

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ МЕТАЛУРГІЇ

Кафедра металургії
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота / проект
другий магістерський
(рівень вищої освіти)

на тему Аналіз процесів отримання
високолінійного чавуну в індукційних
печах

Виконав: студент II курсу, групи МЕТ-18-1МЗ
спеціальності 136 - металургія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми металургія чорних металів
(код і назва освітньої програми)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

Новалова А.В.
(ініціали та прізвище)

Керівник д.т.н. проф. Скачков В.О.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент к.т.н. доцент Карченко О.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
20 10

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет металургії
Кафедра металургії
Рівень вищої освіти другий магістерський
Спеціальність 136 - металургія
(код та назва)
Освітня програма металургія горних металів
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри металургії
Гіртловий Ю. П.
« 10 » 01 2020 року

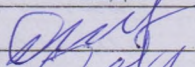
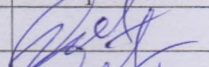
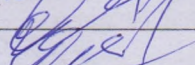
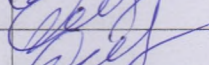
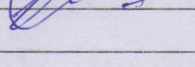
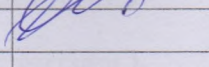
ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Говарьовій Аніні Володимирівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи (проекту) Аналіз процесів отримання високолінійного гавуни в індукційних печах
- керівник роботи д.т.н., професор Снажков В.О.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
- затверджені наказом ЗНУ від « 10 » 01 2019 року № 1541-с
- Строк подання студентом роботи 30.12.2019 р
- Вихідні дані до роботи високолінійний гавун, лігатура, комплексні модифікатори, індукційна печельна ніч
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вплив домішок на структуру і властивості гавуни. Види гавунів і їх маркування і застосування. Особливості отримання високолінійного гавуни з графіту. Властивості високолінійного гавуни.
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Схеми форми графіту в гавунах. Вплив домішкових елементів на сфероїдизацію графіту. Смак найбільш поширених лігатур на основі М-М₂. Смак комплексних модифікаторів для отримання гавуни з кривостям вмістом графіту. Індукційна печельна ніч. Схема автоклава для модифікування гавуни.

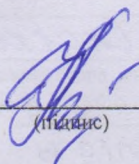
6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	д. т. н. проф. Скачков В.О.		
2	д. т. н. проф. Скачков В.О.		
3	д. т. н. проф. Скачков В.О.		

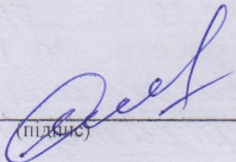
7 Дата видачі завдання 01.10.2019р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

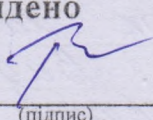
№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз структури та властивостей гавдуну	1.11.2019р	
2.	Методичні основи індукційної плавки гавдуну	15.11.2019р	
3	Технологія виплавки високо-міцного гавдуну	1.12.2019р	
4.	Оформлення графічного матеріалу	30.12.2019р	

Студент 
(підпис)

А.В. Ковалова
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) 
(підпис)

В.О. Скачков
(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено
Нормоконтролер 
(підпис)

С.В. Башкін
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Ковалева А.В. Аналіз процесів отримання високоміцного чавуну в індукційних печах.

Кваліфікаційна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 136 - Metallurgy, науковий керівник д.т.н., проф. В.А. Скачков. Інженерний інститут Запорізького національного університету. Факультет металургії, кафедра металургії, 2020.

Проведено аналіз схем та методів отримання високоміцного чавуну. Встановлена залежність функціональних властивостей чавуну від фазової структури та розмірів фаз. Встановлено вплив модифікаторів на фазовий склад чавуну та структуру графіту а також встановлено термодинамічні умови фізико-хімічних процесів в процесі легування та розкислення чавуну.

Ключові слова: ЧАВУН, МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, ІНДУКЦІЙНА ПІЧ, РОЗКИСЛЕННЯ, ДОМІШКИ, ВИСОКОМІЦНИЙ ЧАВУН.

ANNOTATION

Kovaleva A.V. Analysis of processes for producing ductile iron in induction furnaces.

Qualification work for obtaining a higher education degree of a master's degree in specialty 136 - Metallurgy, scientific adviser doctor of technical sciences, prof. V.A. Skachkov. Engineering Institute of Zaporizhzhya National University. Faculty of Metallurgy, Department of Metallurgy, 2020.

The analysis of schemes and methods for producing ductile iron is carried out. The dependence of the functional properties of cast iron on the phase structure and phase size is established. The effect of modifiers on the phase composition of cast iron and the structure of graphite is established, and the thermodynamic

conditions of physicochemical processes in the process of alloying and deoxidized cast iron are established.

Keywords: CAST IRON, MECHANICAL PROPERTIES, INDUCTION FURNACE, ACIDITIES, IMPURITIES, HIGH-STRENGTH IRON

АННОТАЦИЯ

Ковалева А.В. Анализ процессов получения высокопрочного чугуна в индукционных печах.

Квалификационная работа для получения степени высшего образования магистра по специальности 136 - Metallurgy, научный руководитель д.т.н., проф. В.А. Скачков. Инженерный институт Запорожского национального университета. Факультет металлургии, кафедра металлургии, 2020.

Проведен анализ схем и методов получения высокопрочного чугуна. Установлена зависимость функциональных свойств чугуна от фазовой структуры и размеров фаз. Установлено влияние модификаторов на фазовый состав чугуна и структуру графита а также установлены термодинамические условия физико-химических процессов в процессе легирования и раскисленной чугуна.

Ключевые слова: ЧУГУН, МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, ИНДУКЦИОННАЯ ПЕЧЬ, РАСКИСЛЕНИЯ, ПРИМЕСИ, ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ЧАВУНУ.....	11
1.1 Основні характеристики чавуну.....	11
1.2 Вплив домішок на структуру і властивості чавуну.....	12
1.3 Види чавунів, їх маркування і застосування.....	13
1.3.1 Білі чавуни.....	13
1.3.2 Сірі чавуни.....	16
1.3.3 Ковкий чавун.....	20
1.3.4 Високоміцний чавун.....	23
1.3.5 Леговані чавуни зі спеціальними властивостями.....	25
1.3.6 Жаростійкі чавуни.....	26
1.3.7 Чавун із вермикулярним графітом.....	27
1.3.8 Бейнітний чавун.....	28
1.4 Методи модифікування.....	36
Висновки до розділу 1.....	47
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ІНДУКЦІЙНОЇ ПЛАВКИ ЧАВУНУ.....	48
2.1 Особливості індукційної плавки.....	48
2.2 Особливості отримання високоміцного чавуну з графіту вермикулярною формою.....	50
2.3 Основні види і застосування індукційних печей.....	56
2.4 Сировинні матеріали для виплавки чавуну.....	63
2.5 Модифікатори.....	64
Висновки до розділу 2.....	71
РАЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЯ ВИПЛАВКИ ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ.....	72
3.1 Підготовка сировини	72
3.2 Підготовка індукційної печі до плавки.....	74
3.3 Розрахунок шихти для плавки чавуну.....	75

3.4 Підготовка матеріалів для розкислювання.....	78
3.5 Підготовка розливного ковша до прийому металу.....	79
3.6 Підготовка рідкого чавуну в ковші для заливки у форми.....	80
3.7 Ливарні властивості високоміцних чавунів.....	81
3.8 Властивості високоміцного чавуну.....	83
3.9 Термічна обробка виливків.....	87
Висновки до розділу 3.....	94
ВИСНОВКИ.....	95
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	96

ВСТУП

Чавун порівняно з вуглецевою сталлю характеризується кращими ливарними і гіршими пластичними властивостями.

Механічні властивості чавуну залежать від двох чинників: кількості, розміру, форми і розподілу графітових вкраплень; структури металевої основи.

Для отримання розплаву чавуну невеликих об'ємів можна використати індукційну піч. В процесі плавки в індукційних печах на розплавлений метал діють сили, викликані взаємодією струму, що проходить по індуктору і потоків, які індуються у розплавленому металі. Ці сили направлені радіально до центру розплавленого металу. Під їх дією метал витискується по вісі тигля вгору і вниз, створюючи активну циркуляцію, яка призводить до інтенсивного перемішування та забезпечує швидке одержання однорідного по складу сплаву.

Важливою особливістю індукційних печей є генерація тепла безпосередньо в металічній садці, а не передача його ззовні, що дає можливість нагріву металу до досить високих температур. Підвищення температур практично лімітується тільки стійкістю плавильного тигля і тепловіддачею випромінюванням в навколишнє середовище.

Особливості індукційного нагріву, згадані вище, дають можливість з успіхом проводити плавку металу не тільки у повітряній атмосфері, а і у вакуумі та в захисних атмосферах.

Мета роботи: надати аналіз конструктивно – технологічних схем та розробити технологію отримання високоміцного чавуну в печах з індукційним способом нагріву.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз схем та методів отримання високоміцного чавуну.
2. Запропонувати спосіб розрахунку шихтових матеріалів та розрахувати раціональний склад шихти для отримання високоміцного чавуну.
3. Розробити технологічні варіанти отримання високоміцного чавуну.
4. Запропонувати варіанти термообробки відливок чавуну.

Об'єкт дослідження: фізико-хімічні процеси та закономірності при виробництві високоміцного чавуну.

Предмет дослідження: технологія процесу отримання високоміцного чавуну та відливок з нього.

Методи дослідження: термодинамічний аналіз процесів відновлення оксидів, розрахункові методи складу шихтових матеріалів, режимів термообробки відливок з високоміцного чавуну.

Наукова новизна:

1. Встановлена залежність функціональних властивостей чавуну від фазової структури та розмірів фаз.
2. Встановлено вплив модифікаторів на фазовий склад чавуну та структуру графіту.
3. Встановлено термодинамічні умови фізико-хімічних процесів в процесі легування та розкислення чавуну.

Практичне значення:

1. Проведено вибір модифікаторів та запропоновано технологію виплавки високоміцного чавуну.
2. Запропоновано варіанти термообробки відливок з високоміцного чавуну.

Апробація результатів роботи: результати досліджень, які включено до кваліфікаційної магістерської роботи, доповіли на конференції кафедри Металургії.

Відомості про публікації: основні результати роботи викладені в збірці магістерських робіт і статей, і 1 тезах конференцій.

Структура і об'єм роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 32 найменувань, викладена на 98 сторінках машинописного тексту, включаючи 25 рисунків, 13 таблиць.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ЧАВУНУ

1.1 Основні характеристики чавуну

Чавун — це сплав заліза з вуглецем (з вмістом від 2,14 до 6,67 % C).

У машинобудуванні застосовують чавуни, які містять від 2,14 до 4,5 % вуглецю.

Чавун порівняно з вуглецевою сталлю характеризується кращими ливарними і гіршими пластичними властивостями.

Механічні властивості чавуну залежать від двох чинників: кількості, розміру, форми і розподілу графітових вкраплень; структури металевої основи.

Перший чинник має вирішальне значення, оскільки графітові вкраплення, розміщуючись у чавуні і утворюючи ніби надрізи в металевій основі, ослаблюють його міцність (особливо при великих вкрапленнях). При дрібних графітових вкрапленнях чавун має високі механічні властивості.

Характер і ступінь графітизації зумовлюється швидкістю тверднення і охолодження чавуну. Чим повільніше відбувається процес тверднення й охолодження, тим краще розкладається карбід заліза, тим більше виділяється графіту.

Другим чинником впливу на міцність чавуну є структура його металевої основи.

Нормальна структура сірого чавуну (без добавляння легувальних елементів і без термообробки) є феритною чи перлітною, а проміжна між ними — феритно-перлітною металевією основою.

Найбільш бажана металева основа чавуну — перліт із вмістом 0,8 % зв'язуючого вуглецю Fe_3C . Чавуни з феритною і феритно-перлітною основою мають знижену міцність, порівнюючи з перлітним чавуном, але вони характеризуються підвищеною в'язкістю, оскільки в них менше або зовсім немає зв'язуючого вуглецю.

