S.

Характеристика	Значення	Одиниці виміру
Місткість	0,9	м ³
Найбільша маса очищуємої деталі	150	кг
Кількість дробометних апаратів	1	шт
Габаритні розміри	4,6x3,5x5,3	м
Максимальна вага загрузки	2500	кг
Продуктивність	7	т/год

Кількість дробометних установок розраховуємо за формулою:

$$n = \frac{\Pi K_n}{\Phi_{\partial y} g}, \quad (1.20)$$

де Π – річна програма випуску, т;

K_n – коефіцієнт нерівномірності роботи барабана, $K_n = 1,0 \dots 1,2$;

Φ_0 – ефективний річний фонд часу роботи , год.;

g – продуктивність дробометного барабана.

$$n = \frac{7500,56 \cdot 1,2}{3728 \cdot 7} = 0,34 \text{ шт.}$$

Уточнену кількість дробометних барабанів розраховуємо за формулою:

$$n = \frac{0,34}{0,75} = 0,45 \text{ шт.}$$

Приймаємо одну дробометну установку.

Зачистку виливків виконуємо стаціонарними верстатами з одним і двома шліфувальними кругами (рис. 1.8) (діаметр круга 500...600 мм). На даних верстатах можливо обробляти дрібні відливки масою до 30 кг, продуктивність яких 0,1...0,5 т/год.

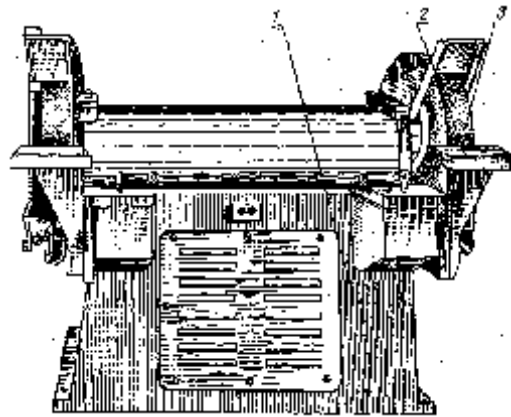


Рисунок 1.8 – Загальний вид стаціонарного верстата 3М363.

Кількість зачисних верстатів розраховуємо за формулою:

$$n = \frac{PK_n}{\Phi_0 g}, \quad (1.21)$$

де P – річна програма випуску, т;

K_n – коефіцієнт нерівномірності роботи верстату, $K_n = 1,0 \dots 1,2$

Φ_0 – ефективний річний фонд часу роботи , год.;

g – продуктивність верстату т/год.

Для подальшої зачистки відливків приймаємо зачисні верстати моделі 3М363 [10].

Технічна характеристика наведена в табл. 1.22.

Таблиця 1.22 – Технічна характеристика зачисного станка моделі 3М363

Характеристика	Величини
Зернистість	80-125
Продуктивність, т/год	0,5 - 0,6

Частота обертання шпинделя, об/хв	955 – 1425
Потужність електродвигуна, кВт	7,5

Кількість станків розраховуємо за формулою:

$$n = \frac{7500,56 \cdot 1,25}{3728 \cdot 0,5} = 5,46 \text{ шт}$$

Дійсна кількість обладнання:

$$n_1 = \frac{5,46}{0,70} = 7,79 \text{ шт}$$

Приймаємо 8 верстатів моделі 3М363 з діаметром шліф. круга 500 мм.

1.3 Розрахунок складів та лабораторій і комор ливарного цеху

Площі під лабораторії і комори а також інструментально-ремонтні майстерні визначаємо, виходячи з кількості одиниць технологічного та устаткування. На 1 верстат приймаємо 8...10 м², місце слюсаря знаходиться в межах 4...6 м² [2].

Сумарна площа ремонтної майстерні визначаємо за формулою:

$$S_{\text{ин}} = 5 \cdot 12 + 5 \cdot 6 = 90 \text{ м}^2$$

Дільниці підготовки ковшів розміщуємо у плавильному відділенні. Площу дільниці підготовки ковшів беремо із розрахунку 8...10 м² на 1000 т. придатного литва на рік.

$$S = 10 \cdot 7,5 = 75 \text{ м}^2$$

Сумарну площу площадок для зберігання шихтових матеріалів визначаємо за формулою:

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

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, м².

Площі під зберігання складових шихти визначається за формулою:

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

де Q – річний випуск придатного литва, т;

a – норма витрат відповідного 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

Необхідну площу для зберігання лому сталевого розраховуємо за формулою:

$$S_1 = \frac{7500,56 \cdot 62,54 \cdot 20}{75,14 \cdot 251 \cdot 3 \cdot 3,5} = 112,93 \text{ м}^2$$

Площа для зберігання рафінованого ливарного чавуну дорівнює:

$$S_2 = \frac{7500,56 \cdot 14,01 \cdot 20}{75,14 \cdot 251 \cdot 3 \cdot 3,5} = 26,28 \text{ м}^2$$

Площа необхідна для зберігання відходів власного виробництва дорівнює:

$$S_4 = \frac{7500,56 \cdot 22,74 \cdot 20}{75,14 \cdot 251 \cdot 3 \cdot 3,5} = 42,35 \text{ м}^2$$

Площа необхідна для зберігання модифікатору дорівнює:

$$S_5 = \frac{7500,56 \cdot 2,0 \cdot 20}{75,14 \cdot 251 \cdot 3 \cdot 3,5} = 4,13 \text{ м}^2$$

Загальна площа необхідна для зберігання шихтових матеріалів дорівнює:

$$\sum S = 112,93 + 26,28 + 42,35 + 4,13 = 194,77 \text{ м}^2$$

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:

$$S_7 = \frac{7500,56 \cdot 0,1 \cdot 20}{251 \cdot 1,65 \cdot 4} = 24,14 \text{ м}^2$$

Площа під формувальну глину:

$$S_8 = \frac{7500,56 \cdot 0,1 \cdot 20}{251 \cdot 0,65 \cdot 10} = 24,5 \text{ м}^2$$

Площа під формувальний пісок:

$$S_9 = \frac{7500,56 \cdot 1,1 \cdot 20}{251 \cdot 0,67 \cdot 10} = 23,09 \text{ м}^2$$

Загальна площа площадок під допоміжні матеріали:

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

$$S_{30} = 24,14 + 24,5 + 23,09 = 71,73 \text{ м}^2$$

Корисна площа складу дорівнює сумарній площі площадок для шихтових та допоміжних матеріалів:

$$S_k = 1,1 \times (182,77 + 71,73) = 254,5 \text{ м}^2$$

1.4 Обґрунтування вибору теми магістерської роботи. Мета та задачі магістерської роботи

Високоміцний чавун з вермикулярною формою графіту останнім часом все більшого застосування в промисловості. Відомі на сьогодні способи виплавлення чавуну з вермикулярною формою графіту не дають стабільних результатів отримання переважної більшості вермикулярного графіту. Оскільки, до технології виплавки даного чавуну ставляться особливі вимоги до початкового розплаву, способу введення добавок, модифікування і ретельного контролю всіх операцій. Найбільш ефективним є обробка рідкісноземельними металами, яка забезпечує стабільне утворення вермикулярного графіту і комплекс заданих властивостей чавуну. Зазначимо, що рідкоземельні метали використовують у вигляді складних лігатур, що містять рідкоземельні метали, які дозволяють знизити вартість модифікатора, підвищити ступінь засвоєння рідкоземельних елементів, а також забезпечує екологічність технологічного процесу, тому дослідження особливостей отримання магнієвих чавунів з вермикулярною формою графіту є актуальним.

Метою роботи є теоретично та експериментально дослідити вплив модифікуючи добавок на формування вермикулярного графіту у виливках з високоміцного чавуну.

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

- розглянути механізм формування вермикулярних включень графіту, властивості, виробництво та застосування високоміцних чавунів;
- проаналізувати вплив хімічного складу модифікаторів на мікроструктуру та графітизацію у високоміцних чавунах;

- встановити закономірності зміни мікроструктури та властивостей високоміцних чавунів з вермикулярним графітом від параметрів технологічного процесу;
- дослідити умови формування вермикулярного графіту залежно від параметрів легування та графітизуючого модифікування розплаву.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Конструкція виливочка і технологічні умови на нього

Розробку технологічного процесу виготовлення виливочка виконуємо згідно XI класу точності за ГОСТ 26645–85. Для прикладу виготовляємо важіль із високоміцного чавуну марки ВЧ 450 за ГОСТ 1412 – 85 (рис. 2.1) [1].

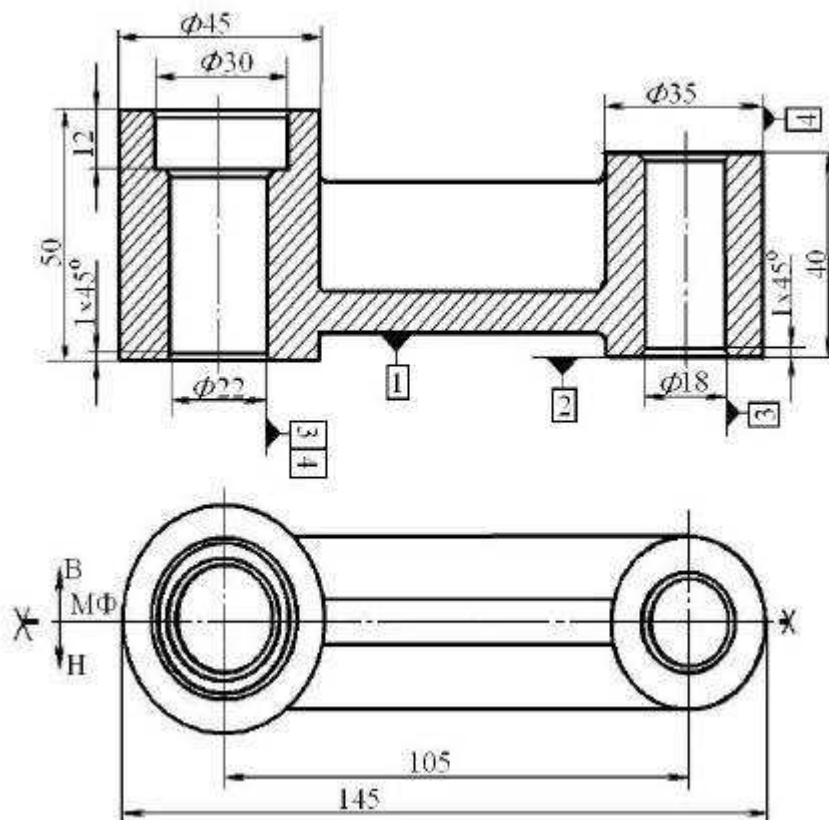


Рисунок 2.1 – Відливоч важіль

При конструюванні дотримуємось різностінності не більше 3 мм, короблення не більше 2 мм, перекіс по роз'єму до 2 мм. На поверхнях, що обробляються допускаємо одиничні раковини довжина яких не перевищує 1/3 кола, ширина не більше 5 мм, а дрібні раковини розмір яких 3 мм не повинно перевищувати 5 штук. Поверхні, що необроблюються допускаємо одиничні раковини не більше 9 мм, та

глибина яких не більше 4 мм – не більше 8 штук на поверхню. В місцях де є спряження стержня і форми допускаємо кільцеві заусениці довжиною до 1,5 мм.

"Важіль" являє собою частину пристрою, що використовують в різних машинах. Маса деталі 1,7 кг, габаритні розміри 145× 50 мм, твердість 155...225 НВ. Посадкові місця для валу є оброблюваними поверхнями, інші – не оброблюються. Зовнішня поверхня виливочка є прямолінійними контурами, що з'єднуються плавними переходиками, та забезпечують деяку деформацію виливочка при його усадці під час охолодження та зниження залишкових напруг в місцях з'єднань прямолінійних ділянок. Важіль має два стержні, немає з'ємних частин, роз'єм моделі і одна форми, тому відливочок є технологічним.

2.2 Технологічний процес виготовлення виливочка

Раціональний вибір роз'єму форми забезпечує якісне виготовлення виливочка. Поверхня роз'єму визначається конструкцією виливочка, техн-ми вимогами а також конструктивними особливостями деталі виливочка. Таким чином, відливочок користруємо згідно загальних положень з технології ливарної форми та теорії ливарного виробництва:

- число поверхонь роз'єму – мінімальне;
- зручність контролю розмірів форми при виборі роз'єму форми;
- поверхня роз'єму – по можливості бути плоскою;
- роз'єм форми – без підвісних стержнів, а головні стержні повинні мати зручне розташування;
- роз'єм повинен бути вибраний з урахуванням бази механічної обробки в одній частині форми з оброблюваними поверхнями та не повинні перетинатися площиною роз'єму .

Виходячи з вимог, вибираємо горизонтальне розташування поверхні роз'єму.

Виливочка відрізняються від готової деталі величиною розмірів припусків на механічну обробку. Величину припусків для високоміцного чавуну 450-10 вибираємо по ГОСТ 26645-85. Межа припусків вказуються тонкими лініями і

вказується величина припуску, згідно ГОСТ 26645-85 для даної відливки складає 1 мм [4].

Ливарна усадка виражається у відсотках від розміру виливочка. Значення величини ливарної усадки для високоміцного чавуну 450 вибираємо з [2]. Середні відливків мають вільну усадку 2 %. Радіус заокруглень вибираємо в межах $1/5 \dots 1/3$ середнього арифметичного товщини сполучених стінок. Для даного виливочка радіус заокруглень складає 2 мм, а мінімальний радіус заокруглень вибираємо із [3].

Формівні уклони вказуємо в залежності від ливарних розмірів виливочка і прийнятої технології виготовлення форми і стержня у відповідності з ГОСТ 3212-57. Для даного виливочка, величини мінімальних формівних ухилів складає 3° . Не вказані ухили проставляємо на кресленні на вільному полі.

З урахуванням припуску на механічну обробку і ливарної усадки вибираємо розміри стержня у відповідності з ГОСТ 3606-57 із [3]. Вибираємо вертикальні знаки стержнів довжиною 16 мм виходячи від номінального розміру отвору і відношення довжини отвору до цього розміру [4].

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

2.3 Ливниково-живильна системи, її розрахунок та конструювання

Ливниково – живильна система – це послідовні канали, що з'єднані між собою, по яких рідкий метал підводиться до порожнини ливарної форми. Як правило ливникова система (ЛС) складається з: ливникової чаші, стояку, шлаковловлювача та живильничка. Живильничок примикає до робочої порожнини форми та виконаний так, щоб живильник можливо було відокремлювати від виливочка без пошкодження. Відливки «Важіль» виготовляємо з ВЧ 450 ДСТУ 3925-99, через що в потовщених місцях при кристалізації можливе утворення об'ємної усадки. Для уникнення об'ємної усадки необхідно біля потовщень встановити підживлювач. Розрахунок підживлювача виконуємо за допомогою програми NOVA FLOW модуль затвердіння виливочка $M_{затв.}=1,4$. Відповідно до

модуля затвердіння з табл.2.1 розраховуємо розміри і масу підживлювача Ø75, висота 145мм, маса 5,1 кг.

2.3.1. Місце підводу металу та тип ливникової системи.

Місце підводу сплаву вибираємо на лінії роз'єму напівформи. Конструкція ливникової системи вибираємо звужуючу – типову. При проекті ливника враховуємо габаритні розміри виливочка і форми 610x710x356 мм. Прийнятним розміщенням у кожній ливарній формі є по чотири виливочка. Ливникова система в такому випадку, для даного виливочка, буде складатися з ливникової чаші, стояка, шлаковловлювача, 2-х живильників та 2-х підживлювачів.

2.3.2 Оптимальна швидкість заливання.