Щоб підвищити механічні властивості чавуну, перед розливанням у форми в рідкий чавун додають модифікатор у вигляді розмеленого силікокальцію чи феросиліцію в кількості 0,1...0,4 % від маси чавуну. Модифікатори розкиснюють чавун, утворюють силікатні вкраплення, які є центрами графітизації і гальмують ріст зерен графіту. Це дає змогу одержувати високоміцний чавун з кулястим графітом.

1.2 Вплив домішок на структуру і властивості чавуну

Вуглець визначає структуру і властивості чавуну. В чавуні він може бути в структурі цементиту або графіту. Графіт у чавуні має пластинчасту, кулясту і пластівцеву форму.

Виділення вуглецю у вигляді графіту надає чавуну кращих ливарних властивостей.

Манган збільшує крихкість чавуну, поліпшує рідкотекучість. Він сприяє відбілюванню чавуну, тобто утворенню хімічної сполуки Fe_3C (цементиту). У чавунах міститься 0,5... 1,0 % мангану.

Силіцій сприяє графітизації чавуну, тобто утворенню сірого чавуну. Він утворює із залізом хімічні сполуки (FeSi , Fe_3Si_2 , які називають силіцидами. Силіциди переходять у твердий розчин із залізом, знижують розчинність вуглецю в залізі, сприяють розпаду цементиту з виділенням графіту.

Графітизувальні дії силіцію практично обмежуються 3,5 % його вмісту в чавуні. Змінюючи вміст силіцію в чавуні, можна регулювати в ньому співвідношення між зв'язуючим вуглецем і графітом. Чим більше силіцію, тим більше виділення графіту, а отже, тим менша міцність такого чавуну, нижча твердість — краще обробляється.

Силіцій сприяє деякому зниженню температури плавлення, покращує рідкотекучість.

Сірка є шкідливою домішкою. Вона сприяє відбілюванню чавуну; значно знижує його рідкотекучість та зумовлює крихкість і схильність до утворювання тріщин. Тому вміст сірки обмежується 0,08...0,12 %. Наявність сірки в чавуні затримує розпад цементиту, збільшує усадку, зумовлюючи таким чином утворення структури білого чавуну. При цьому в чавуні з'являються тверді плями, що погіршує його обробку різанням і механічні властивості.

Фосфор у невеликій кількості є корисною домішкою. Він майже не впливає на структуру чавуну, оскільки не прискорює і не сповільнює графітоутворення. Від наявності фосфору в твердому розчині твердість чавуну підвищується, а в'язкість значно знижується, що спричинює погіршення механічних властивостей чавуну. Фосфор поліпшує ливарні властивості: знижує температуру плавлення, збільшує рідкотекучість і сприяє якісному заповненню форми. Тому для лиття тонкостінних виробів беруть чавун із підвищеним вмістом фосфору (1,0... 1,25 %), а для звичайного лиття — 0,1...0,9 % P.

1.3 Види чавунів, їх маркування і застосування

1.3.1 Білі чавуни

За хімічним складом чавуни відрізняються від сталей більш високим вмістом вуглецю (більше 2,14 %) і постійних домішок (S, P, Si, Mn). Чавун має більш низькі механічні властивості, ніж сталь. Однак його гарні технологічні властивості (ливарні, оброблюваність різанням, зносостійкість, антифрикційні властивості тощо) роблять чавун придатним для виготовлення різноманітних деталей для машин різного технологічного призначення, в тому числі і для сільськогосподарських машин.

Залежно від стану вуглецю чавуни поділяються на дві групи: білі чавуни, в яких весь вуглець знаходиться в складі хімічної сполуки Fe_3C

(цементиту), і графітізовані чавуни, в яких весь вуглець або більша його частина знаходиться у вільному стані у вигляді графіту.

Структура білих чавунів залежить від вмісту вуглецю і відповідає діаграмі стану залізо-цементит (рис. 1.1).

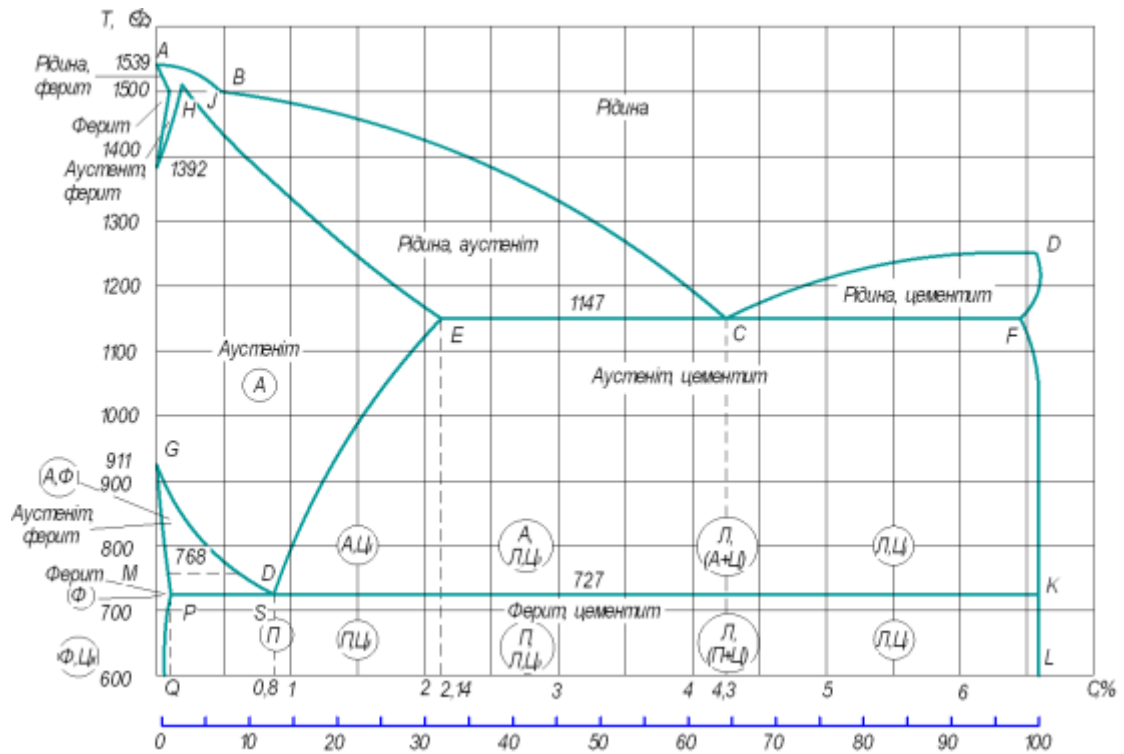
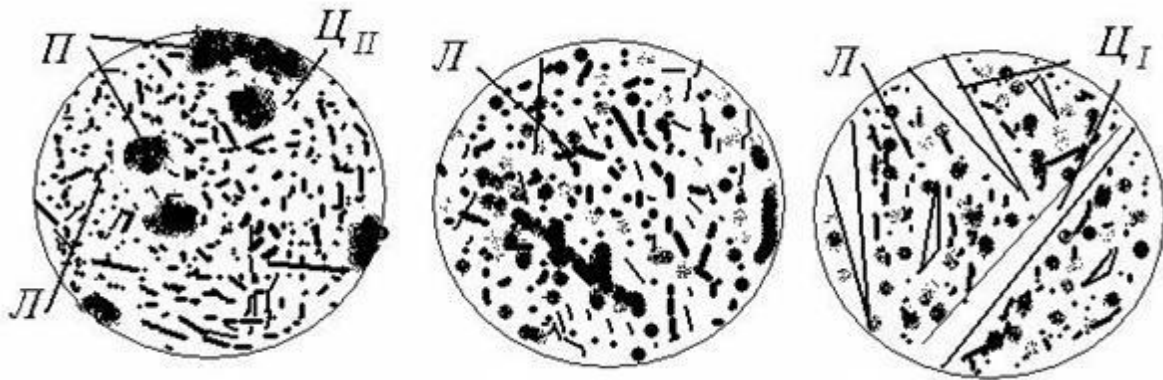


Рисунок 1.1 – Діаграма стану системи залізо-цементит

За вмістом вуглецю чавуни поділяються на: доевтектичні (2,14 ... 4,3 % C, на діаграмі стану від точки E до точки C). Їх структура має три складових — перліт, ледебурит, вторинний цементит (рис. 1.2, а). Перліт спостерігається під мікроскопом у вигляді темних зерен, частина цементиту вторинного — світлих оболонок навкруги перлітних зерен, а інша частина зливається з цементитом ледебуриту і під мікроскопом як окрема складова не спостерігається; ледебурит має вигляд ділянок з невеликими темними зернами округлої або витягнутої форми перліту, рівномірно розташованих у білій цементитній основі.



а – доевтектичного; б – евтектичного; в – заевтектичного

Рисунок 1.2 – Мікроструктури білих чавунів

Евтектичний чавун (4,3 % С) складається з ледебуриту — механічної суміші перліту з цементитом (рис. 1.2, б).

Заевтектичний чавун (4,3...6,7 % С) має дві структурні складові – первинний цементит і перліт (рис. 1.2, в).

Білі чавуни надто крихкі та тверді, погано обробляються різальним інструментом і в машинобудуванні використовуються дуже рідко (зірочки для очистки литва від пригару, кули млинів), зазвичай вони йдуть на виготовлення ковкого чавуну.

Конструкційними чавунами є графітізовані чавуни, які поділяються на чотири види залежно від форми графітних включень у їх структурі: сірі, ковкі, високоміцні та чавуни з вермикулярною формою графіту. Структура металевої основи в усіх цих чавунах може бути феритною, феритно-перлітною або перлітною.

Залежно від хімічного складу і структури чавуни бувають: білі, сірі, ковкі, високоміцні і спеціальні.

Білий чавун має обмежене застосування через високу твердість і крихкість. У білому чавуні майже весь вуглець перебуває у хімічно

зв'язаному стані — у вигляді цементиту Fe_3C . Білий чавун дуже твердий, він майже не піддається обробці різанням і в машинобудуванні сільськогосподарської техніки не застосовується, його використовують для виробництва сталі, ковкого чавуну, тому називають Переробним.

1.3.2 Сірі чавуни

Сірий чавун широко застосовують у машинобудуванні завдяки його високим ливарним, антифрикційним властивостям, задовільній обробці різанням, зносостійкості. Проте для нього характерні невисоке значення границі міцності при розтягуванні, дуже низька пластичність.

Границя його міцності при розтягуванні $\sigma_B = 120...380$ МПа, твердість 145...270 НВ, відносне видовження $\delta = 0,2...0,8$ %.

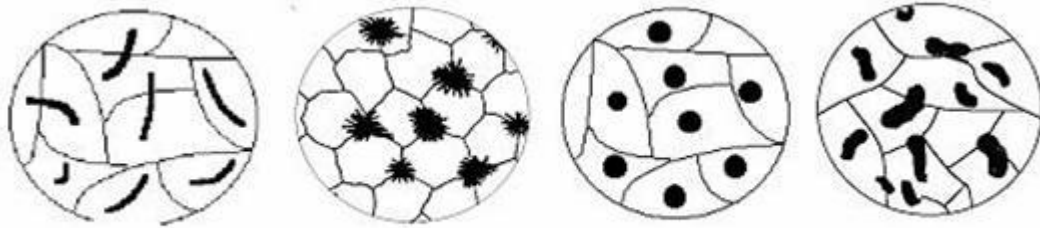
Механічні властивості чавунів характеризуються їх структурою й умовами (у визначенні не тільки хімічного складу). Стандарти регламентують не хімічний склад чавунів, а їхні властивості, які й позначають у марках чавунів. Наприклад, марка СЧ 20 позначає сірий чавун з границею міцності при розтягуванні $\sigma_B = 200$ МПа. В машинобудуванні застосовують марки сірих чавунів СЧ 10...СЧ 45 (остання цифри «0» або «5»).

Сірі чавуни містять постійні домішки в такій кількості: 3,0...3,5 % вуглецю, 1,5...3,0 % силіцію, майже 0,8 % мангану, до 0,12 % сірки і 0,3...0,9% фосфору.

У сірих чавунах вуглець частково або повністю перебуває у вільному стані у формі пластинчастого графіту. За цього в зломі має сірий колір. Інколи в структурі чавуну крім графіту утримується ледебурит. Такий сіро-білий чавун називають Половинчастим. Основні його властивості: висока твердість, крихкість і низька міцність.

Отже, змінюючи вміст і співвідношення постійних домішок, можна в певних межах змінювати структуру чавуну і його властивості.

В сірих чавунах графіт має пластинчасту форму (рис. 1.3, а), в ковких — компактну пластівчасту (рис. 1.3, б), у високоміцних — кулясту (рис. 1.3, в), у чавунах з вермикулярною формою — у вигляді коротких потовщених пластин з округлими кінцями (рис. 1.3, г). Цю форму можна розглядати як проміжну між пластинчастою і кулястою.



а – сірому, б – ковкому, в – високоміцному, г – з вермикулярною формою графіту

Рисунок 1.3 – Схеми форми графіту в чавунах

Пластинчаста форма графіту в сірому чавуні суттєво знижує механічні властивості чавуну, зокрема міцність, пластичність, ударну в'язкість. В той же час графітні включення полегшують оброблюваність різанням, роблять стружку ламкою, підвищують зносостійкість і здатність поглинати вібрації і резонансні коливання, надають чавуну хороших ливарних властивостей.

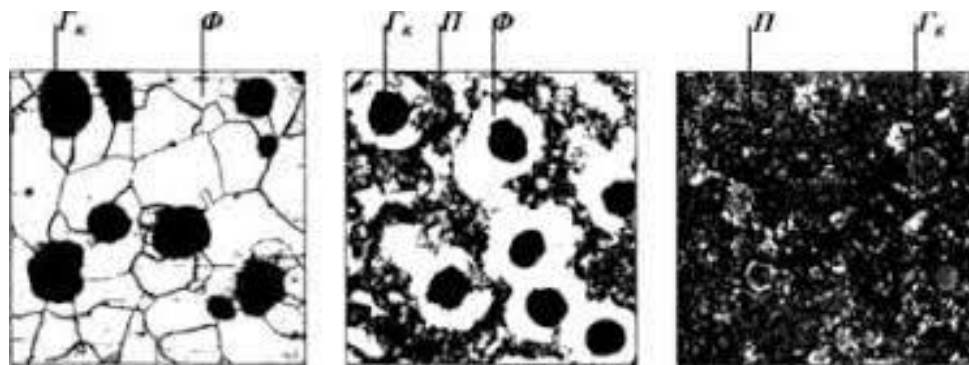
Отриманню сірих чавунів сприяє повільне охолодження виливків, підвищений вміст кремнію та знижений марганцю, а також такий процес як модифікування рідкого чавуну феросиліцієм або силікокальцієм.

Сірий чавун – складний сплав, хімічний склад якого коливається в таких межах: 3,2...3,8 % С; 1,0...3,5 % Si; 0,5...0,8 % Mn; 0,2...0,4% P; до 0,12 % S. Виготовляють такий чавун за ГОСТ 1412-85 марок: СЧ10; СЧ15; СЧ20; СЧ25; СЧ30; СЧ35; СЧ40; СЧ45 (С – сірий, Ч – чавун, цифри показують

міцність чавуну в кг/мм^2). Твердість сірого чавуну коливається від HB 129 до HB 269 залежно від марки. Пластичність сірого чавуну мізерно мала (відносне видовження δ не перевищує 0,5%), тому він може застосовуватись для виготовлення деталей, які не зазнають навантажень на розтяг і удар. Це блоки циліндрів, картери, гільзи, циліндри парових машин, маховики, станини металорізальних верстатів тощо.

Залежно від розпаду цементиту одержують основи сірих чавунів, які складаються: з фериту, їх називають Феритними Чавунами; з фериту і перліту — Феритно-перлітними; з перліту — Перлітними. Найміцнішими вважають перлітні чавуни.

Структурою феритного чавуну є графіт (видовжені темні смуги), який утворився внаслідок сповільненого охолодження сплаву. У разі швидкого охолодження виділяється не графіт, а цементит. При подальшому швидкому охолодженні виділення графітного евтектоїда скорочується і вуглець, який залишився, переходить у цементит, у результаті чого утворюється перліт. У такому чавуні основою є ферит і перліт (рис. 1.4, б), тому його називають феритно-перлітним чавуном.



а - феритний; б - феритно-перлітний; в - перлітний

Рисунок 1.4 - Мікроструктура сірих чавунів

При подальшому охолодженні аустеніт переходить у перліт, такий сплав називають не перлітним чавуном.

Сірий чавун широко застосовують в автотракторному і сільськогосподарському машинобудуванні для виробництва деталей методом лиття. З нього виготовляють станини металорізальних верстатів, блоки і гільзи автомобільних і тракторних двигунів.

Щоб вибрати марку чавуну для конкретної деталі, потрібно обумовити, в яких умовах працює ця деталь і порівняти технологічні та механічні властивості вибраної марки для забезпечення технічних умов роботи деталі в механізмі.

У довідниках, каталогах та іншій літературі наводять перелік чавунів (інших марок сплавів) для конкретних деталей. Наприклад, феритний сірий чавун марки СЧ 10 призначений для виготовлення слабо - і середньонавантажених деталей: кришок, фланців, маховиків, дисків зчеплення та ін. Феритно-перлітний чавун марки СЧ 20 застосовують для деталей, які працюють при підвищених статичних, динамічних навантаженнях: блоки, поршні та головки циліндрів. Перлітні сірі (модифіковані) чавуни СЧ 30, СЧ 40 мають високі механічні властивості. Їх використовують для виготовлення гільз циліндрів, розподільних валів та ін.

Масову частку хімічних елементів у сірих чавунах (для відливання окремих деталей) наведено в табл.1.1.

Таблиця 1.1 - Масова частка хімічних елементів у сірих чавунах, %

Деталь	Марка чавуну	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu
Блок циліндрів дизельних двигунів	СЧ 20	3,2... 3,5	2,0... 2,4	0,6...0,8	0,3...0,45	0,15	0,05...0,4
Головка циліндрів дизельних двигунів	СЧ 25	3,2... 3,5	1,7...2,1	0,5...0,8	0,3...0,6	0,2...0,5	0,3...0,6
Гільза циліндрів	СЧ 30	3,1...3,3	2,2... 2,6	0,6...0,9	0,3...0,7	0,1...0,3	0,4...0,7
Розподільний вал	СЧ 40	3,0...3,7	1,9...2,2	0,6... 0,9	0,2...0,6	0,1... 1,3	—
Диски зчеплення і гальмівний барабан	СЧ 25	3,2... 3,4	1,6...2,1	0,5...0,9	0,3...0,4	0,2... 0,5	0,3... 0,6
Маховик двигунів	СЧ 20	3,2... 3,4	2,0... 2,3	0,5...0,8	0,3...0,4	0,1...0,15	—

1.3.3 Ковкий чавун

Ковким називається чавун, в якому графіт має пластівчасту (кляксоподібну) форму. Така форма графіту утворюється з білого чавуну внаслідок його тривалої витримки (відпалювання) при температурі 950...1000 °С. Назва “ковкий” не означає, що цей чавун можна кувати або піддавати будь-якій іншій обробці тиском. Це суто ливарний матеріал, а назва свідчить тільки про його більшу пластичність порівняно із сірим чавуном. Ковкий чавун поділяється на марки: КЧ30-6; КЧ33-8; КЧ35-10; КЧ37-12; КЧ45-6; КЧ50-4; КЧ56-4; КЧ60-3; КЧ63-2 (К – ковкий, Ч – чавун, перші дві цифри показують міцність у $\text{кг}/\text{мм}^2$, другі – відносне видовження в процентах). Хімічний склад ковкого чавуну знаходиться в межах: 2,4...2,8 % С; 0,8...1,4 % Si; 0,3...1,0 % Mn; 0,08...0,1 % S; до 0,2 % P. Знижені значення вмісту вуглецю та кремнію і підвищений марганцю потрібні для того, щоб у виливках була структура білого чавуну. З цією ж метою товщина стінок виливків не повинна перевищувати 40...50 мм. При більших розмірах в

стінках можливе утворення пластинчастого графіту і чавун стає непридатним для відпалювання.

Ковкі чавуни знайшли застосування в сільськогосподарському, автомобільному, текстильному машинобудуванні. З нього виготовляють деталі високої міцності, що працюють у важких умовах зношування, здатні сприймати ударні та змінні за напрямом навантаження (картери редукторів, гаки, скоби, фланці, маточини коліс, елементи карданних валів, ланцюги та ролики конвеєрів тощо). Добрі ливарні властивості вихідного білого чавуну дають можливість виготовляти виливки складної форми.

Ковкий чавун має графітні вкраплення пластівчастої форми (рис.1.5). Він міцніший і пластичніший від звичайного сірого чавуну, має вищу в'язкість.

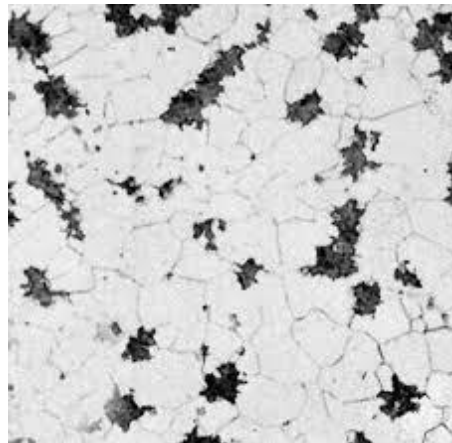


Рисунок 1.5 – Ковкий чавун

Ковкий чавун — умовна назва, оскільки його не кувають. Цей чавун одержують з білого чавуну термічною обробкою (спеціальним відпалюванням — томлінням).

Щоб отримати ковкий чавун використовують білі чавуни (приблизно) такого складу: 2,5...3,2% вуглецю, 0,6...0,9 силіцію, 0,3...0,4 мангану, 0,1...0,2 фосфору і не більш як 0,06...0,08 % Сірки.

До структури білого чавуну входять перліт, ледебурит і цементит. Під час томління цементит, що є в чавуні, розпадається на ферит і графіт або на перліт і графіт: у першому випадку чавун буде феритним, а в другому — перлітним. Залежно від ступеня графітизації ковкий чавун може бути і феритно-перлітним. Різного ступеня графітизації досягають зміною умов відпалювання. Відмінність структур чавунів зумовлює і відмінність їхніх властивостей. Наприклад, феритний ковкий чавун порівняно з перлітним має меншу твердість і більшу пластичність.

Для одержання ковкого чавуну білий чавун нагрівають до 950... 1000 °С і після тривалого витримання охолоджують з малою швидкістю до кімнатної температури.

Щоб отримати ковкий феритний чавун, застосовують двостадійне відпалювання: першу стадію графітизації проводять за температури близько 1000 °С, тривалістю 30...40 год, другу стадію — при 740 °С, тривалістю 20...30 год.

Ковкий чавун має такий склад: 2,2...3,0% вуглецю; 0,7...1,5 % силіцію; 0,2...0,6 % мангану; до 0,2 % фосфору і до 0,1 % сірки. Його виплавляють в електропечах. Злом чавуну, структурою якого є ферит і графіт, буде темним.

Ковкий чавун маркують літерами КЧ і цифрами, дві перші з яких позначають границю міцності при розтягуванні, а останні — відносне видовження. Наприклад, марка КЧ 30-6 означає: КЧ — ковкий чавун; 30 — границя міцності при розтягуванні ($\sigma_b = 300$ МПа) і 6 — відносне видовження ($\delta = 6$ %).