Оптимальна тривалість заливання розплаву визначаємо за формулою [3]:

$$t = S \cdot \sqrt{G} \quad (2.1)$$

де S – коефіцієнт врахування товщини стінок виливочка, $S= 2,2$ [3];

G – маса металу, що заливається в форму, кг;

$$G = M_{\text{відл}} \cdot n + M_{\text{підж}} \cdot n + M_{\text{шл}} + M_{\text{ст.}} \quad (2.2)$$

де $M_{\text{відл}}$ – маса виливочка;

n – кількість відповідного елементу;

$M_{\text{підж}}$ – вага підживлювача;

$M_{\text{шл}}$ – вага шлаковловлювача;

$M_{\text{ст.}}$ – вага стояка.

$$G = 5,3 \cdot 4 + 4,8 \cdot 2 + 0,58 + 1,3 = 32,68$$

$$t = 2,2 \cdot \sqrt{32,68} = 12,57 \text{ сек}$$

2.3.3 Площа перерізу каналу ливникової системи.

Площа загальна живильників визначаємо за формулою:

$$\sum F_{\text{жив}} = \frac{G}{\gamma \cdot t \cdot \sqrt{2gH_p}}, \quad (2.3)$$

де G – маса металу, що заливається, кг;

γ – густина сплаву для високоміцного чавуну 7500 кг/м^3 ;

« – коефіцієнт опору ливникової системи і порожнини форми « = 0,8;

g – швидкість вільного падіння $9,81 \text{ м/с}^2$;

H_p – статичний напір, м.

Статичний напір визначаємо за формулою:

$$H_p = H - \frac{P^2}{2C} \quad (2.4)$$

де H – висота напів-форми, см;

P – висота виливочка від місця підводу металу у форму;

C – висота виливочка, см.

Схема для розрахунку статичного напору показана на рисунку 2.2.

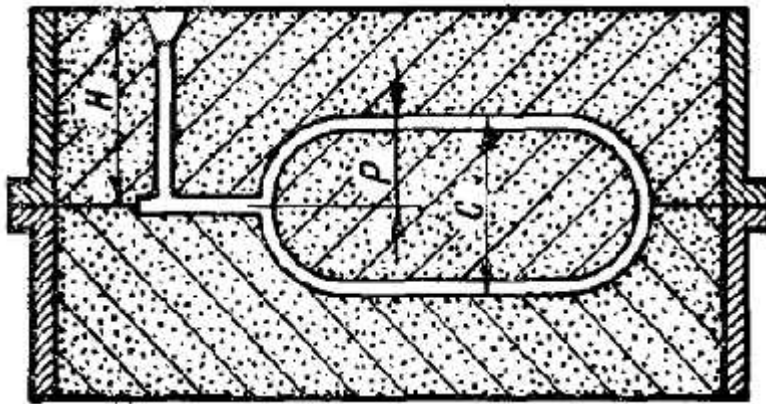


Рисунок 2.2 – Схема для розрахунку статичного напору

$$H_p = 0,178 - \frac{0,12^2}{2 \cdot 0,145} = 0,128 \text{ м}$$

Визначаємо площу перерізу живильника:

$$F_{\text{жив}} = \frac{32,68}{7500 \cdot 0,8 \cdot 13,42 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,128}} = 1,2 \text{ см}^2$$

Прийнявши форму поперечного перерізу у формі трапеції – визначаємо розміри живильничка. Площу перерізу шлаковловлювачів і стояка визначаємо зі співвідношення за формулою:

$$\sum F_{\text{жив}} : \sum F_{\text{шл}} : \sum F_{\text{ст}} = 1 : 1,3 : 1,4 \quad (2.8)$$

$$\sum F_{\text{шл}} = 1,3 \cdot \sum F_{\text{жив}} = 1,3 \cdot 3,5 = 4,5 \text{ см}^2$$

$$\sum F_{\text{ст}} = 1,4 \cdot \sum F_{\text{жив}} = 1,4 \cdot 3,5 = 4,9 \text{ см}^2$$

Геометричні розміри шлаковловлювача визначаємо за формулою:

$$a = \sqrt{\frac{F_{\text{шл}}}{6}} = \sqrt{\frac{450}{6}} = 8,5 \text{ мм} \quad (2.9)$$

Розрахунки розмірів геометрії шлаковловлювача ведемо за наступною схемою (рис. 2.4).

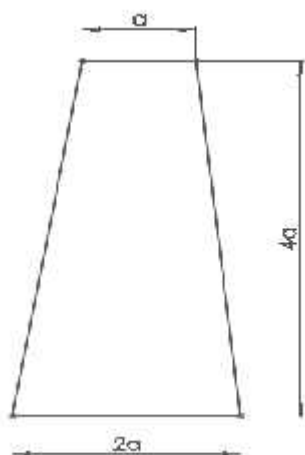


Рисунок 2.4 – Загальний вид схеми розрахунку розмірів шлаковловлювача.

Розрахувавши, маємо площу шлаковловлювача $F_{\text{шл}}=3,21 \text{ см}^2$.

Діаметр стояка визначаємо за формулою:

$$d_{\text{cm}} = \sqrt{\frac{4F_{\text{cm}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,9}{3,14}} = 3,6 \text{ см} \quad (2.10)$$

Із технологічних міркувань приймаємо $d = 45 \text{ мм}$.

2.4 Процес виготовлення виливка та проектування ливарного оснащення

Технологія виготовлення виливків полягає у виготовленні напівформ, виготовлення стержнів та їх встановлення, збирання даних форм, кристалізація вилив очка та його видалення, наступна очистка і кінцева операція контролю якості виливка.

Відливки виготовлятимуть на безопочній формівній машині з двосторонньою модельною плитою, яка монтується на пресувальних штоках за допомогою напрямних втулок, повертаючись у вертикальне положення починається вдування суміші після чого пресується. Потім роз'єднують верхню і нижню напівформи, вилучають модельну плиту, та встановлюють стержні. Після чого ставиться на транспортувальну лінію. Заливається метал, оходжуються форми протягом 60 хв., після чого форма на вибивні решітці відділяється від відливка. Потім потрапляє до

галтовочного барабану. Потрапляючи на конвеєр виливик ввіділяють ливникову систему від виливочка. Після очистки проводить контроль якості.

Модельне оснащення для ліній повинно відповідати наступним вимогам:

- розміщення стояка повинне бути у визначеному місці;
- Відстань між моделями повинна бути мінімальна, залежно від габаритних розмірів моделі;
- необхідне передбачення каналів для відведення повітря із формувальної камери під час вдування і пресування суміші;
- точність обробки не нижче 9-го класу, зовнішні вертикальні площини - 8-го класу, горизонтальні - 7-го класу точності за ГОСТ 2780-73;
- Шорсткість моделі та модельних плит – Ra 1,мкм;
- формувальні уклони відповідно з ГОСТ 3212-80;
- формувальні уклони знаків моделей і стержневих ящиків за ГОСТ 3606-80;
- чистота обробки моделей не нижче 7-го класу чистоти за ГОСТ 2739-73;
- Підмодельні плити бажано виготовляти із алюмінієвих сплавів марки АЛ9, АЛІ2 ГОСТ 2685-63.

2.6 Контроль якості виливочка.

Контроль якості починають з зовнішнього контролю в два етапи: попередньо перед очисткою і відпалом, потім безпосередньо після очищення виливочка. Зовнішній контроль проводять 100% порівнюючи отриманий відливочок з еталоном шлакові, газові, земельні, усадочні раковини, короблення, зміщення, підриви, пригари . Хімічний склад виливочка визначають в лабораторії методами хімічного і спектрального аналізу, один раз на плавку кожного виду сплаву. Геометричні розміри відливок контролюють шаблонами та спеціальними вимірювальними приладами один раз після становлення нової модельної оснастки та виготовлення експериментальної партії.

Структуру металу відливок визначають при вивченні приготовлених зразків-шліфів, за допомогою мікроскопу один раз в місяць. При контролі механічних властивостей перевіряють твердість, відносне видовження, згин ударну в'язкість та ін., періодичність раз на тиждень, на стандартних зразках, а також зразках вирізаних з тіла виливочка.

Контроль параметрів технологічного процесу здійснюється контрольно-вимірними приладами встановленими на обладнанні.

Параметри формівної та стержневої суміші перевіряються 1 раз в 6 год.

3 НАУКОВА ЧАСТИНА

3.1 Відливки високоміцного чавуну з вермикулярною формою графіту та класифікація їх структури

Вермикулярний чавун (ЧВГ) винайдений при невдалих спробах виплавити високоміцний чавун з кулястим графітом (ВЧКГ). Виявлялося, що внаслідок недостатнього залишку вмісту модифікуючих елементів, їх вигорання або при підвищеному вмісті сірки в розплаві – отримати включення кулястої форми графіту не вдавалось. Дослідження мікроструктури даних чавунів, оброблених церієм, виявляли «товстий пластинчастий» графіт (англ. *thickflakegraphite*), або «квазіпластинчастий» (англ. *quasi-flakegraphite*), який назвали вермикулярний (лат. *vermiculus* – черв'ячок). Чавун з вермикулярною формою графіту (рис. 3.1), як різновид високоміцного чавуну, вперше був описаний в 1948 році Morrogh H., Williams W. [101], що відображає характерні обриси випадкових розрізів мікрочастинок вермикулярного графіту в площі шліфу, які нагадують силует черв'яка.

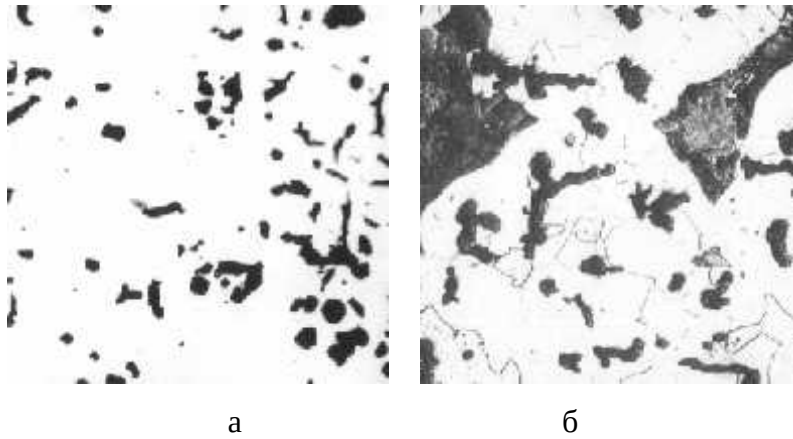


Рисунок 3.1 – Металографічна структура чавуну з вермикулярною формою графіту: не травленого (а) та травленого зразків (б); $\times 150$

Переваги чавуну з вермикулярною формою графіту спочатку не були оцінені, тому тривалий час ЧВГ не застосовувався. Пізніше було виявлено сприятливе поєднання високих характеристик міцності і теплофізичних властивостей, що дає можливість застосування в якості конструкційного матеріалу для виготовлення виливків різного призначення. Але, головною проблемою при масовому виробництві чавуну з вермикулярною формою графіту при модифікуванні магнієм є вузький діапазон залишкового вмісту магнію, що забезпечує утворення даної форми графіту, що обумовлює низьку стабільність результатів (рис. 3.2).

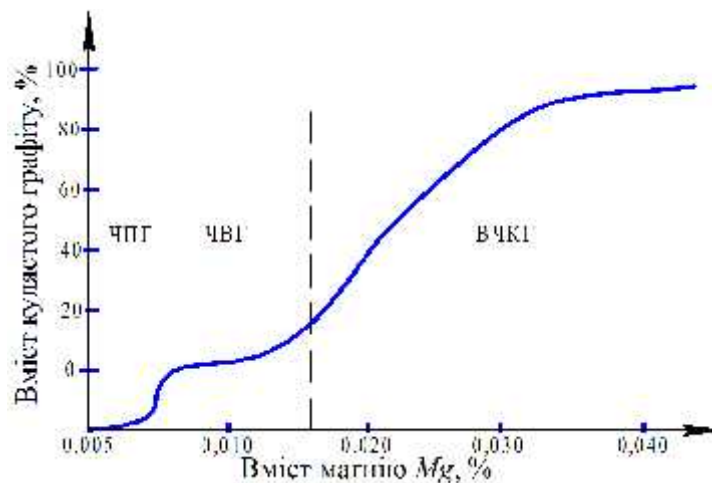


Рисунок 3.2 – Діапазон стабільного формування вермикулярної форми графіту у магнієвому чавуні (дані фірми SinterCast)

Для забезпечення формування переважно включень вермикулярного графіту, необхідно, щоб типовий вміст Mg знаходився в діапазоні 0,010...0,020%. Характерною вимогою до виливків з ЧВГ є низький вміст включень кулястої форми графіту в мікроструктурі. Останнім часом новітні технології виробництва дали можливість отримувати ЧВГ з заданим ступенем сфероїдизації графітних включень, що базуються на застосуванні нових технологій обробки розплаву та контролю процесів модифікування розплаву з застосуванням комп'ютерної техніки. Світовим

лідером у розробці технології стабільного виготовлення відливків з ЧВГ є фірма SinterCast (Швеція), що стала провідний світовий постачальник технології керування технологічними процесами стабільного виробництва ЧВГ.

Фаза графіту чавуну з вермикулярною формою складається переважно з укорочених і потовщених включень графіту, які мають закруглені кінці, що знижує надрізуючий їх вплив. Відношення довжини до товщини включень графіту є в проміжному положенні і складає $l/h=2...10$ між кулястим ($l/h \ll 2$) і пластинчастим графітами ($l/h \gg 10$). Глибоким розтравлюванням металевої основи та дослідженні на растровому електронному мікроскопі, встановлено пов'язаність між собою в межах евтектичної колонії, окремих ізольованих включень вермикулярного графіту, що мають «коралоподібну» морфологію (рис. 3.3).

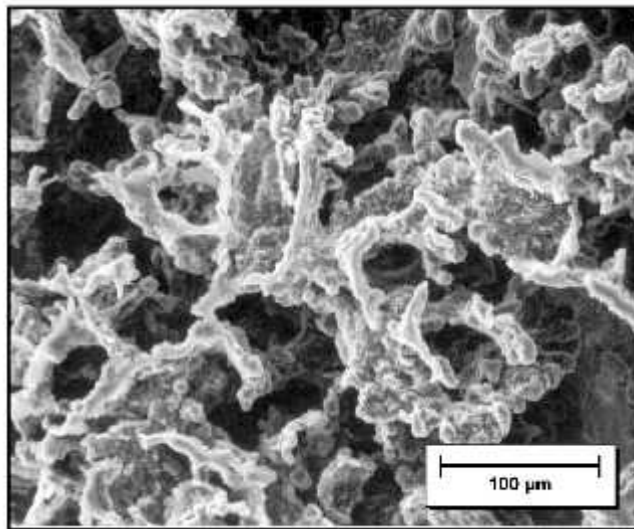
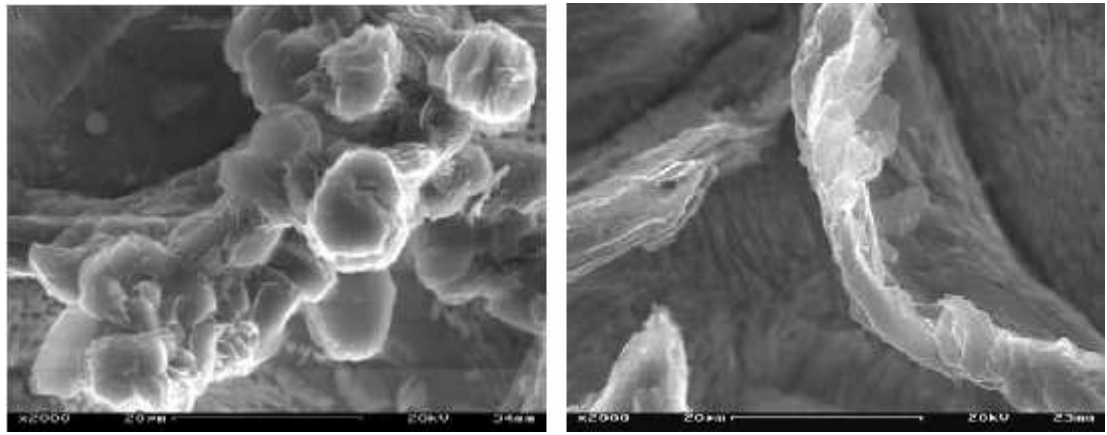


Рисунок 3.3 –Будова вермикулярного графіта у просторі [3].