Ковкий чавун широко використовують в сільськогосподарському машинобудуванні для виготовлення деталей, які в процесі роботи витримують ударні навантаження (зубчасті колеса, шестерні, ланки ланцюгів, зірочки, пальці різального апарата зернозбирального комбайна та ін.), деталей сівалок, зерноочисних машин, механізації тваринництва (корпуси водопровідних вентилів, кранів та ін.)

1.3.4 Високоміцний чавун

Високоміцним називається чавун, в якому графітні включення мають кулясту форму. Така форма графіту утворюється при обробці рідкого чавуну невеликими дозами таких елементів як магній, церій, кальцій, ітрій. Ці елементи називаються модифікаторами. Вони практично не змінюють хімічний склад сплавів, зате суттєво впливають на їхню структуру, змінюючи форму графітних включень, розмір зерен, їх розташування тощо. Як модифікатор для виготовлення чавуну з кулястим графітом найчастіше всього використовується магній – найбільш ефективний і дешевий елемент. Остаточний вміст магнію для отримання кулястого графіту становить 0,04...0,06%. За вмістом решти елементів високоміцний чавун не відрізняється від сірого, за винятком сірки, якої у високоміцному чавуні 0,01...0,03%. Таке зменшення вмісту сірки відбувається завдяки тому, що магній при обробці рідкого чавуну активно реагує із сіркою з утворенням нерозчинних у чавуні сульфідів магнію Mg_2S .

Високоміцний чавун поділяється на марки: ВЧ 350-22; ВЧ 400-15; ВЧ 420-12; ВЧ 450-10; ВЧ 450-5; ВЧ 500-7; ВЧ 600-7; ВЧ 700-2; ВЧ 800-2; ВЧ 900-2; ВЧ 1000-2 (В – високоміцний, Ч – чавун, перше число вказує межу міцності на розтяг в МПа, друге число через дефіс – значення межі відносного видовження у відсотках).

Високоміцний чавун використовується для виготовлення середньо- та важко навантажених деталей відповідального призначення: прокатного, ковальсько-пресового обладнання, корпусів парових турбін, колінчастих валів для автомобілів, тракторів та комбайнів, поршнів, кронштейнів та інших деталей.

Міцність чавуну залежить від кількості і форми вкраплення графіту. Додавання в рідкий сірий чавун 0,5 %

Магнію від маси чавуну сприяє утворенню дрібнозернистої структури. При цьому утворюються часточки графіту кулястої форми (рис. 1.6), яка

унеможливиює наявність гострих надрізів усередині металевої основи. Тому міцність, пластичність і в'язкість чавуну значно підвищуються.

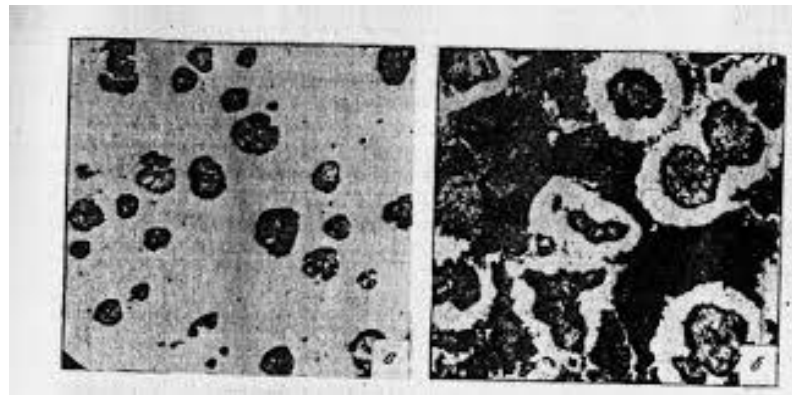


Рисунок 1.6 – Високоміцний чавун

Високоміцний чавун (як і сірий) поділяють на марки залежно від механічних властивостей, причому основним показником є границя міцності при розтягуванні. Механічні властивості залежать від структури металевої основи, яка може бути перлітною, феритно-перлітною і феритною. Ліпшою є структура, яка складається з перліту і графіту кулястої форми, обмежених невеликими (білими) кільцями фериту.

Маркується високоміцний чавун літерами ВЧ (високоміцний чавун) і цифрами, дві перші з яких показують границю міцності при розтягуванні, а останні — відносне видовження. Наприклад, марка ВЧ 800-2 означає, що чавун цієї марки має $\sigma_b = 800$ МПа, $\delta \ll 2\%$.

Високоміцні чавуни є заміником литої і штампованої сталі. Тому з такого чавуну виготовляють відповідальні ші деталі машин і двигунів — гільзи циліндрів, колінчасті вали, деталі супортів металорізальних верстатів, лапки бурякозбирального комбайна та ін.

Чавун з вермикулярним графітом призначений для одержання виливків. Він має структуру графіту вермикулярної (червоподібної) форми з вкрапленням до 40 % Кулястого та 10 % пластинчастого графіту.

Для виготовлення виливків призначені такі марки чавуну: ЧВГ 300-4, ЧВГ 300-5, ЧВГ 400-4, ЧВГ 500-1.

Умовне позначення марки чавуну з вермикулярним графітом, наприклад ЧВГ 300-4, означає: Ч — чавун; ВГ — вермикулярний графіт; 300 — границя міцності при розтягуванні, виражена в мегапаскалях (300 МПа); 4 — відносне видовження, виражене у відсотках (4 %).

1.3.5 Леговані чавуни зі спеціальними властивостями

До цих чавунів належать: антифрикційні, які забезпечують низький коефіцієнт тертя; жаростійкі, що мають підвищену стійкість до окиснення і корозії.

Щоб одержати чавуни зі спеціальними властивостями, їх легують нікелем, хромом, молібденом, титаном, алюмінієм і міддю. Відповідно змінюються структура і властивості чавунів.

Антифрикційні чавуни характеризуються пер літною структурою металевої основи, наявністю великої кількості вкраплень графіту. При цьому перлітна основа утворює достатню міцність деталі, фосфідна евтектика забезпечує підвищення зносостійкості, а вбирання і утримування мастила відбувається у місцях розміщення графіту.

Більшість антифрикційних чавунів містять у невеликій кількості хром, титан, мідь та інші елементи.

Антифрикційні чавуни маркують так: АЧС-1, АЧС-2, АЧС-4, АЧС-5, АЧС-6, АЧК-1, АЧК-2, АЧВ-1, АЧВ-2, що означає: АЧС — антифрикційний чавун сірий; АЧК — антифрикційний чавун ковкий; АЧВ — антифрикційний чавун високоміцний; число в кінці марки означає порядковий номер. Порядковий номер вказує на хімічний склад антифрикційного чавуну: АЧС-1 (3,2...3,6 % С; 1,3...2 % Si; 0,6...1,2% Mn; 0,2...0,5% Cr; 0,8... 1,6 % Cu; 0,15...0,4 % P; 0,12% S); АЧС-2 (3,0..3,8% С; 1,4..2,2 Si; 0,3... 1,0 Mn; 0,2...0,5% Cr; 0,2...0,5% Ni; 0,03...0,1% Ti; 0,2.0,5% Cu; 0,151...0,40% P; 0 12 %

S); АЧК-2 (2,6...3,0% C; 0,8...1,3% Si; 0,2...0,6% Mn; до 0,25 % P; 0,12% S); АЧВ-1 (2,8...3,5% C; 1,8...2,7% Si; 0,6...1,2% Mn; 0,7 % Cu; 0,03...0,08 % Mg; 0,20 % P; 0,03 % S).

Із антифрикційних чавунів виготовляють деталі тертя (втулки, вкладиші, підшипники ковзання, ролики, ущільнення та ін.).

1.3.6 Жаростійкі чавуни

Леговані чавуни з відповідним вмістом алюмінію, силіцію, хрому, нікелю мають підвищену жаростійкість. Крім того, вони забезпечують стабільність структури при нагріванні.

Жаростійкі чавуни маркують так: ЖЧХ-2,5 — жаростійкий хромовий чавун з вмістом 2,5 % Cr; ЖЧЮХ — жаростійкий алюмінієво-хромовий чавун з вмістом 1 % Al і 1 % Cr; ЖЧЮ6С5 — жаростійкий алюмінієво-силіційовий чавун з вмістом 6 % Al і 5 % Si.

Такі чавуни застосовують для виготовлення деталей прес-форм, елементів плунжерних пар машин для лиття під тиском, штампів гарячого деформування та ін.

Антифрикційні чавуни. Для менш відповідальних вкладишів, які працюють при великих тисках і малих швидкостях, застосовують перлітні або феритно-перлітні сірі, ковкі чавуни, в яких поєднуються пластинчаста основа фериту і тверді опорні вкраплення цементит — перліт. Завдяки графітовим вкрапленням у чавуні утворюються канали, які утримують мастило і відіграють роль змащування.

Металокерамічні пористі антифрикційні сплави, виготовлені із порошоків залізо — графіт, залізо — мідь — графіт тощо, широко застосовують у машинобудуванні як матеріали, що характеризуються малим спрацюванням, малим коефіцієнтом тертя, добре утримують мастило в порах і припрацьовуються.

1.3.7 Чавун із вермикулярним графітом

Високоміцний чавун із кулястим графітом поряд із його позитивними якостями (високі механічні та експлуатаційні характеристики) має і суттєві недоліки (підвищену об'ємну усадку, понижену теплопровідність, схильність до відбілу). У чавуні з вермикулярним графітом ці недоліки відсутні. В ньому поєднуються високі механічні і ливарні властивості, висока теплопровідність, низька собівартість.

Графіт в такому чавуні має вигляд коротких потовщених пластин з закругленими кінцями (рис. 1.7), форма яких є перехідною між пластинчастим і кулястим графітом. Як конструкційний матеріал чавун із вермикулярним графітом є найбільш молодим типом чавуну.

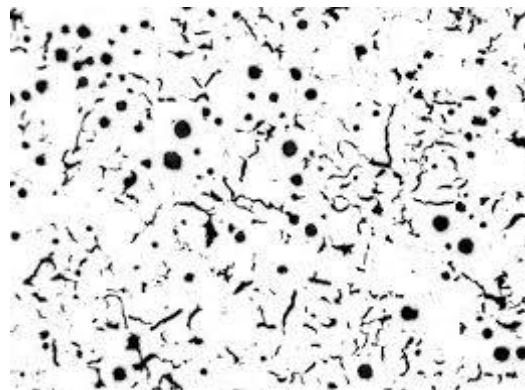


Рисунок 1.7 - Чавун із вермикулярним графітом

Перша технологія його виробництва була розроблена лише в 1966 році. Суть цієї технології полягає в тому, що рідкий чавун обробляється модифікаторами в кількості, недостатній для отримання цілковито кулястої форми графіту. У структурі чавуну утворюється вермикулярний графіт і 20..30 % кулястого. Наприклад, при обробці чавуну магнієвими модифікаторами остаточний вміст магнію для забезпечення вермикулярного графіту повинен бути біля 0,02 %.

До 1999 р. не було стандартів на чавун із вермикулярним графітом, і навіть це не перешкоджало його успішному використанню в машинобудуванні. Зараз існує ДСТУ 3326-99 “Чавун з вермикулярним графітом”, за яким цей чавун поділяється на марки: ЧВГ 300-4; ЧВГ 400-4; ЧВГ 500-1 (Ч – чавун, В – вермикулярний, Г – графіт, перше число вказує межу міцності на розтяг в МПа, друге число через дефіс – значення межі відносного видовження у відсотках).

Чавун з вермикулярним графітом є ефективним матеріалом для деталей машин, які зазнають досить високих статичних, ударних і циклічних навантажень, працюють в умовах теплозмін тощо. В автомобілебудуванні цей чавун застосовується для виготовлення головок блоків циліндрів, випускних колекторів, гальмівних дисків, колінчастих і розподільчих валів, блоків циліндрів, зубчастих коліс, корпусів турбокомпресорів тощо.