Зазначимо, що включення ВГ – товстіші, коротші та мають округлі краї, в порівнянні з пластинчастим графітом. Включення вермикулярного графіту не мають одного переважного напрямку росту, кожна гілка ВГ складається з поєднаних різноорієнтованих округлих фрагментів. По мірі віддалення від центру ВГ, виявлено укрупнення включень, яке в окремих випадках може переходити у кулясту форму не порушуючи суцільності. Інколи можна бачити початок росту вермикулярного графіту у вигляді відростків від включень кулястої форми графіту.

Виявлено, що включення графіту в чавуні з ВГ розорієнтовані та мають витягнуту форму подібно до дисперсного графіту у чавуні з ПГ, але більш товстіші та коротші, з округлими краями (рис. 3.4).



а)

б)

Рисунок 3.4 – Края включень ВГ (а) та ПГ (б) [5].

Ідентифікація структури, виду та форми графіту їх кількості і розподілу та розмірів, проводиться згідно методу металографічного аналізу за ГОСТом 3443-87 «Відливки з чавуну з різною формою графіту. Методи визначення структури», яка має ідентифікацію структури чавуну з вермикулярною формою графіту:

- по формі графітових включень;
- по розподілу ізолюваних графітових включень;
- по кількості вермикулярних включень графіту.

За міжнародним стандартом (ISO 945-1: 2008) класифікація видів чавуну відбувається на основі візуального визначення форми графітових включень, що включає шість ступенів компактності: пластинчастий графіт – I форма; вермикулярний графіт – III форма та сфероїдальний графіт – VI форма (рис. 3.5).

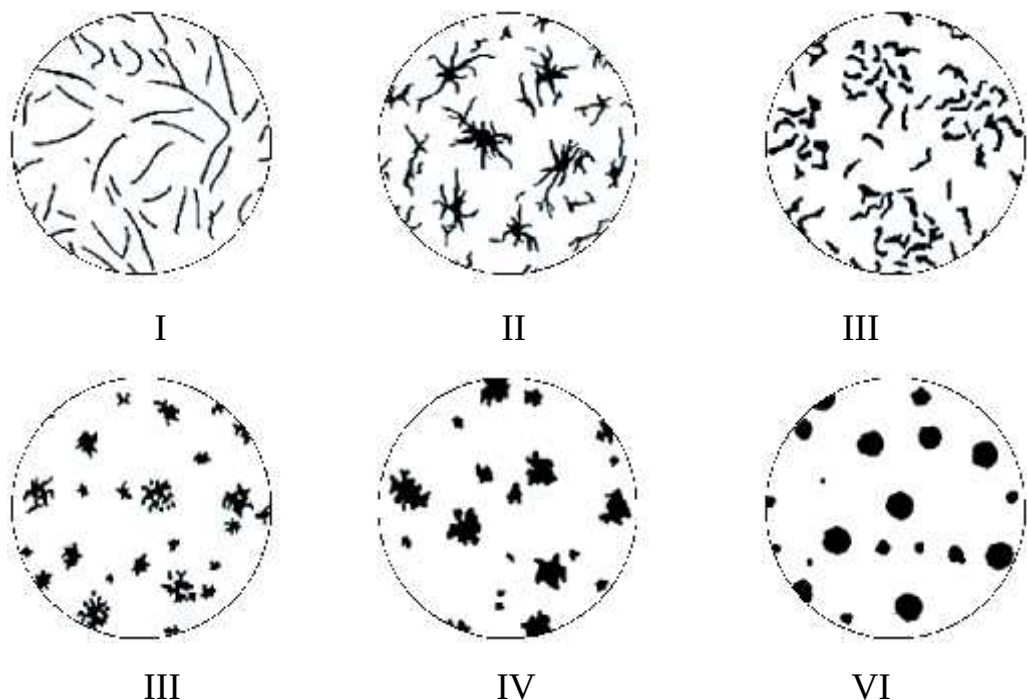


Рисунок 3.5 – Форми графітових включень згідно стандарту ISO 945-1: 2008

Уточнена класифікація ЧВГ було розроблена стандартом ISO 16112: 2006 (табл. 3.1, 3.2), згідно якого, включення графіту більше 10 мкм класифікують згідно відношення фактору форми округлості (рис. 1.6):

$$RSF = \frac{A}{A_m} = \frac{4 \times A}{\pi \times l_m^2},$$

де A - площа круга діаметром l_m ; A_m - площа графітових включень; l_m - максимальна довжина осі частки периметру включення графіту.

Таблиця 3.1 – Форми графітових включень в ЧВГ згідно ISO 16112: 2006

Фактор округлості RSF	Форма графіту
0,625...1	Кулястий графіт (ISO форма VI)
0,525...0,625	Проміжна форма графіту (ISO форма IV і V)
<0,525	ВГ (ISO форма III)

Таблиця 3.2 – Включення вермикулярного графіту згідно стандарту ISO 16112: 2006

RSF – фактор округлості	Включення графіту
0,725	
0,625...0,725	
0,525...0,625	
0,425...0,525	
0,425	

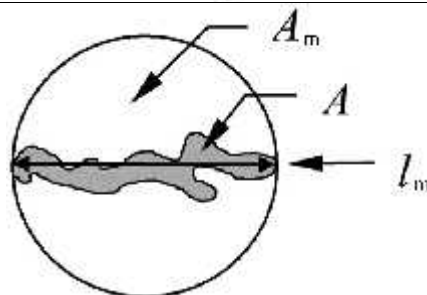


Рисунок 3.6 – Схема визначення фактору форми округлості включень графіту

Згідно ISO 16112: 2006 наявність включення ПГ не допускаються в структурі ЧВГ, тому їх не розглядають при проведенні аналізу. Оцінювати структуру ЧВГ

також можна використовуючи показник ступеня сфероїдизації графіту (ССГ) (рис. 3.7), який визначається співвідношенням:

$$ССГ = \frac{\sum A_{кул} + 0,5 \times \sum A_{пром}}{\sum A_{заг}} \times 100\%,$$

де $A_{кул}$ – площа кулястих включень; $A_{пром}$ – площа проміжних включень; $A_{заг}$ – площа решти включень, що мають розбір більше за 10 мкм.

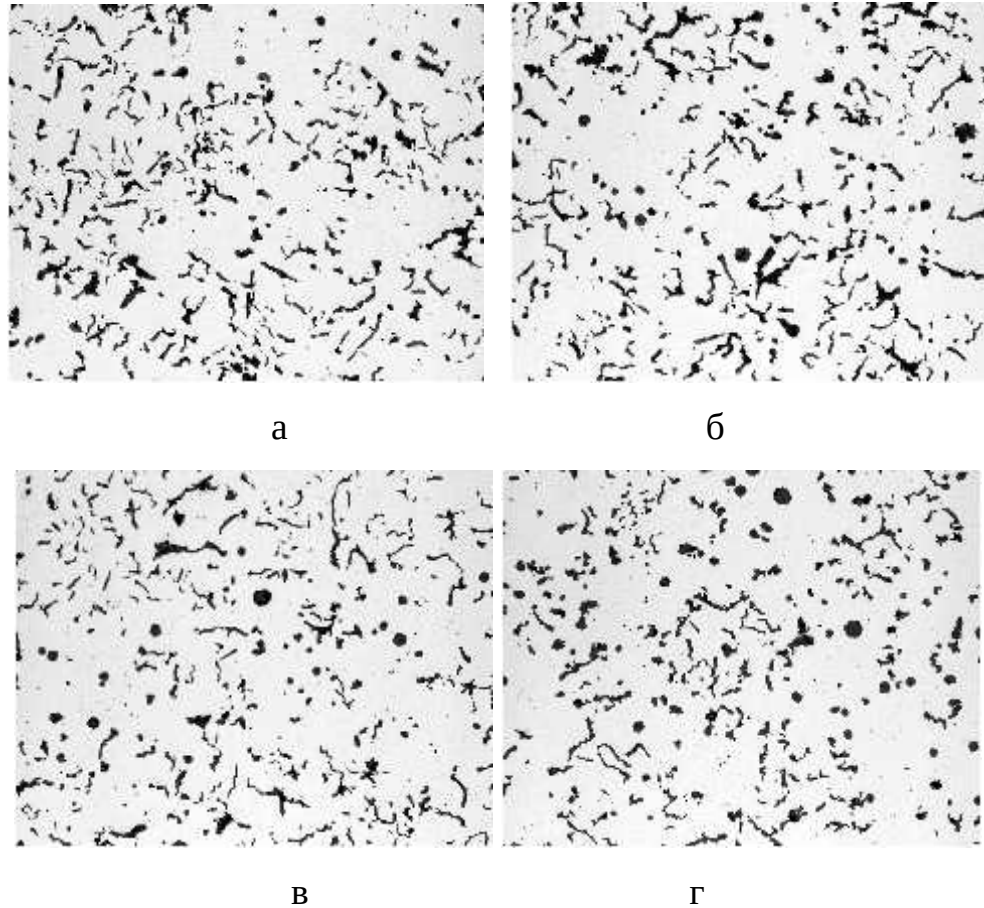


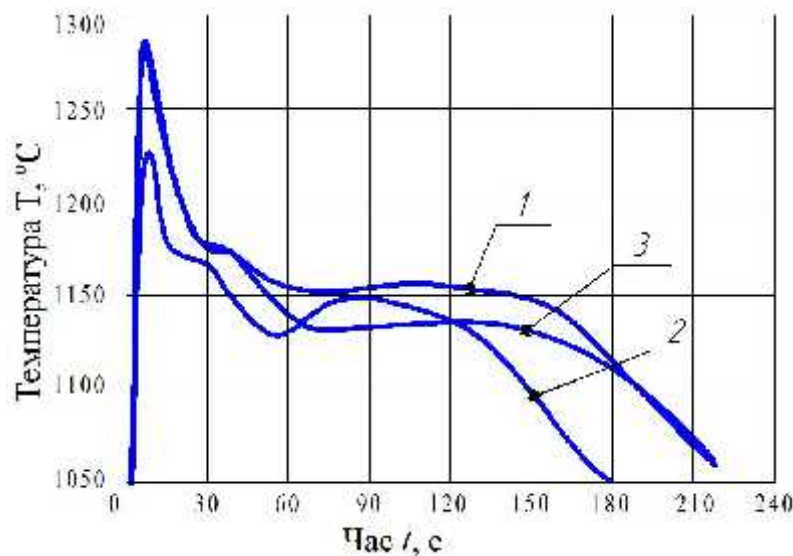
Рисунок 3.7 – Мікроструктури чавуну з вермикулярним графітом за шкалою ISO 16112: 2006: а) – 5% ССГ, б) – 10% ССГ, в) – 15% ССГ, г) – 20% ССГ, х 100.

Як правило, RSF – фактор округлості, визначається при збільшенні $\times 100$ на полірованому зразку, а підрахунок будови графіту можливий ручним точковим вимірюванням, порівнянням карт структури, а також автоматичним аналізом зображень. Для забезпечення точності вимірювання необхідна площа поля дослідження мінімум 4 мм^2 , з розміром пікселів не більше 1 мкм.

3.2 Механізм формування вермикулярних включень графіту в чавуні

Механізм утворення вермикулярної форми графіту, з використанням сучасних методів лабораторних та комп'ютерних досліджень на сьогодні не привели до єдиної теоретичної думки, що пояснювала б протікаючі явища. Загальні положення, не є практичними рекомендаціями, що враховували б прояви окремих механізмів утворення ВГ. Існуючі гіпотези, не враховують комплексної дії різних технологічних параметрів при формуванні структури, а моделі не дозволяють синтезувати найефективнішу модифікуючу обробку.

Зазначимо, що утворення ВГ відбувається при переохолодженнях, як при формуванні кулястої форми графіту (рис. 3.8). Можна припустити, що дане пов'язане з утворенням навколо включень вермикулярного графіту аустенітної оболонки.



1 – ЧПГ; 2 – ЧВГ; 3 – ВЧКГ

Рисунок 3.8 – Діаграма охолодження чавуну з різною формою графітових включень

Можна бачити, що евтектичний ріст ПГ значно відрізняється від росту вермикулярного графіту, ріст якого відбувається за рахунок дифузії вуглецю через аустенітну оболонку. Низька швидкість дифузії вуглецю у аустеніті, обумовлює меншу швидкість затвердіння евтектики у ВЧ в порівнянні з ЧПГ. Тому температура початку евтектичної кристалізації у КГ та ВГ нижча, ніж у чавуна з пластинчастим графітом [24].

При евтектичному затвердінні чавуну з ВГ, вища швидкість росту аустеніту ніж у чавуна з пластинчастим графітом. За рахунок наявності зв'язку деяких ділянок графіту та розплаву, неоднорідності складу аустенітної оболонки – кристалізація

ЧВГ та ВЧКГ різна. А дифузізія потоку атомів вуглецю до ВГ відбувається рідким каналом, що оточений аустенітом.

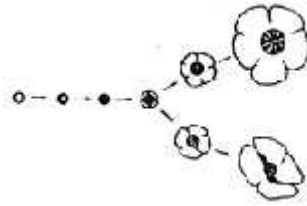


Рисунок 3.9 – Ріст включень кулястого і ВГ в оточеній аустенітній оболонці

В аустенітній оболонці в процесі дифузійного росту включень графіту виникають значні деформації, які створюють локальні ділянки оболонки, що мають підвищену вільну енергію. Дана енергія характеризується низькою температурою плавлення та низьку дифузійну проникність, що обумовлює крихке розтріскування аустенітної оболонки.

3.3 Аналіз способів отримання чавуну з вермикулярною формою графіту

Способи отримання ЧВГ та чавуну з КГ принципово не відрізняються один від одного. Особливість, полягає в кількості сфероїдизуючих елементів, що вводять в розплав. Способи отримання чавуну з ВГ класифікують на:

- глибокої десульфурзації металу до 0,002% сірки та подальше прискорене охолодження сплаву у ливарній формі (ЛФ);
- обробку глобуляризаторами, яких недостатньо для формування графіту;
- одночасну обробку розплаву глобуляризаторами і деглобуляризаторами;
- сфероїдизуюча обробка розплаву магнієм і в залежності від отриманої форми графіта у технологічній пробі, добавляють деглобуляризатори.

Найбільшого поширення знайшла обробка розплаву магнієвою лігатурою, що є найбільш поширеним і дешевим елементом - глобуляризатора графіту. Для формування у структурі чавуну ВГ, діапазон залишкового вмісту магнію складає вузький інтервал $Mg_{зал}$ у межах 0,008...0,015%, що не дозволяє досягати стійких результатів модифікування [33]. Діапазон стабільного формування вермикулярної форми графіту для кожного розплаву залежить від наявності у його складі певних домішок. Активний магній у ковші вигорає приблизно 0,001% за кожні п'ять хв., початковий вміст магнію має бути вищим за рівень різкого переходу формування

ВГ до ПГ. Важливим моментом в період між модифікуванням та заливанням ливарної форми при виробництві ЧВГ є недопущення утворення ПГ, викликаного зниженням залишкового вмісту магнію, що різко знижує механічні властивості (рис. 3.10).