1.3.8 Бейнітний чавун

У зв'язку з цим значний практичний інтерес становить використання бейнітного високоміцного чавуну з кулястим графітом для виробництва лемешів та інших деталей ґрунтообробної техніки, які потребують високої зносостійкості й міцності.

Цей матеріал широко застосовують для важконавантажених деталей, що працюють в умовах абразивного зносу [1-7], на заміну виробів з легованих сталей. Високий ресурс та необхідна експлуатаційна надійність деталей з бейнітного чавуну залежать від структурно-фазового стану, що формується в процесі лиття та подальшої термічної обробки [1, 8].

В Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України було розроблено технологію виробництва литих лемешів і лап культиваторів з високоміцного бейнітного чавуну. Дослідні зразки лемешів і лап культиваторів, виготовлені за цією технологією, випробовувалися в

агрогосподарствах Київської, Черкаської, Одеської та Полтавської областей України. Фактичний наробіток литих лемешів з бейнітного високоміцного чавуну з кулястим графітом за період з 2009 по 2011 р. (5 сільськогосподарських сезонів) становив понад 102 га на одиницю. Для порівняння, першим лемешем у 8-корпусному плузі ПЛН-8-35 встановлювали сталевий леміш з наплавленням серійного виробництва, і його наробіток був на рівні лише 18-21 га, що потребувало його постійної заміни.

Аналогічні результати отримано під час експлуатації литих лап культиваторів з урахуванням зміненої конструкції робочої частини при виготовленні. Культивацію проводили на високогумусних чорноземах. Використовували культиватори КПС-4ПП, на яких встановлювали 9 литих лап і 9 лап серійного виробництва зі сталі 65Г (загартування в маслі). За час випробувань упродовж 2011-2014 рр. (шість сезонів) наробіток на одну дослідну лапу становив 150 га, тоді як серійні сталеві лапи лише за період експлуатації з 2011 по 2012 р. довелося поміняти чотири рази. При цьому литі лапи мають гостру робочу кромку, особливо в носовій частині, і можуть експлуатуватися надалі, на відміну від серійних, які втрачають робочу форму внаслідок зносу та вигину.

Було виготовлено дослідно-промислову партію лап культиваторів удосконаленої конструкції, що забезпечує підрізання кореневої системи бур'яну на глибинах 20—40 мм.

За запропонованою технологією литі лемеші і лапи культиваторів виготовляли з бейнітного високоміцного чавуну такого хімічного складу: 3,1—3,2 % С; 2,4—3,2 % Si; 0,3 % Mn; 0,01—0,02 % Cr; 0,02 % P; 0,02 % S. З огляду на економічну доцільність вміст легуючих компонентів обмежили до 0,4-0,6 % Ni; 0,3-0,5 % Cu; 0,2-0,35 % Mo. Плавку проводили в індукційній електропечі ІСТ-0,4, температуру рідкого чавуну перед випуском контролювали за допомогою терморпарі і підтримували на рівні 1460-1480 °С. Рідкий чавун виливали з печі в ківш, прогрітий заздалегідь

до 700-800 °С. З метою отримання кулястого графіту на дно ковша вводили виготовлений методом прокатки композиційний комплексний модифікатор у кількості 2,0—2,2 % від маси рідкого металу. Метод прокатки дозволяє виготовляти модифікатори із заданим складом, що забезпечує стабільність результатів модифікування [9]. Модифікатор МКК1 містить 8,5 % Mg; 8 % Ca; 2,5 % Ba; 17 % Al; 12 % Fe; 15 % феросиліцію ФС-75; 3,5 % рідкісноземельних металів; 12 % флюориту.

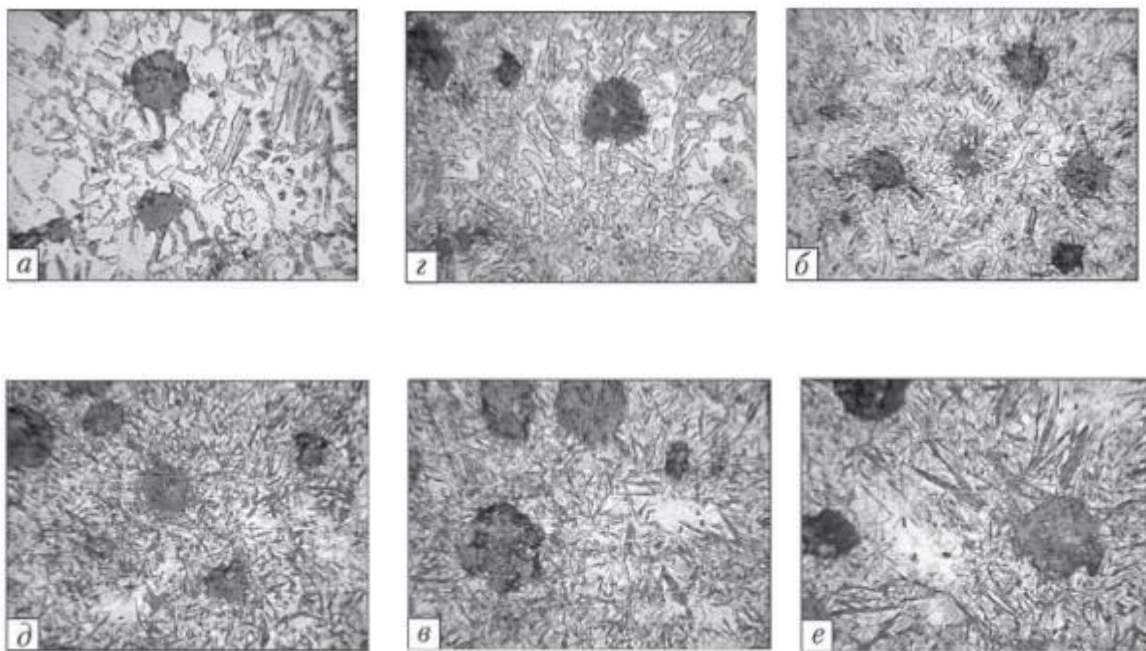


Рисунок 1.8 - Мікроструктура бейнітного чавуну після загартування в маслі від температури аустенізації 860, 880, 920 °С з витримкою: 20 хв (а-в) та 40 хв (г-е) ($\times 500$)

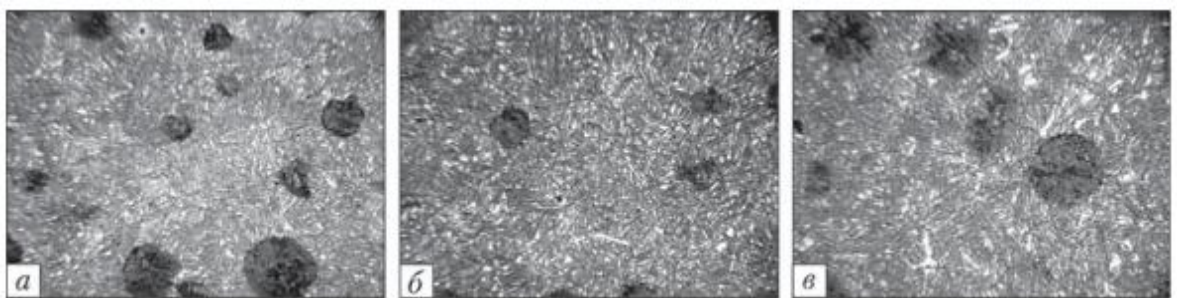
Вивчення структури і механічних властивостей проводили на зразках, вирізаних з клиноподібних проб. Фазовий склад бейнітного чавуну вивчали за допомогою рентгенофазового аналізу на дифрактометрі HZG-4 в $\text{Co-K}\alpha$ випромінюванні за стандартною методикою.

Для визначення оптимального режиму термічної обробки, який забезпечує необхідний комплекс властивостей, було розглянуто такі

варіанти: ізотермічне загартування від оптимальної температури аустенітизації в олові за температури 300 і 350 °С і витримки 1, 2 і 3 год.

Оптимальну температуру аустенітизації визначали за максимальною твердістю та мікроструктурою після загартування зразків у маслі від 860, 880 і 920 °С з витримкою в печі впродовж 20, 40 і 60 хв (рис. 1.8). Мікроструктура металевої матриці в литому стані — феритно-перлітна з кулястим графітом. Твердість зразків у литому стані, вирізаних з клиноподібної проби, становила 22—23 HRC (230—240 HB). Твердість HRC після загартування за температури аустенітизації 920 °С і витримки від 20 до 60 хв у зв'язку з появою залишкового аустеніту має тенденцію до зниження (від 57-58 до 54-55 HRC). З аналізу мікроструктури та за даними з твердості, оптимальним режимом загартування було прийнято такі параметри: температура аустенітизації - 880 °С, витримка - 40 хв.

На рис. 1.9 наведено мікроструктури, отримані на зразках бейнітного чавуну після аустенітизації за 890 ± 10 °С. Мікроструктура матриці після ізотермічного загартування в олові як за температури 310 °С, так і за температури 350 °С складається з дрібноголчастого бейніту і кулястого графіту.



а - 1 год; б - 2 год; в - 3 год ($\times 500$)

Рисунок 1.9 - Мікроструктура бейнітного чавуну після аустенітизації за температури 890 °С з витримкою 30 хв і загартування в олові за температури 310 °С з ізотермічною витримкою:

Лемеші та лапи культиваторів, як і інші деталі навісного устаткування, під час оранки зазнають великих динамічних навантажень та зносу. Працездатність лемешів залежить передусім від таких показників механічних властивостей матеріалу, як міцність, ударна в'язкість, пластичність і зносостійкість.

Як відомо [1,8], наявність залишкового аустеніту в мікроструктурі бейнітного чавуну впливає на механічні характеристики. Метастабільний залишковий аустеніт у процесі роботи при навантаженнях може переходити в мартенсит і впливати на механічні властивості робочої поверхні, що підвищує зносостійкість виробу. За даними фазового рентгеноструктурного аналізу, після ізотермічного загартування в олові за температури 310 °С та витримки 1 год кількість залишкового аустеніту становить близько 37 %. Зі збільшенням часу витримки кількість залишкового аустеніту знижується до 28 % після 3 год витримки, а після загартування за 350 °С і за таким самим часом витримки його кількість становить 35 %.

Лабораторні випробування зносостійкості дослідних зразків проводили з використанням різних абразивних середовищ, які моделюють знос лемешів під час орних робіт у різноманітних ґрунтах [10]. Зносостійкість досліджуваних матеріалів визначали ваговим методом, зважуючи зразки до і після випробування. За репер брали дані, отримані в аналогічних умовах для зразка, який вирізували із серійного сталевого лемеша.

За результатами виконаних досліджень, для виробництва литих лемешів і лап культиваторів з бейнітного високоміцного чавуну з кулястим графітом оптимальним режимом термообробки визначено ізотермічне загартування за температури 340-350 °С і витримки не менш як 2 год. При цьому аустенітизація має відбуватися за температури 880-890 °С.

У структурі вихідного чавуну не повинно бути первинної карбідної фази (вібілу). Отже, розроблена технологія виробництва литих лемешів і лап культиваторів забезпечує підвищення ресурсу експлуатації змінних

деталей як мінімум у 5 разів порівняно із серійними деталями вітчизняного виробництва при майже однакових цінах.

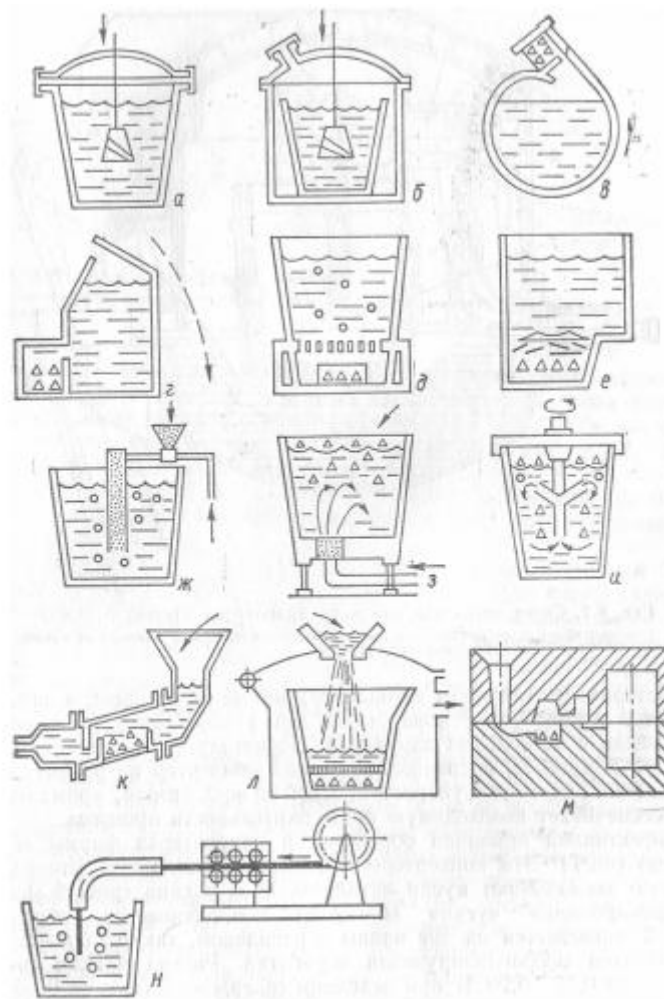
При недостатній кількості залишкового магнію утворюється змішаний або вермикулярний графіт, при надлишку – частковий або повний відбіл і навіть перемодифікування. Коефіцієнт засвоєння магнію залежить від типу модифікатора і методу його введення, температури металу при обробці і т. д.

Правильне дозування визначається, як правило, дослідним шляхом залежно від вмісту сірки у вихідному чавуні, товщини стінки виливки, матеріалу форми та інших умов виробництва.

Кріоліт додають в кількості, що становить 0,05...0,10% маси чавуну в ковші, причому кількість додається кріоліту зростає з підвищенням вмісту сірки.

Магній має порівняно низькі температури плавлення (651 °С) і кипіння (1107 °С) і невисоку щільність (1,737 г/см³). Тому з метою підвищення ступеня засвоєння магнію і зменшення його витрат, а також усунення піроефекта (згоряння парів магнію) і викидів рідкого чавуну під час модифікування (при введенні чистого магнію) застосовують різні пристрої – автоклави, герметизовані ковші, вакуумні камери і т.п. Вторинне модифікування проводять після сфероїдизуючого модифікування або одночасно з ним в ковші або ливниковій системі. В якості графітизуючої присадки зазвичай застосовують феросиліцій, силікобарій і феросиліцій, що містить РЗМ, стронцій. Іноді до феросиліцію додають графіт в співвідношенні 10: 1. Кількість графітизуючої присадки становить від 0,1 до 0,4% залежно від марки чавуну і товщини стінки виливки. У процесі вторинного модифікування температура чавуну знижується на 10...30 ° С в залежності від кількості присадки і місткості ковша.

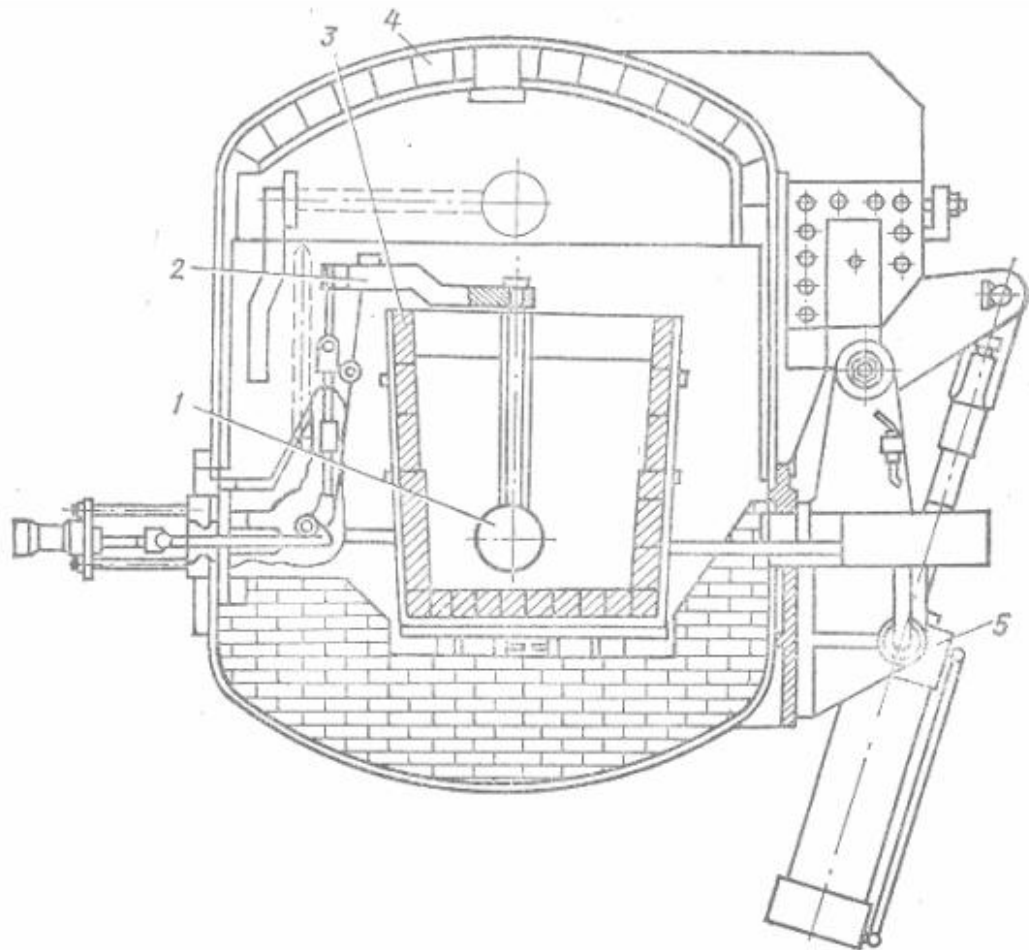
Існує безліч різних способів модифікування (рис. 1.10), найбільш часто з яких застосовуються наступні.



а – введення модифікатора в герметизований ківш з рідким чавуном за допомогою стакана – «дзвону»; б – модифікування в автоклаві; в – поворотний герметизований ківш барабанного типу; г – конверторний ківш; д – маг кокс-процес (насичений магнієм кокс чи кераміка); е – сандвіч-процес; ж – продувка порошкоподібним модифікатором; з – продувка через пористе вікно чи пробку; и – модифікування в ковші з застосуванням механічних мішалок; к – флотрет процес; л – модифікування в вакуумній камері; м – модифікування в ливарній формі; н – модифікування порошковою проволкою

Рисунок 1.10 - Схема різних методів модифікування чавуна

Автоклавний метод отримання ВЧШГ. За цим методом ківш з рідким чавуном поміщають в герметизовану камеру – автоклав, де в чавун вводять сфероїдизуючий модифікатор – металевий магній (рис. 1.11).



1 – контейнер з магнієм; 2 – важільний пристрій; 3 – ківш; 4 – кришка;
5- пневмоциліндр привода кришки

Рисунок 1.11 - Схема автоклава для модифікування чавуна

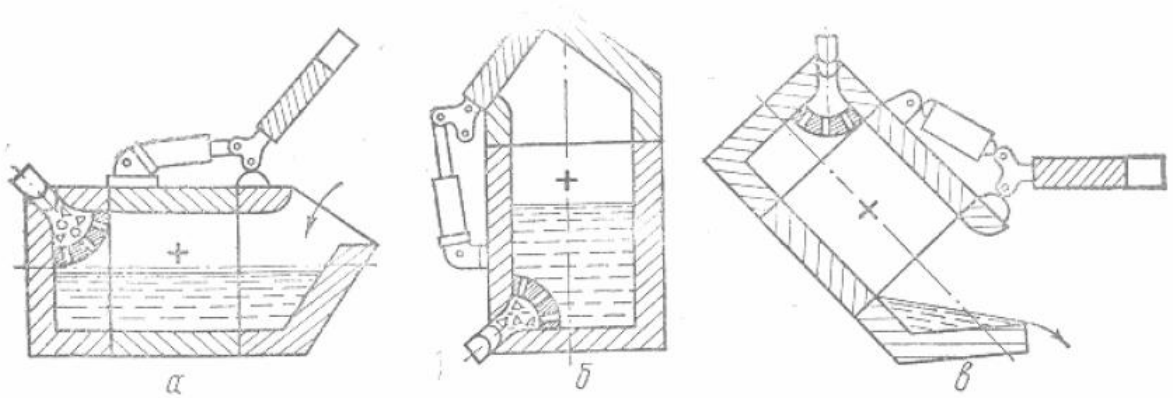
Цей спосіб дає можливість отримати високу стабільність результатів модифікування, знизити нижню межу температур сфероїдизуючої обробки. До недоліків способу відносяться порівняно високі витрати на обслуговування і ремонт автоклаву.

1.4 Методи модифікування

Модифікування, на відміну від мікролегування, вплив якого довготривало, надає тільки тимчасове вплив на рідкий розплав. При модифікуванні одночасно протікають розкислення, десульфурації, дегазація та інші процеси. Тому дозування модифікатора визначається витратою його на ці процеси, головним чином на з'єднання з сіркою. При модифікуванні чистим магнієм його кількість може бути визначено за формулою

Конвертерний спосіб отримання ВЧШГ. По цьому способі введення модифікаторів в розплав чавуну здійснюється в спеціальних конвертерах. На відміну від автоклавів, вони не герметичні, в них, як правило, використовується поворотний метод обробки. Цей спосіб реалізований в декількох варіантах. За методом фірми «Понт-а-Мусон» (МАП-процес) у спеціальний ківш-конвертер занурюють дозу магнію, покритого вогнетривкою фарбою з усіх сторін, крім однієї, що забезпечує необхідну тривалість процесу.

Ефективної визнана обробка в конвертерах фірми «Георг Фішер» (ФРН). Ці конвертери оснащені спеціальною камерою, в яку закладають шматки металевого магнію (рис. 1.12). Для модифікування чавуну конвертер повертається так, що магній виявляється на дні ванни з розплавом, таким чином здійснюється сфероїдизуюча обробка. Витрата магнію складає всього 0,15...0,20% при вихідному вмісті сірки до 0,05%. Стійкість конвертера при обробці розплавів з температурою 1500...1520 °С – до 500 наливів, стійкість секторіальної камери – 320...380 наливів.