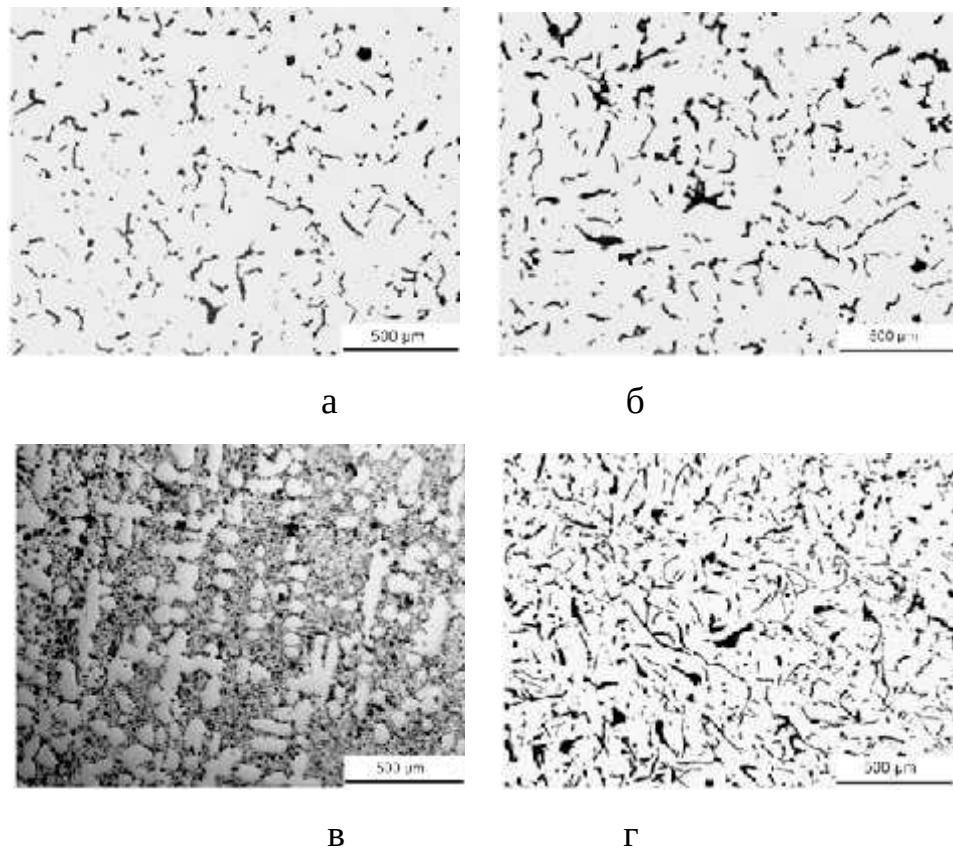
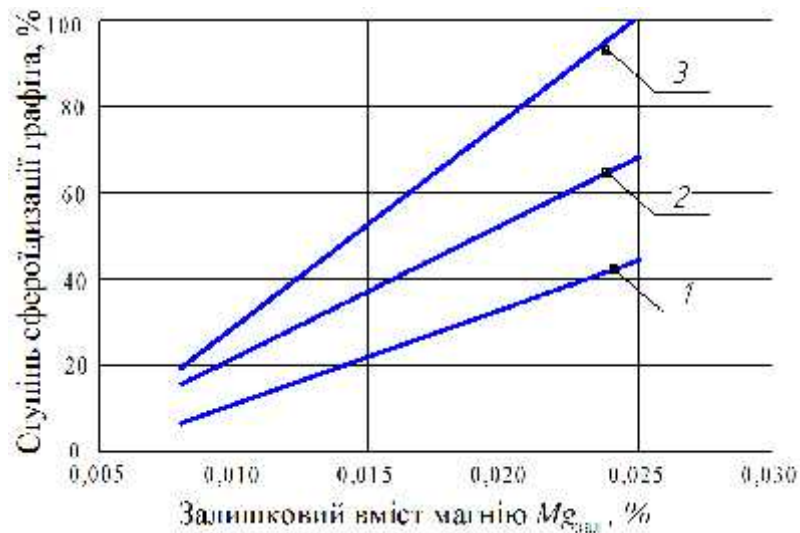


Рисунок 3.10 – Форма графітових включень в процесі витримка металу у ковші після обробки [33] : а) – 2 хв; б) – 4 хв; в) – 5 хв; г) – 9 хв.

На утворення ВГ також впливає час зберігання рідкого розплаву після модифікування, швидкість охолодження при кристалізації, час заливання а також температура. Дані фактори взаємодіючи між собою впливають на формування форми графітових включень. Зазначимо, що при збільшенні товщини секції за рахунок зменшення швидкості затвердіння – зменшується чутливість формування ВГ до $Mg_{зал}$ (рис.3.11).



Товщина перерізу виливка: 1 – 50 мм; 2 – 30 мм; 3 – 10 мм.

Рисунок 3.11 – Вплив $Mg_{зали}$ на ступінь сфероїдизації графіту з різною товщиною перерізу виливка [34].

Для отримання ЧВГ, поряд з магнієвими сплавами застосовують модифікатори, що містять РЗМ, перевагою яких є проста обробка, вища щільність, відсутність значного піроефекту та димовиділення [35-37]. Обробка розплаву РЗМ була одним з перших процесів отримання чавуну з ВГ в промисловості. Найбільш широке застосування знайшов церієвий мішметал (сплав 50% церію, 25% лантану з невеликими кількостями неодима, празеодима та ін.. РЗМ). Церій та лантан це ефективні розкислювачі та десульфуратори чавуну які більш стійкі до вигорання з сплаву в порівнянні з магнієм. Залишковий вміст церію, для формування ВГ, залежно від вмісту сірки та становить в межах 0,013...0,075%. При обробці розплаву ітрієм ВГ формується в більш широкому діапазоні 0,02...0,15%. Зростання вмісту сірки з 0,003% до 0,03% зростає необхідність в добавці РЗМ для модифікування розплаву з 0,05% до 0,25% (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Добавки РЗМ для отримання чавуну з ВГ, мас.%

Вміст сірки у вихідному чплаві, %	0,03	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
Добавка РЗМ, %	0,176	0,21 0	0,246	0,280	0,350	0,38 4	0,424
Добавка залізо – кремнієвого сплаву з 21,5% РЗМ	0,82	0,98	1,14	1,31	1,63	1,79	1,97

З таблиці можна бачити, що на кожні 0,01% сірки додається 0,05...0,06% РЗМ, при цьому, модифікуючий ефект РЗМ зберігається у ковші з кислотою

футеровкою до 10...12 хв при температурі 1420°C. В даний час обробки розплаву РЗМ з метою отримання ЧВГ має стабільні результати модифікування та поширення.

При отриманні ЧВГ, ефективним є поєднання добавок магнію та РЗМ, які взаємно підсилюють модифікуючий ефект своїх елементів та усувають деглобуляризуючий ефект шкідливих домішок. Хімічні елементи, що перешкоджають формуванню компактних форм графіту називають десфероїдизуючими, які характеризується коефіцієнтом K_1 , який не повинен перевищувати 1,0 [38]:

$$K_1 = 4.4 (\%Ti) + 2.0 (\%As) + 2.4 (\%Sn) + 5.0 (\%Sb) + 290 (\%Pb) + 370 (\%Bi) + 1.6 (\%Al).$$

Десфероїдизуючі елементи поділяються на ті, що не утворюють стійких хім. сполук з магнієм (титан, цирконій, алюміній), та такі, що нейтралізують магній утворюючи з ним стійких хім. сполук (арсен, олово, свинець, вісмут). Управління вміст деглобуляризаторів, не вступаючих в хімічну реакцію з магнієм, є основою технології отримання чавуну з ВГ. При цьому виробництво чавуну з ВГ було започатковане в більш широких межах вмісту в чавуні $Mg_{зал}$ (0,005...0,03%), та які відповідають утворенню вермикулярного графіту.

За результатами досліджень, виявлено, що стабілізації отримання чавуну з ВГ можлива застосовуючи у якості десфероїдизатора добавки, що мають хімічні з'єднання сірки. Riposan-ном показано перехід від КГ до ВГ застосовуючи, у якості десфероїдизатора, пізніше введення в сплав сірки [39, 40].

3.4 Аналіз модифікаторів, що використовуються для отримання чавуну з вермикулярною формою графіту

Для виплаки чавуну з ВГ застосовують тіж самі модифікатори, що і для отримання високоміцного чавуну з КГ, але кількість їх повинна бути нижчою. Але існує лише невелика кількість модифікаторів, що забезпечують стабільні результати та вузький діапазон $Mg_{зал}$, для формування графіту вермикулярної форми у чавуні.

Серед модифікаторів для чавуну найбільш розповсюджені залізо– кремній- магнієві лігатури (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Залізо- кремній – магнієві лігатури (ДСТУ 3362-96)

Марка	Масова доля елементів, %					
	Mg	Кальцій	РЗМ	Кремній	Al	Решта- Fe
КМг7	6,5...8,5	0,2...1	0,3...1	40...55	до 2,5	
КМг6	5,5...6,5			40...55		
КМг5	4,5...6,5			40...55		
КМг4	3,5...4,5			40...55		
КМг3	2,5...3,5	2...4	2...4	40...55		
КМг2	1,5...2,5		1...2	55...70		
КМг1	0,5...1,5			55...70		

«Лігатура» – це феросплав, що виконує роль модифікатора та легуючого розплаву. Лігатура на відмінну від чистого магнію, мінімізує піроефект та істотно підвищує коефіцієнт засвоєння магнію. Технічні вимоги до таких модифікаторів зазначені в ДСТУ-3362-96 «Модифікатори для виливків з чавуну» (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Хімічний склад комплексних модифікаторів згідно ТУ 14-5-134-2005

Марка	Хім. склад, %					
	Mg	РЗМ	Ca	Si	Al не більш	Fe
ФСМг9	8,5...10,5	0,3-1,0	0,2...1,0	50-60	1,2	Решта
ФСМг7	6,5...8,5	0,3-1,0	0,2...1,0	45-55	1,2	
ФСМг5	4,5...6,5	0,3-1,0	0,2...1,0	45-55	1,2	
ФСМг3	2,5...3,5	1,0-2,0	2,0..4,0	55-70	2,5	

Модифікатори необхідно вибирають враховуючи спосіб модифікування, масу і товщину відливків, їх хімічний склад та необхідного комплексу властивостей. На сьогодні ряд залізо-кремнієвих магнієвих лігатур на основі ФС45, які забезпечують стабільне виробництво чавунних виливків з ВГ. Дані модифікатори ретельно збалансовані, та містять оптимальну кількість Mg, Ca і РЗМ (5...6% магнію і 5.5...6.5% РЗМ), що забезпечують формування вермикулярної форми графіту. Дослідженнями компанії «Елкем» показано, що РЗМ позитивно впливають на

чутливість мікроструктури до товщини відливка. При цьому стабільність засвоєння елементів з модифікатора забезпечується підвищеним вмістом РЗМ в модифікаторі, порівняно з лігатурою ФСМг та рекомендований для сплавів вмістом сірки яких <0,02%.

Слід зазначити, що титан, як лігатура FeSiMg416Ti4, найчастіше використовують в якості основного десфероїдизуючого елементу при виробництві чавуну з ВГ. Хімічний склад FeSiMg416Ti4 згідно ТУ 14-5-248-01 наступний: Mg – 3,7...4,3 %; Ca – 0,5...1,2 %; РЗМ – 5,5...6,4 %; Ti – 3,5...4,5 %; Si – 45...48 %; Al – 1,5...2,8 %; Решта – Fe. Наявні РЗМ дещо нейтралізують десфероїдизуючу дію титана, однак його дія при плавці, не відрізняється від дії у складі магнієвої лігатури, що стабілізує одержання чавуну з ВГ магнієвих лігатур. Таким чином, застосування магнійвміщуючих модифікаторів на основі нікелю і заліза дають стабільні результати при модифікуванні. А підвищена щільності їх дає можливість застосовувати прямим введенням в ківш, але висока їх вартість обмежує їх використання.

Використанням лігатури на основі РЗМ для отримання виливків з чавуну з ВГ є досить технологічним, оскільки вони мають вищу щільність та температуру кипіння, а процес модифікування відбувається без піроефекту. Недоліками є підвищена їх вартість та відбілююча дія на чавун. Однак застосування мішметалу та церієвих лігатур в більшості призведе до метастабільної кристалізації порівняно з лігатурами на основі лантану.

Таблиця 3.6 – Хімічний склад ФС30РЗМ30, ФС10РЗМ10 згідно ТУ 14-5-136-81

Марка лігатури	Хімічні елементи, %				
	Si	РЗМ	Al	Mg	Fe
ФС30РЗМ30	35,0 - 45,0	30,0 -40,0	0,8 - 1,5	0,3 -1,2	решта
ФС10РЗМ10	8,0 - 10,0	8,0 - 10,0	0,8 - 1,5	0,3 -1,2	2,5

Крім того, продукти взаємодії РЗМ з сіркою та киснем, мають більшу щільність та гірше видаляються з розплаву там самим забруднюють виливки неметалевими включеннями у порівнянні з магнієвими продуктами взаємодії.

Таблиця 3.7 – Хімічний склад мішметалу МЦ50ЖЗ, МЦ50Ж6 згідно ТУ 48-4-280-91

Марка	Хімічні елементи, %
-------	---------------------

	Ce	La	Nd	Pr	Fe
МЦ50Ж3	40,0...60,0	25,0...45,0	до 3,0	до 10,0	до 3,0
МЦ50Ж6	40,0...60,0	20,0...40,0	до 3,0	до 10,0	до 6,0

Заключною операцією при виплавці чавуну з ВГ ковшовим модифікування є обов'язкове вторинне графітизуюче модифікування, що обумовлює виділення графіту та відсутність відбілу. Дане модифікування сприяє створенню зародків включень графіту у розплаві та стимулює їх ріст і рівномірність їх розподілу. Найбільш застосовувані є феросиліцій марки ФС75, але вміст домішкових елементів в якому що значно впливає на стабільність отримання структур і властивостей виливків.

Такі елементи як барій, цирконій, стронцій, РЗМ та алюміній ще більше підсилюють графітизуючу дію феросиліцію. Стронцій та цирконій, крім графітизуючої дії, зменшують газоусадочні дефекти у відливках і помірно десфероїдизують дію на сплав. Для прикладу є лігатура фірми ELKEM, Норвегія - «Superseed» зі складом Si – 73...78%, Zr – 0.6...1.0 % , Sr – 0.6...1.0 %, та мінімальна кількість Ca та Al. В той же час, барій, РЗМ та кальцій є підсилюючими глобуляризаторами магнію, що обумовлює формування в структурі чавуну ВГ кулястого графіту, після графітизуючого модифікування такими лігатурами. Слід зазначити, що графітизуюче модифікування при температурі нижче 1400 °С теж сприяє формуванню кулястого графіту.

3.5 Отримання рафінованих магнієвих чавунів з вермикулярною формою графіту.

Попередня підготовка базового металу є важливим фактором отримання чавуну з вермикулярною формою графіту. Згідно стандарту ДСТУ 3926 – 93 «Чавун з вермикулярною формою графіту для виливок» рекомендовано хімічний склад в залежності від марки чавуну (табл. 3.8).

Таблиця 3.8 – Хімічний склад чавуну з вермикулярною формою графіту згідно ДСТУ 3926 – 93

Чавун	Масова доля елементів, %						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu

				не більше			
ЧВГ300-4	3,5-3,9	2,2-2,8	0,2-0,6	0,08	0,02	0,15	-
ЧВГ300-5	3,5-3,9	2,2-2,8	0,2-0,6	0,05	0,02	0,15	-
ЧВГ400-4	3,1-3,7	2,0-2,5	0,2-0,6	0,05	0,02	0,20	0,4-0,6
ЧВГ500-1	3,1-3,5	2,0-2,5	0,8-1,2	0,08	0,02	0,30	0,8-1,2

Для одержання високих ливарних властивостей ЧВГ як правило використовують склад розплаву близьким до евтектичного. Вуглецевий еквівалент (ВЕ) у ЧВГ має бути в межах 3,9...4,6%. Зниження ВЕ збільшує схильності чавуна до кристалізації з відбілом, а перехід до заевтектичних складів послаблює металеву основу. Оптимальний вміст вуглецю є в межах 3,2...3,8% і залежно від вмісту кремнію, технологічних особливостей виробництва і призначення виливків – коригується [81].