а – заповнення рідким чавуном; б – обробка металевим магнієм; в – випуск металу

Рисунок 1.12 - Схема конвертерного ковша

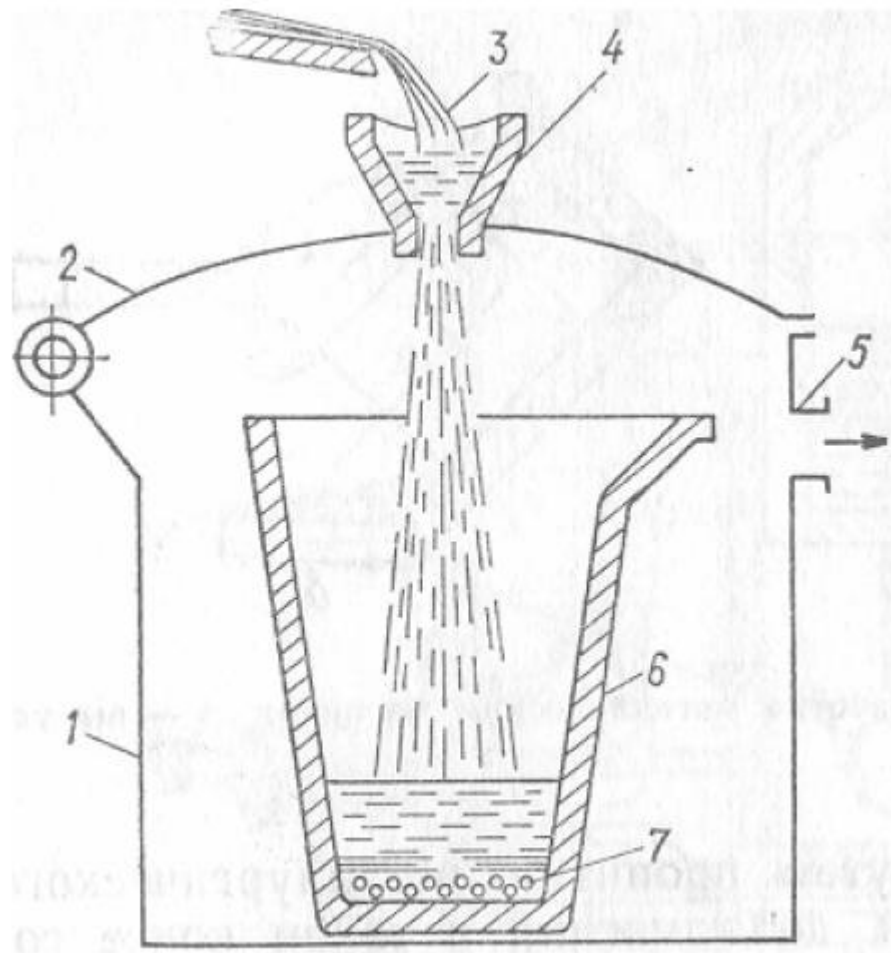
Магкоккс-процес. В останні роки знаходить застосування конвертерного методу обробки розплаву з метою отримання високоміцного чавуну з кулястим графітом за допомогою коксу, просоченого магнієм. Фірма «Фосеко» поставляє для виробництва ВЧШГ брикети «Маг-кокс», які отримують шляхом просочення металургійного коксу рідким магнієм. Масова частка магнію в такому коксі складає до 40%. Витрата брикетів становить 0,5...0,6% маси рідкого чавуну, засвоєння магнію – 30%, температура чавуну при модифікуванні – 1450...1500 °С, тривалість обробки – 5...6 хв. Перевагою методу є можливість обробки розплаву з високою вихідною масовою часткою сірки (до 0,15%) без попередньої десульфурації.

Сендвіч-процес є основним методом отримання ВЧШГ (близько 60% всього ВЧШГ). По цьому способі на дно ковша завантажують модифікатор (найчастіше комплексний), іноді з флюсовими добавками. Зверху модифікатор пригрюжають легковажним сталевим ломом (висічкою листової сталі або стружкою), феросиліцію і розплав чавуну заливають в ківш з температурою не менше 1400°С.

Недоліком способу є рясне виділення диму, піроефект. Кількість Fe-Si-Mg-лігатури (5...7% Mg) з розмірами кусків від 5 до 30 мм, що

забезпечує масову частку залишкового магнію від 0,03 до 0,06%, становить 1,8...2,4% маси вихідного чавуну. Засвоєння магнію коливається від 30 до 45%. Застосування дрібної фракції лігатури знижує витрату модифікатора. Останнім часом стали застосовувати дуже дисперсні модифікатори, що різко знижує піроефект, підвищує стабільність процесу.

Вакуум-модифікування являє собою різновид сендвіч– процесу з тією відмінністю, що ківш з модифікатором поміщають у герметичну камеру, з якої відкачують повітря (рис. 1.13). У цей час заливальна чаша в кришці герметичної камери закрита. При тиску в камері близько 104Па через заливальні чашу виробляють заповнення ковша рідким металом, продовжуючи відкачувати з камери повітря і утворюються при модифікуванні газу. Заливальна чаша в цей період повинна бути постійно заповнена рідким металом, щоб зберегти необхідну герметичність камери. Після заливки метал витримують 2...3 хв для завершення його взаємодії з модифікатором, після чого відкривають кришку камери і транспортують ківш на розливання.



1 – герметична камера; 2 – кришка; 3 – рідкий метал; 4 – заливочна чаша; 5 – патрубок до вакуумного насосу; 6 – ківш; 7 – модифікатор.

Рисунок 1.13 - Схема вакуум-модифікування:

Наявність розрідження в камері сприяє дегазації рідкого металу, запобігає окисленню магнію і стабілізує взаємодія модифікаторів з чавуном. Витрата модифікаторів при цьому методі моди-інфікування знижується в два рази - замість звичайного витрати комплексних модифікаторів у відкритих ковшах в кількості близько 2,0% достатньо 0,7...1,0%; форма включень графіту і розподіл включень у відливках поліпшуються.

Важливою перевагою методу вакуум – модифікування є повна відсутність викидів продуктів взаємодії в атмосферу. Відсмоктування з

камери газу і продукти реакцій пропускають через фільтри, де відбувається їх очищення, що робить цей процес екологічно нешкідливим.

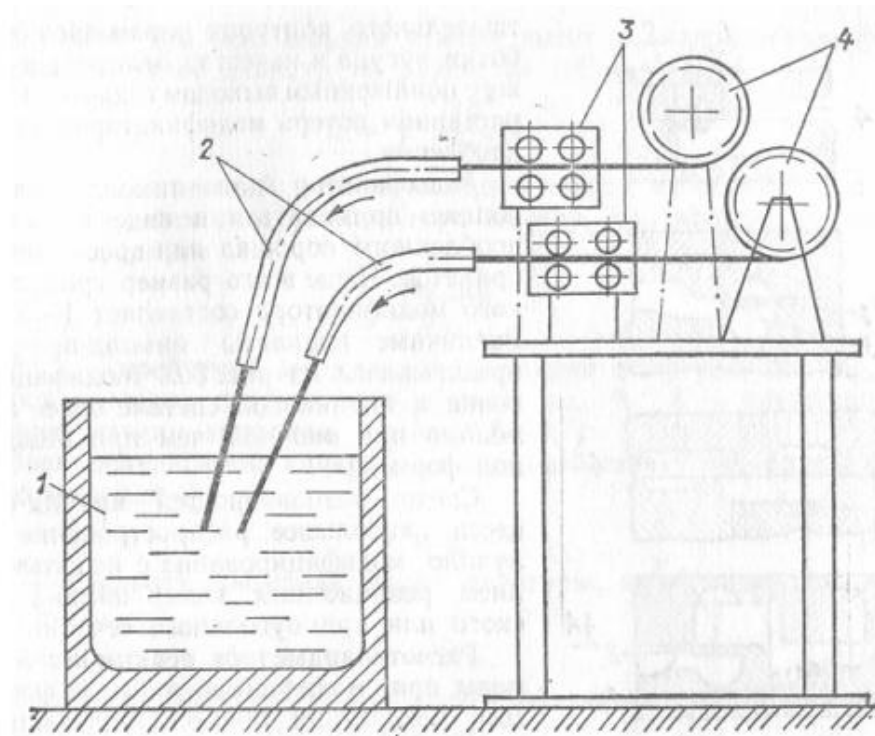
Газал-процес – спосіб сфероїдизуючої обробки за допомогою продувки металу в ковші газами через пористі корундові пробки, встановлені в днищі. При цьому способі витрата модифікатора можна знизити в порівнянні із звичайним ковшовим модифікуванням на 30...40% і отримати більш стабільні результати.

Продувку через пористі пробки бажано проводити нейтральними газами з метою зменшення окислення металу і сфероїдизуючих елементів.

Інший спосіб – вдування порошоків через вогнетривку трубку, яка занурюється в рідкий метал, – не отримав розповсюдження в технології модифікування, так як більш складний з технічного виконання.

Перемішування розплаву шляхом продувки газами через пористі пробки легко регулюється, дозволяє прискорити взаємодію модифікаторів з рідким чавуном і отримати достатньо однорідний розподіл елементів-модифікаторів у всьому об'ємі розплаву.

Модифікування порошковим дротом. Існує кілька варіантів застосування порошкового дроту для отримання ВЧШГ. Дріт можна вводити безпосередньо в ківш з допомогою спеціального пристрою, в ливникову чашу і навіть в форму через спеціальний отвір (рис. 1.14).



1 – ківш з рідким металом; 2 – направляючі трубки; 3 – роликовий прилад для подачі дроту; 4 – касети з дротом

Рисунок 1.14 - Схема приладу для модифікування порошковим дротом

Технологія модифікування заснована на безперервній або дискретній обробці рідкого металу. Матеріал оболонки дроту і склад наповнювача можна змінювати з метою отримання заданих властивостей металу в відливання.

Технологія застосовується у виробництві заготовок на установках безперервного лиття та автоматичних формувальних лініях, в тому числі на установках карусельного типу при лиття в кокіль. Процес модифікуючої обробки автоматизований і здійснюється за заданою програмою.

Процес забезпечує точне дозування модифікуючих і рафінуючих компонентів; високий ступінь засвоєння магнію (50... 55%); високу стабільність властивостей металу виливків; поліпшення екологічної обстановки в зоні обробки металу.

Витрата порошкової магнійвмісткого дроту складаємо 12... 25 кг на 1 т рідкого чавуну в залежності від складу вихідного металу і необхідних властивостей. Дріт поставляється в котушках масою 250...1000 кг. Спосіб особливо перспективний для умови механізованого і автоматизованого виробництва.

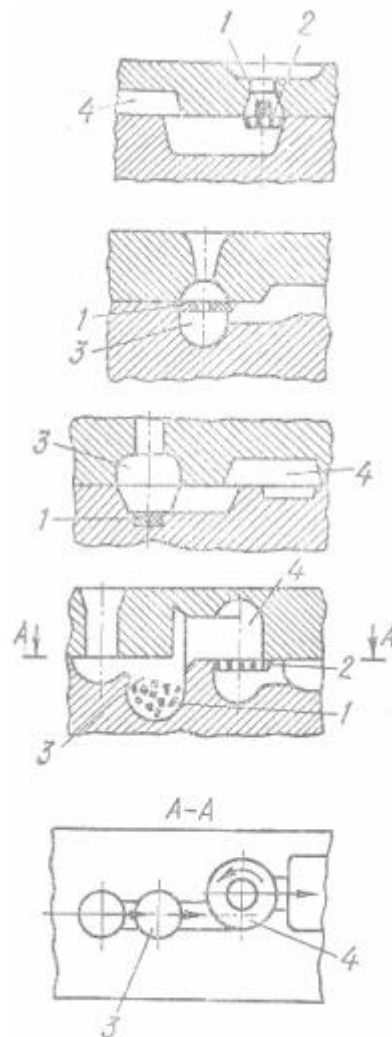
Внутрішньо формове модифікування (інмолдс-процес). За цим методом, модифікатор у вигляді таблеток, шматочків, спеціальних брикетів, порошоків поміщають в спеціальні камери, виконані ливниковою системою у вигляді реакційної камери. Цей метод застосовується широко, оскільки має ряд переваг, володіє високим коефіцієнтом використання магнію (близько 80%) усуває необхідність у додатковому графітізуючому модифікуванні; реакція протікає в формі. Недоліки процесу пов'язані з необхідністю дотримання точного складу чавуну і температури, більш ретельного контролю параметрів обробки чавуну і якості виливків, а також з пониженим виходом придатного і зростанням втрат модифікаторів при їх дробленні.

Модифікатор для інмолд-процесу повинен застосовуватися у вигляді дрібнорозмеленого порошку або пресованих брикетів. Найчастіше розмір гранул такого модифікатора складає 1...3 мм. Різні варіанти інмолд-процесу представлені на рис. 1.15. Модифікування в ливниковій системі більш застосовно при опочно, ніж при безопокового формуванні.