Аналогічно вуглецю – кремній теж має графітізуючу дію. При вмісті кремнію в ЧВГ понад 2,5% переважно формується феритна структура металевої матриці, підвищується схильності до формування кулястого графіту, знижується ударна в'язкість та теплопровідності матеріалу. Зазначимо, що оптимальний вміст кремнію перед модифікуванням розплаву залежить від технології отримання відливків та складу модифікатора. Тому, його вміст у вихідному розплаві при модифікуванні ФСМг7, повинен бути в межах 1,4...1,8% для феритного, та 1,8...2,1% для ферито-перлітного і 1,6...1,9% – перлітного чавунів.

Основними відмінностями марок чавунів ЧВГ 300-4, ЧВГ 500-1 полягає у збільшенні вмісту марганцю з 0,2...0,6% до 0,8...1,2%, хрому з 0,15 до 0,3% та міді до 1,2% відповідно. Зміни хімічного складу збільшують вміст перліту у структурі металевої матриці ЧВГ. Обмеження вмісту хрому знижує схильність чавуну до кристалізації по метастабільному механізму. Фосфор – негативно впливає на пластичність та ударну в'язкість.

Визначальним фактором, що впливає на формоутворення вермикулярної форми графіту є стабільно низький вміст сірки у розплаві. Основна кількість магнію при модифікуванні, витрачається на десульфурацію. Магній переходить у сполуку MgS, і не впливає на формування вермикулярного графіту. Співвідношення між Mg і S визначається термодинамічними умовами:



Слід зазначити, на рівновагу цієї реакції впливає температура проведення обробки та тиск парів магнію (рис. 3.12).

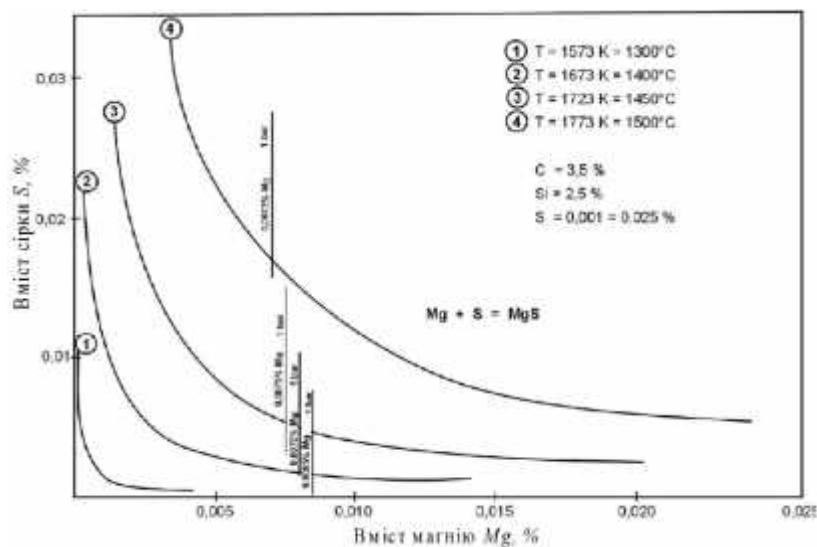


Рисунок 3.12 – Ізотермічні реакції $[Mg] + [S] = MgS$ різних температур (1 бар) [80]

Як бачимо, що мінімальний вмісту сірки досягається обробкою розплаву магнієвою лігатурою при понижених температурах. Найбільший результат модифікування досягаються застосуванням низькосірчаних розплавів, отримання яких можливе при плавці в електричних печах з основною футеровкою та рафінованих по сірці шихтових матеріалів, а також застосуванні позапічної десульфурзації. Використання високосірчаних чавунів без попередньої десульфурзації є малоефективним.

Стабілізацію формування вермикулярного графіту досліджували за розподілом магнію в структурі чавунів, розплав яких модифікували лігатурою ФСМг6, що містять $< 0,01\% S$. Чавуни отримували при внутріформеному і ковшевому модифікуванні.

Результати мікрорентгеноспектрального аналізу показали, що центральна частина включень кулястого графіту є місцем сегрегації магнію, де розташовуються світло-сірі включення менші 1 мкм (рис. 3.13).

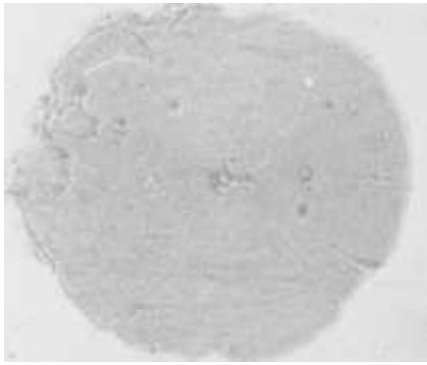


Рисунок 3.13 – Магнійвмісне включення кулястого графіту в центральній частині

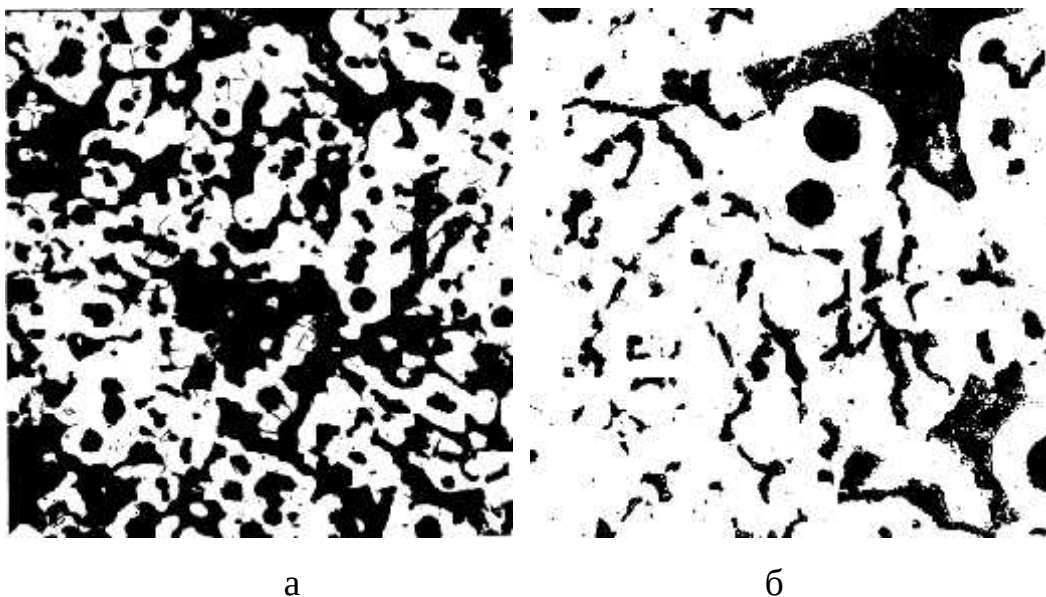
Слід зазначити, що дані включення спостерігаються в КГ, що сформувався як у чавунах з вермикулярною та пластинчастою формою графіту. Виявлено, що збільшення добавки лігатури ФСМг6 сприяє збільшенню кількості включень кулястого графіту та підвищує кількість таких включень і не впливає на інтенсивність випромінювання $MgK_{\alpha 1}$ від цих включень. Значення інтенсивності випромінювання $MgK_{\alpha 1}$ від вермикулярного графіту займають в межах 35...40%.

Таким чином, магній з лігатурою ФСМг6 розподіляється в структурі чавунів евтектичного складу, нерівномірно. Переважаюча концентрація магнію в кулястому графіті і оточуюча його металева матриця, у більшій частині мікрооб'ємів чавуну не створює умов для глобуляризації графіту. А перехід на внутріформене модифікування не сприяє більш рівномірного розподілу магнію у структурі чавунів.

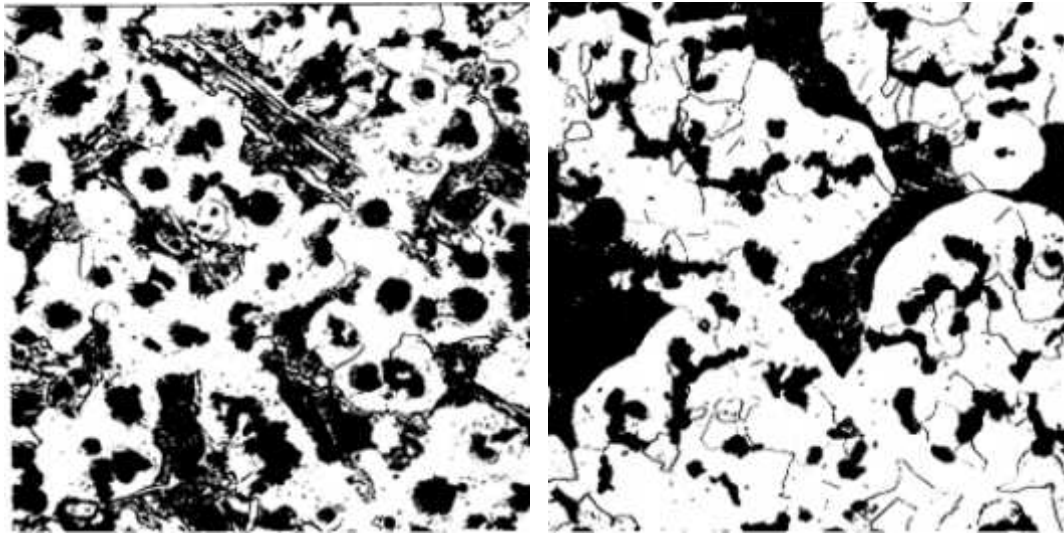
3.6 Модифікуюча дія магнію при отриманні високоміцного чавуну з вермикулярною формою графіту

Підвищення ефективності дії модифікування магнію при виплавці ЧВГ, можливе додатковим введенням в розплав елементів, що за хімічним спорідненням вищі до сірки, кисню і вуглецю, з якими магній утворює хімічні сполуки при модифікуванні. Це зменшує кількість Mg , що зв'язується у хімічні з'єднання та підвищує рівномірність розподілу його між структурними складовими чавуна. За результатами термодинамічних розрахунків виявлено, що даним умовам відповідає кальцій та РЗМ.

В порівнянні з обробкою розплаву кальцій - вміщуючими лігатурами при внутріформеному модифікуванні, більш прийнятним є магнієва лігатура РЗМ. З економічної точки зору, застосування церієвих лігатур, з вмістом 25...35% РЗМ є більш ефективним.



Виявлені цементитні включення в структурі ступінчатої проби з перерізом 5 мм після ковшового модифікування вказують на необхідність графітізуючого модифікування для тонкостінних відлвків.



а

б

Рисунок 3.14 – Металографія чавуна, модифікованого у ковші 10%-вим ФС30Р3М30 і 90% ФСМг6 – 0,6%.

Перетин ступінчастої проби: а) 5 м; б) 35 мм, х 200.

Виявлено, що наявність у суміші ФСМг6, 5% лігатури ФС30Р3М30 забезпечує якісну зміну характеру структуроутворення виливків, в порівнянні з лігатурою ФСМг6 без добавок. Обробка розплаву такою сумішшю вироджує ПГ і формує переважно ВГ. Зниження фактора розчинення до $0,04 \text{ кг/см}^2\cdot\text{с}$ підвищує вмісту КГ на 20...25%, та сприяє зменшенню схильності чавуна до кристалізації з відбілом і збільшує дисперсність формування структур.

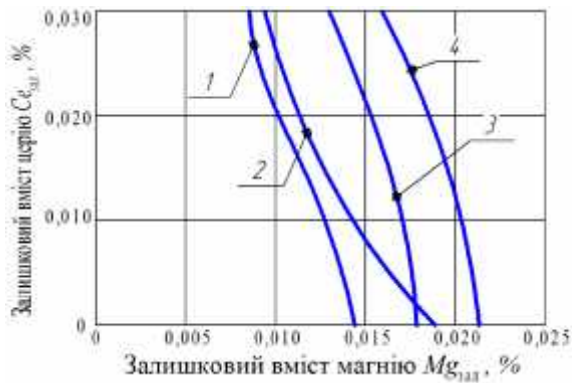
При вмісті ФС30Р3М30 до 15% призводить до збільшення кількості КГ і підвищення компактності ВГ. Слід зазначити, що при фактор розчинення в межах $0,045...0,065 \text{ кг/см}^2\cdot\text{с}$. забезпечує стабільне одержання відливків з переважною більшістю ВГ.

Виявлено, що підвищений вміст лігатури ФС30Р3М30 до 20...30%, знижує швидкість розчинення модифікуючої суміші та зменшує кількості включень кулястого графіту, при цьому збільшується кількість ВГ. Вміст лігатури до 40% порушує стабільність засвоєння розплавом модифікуючої суміші та формування окремих ділянок ПГ.

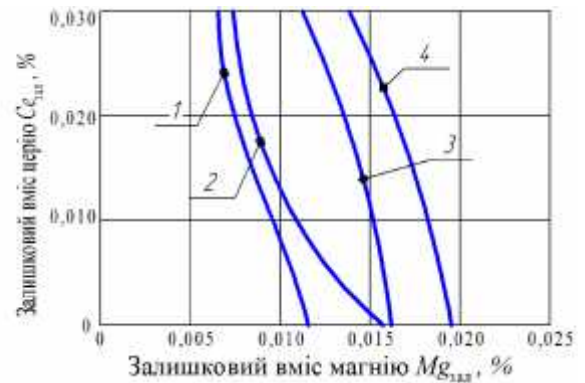
Таким чином, оптимальний вміст ФС30Р3М30 в суміші ФСМг6, при МВЛФ та ковшовому модифікуванні, для одержання виливків із чавуну з ВГ складає 5...15% при $\text{ФР} = 0,04...0,06 \text{ кг/см}^2\cdot\text{с}$. Додавання в розплав 0,6% суміші з 5...25%

лігатури ФС30РЗМ30, є достатньою для переважного формування ВГ в усіх перерізах зразків.

Виходячи з того, що основними факторами, що визначають структуроутворення у ЧВГ є залишковий вміст сфероїдизуючих елементів і товщина перетину виливка, були побудовані структурні діаграми (рис. 3.15).



а



б

1, 3 – перетин 5 мм; 2, 4 – перетин 35 мм; 1, 2 – 90% вермикулярного графіту; 3, 4 – 60% – вермикулярного графіту.

Рисунок 3.15 – Залежність товщини перетину відливка і залишкового вмісту магнію та церію на графітові включення при ковшовому (а) і внутріформенному (б) модифікуванні

Отримані діаграми, що зв'язують форму графітних включень із залишковим вмістом Mg і Ce, товщиною перетину виливка і способом модифікування, свідчать про кількісні розходження між діапазонами залишкового вмісту глобуляризуючих елементів. Глобуляризуючі елементи відповідають за формування ВГ графіту при МВЛФ і ковшовому модифікуванні. Слід зазначити, що модифікуюча суміш при МВЛФ забезпечує більш ефективну глобуляризуючу дію, а формування структур вермикулярної форми графіту відбувається в більш широких межах вмісту магнію залишкового, ніж при ковшовому. Така стабілізація дозволяє при МВЛФ розплавів, що містять не більше 0,01% S, стабільно одержувати чавун з ВГ без додаткової обробки розплаву деглобуляризуючими елементами. Таким чином, МВЛФ сумішшю лігатур ФСМг6 і ФС30РЗМ30 розплавів, які містять до 0,01% сірки, є більш ефективним, та технологічним способом одержання ЧВГ, ніж модифікування у ковші.

3.7 Особливості формування вермикулярної форми графіту розплавів з підвищеним вмістом сірки при модифікуванні всередині ливарної форми

Більшість способів отримання чавунних виливків методом МВЛФ з ВГ передбачають застосування розплавів, що містять $\leq 0,02\%$ S. Найбільш перспективним є процес модифікуванням розплаву, з вмістом сірки в межах 0,03...0,05% без проведення попередньої десульфурації. Але, при такій обробці сумішню лігатур ФСМг6 і ФС30РЗМ30, в перетинах виливка товщиною 5...15 мм формується ВГ, в більш товстих перетинах формується ПГ. Підвищення вмісту $Mg_{зал}$ до 0,030% усуває ПГ в перетинах виливків товщиною 35 мм, але в перетинах 5...15 мм переважає кулястий графіт.

Для підвищення ефективності основного модифікування магнієвими лігатурами в сучасних технологіях отримання ВЧ застосовують попереднє модифікування чавунів, що забезпечує зниження вмісту кисню і сірки в розплаві перед подальшою обробкою магнієвими лігатурами.

Для отримання чавуну з вермикулярною формою графіту при МВЛФ з розплаву, що містить 0,03% сірки, потрібна попередня десульфуруюча обробка, яку можливо виконати обробкою розплаву у ковші кальцієм або сплавами рідкоземельних металів чи кальцинованою содою. Дані добавки мають самостійний сфероїдизуючий ефект, та здатні впливати на умови формування ВГ. За результатами випробувань виявлено найбільш ефективне зниження вмісту сірки у розплаві після ковшового модифікування кальцинованою содою (табл. 3.9).

Таблиця 3.9 – Ковшова десульфурація чавунів з вмістом 0,035% сірки

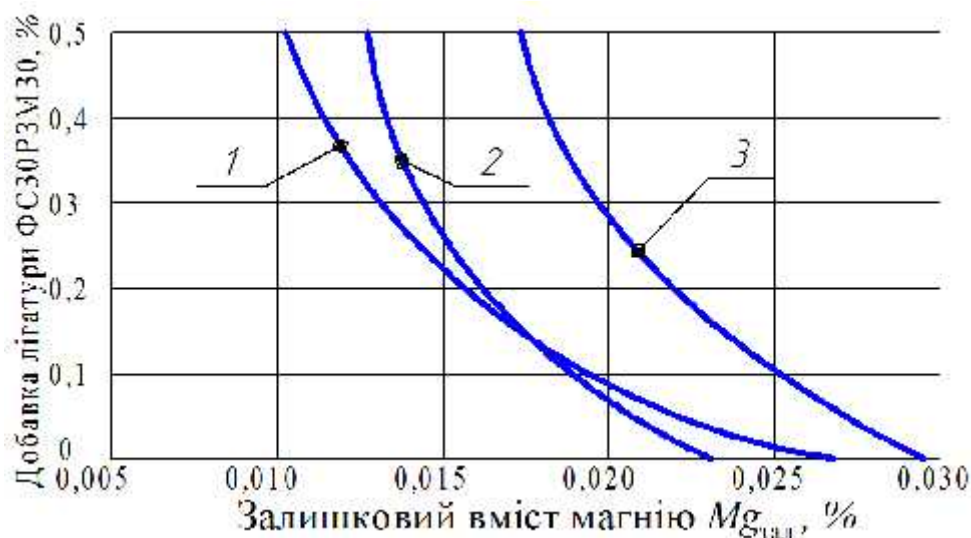
Добавки	Вміст добавки, %	Вміст сірки після обробки, %	Засвоєння добавки	Вплив обробки на результати МВЛФ	Забруднення відливка продуктами модифікування
Na_2CO_3 Кальцинована сода	0,4...0,6	0,015...0,020	Значне димоутворення, утворення рідкого киплячого шлаку	Не робить помітного впливу	Знижує забруднення
СК-15 Силікокальцій	0,3...0,8	Менш 0,015	Відсутність димовиділення і піроефекту,	Знижує ступінь компактності	Не встановлено помітного

			значне плівкоутворення	включень (зменшується розчинення лігатури)	впливу
ФС30РЗМ30	0,1...0,5	Менш 0,010	Відсутність димовиділення і піроефекту	Підсилює	Підсилює забруднення виливка неметалевими включеннями

Примітка: Витримка розплаву після обробки в ковші до заливання ливарних форм – 2 хв.

Однак, через значне димовидалення та роз'їдання футеровки, обробка кальцінованою содою не є перспективною. Застосування силікокальцію марки СК-15 в порівнянні з кальцинованою содою, менш забезпечує десульфуріацію розплаву і супроводжується значним шлакоутворенням та інтенсивним плівко утворенням. Все це знижувало стабільність взаємодії з подрібненим модифікатором ФСМг7 у реакційній камері.

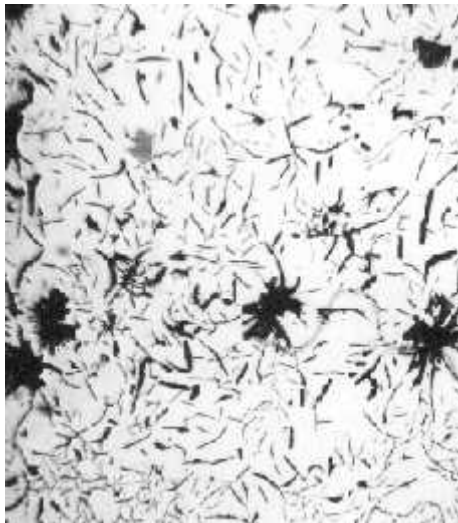
Добавки лігатури ФС30РЗМ30 при ковшовому модифікуванні не забезпечили зниження вмісту сірки в розплаві, але вплинули на послідовну МВЛФ, зміщуючи область формування ВГ в сторону більш низького вмісту $Mg_{зал}$ (рис. 3.16).



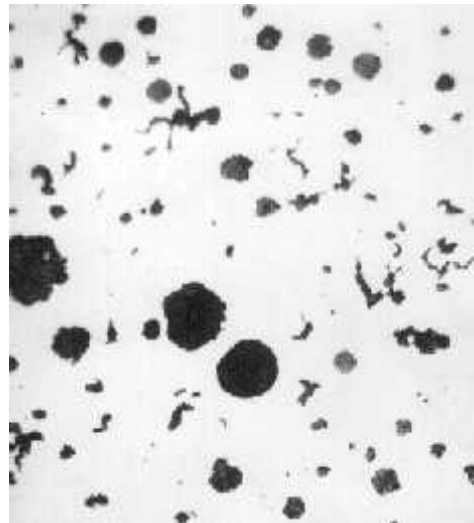
1 – границя області формування ПГ; 2 – формування до 90% включень ВГ; 3 – формування 60% включень ВГ (решта - кулястий графіт)

Рисунок 3.16 – Залежність залишкового вмісту магнію і попередньої ковшової обробки ФС30РЗМ30 перед МВЛФ на формування графітових включень в чавуні ($S = 0,035\%$). Перетин вилівка – 35 мм

З діаграми видно, що ковшова обробка розплаву лігатурою ФС30РЗМ30 підвищує ефективність МВЛФ та звужує область формування ВГ за рахунок розширення області утворення КГ. Добавки лігатури ФС30РЗМ30 при недостатньо ефективному вторинному МВЛФ ($Mg_{зал} < 0,012\%$) формують компактний графіт, від яких розростаються колонії пластинчастого графіту (рис. 3.17,а). При більш ефективному МВЛФ в структурі чавуну з ВГ присутні включення КГ, розміри якого розділили на дві групи: діаметр 30...40 мкм; та 10...15 мкм (рис. 3.17, б).



а



б

Мікроструктура фактору розчинення: а) 0,06 кг/см².с; б) 0,03 кг/см².с.

Рисунок 3.17 – Мікроструктура чавуна після ковшової обробки 0,3% ФС30РЗМ30 і МВЛФ сумішшю ФСМг7 і ФС30РЗМ30, (0,035% S) x 150. Переріз вилівка – 35 мм

Кількість включень кулястого графіту першої групи визначається величиною ковшової добавки лігатури ФС30РЗМ30, а другої – інтенсивністю вторинного МВЛФ. Виявлено, що кількість включень першої розмірної групи близька до кількості евтектичних колоній ПГ у недостатньо модифікованих чавунах. Слід припустити, в обох видах формування цих включень КГ відбувається на ідентичних центрах графітизації, які формуються в процесі ковшової обробки розплаву лігатурою з РЗМ.

Попереднє ковшове модифікування розплаву лігатурою ФС30РЗМ30 забруднює вилівки дрібними неметалевими включеннями, пропорційно кількості лігатури, при менш вираженій їх флотації, порівняно з МВЛФ сплаву з 0,035% сірки. При цьому уповільнюється спливання в розплаві сульфідів церію, які більш

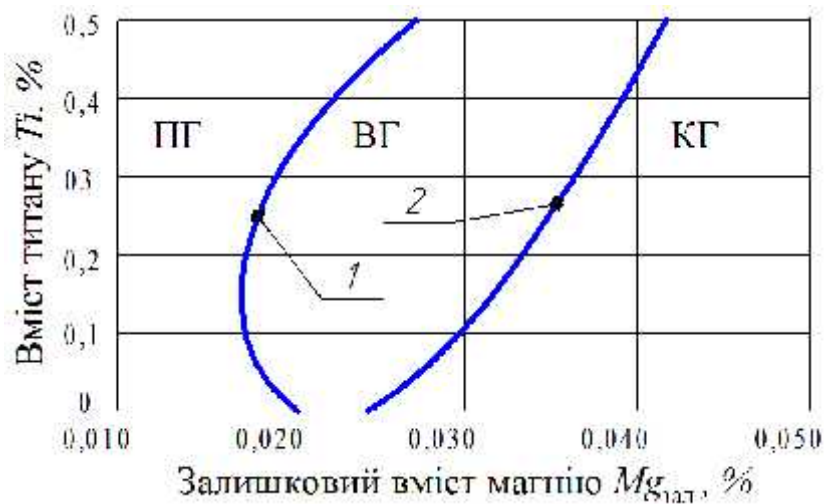
щільніші ($4,96 \dots 5,83 \text{ г/см}^3$) порівняно з сульфідами магнію – $2,79 \text{ г/см}^3$. Все це обмежує раціональність величини такої добавки в межах $0,1 \dots 0,2\%$.

Таким чином, ковшове модифікування розплаву лігатурою ФС30РЗМ30 ефективно сприяє вторинному модифікуванню і є перспективною технологічною операцією при отриманні ВЧ МВЛФ з розплавів з вмістом сірки до $0,03\%$. Однак, через звужений діапазон залишкового вмісту Mg, не дозволяє забезпечити стабільність отримання структур переважно ВГ.

3.8 Використання деглобуляризуючих елементів для отримання магнієвих чавунів з вермикулярною формою графіту

Однією з технологій стабільного виробництва магнієвих чавунів з вермикулярною формою графіту є використання додаткової обробки розплавів елементами, які розширюють область вермикулярного графіту – десфероїзаторами. Найбільше поширення такими добавками є Ti, Al і Zr, які не вироджують вермикулярний графіт [89-90]. Найбільш прийнятним є застосування титану, введення якого можливе у вигляді добавок феротитана та природно легованими титановміщуючими чавунами. Здатність титану зв'язувати сірку в хімічні сполуки, знижуючи її шкідливий вплив, додатково вказує на доцільність його застосування.

Дослідження впливу кількості титана на область формування вермикулярного графіту при МВЛФ лігатурою ФСМг6 і ФС30РЗМ30 визначали після попередньої обробки у ковші $0,1\%$ лігатури і ФС30РЗМ30 на чавунах, що містять $0,035\%$ сірки. Титан вводили у розплав в процесі плавки у виді подрібненого феротитану ФТи35 в межах $0,1 \dots 0,5\%$ (рис. 3.18).



1 – 90% вермикулярного графіту; 2 – 60% вермикулярного графіту.

Рисунок 3.18 – Залежність форми графітових включень у чавуні, обробленому в ковші 0,1% лігатури ФС30РЗМ30 від залишкового вмісту магнію і титану. Перетин вилівка – 35 мм

З діаграми видно, що введення титана до складу чавуна, змінилися положення верхньої та нижньої границі, що обумовило розширенню області формування ВГ. Підвищення вмісту титану до 0,5% сприяє зміщенню верхньої межі від 0,026 до 0,042% $Mg_{зал}$. Додавання до 0,2% титану також зміщує нижню границю області формування ВГ у бік меншого вмісту $Mg_{зал}$, що можна пояснити частковим зв'язуванням сірки у сульфіді титану. Зазначимо, що підвищений вміст титану понад 0,2%, зміщує нижню границю формування ВГ у бік більш високого вмісту залишкового магнію, знижуючи ефективність дії магнію.

Виявлено, що титан забезпечує ефективну графітизуючу дію, і при вмісті його в 0,1% в перерізах вилівка 5 мм припиняє формування кромкового відбілу, та збільшує кількість графітних включень. Титан є ефективним ферити затором структури металевої матриці, знижуючи зміст перліту до 10...15% (рис. 2.19).

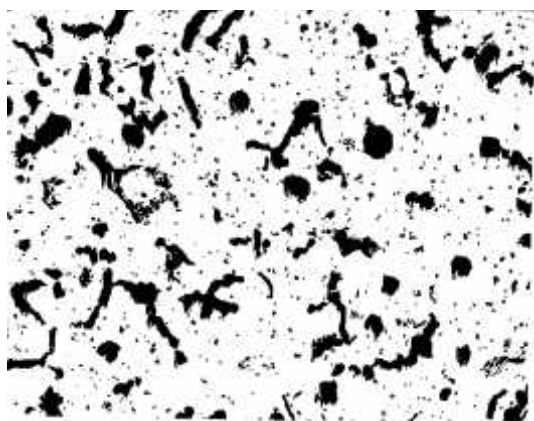


Рисунок 3.19 – Мікроструктура титано вмісного чавуну. Переріз 35 мм, x200.

З аналізу мікроструктури видно, що включення титану переважно розташовані на феритних ділянках, а деякі знаходяться в контакті з графітними включеннями та перлітом (рис. 3.20).

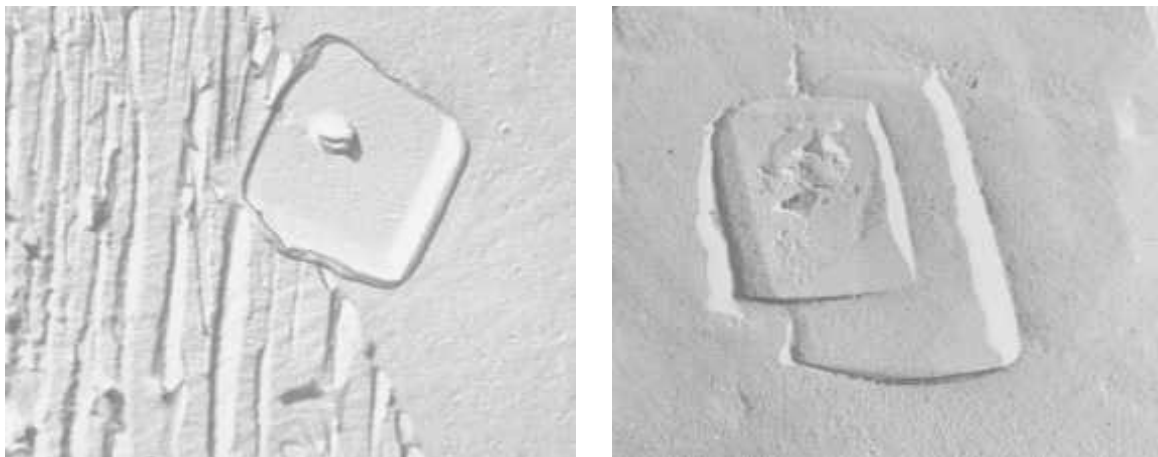


Рисунок 3.20 – Будова неметалевих титановмісних включень у магнієвих чавунах з ВГ. $Ti=0,3\%$ ($\times 10000\times 2$).

Виявлено, що частина дрібних включень екстрагується при знятті лакових реплік з поверхні шліфа для просвічуючої електронної мікроскопії, що вказує на неміцний зв'язок їх з металевою матрицею (рис. 3.44).



Рисунок 3.21 – Екстрагувані титановмісні включення в ($\times 100000$).

У мікроструктурі немодифікованого титановмісного чавуну виявлено, що кількість світло-сірих включень квадратні та трапеційдальні в 15...20 разів менше, ніж у модифікованих чавунах, з розмірами 3...5 мкм. Такі включення класифікують як карбонітриди [91-92]. Лінійно мікрорентгеноспектральним аналізом рафінованих чавунів з титаном виявлено в таких включеннях титан і вуглець, а також реєструється наявність сірки. Аналіз мікродифракційних картин, дозволив ідентифікувати деякі з них як хім. сполуку з гексагональною сингонією $Ti_4C_2S_2$ [99].

Результати мікрорентгеноспектрального аналізу показав наявність магнію в титановмісних включеннях, інтенсивність випромінювання $MgK\alpha_1$ від яких помітно

зростає з підвищенням у чавуні $Mg_{зал}$, при цьому інтенсивність випромінення $MgK\alpha_1$ від графітних включень – незмінна. Можна припустити, що сегрегація магнію в титановміщуючих включеннях сприяє буферній стабілізації при кристалізації на певному рівні концентрації магнію в розплаві і фазах, достатній для формування ВГ.

Таким чином, модифікування чавун титаном, що містить 0,035%S, стабілізує формування включень ВГ, та підвищує чистоти виливків від флотованих продуктів модифікації. Виявлено збільшення твердості титановмістних чавунів з ВГ на 30...80НВ, в порівнянні з чавунами без добавок титану, незважаючи на високий ступінь феритизації. Підвищення твердості обумовлює зниження оброблюємості різанням, що обмежує вміст титану величиною 0,1%, яка достатня для розширення меж залишкового вмісту магнію для формуванню ВГ.

Висновки по науковій частині

1. Порівняльним аналізом факторів, які впливають на формування вермикулярної форми графіту у виливках з високоміцного чавуну виявлено, що значну роль на ці процеси відіграє тривалість затвердіння виливків, час зберігання рідкого розплаву після модифікування, швидкість охолодження при кристалізації, час заливання а також температура. Дані фактори взаємодіючи між собою впливають на формування форми графітових включень.

2. Аналіз модифікаторів, що використовуються для отримання чавуну з вермикулярною формою графіту показав, що визначальним фактором, що впливає на формоутворення вермикулярної форми графіту є стабільно низький вміст сірки у розплаві, а типовий вміст магнію повинен знаходитись в діапазоні 0,010...0,020%.

3. Виявлено, що включення вермикулярного графіту в чавуні розорієнтовані та мають витягнуту форму, потовщені та короткі, з округлими краями. Евтектичний ріст вермикулярного графіту відбувається за рахунок дифузії вуглецю через аустенітну оболонку. Встановлено взаємозв'язок між формуванням вермикулярного графіту у виливках з високоміцного чавуну і активністю процесів графітизації

4. Виявлено, що підвищений вміст лігатури ФС30РЗМ30 до 20...30%, знижує швидкість розчинення модифікуючої суміші та зменшує кількості включень кулястого графіту, при цьому збільшується кількість вермикулярного графіту. Використанням лігатури на основі РЗМ для отримання виливків з чавуну з ВГ є досить технологічним, оскільки вони мають вищу щільність та температуру кипіння, а процес модифікування відбувається без піроефекту.

5. Виявлено підвищення ефективності дії модифікування магнію при виплавці чавуну з вермикулярною формою графіту, за рахунок введення в розплав елементів, що за хімічним спорідненням вищі до сірки, кисню і вуглецю, з якими магній утворює хімічні сполуки при модифікуванні.

6. Модифікування розплаву лігатурою ФС30РЗМ30 ефективно сприяє вторинному модифікуванню і є перспективною технологічною операцією при отриманні чавуну з вермикулярною формою графіту з розплавів з вмістом сірки до 0,03%. Показано, що модифікування чавуну титаном, що містить 0,035%S, стабілізує формування включень вермикулярного графіту, та підвищує чистоти виливків від флотованих продуктів модифікації.

4 ЕНЕРГЕТИЧНА ЧАСТИНА

4.1 Потреба в річній електроенергії

Потребу ливарного цеху в технологічній, силовій та освітлювальній електроенергії, визначаємо по типовим нормам витрат на 1т придатних виливків [5].

Витрати загальної електроенергії по ливарному цеху складають:

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

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

W_c – річна потреба електроенергії на електропривод силових установок, кВт·рік;

Потребу в річній електроенергії розраховуємо на основі встановленої потужності устаткування та річній кількості його роботи. За питомими нормами витрати електроенергії на 1т придатного литва, проводимо укрупнені розрахунки за формулою:

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

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.

$$W_c = 120 \cdot 7500 \cdot 1,05 = 945000 \text{ кВт/рік}$$

Витрати електроенергії на технологічні потреби на рік визначаємо по формулі:

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

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

$$W_T = 420 \cdot 7500 \cdot 1,05 = 3307500 \text{ кВт·рік}$$

Витрати електроенергії загальні:

$$W = 945000 + 3307500 = 4252500 \text{ кВт·рік}$$

Потреби в освітлювальній електроенергії за рік визначається по формулі:

$$W_0 = 0,001 \cdot \rho \cdot F \cdot T_{\partial} \quad (4.4)$$

де ρ – середні витрати за 1 годину на 1м^2 площі (для виробничих відділень ливарного цеху, $\rho = 12 \text{ Вт}$) [6];

F – освітлювальна площа, м^2 ;

T_{∂} – річне число годин освітлювального навантаження.

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

4.2 Річна потреба ливарного цеху чавунного литва у воді

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

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

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

$$P_m = 35 \cdot 7500 = 262500 \text{ м}^3$$

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

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

Потребу цеху в воді на рік визначаємо:

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

$$P = 262500 + 2880 = 265380 \text{ м}^3$$

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

4.3 Річні потреби ливарного цеху в стисненому повітрі

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

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

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

$$Q_{ст} = 750 \cdot 7500 = 5625000 \text{ м}^3.$$

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

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Розрахунок капітальних вкладень

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

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

де $K_{ус}$, $K_{буд}$ – капіталовкладення в устаткування та будівлі відповідно, грн;

$K_{осн}$, $K_{інв}$ – капіталовкладення в технологічне оснащення та інвентар, грн;

$K_{пр}$ – капіталовкладення в проектування діляниці, грн.

Капіталовкладення в устаткування розраховуються за формулою:

$$K_{ус} = K_{ут} + K_{уе} + K_{пту} + K_{км}, \quad (5.2)$$

де $K_{ут}$, $K_{уе}$ – капіталовкладення в технологічне та енергетичне устаткування відповідно, грн;

$K_{пту}$ – капіталовкладення в підйомно-транспортне устаткування, грн;

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

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

Капітальні вкладення у технологічне устаткування розраховуємо за формулою:

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

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 стріжневий автомат моделі DISA CORE 10 EP:

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

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

Таблиця 5.1 – Техніко-економічні показники обладнання

Найменування устаткування	Модель	Кількість	Оптова ціна одиниці, грн.	Величина коефіцієнта			Балансова вартість, грн	Всього
				α_m	α_c	α_m		
Плавильний	MFTGe 5	1	877500	0,1	0,02	0,1	1070550	1070550

комплекс ОТТО Yunker								
Формувальна лінія	DISA MATCH24/ 28	1	1105000	0,05	0,05	0,1	1326000	1326000
Стержневий автомат	DISA CORE 10 EP	1	117000	0,05	0,03	0,1	138060	138060
Установка для приготування суміші	TM-240-90	2	54600	0,05	0,05	0,1	65520	131040
Галтовочний барабан	DISA COLL 2900	1	88400	0,05	0,05	0,1	106080	106080
Дробеметна установка	SHLICK MB 900S	1	123500	0,05	0,05	0,1	148200	148200
Обдирочно- шліфувальний Верстат	3M363	8	9100	0,05	0,05	0,1	10920	87360
Всього								3007290

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Капітальні вкладення в будівлі:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Капітальні вкладення в проектування ливарного цеху визначаються 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 за місяць, $O_i=8700$ грн (технолог та конструктор);
 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 зводяться до таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Капіталовкладення цеху

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

5.2 Техніко-економічна частина

5.2.1 Складання штатного розкладу працюючих ливарного цеху.

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 1т литва, 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 діляниць 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;

$H_{бр}$ – число робітників в бригаді, чол;

$K_{вик}$ – коефіцієнт використання робочого часу.

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

де C – коефіцієнт невиходу на роботу з поважних причин.

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

Приймаємо 1 плавильника на плавильний комплекс, кількість – 1 шт.

На заливочному обладнанні – 1 заливщик на одну автоматичну лінію.

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

Кількість робітників на сумішоприготувальному обладнанні:

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

Кількість робітників на стержнеприготувальному обладнанні:

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

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

Повний склад виробничих робітників приводиться в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Склад виробничих робітників ливарного цеху

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

Чисельність допоміжних робітників визначається за формулою:

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

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

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

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

Таблиця 5.4 – Штатний розклад кількості допоміжних робітників

№ групи	Професія	Кількість чоловік	Середній розряд роботи	Методика розрахунку та джерело інформації
1.	Чергові слюсарі	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% від $R_{\text{доп}}$
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
	Комірники	2	2	4% від $R_{\text{доп}}$
6.	Прибиральники виробничих приміщень	2	2	Приймаємо 1 прибиральник на зміну на 2500-3000м ² площі цеху
7	Підсобні робітники на очисній ділянці	2	2	4% від $R_{\text{доп}}$
Всього $\Sigma R_{\text{маходоп}}$ 24				

Чисельність керівників і спеціалістів приймається у відсотках від чисельності робітників:

$$R = 20\% \cdot (32 + 24) = 12 \text{чол}$$

Таблиця 5.5 – Штатний розклад керівників і спеціалістів цеху

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

Загальний склад працюючих в цеху заносимо до зведеної таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Загальний склад працюючих ливарного цеху

Категорія працюючих	Всього чоловік	Відсоток від загальної кількості працюючих
Виробничі працівники	32	50,58

Допоміжні робітники	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:

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

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

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

де Z – номенклатура професій виробничих (допоміжних) робітників;

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

$R_{\text{спп}}$ – кількість виробничих робітників відповідного розряду;

$R_{\text{сп}}^{\text{зар(д)}}$ – загальна кількість, виробничих (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 врахування премії робітникам, $K_{\text{пр}} = 0,15$ [28];

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

$K'_{\text{д}}$ – 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:

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

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

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 одного допоміжного робітника:

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

Середньо-годинна тарифна ставка виробничих робітників:

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

Фонд заробітної плати виробничих робітників:

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

Середньомісячна заробітна плата виробничих робітників:

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

Плавильне відділення

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

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

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

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 експлуатацією устаткування:

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

$$t_y = \frac{\sum P_o}{T_{pich}}$$

$$T_{pich} = Q_n \cdot t_n$$

де T_{pich} – трудомісткість річної виробничої програми цеху;

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

$$T_{pich} = 7500 \cdot 15 = 112500 \text{ нормо-год.}$$

$$t_y = \frac{25669284}{112500} = 228,2 \text{ грн./нормо-год.}$$

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

5.4 Калькуляція собівартості відливків

Вартість шихтових матеріалів по сплаву ВЧ 450:

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

Визначаємо цехову собівартість тони рідкого металу по сплаву СЧ 20 (табл. 5.7) за формулою:

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

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

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

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

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

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

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

Цехову собівартість 1т придатних відливків сплаву ВЧ 450 (табл. 5.8) визначаємо за формулою:

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

де Z_o – основна заробітна плата виробничих виробників плавильної дільниці, грн;

Z_d – додаткова заробітна плата виробничих робітників без плавильної дільниці, грн;

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

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

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

Вартість шихтових матеріалів високоміцного чавуну ВЧ 450:

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

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

Π_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:

$$Z_o = \frac{\Phi_{опл}}{Q_{р.м}}$$

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

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

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

$$Z_{о.без.пл} = \frac{3154164,8}{9685,8} = 325,6 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата виробничих робітників плавильної дільниці:

$$З_d = З_o \cdot (K_d + K_{d1}), \quad (5.25)$$

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

$$З_{d,без.пл} = 325,6 \cdot (0,08 + 0,1) = 58,6 \text{ грн.}$$

Відрахування на соціальне страхування виробничих робітників:

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

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

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

$$З_{відр.безпл} = \frac{22}{100} \cdot (325,6 + 58,6) = 84,5 \text{ грн.}$$

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

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

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

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

$$P_o = 282,2 \cdot \frac{3,0}{1000} \cdot 1000 = 846,6 \text{ грн.}$$

$$P_o = 282,2 \cdot \frac{12}{1000} \cdot 1000 = 3386,4 \text{ грн.}$$

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

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

$$K_{ц.р.м.} = \frac{176}{100} \cdot (33,6 + 846,6) = 1549,15 \text{ грн.}$$

$$K_{ц.пр.л} = \frac{176}{100} \cdot (325,6 + 3386,4) = 6533,12 \text{ грн.}$$

Калькуляцію цехової собівартості 1т рідкого металу (придатного литва) заносимо до табл. 5.7 та 5.8.

Таблиця 5.7 – Планова калькуляція 1т рідкого металу сплаву ВЧ 450

№ 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 дільниці			33,6
6	Додаткова заробітна плата виробничих робітників			6
7	Відрахування в соціальні фонди			7
8	Витрати на утримання і експлуатацію устаткування			846,6
9	Загальноцехові витрати			1549,15
10	Цехова собівартість 1т рідкого металу			12780,95

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

№ рядка	Найменування статей	Кількість, кг	Ціна, грн/кг	Сума, грн.
1	Рідкий метал	1291,44	12,78	16504,6
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			325,6
5	Додаткова заробітна плата без плавильної дільниці			58,6
6	Відрахування на соціальне страхування			84,5
7	Витрати на утримання і експлуатацію устаткування			3386,4
8	Загально-цехові витрати			6533,12
9	Цехова собівартість 1т придатного литва			25018

Техніко-економічні показники ливарного цеху заносимо в таблицю 5.9.

Фондовіддачу розраховуємо за формулою:

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

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

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

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

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

Тоді:

$$f_0 = \frac{25018 \cdot 7500}{110334121 - 114840} = 1,7 \text{ грн./грн.}$$

Таблиця 5.9 – Техніко-економічні показники цеху чавунного литва

№ п/п	Найменування показників	Одиниця виміру	Величина показників
1	Річний випуск чавунного литва	Т	7500
2	Працюючі в ливарному цеху: - виробничих робітників - допоміжних робітників - керівників і спеціалістів	чол чол чол.	32 24 12
3	Фонд заробітної плати: - виробничих робітників - допоміжних робітників - керівників і спеціалістів	грн грн грн.	3983386,8 2202687,5 1003184
4	Собівартість 1т рідкого чавуну	Грн.	12416,8
5	Собівартість 1т придатного чавуну	Грн.	25018
6	Капіталовкладення всього, в тому числі і технологічного устаткування	Грн. грн.	110334121 3007290
7	Загальна площа цеху	м ²	5760
8	Випуск литва на 1-го виробничого робітника	т/чол.	234
9	Середня заробітна плата на одного виробничого робітника	Грн.	9708,9
10	Трудомісткість 1т придатного чавуну	н-год/т	15
11	Зем з 1м ² загальної площі	т/м ²	1,25
12	Фондовіддача	грн/грн	1,7

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

Список використаних джерел

1. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Граневский Ю.В. Планирование экспериментов при поиске оптимальных условий-М.: Наука, 1971,-283 с.
2. Александров Н.Н., Ковалевич Е.В., Поддубный А.Н. Производство высококачественных чугунов //Литейное производство – 1996. №11.- С. 11-14.
3. Баландин Г.Ф. Основы теории формирования отливки. В 2-х частях. 4.1. Тепловые основы теории. Затвердевание и охлаждение отливки М.: Машиностроение 1976. 348 с.

4. Березуцький В.В. Основи Охорони праці. Навч. Посібник / Березуцький В.В., Бондаренко Т.С., Валенко Г.Г. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Х.: Факт, 2007. – 480 с.
5. Богачев И.Н. Металлургия чугуна, М., Машгиз. 1962.-542 с.
6. 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.
7. Бунин К.П., Таран Ю.Н. Строение чугуна. - М. - Metallurgy. 1972. - 170 с.
8. Вашуков, И. А. Структурообразование при формировании отливок из нелегированных и легированных чугунов [Текст] / И.А. Вашуков// Литейное производство. - 1978. - №2. - С4-5
9. Великанов К. М. Экономика и организация производства в дипломных проектах: Уч. пособие / К. М. Великанов, Э. Г. Васильева. – М.: Машиностроение, 1986. – 285 с.
10. Великанов К.М. Расчёты экономической эффективности новой техники. Справочник / под ред. К.М. Великанова. – М.: Машиностроение, 1975. – 432с.
11. Воронова Н. А. Десульфурация чугуна магнием / Н. А. Воронова – М.: “Металлургия”, 1980. – 239 с.
12. Гиршович Н.Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. М.: Машиностроение, 1966.- 563 с.
13. Гиршович Н.Г. Справочник по чугунному литью. / Н. Г. Гиршович. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1978. – 758 с.
14. 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.
15. Гуляев А.П. Металловедение. - М.: Metallurgy, 1977.- 647с.
16. Гуляев Б.Б. Теория литейных процессов. - М.: Машиностроение, 1976 - 327 с.
17. 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.
18. Дюдкин Д.А. Производство стали. Том 2. Внепечная обработка жидкого чугуна / Д. А. Дюдкин, В. В. Кисиленко. – М.: “Теплотехник”, 2008. – 400 с.
19. 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.
20. Жидецький В.Ц. Практикум із охорони праці. Навчальний посібник / Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Сторожук В.М. – Львів, Афіша, 2000. – 352 с.
21. Жуков А.А. Геометрическая термодинамика сплавов железа. - М.: Metallurgy, 1979,- 232 с.
22. Жуков А.А. Ликвация кремния в чугуне и построение структурных диаграмм // Диссертация на соискание кандидатской степени.- М. ЦНИИТмаш, 1959.-346 с.

23. Жуков А.А., Давыдов С.В., Добровольский И.И. Температурная зависимость влияния меди и алюминия на склонность чугуна к графитизации // Литейное производство, — 1999. №5. - С. 17-19;
24. Зейгер И. Б. Оборудование литейных цехов. – М.: Высш. школа, 1980. – 368с.
25. Козлов, Л. Я. Механизм сфероидизации графита [Текст] / Л. Я. Козлов, А. П. Воробьев// Литейное производство. - 1991. - № 2. - С. 3-5.
26. 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.
27. Куликов И. С. Десульфурация чугуна / И. С. Куликов. – Москва, 1962. – 306 с.
28. Кульбовский И.К. Методы определения оптимального легирования и модифицирования синтетического чугуна. // Литейное производство.- 1986.-№8;- С. 5-7.
29. Кульбовский И.К. Прогнозирование свойств и структуры отливок, из чугуна на основе математических моделей и расчетов на ЭВМ// Тез. докл. Всесоюзн. научн. техн. конф.- Андропову 1987,- С.79-80.
30. Кульбовский И.К. Факторы, влияющие на форму графита в чугуне. // Литейное производство.-1991.- №2.- С. 8.
31. Курагин О.В., Соловьев М.П., Михайлов Д.П. Продолжительность действия графитизирующих модификаторов // Известия вузов. Черная металлургия. -1992. №3.-0.56-58.
32. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. - М.: Машиностроение, 1990,- 528 с.
33. Логвинов И. З. Проектирование литейных цехов. Минск: Высшая школа, 1975. – 320с.
34. Марукович, Е. И. Механизм формообразования графита при кристаллизации чугуна / Е. И. Марукович, В. Ю. Стеценко // Литейное производство. – 2000. № 11. – С. 18-19.
35. Машиностроение.. Энциклопедия. Том П-2. Стали. Чугуны // Под ред. Г.Р.Мухина; А/И.Белякова, Н.Н-Александрова: М:-Машиностроение, 2000.-783с.
36. Москалев И. Н. Методические указания к дипломному проектированию для студентов специальности 0502 / И. Н. Москалев, А. П. Владимиров, В. С. Миронов. – Кировоград: КИСМ, 1985. – 75с.
37. Методические указания к курсовому проектированию по дисциплине “Технология литейной формы” для специальностей 0202. Составители: В. С. Миронов, В. М. Телин, В. И. Кудя. – Кировоград: КИСМ, 1995. – 75с.
38. Методичні вказівки до проєктивних занять по дисципліні «Проектування ливарних цехів» для студентів спеціальності 8.090205 / В.І. Кудя, О.В. Скрипник – Кировоград: КДТУ. 1999. – 27с.
39. Методичні вказівки по виконанню економічних розрахунків по «Організації та плануванню виробництва при проектуванні ливарних цехів» / І. Л. Шаповалов, І. Н. Москалев. Кировоград: КДТУ, 1996. – 41с.
40. Могилев В. К., Лев О. И. Справочник литейщика. – М.: Машиностроение, 1988. – 271 с.

41. Могилев В.К., Лев О.И.. Справочник литейщика. – М.: Машиностроение, 1988. – 271с.
42. Москалев І. Н. Ливарні сплави та їх плавка: Навчальний посібник. – К.: НМКВО, 1993. – 368с.
43. Оборудование литейных цехов / П. Н. Аксенов. – М.: Машиностроение, 1977. – 510с.
44. Основы проектирования литейных цехов и заводов / под ред. Б. В. Кнорре. – М.: Машиностроение, 1985. – 320с.
45. Проектирование машиностроительных цехов и заводов: Справочник (под ред. Е. С. Ямпольского) – М.: Машиностроение, 1984. – 414с.
46. Рибальченко Н. А. Проектирование литейных цехов. Харьков: Издательство Ордена трудового Красного Знамени Государственного университета им. А.М. Горького, 1965. – 307с.
47. Рыжиков, А.Л. Структура и свойства чугуна с шаровидным графитом, обработанного комплексными модификаторами [Текст] / А.Л. Рыжиков, А.С. Кузнецов, Ю.И. Роматовский; под ред. А.А. Горшкова. - Киев. - 1971. - 288 с.
48. Сабірзянов Т.Г.Теплотехніка ливарних процесів / Т.Г. Сабірзянов, В.М. Кропівний. – Кіровоград: КНТУ, 2005. – 402 с.
49. Савуляк, В. І. Економічні технології високоміцних графітізованих сплавів заліза: монографія / В. І. Савуляк, О. Б. Янченко. – Вінниця: ВНТУ. 2014. 160 с.
50. Сазонов В.Я. Справочник по литейному оборудованию. М.: Машиностроение, 1985. – 320с.
51. Сидоренко, Р. А. Механизм действия сфероидизаторов графита при затвердевании чугуна [Текст] / Р.А. Сидоренко, В.И. Череменин, М.Д. Харчук// Известия АН СССР. Металлы. - 1974. -№ 1. - С 64 - 68.
52. Сидоренко Р. А. О механизме влияния поверхностно-активных элементов на форму графита в чугуне [Текст] / Р. А. Сидоренко // Изв. АН СССР. Металлы. - 1967. -№ 2. - С. 138-146.
53. Скаланд, Т. Механизмы зародышеобразования в высокопрочном чугуне [Текст] / Т. Скаланд; Elkem ASA, Foundry Products. - Норвегия. - 2006. - С. 5 - 24.
54. Снежной Р.Л. Интенсификация процессов затвердевания и регулирования структуры и свойств чугуновых отливок. Докл. дисс. - М.: МВТУ им. Баумана, 1981.-345 с.
55. Справочник по чугунному литью, - М.: Машиностроение, 1978.-758 с.
56. Сумцов В. П. Устаткування ливарних цехів. – К: ІСДО, 1993. – 552с.
57. Сытник, Н. М. К вопросу о сфероидизации графита [Текст] / Н. М. Сытник, В. Н. Лиханов, Ю. Ф. Гарунов// Литейное производство. - 1983. - № 12.-С. 8-9.
58. Титов И. Д., Степанов Ю. А. Технология литейного производства. – М.: Машиностроение, 1966. – 271 с.
59. Туманський Б. Ф. Проектування ливарних цехів. – К.: НМКВО, 1992. – 188с.
60. 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.

61. 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.

62. Хуснутдинов Г. Д. К вопросу о формообразовании графита в чугуне [Текст] / Т.Д. Хуснутдинов, А.В. Черновол. - Киев: ИПЛ АН УССР. - 1983. - 141 с.

63. Чугун. Под ред. А.Д. Шермана и А.А. Жукова. М.: Металлургия. – 1991.-576 с.

64. Шебастинов, М. П. Роль модификатора в процессе формирования включений графита шаровидной формы [Текст] / М.П. Шебастинов// Литейное производство. - 1979. - №1. - С. 2 - 4.

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

66. Ямпольский Е.С. Проектирование машиностроительных заводов и цехов. Справочник. В шести томах. Т. 2. / Е.С. Ямпольский, В.М. Шестопал. – М.: Машиностроение, 1974. – 294 с.

67. Кропівний В.М. Чавун з вермикулярним графітом. Навчальний посібник: навчально-методичний комплекс для студентів денної і заочної форм навчання / В.М. Кропівний, О.В. Кузик, А.В. Кропівна, Г.М. Засінець // Загальна редакція В.М. Кропівного. – Кропивницький : Видавець Лисенко В.Ф., 2019. – 222 с.

68. Шибеев Е.А. «Развитие представлений о механизмах протекания усадочных процессов при затвердевании отливок из высокопрочного чугуна в сырых песчанноглинястых формах» диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Москва, 1990г, 166с.

69. Шишараев С.В., Ланин В.Л., Игнатов М.Н. «Исследование величины предсадочного расширения и давление отливки на стенки формы в зависимости от углеродного эквивалента, типа и количества модификатора в отливках из высокопрочного чугуна (ЧШГ)», научная сессия МИФИ - 2004, том 15, с 119-120.

70. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. «Теория упругости». М.: Наука, 1965г., 204с.

71. Shen Zeji. The vermiculizing effect of individual RE elements on graphite in cast iron // New front Rase Earth. Sei and Appl. Proc. Inter. Conference Beijing. Sept. 10-14. 1985. V. 2. P. 1369-1405

72. Бестужев Н. И., Бестужев А. Н., Леках С. Н. Стабильность технологических процессов и перспективы расширения производства отливок из чугуна с вермикулярным графитом // Литейное производство. 2005. №3. С. 4-6/

73. Болдырев Д. А. Расчёт элементов литниковой системы для внутриформенного модифицирования ВЧШГ // III Международная научно-практическая конференция Прогрессивные литейные технологии : Труды конференции. - М.: МИСиС, 2005. С. 44-45

74. Левченко Ю. Н. Состояние магния в жидком чугуне // Литейное производство. 1966. №9. С. 36

75. Ващенко К. И., Софрони Л. Магниевый чугун. М. - Киев: 1990. 487 с.

76. Кимстач Г. М. К вопросу о механизме сфероидизирующего модифицирования чугуна//Литейное производство. 1992. №1. С. 6-7

77. Билецкий А. К., Шумихин В. С. О механизме образования шаровидного графита // Литейное производство. 1990. №7. С. 4

78. Кимстач Г. М., Муховецкий Ю. П., Постнова А. Д., Процайло Р.Б. О микрораспределении магния в структуре высокопрочного чугуна // Литейное производство. 1984. №7.
79. Волощенко М. В. О фазовых превращениях в магниевом чугуне. Киев: НТО Машпром. 1958.
80. Самсонов Г. В. Механизм действия щелочных металлов на процесс модифицирования // В сб. Модифицирование силуминов . Киев: АН УССР. 1970. С. 125-130.
81. Кимстач Г. М. О теории сфероидизирующего модифицирования чугуна // Деп. В институте Черметинформация. 1982. №1421. 14 с.
82. Кимстач Г. М. О механизме сфероидизирующего модифицирования чугуна // В сб. Закономерности формирования структуры в сплавах эвтектического типа. Днепропетровск. 1982.
83. Кимстач Г. М. Письмо в редакцию // Литейное производство. 1982. №12.
84. Кимстач Г. М. О теоретических основах совершенствования технологических процессов модифицирования расплавов чугуна и силумина // Сб. материалов Всесоюзной конференции. Одесса. 1984.
85. Кимстач Г. М., Муховецкий Ю. П., Борисов В. Д., Лобанов С. В. О модифицировании сплавов Al - Si // Литейное производство. 1981. №8.
86. Кимстач Г. М., Муховецкий Ю. П., Борисов В. Д. О механизме модифицирования силуминов // В сб. Закономерности формирования структуры в сплавах эвтектического типа. Днепропетровск. 1982.
87. Кимстач Г. М., Муховецкий Ю. П., Борисов В. Д., Лобанов С. В. О модифицировании заэвтектических Al - Si-сплавов // МиТОМ. 1984. №6.
88. Балинский С. В., Кравченко Д. С. Особенности процесса модифицирования чугунов // Литейное производство. 2001. №1. С. 9-11
89. Литовка В. И., Дубровин А. С, Венгер В. В. Эффективные магнийсодержащие модификаторы // Литейное производство. 1987. №6. С. 11-13.
90. Волощенко М. В., Хубенов Г. Н. Барийсодержащие комплексные модификаторы для получения высокопрочного чугуна // Литейное производство. 1981. №12. С. 7-9
91. Литовка В. И. Повышение качества высокопрочного чугуна в отливках. Киев: Наукова думка. 1987. 78 с.
92. Захарченко Э. В., Левченко Ю. Н., Горенко В. Г., Вареник П. А. Отливки из чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом. Киев: Наукова думка. 1986. 95 с.
93. Mayer H. Grossgussstücke aus Gusseisen mit Kugelgraphit // Giesserei-Rundschau. 1971. №12. S. 19-28.
94. Graham P. S. Hinweise zur Herstellung von dickwandigen Gussstücken aus Gusseisen mit Kugelgraphit // Giesserei-Praxis. 1983. №8. S. 116-125
95. Mayer H. Dickwandige Gusstücke aus Giesseisen mit Kugelgraphit // Giesserei. 1973. №7. S. 175-181
96. Любченко А. П. Высокопрочные чугуны. М.: Металлургия. 1982. 120 с.
97. Сытник Н. М., Лиханов В. Н., Гарунов Ю. Ф. К вопросу о сфероидизации графита // Литейное производство. 1983. №12. С. 8-9

98. Козлов Л. Я., Воробьёв А. П., Чень Гуй Жу, Салах Аззам Роль РЗМ в формировании структуры чугуна // Литейное производство. 1995. №4-5. С. 1*5
99. Колпаков А. А., Зуев М. П., Зиновьев Ю. А. Автомобильные отливки из высокопрочного чугуна // Литейное производство. 1999. №8. 16-18.
100. Сенкевич Ю. И., Шицман Е. Б. Технология и оборудование для получения высокопрочного чугуна. Основные направления работ // Литейное производство. 1991. №9. С. 5-8.
101. Булаевский Я. В., Козлов Л. Я., Тэн Э. Б. Модификатор для высокопрочного чугуна, содержащего висмут и РЗМ // Литейное производство. 1991. №9. С. 8-9.
102. Лернер Ю. С., Сенкевич Ю. И., Булаевский Я. В. Графитизирующая обработка чугуна с шаровидным графитом висмутосодержащими модификаторами // Литейное производство. 1988. №7. С. 5
103. Wang Ch., Frederiksson H. On the mechanism of inoculation of cast iron melts // 48th International foundry congress. 4-7.10.1981. Varna, Bulgaria. Preprint № 259
104. Кубашевски О., Олкокк С. Б. Metallургическая термохимия. М.: Metallургия. 1982. С. 392

ДОДАТКИ