Серед різновидів інмолд-процесу найбільше поширення по-одержало модифікування з використанням реакційних камер циліндричного або прямокутного перерізу.

Розрахунок параметрів реакційної камери при модифікуванні у формі. Для реалізації процесу модифікування в ливарній формі повинен виконуватися принцип рівності тривалості розчинення модифікатора і заливки чавуну в форму.

Дроблений модифікатор завантажують у спеціальну реакційну камеру ливникової системи, при заливці він повинен повністю розчинитися в рідкому металі (див. рис. 1.15).



1 – модифікатор; 2 – фільтр; 3 – реакційна камера; 4 - шлаковловлювач

Рисунок 1.15 - Варіанти внутрішньо-форменного модифікування чавуна

Основним розрахунковим показником, що характеризує залежність параметрів реакційної камери від маси металу в формі, площі реакційної камери і тривалості заливання, є фактор розчинення F , який визначається як

$$F = Q_1/\tau S$$

де Q_1 - маса рідкого металу на 1 реакційну камеру, кг;

τ - тривалість заливання форми, с;

S - площа реакційної камери, m^2 .

Звідси площа реакційної камери визначається як

$$S = Q_1 / \tau F$$

Приймаючи, що реакційна камера має циліндричну форму, визначаємо її діаметр з рівності $\pi d^2 / 4 = Q_1 / \tau F$

$$d^2 = 4 Q_1 / \pi \tau F$$

Висоту реакційної камери знаходимо виходячи з обсягу модифікатор, що завантажується в реакційну камеру.

Обсяг реакційної камери, заповнений лігатурою, визначаємо із співвідношення

$$V = g / \gamma$$

де γ - питома насипна маса лігатури, kg/m^3 ; а висоту – з виразу

$$H = V / S$$

Фактор розчинення рекомендується приймати рівним в межах 300...600 $kg / (cm^2)$.

Для ефективного розчинення модифікатора необхідно витримувати співвідношення обсягу модифікатора, що завантажується до обсягу реакційної камери (коефіцієнт заповнення), який складає 0,5...0,7. При більш високому значенні коефіцієнта заповнення розчинення модифікатора

утруднюється, особливо в початковий момент заливки, що може послужити причиною незадовільного модифікування або навіть упинки потоку чавуну в ливниковій системі.

За загальноприйнятою схемою внутрішньо-форменного модифікування рідкий метал через стояк і горизонтальний літник надходить в реакційну камеру, а з неї в шлаковик довжиною не менше 150 мм.

При застосуванні більш коротких шлаковиків для кращого відділення продуктів модифікування додатково застосовують відцентрові або інші конструкції високоефективних шлаковловлювач.

Витрата модифікаторів типу ФСМг залежить від якості вихідного чавуну, особливостей технології модифікування у формі і коливається в межах, складових 0,6...1,0% маси заливається в форму чавуну. Насипна маса ФСМг складає 1900...2100 кг/м³; феросиліцію ФС75 – 1400...1600 кг/м³.

У практичній діяльності часто користуються різними номограмами для визначення обсягу реакційних камер, часу впливу модифікаторів, розмірів літників і т. д. Одна з номограм наведена в якості прикладу на рис. 1.16.

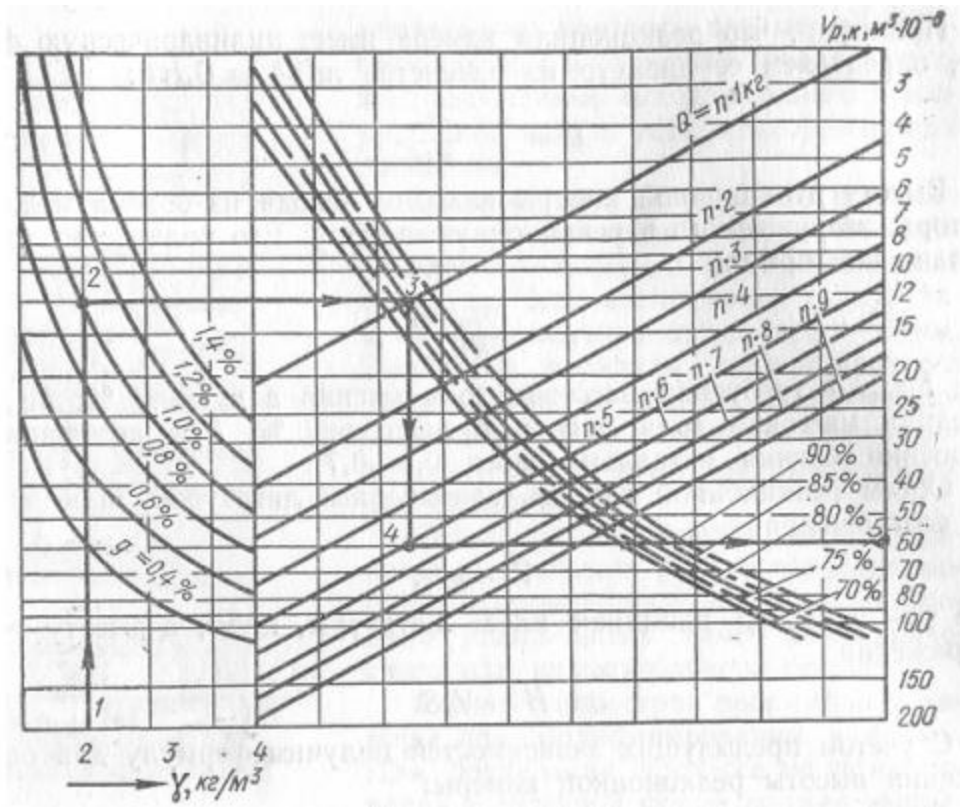


Рисунок 1.16 - Номограма для визначення об'єму реакційної камери $V_{p.k}$ в залежності від насипної маси модифікатора γ , його витрат g , ступеню засвоєння магнію та металоємності форми Q

Правила користування номограми наступні. З точки 1 на лівому полі діаграми, визначальною питомою насипною масою модифікатора γ , проводимо вертикальну лінію до перетину з лінією, визначальною витратою модифікатора g (в%) (точка 2).

Далі проводимо горизонтальну лінію до перетину з кривою, що характеризує засвоєння магнію з модифікатора рідким металом (точка 3).

Від точки 3 вгору або вниз по вертикалі визначаємо точку перетину з прямою, що характеризує витрату рідкого металу Q на заливку форми. Отримуємо точку 4, з якої проводимо горизонтальну лінію до перетину з координатою, яка визначає обсяг реакційної камери V (точка 5). Якщо для встановленого значення металоємності форми застосовується деякий

числовий коефіцієнт n , то зчитувати числове значення V слід також з використанням цього коефіцієнта.

Висновки до розділу 1

1. Проведено розгорнутий аналіз характеристик видів чавуну, впливу хімічного складу та домішок на їх властивості, методи маркування чавуну.

2. Розглянуто мікроструктури чавунів основних марок, встановлено загальні елементи структур та їх відмінності. Розглянуто особливості отримання чавунів спеціальних видів – високоміцних, ковких, антифрикційних, жаростійких.

3. Надано розгорнутий аналіз способів та механізмів модифікування чавунів. Запропоновано апаратурно-технологічні схеми, які реалізують способи модифікації чавунів.

РОЗДІЛ 2 МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ІНДУКЦІЙНОЇ ПЛАВКИ ЧАВУНУ

2.1 Особливості індукційної плавки

В індукційних тигельних печах почали плавити чавун близько чверті століття тому. Однак через дефіцит електроенергії, недосконалості печей і кладки широкого застосування така плавка не отримала. Основним плавильним агрегатом залишалася вагранка.

Технічний прогрес в машинобудуванні, пов'язаний з підвищенням надійності та довговічності машин, зменшенням їх ваги, пред'являє все більші вимоги до якості чавунних виливків, що веде до вдосконалення конструкцій вагранок. Вагранки обладнуються рекуператорами для підігріву повітря, потужними вентиляторами і ін. З'являються коксогазовий і газові вагранки. Однак незважаючи на істотну зміну конструкції вагранок, переваги гарячого дуття, у багатьох випадках ваграночний чавун все ж не задовольняє вимогам щодо меж коливання хімічного складу, вмісту шкідливих домішок і ступені перегріву металу.

Головна перевага індукційної плавки чавуну перед вагранковою полягає в можливості управляти процесом перегріву чавуну в широкому інтервалі по температурі і часу, здійснювати глибшу металургійну обробку розплаву, точно витримувати хімічний склад і отримувати чавун високої якості. До переваг цих печей відноситься можливість переплавки небрікетированной чавунної стружки до 40% ваги металевій завалювання, відходів тонколистового заліза, що знижує витрату чушкового чавуну і брухту. Можливе використання і компактних відходів металу великої ваги і великих розмірів, істотно обмеженого при плавці в вагранке. При плавці знижується угар Si і Mn, здешевлюють шихтові матеріали, загальний угар знаходиться в межах 2-06%, скорочується штат обслуговуючого персоналу і на 30% - потреба в кубатурі приміщення за рахунок висоти будівлі

Для отримання розплаву чавуну невеликих об'ємів можна використати індукційну піч. В процесі плавки в індукційних печах на розплавлений метал діють сили, викликані взаємодією струму, що проходить по індуктору і потоків, які індуються у розплавленому металі. Ці сили направлені радіально до центру розплавленого металу. Під їх дією метал витискується по вісі тигля вгору і вниз, створюючи активну циркуляцію, яка призводить до інтенсивного перемішування та забезпечує швидке одержання однорідного по складу сплаву.

Важливою особливістю індукційних печей є генерація тепла безпосередньо в металічній садці, а не передача його ззовні, що дає можливість нагріву металу до досить високих температур. Підвищення температур практично лімітується тільки стійкістю плавильного тигля і тепловіддачею випромінюванням в навколишнє середовище.

Особливості індукційного нагріву, згадані вище, дають можливість з успіхом проводити плавку металу не тільки у повітряній атмосфері, а і у вакуумі та в захисних атмосферах.

Індукційна піч має такі переваги перед іншими типами печей, що використовують електроенергію:

1) передача енергії за допомогою електричного поля виключає забруднення металу матеріалом електроду. Це дозволяє легко виплавляти в індукційних печах безвуглецеві сталі та сплави;

2) відсутність концентрованого джерела тепла над металом забезпечує малу швидкість поглинання металом азоту та водню з атмосфери, а також незначні втрати летючих елементів;

3) при роботі індукційних печей значно нижче рівень шуму, менше виділення диму, менше теплове випромінювання.

Але крім високої вартості електрообладнання, індукційні печі мають такі суттєві недоліки:

1) нагрівання шлаку в них відбувається головним чином за рахунок тепла, що виділяється в металі, так як через малу електропровідність шлаку електромагнітне поле безпосередньої участі в його нагріванні не приймає. Тому температура шлаку нижча за температуру металу і холодні в'язкі шлаки не здатні забезпечити інтенсивне видалення з металу фосфору та сірки;

2) розсіювання магнітного потоку в проміжку між індуктором і металом вимушує зменшувати товщину футерівки тигля, що призводить до зниження стійкості футерівки.

В основу індукційного нагрівання покладено принцип роботи трансформатору: під дією змінного магнітного поля, створеного індуктором (первинною обмоткою) у розплаві, що є вторинною обмоткою і одночасно навантаженням, індукується електрорушійна сила (ЕРС), під дією якої в металі циркулює електричний струм. За рахунок джоулевого тепла, яке виділяється при проходженні струму, метал розігрівається і плавиться.

2.2 Особливості отримання високоміцного чавуну з графіту вермикулярною формою

Підвищені характеристики міцності виливків з чавуну можуть бути досягнуті не тільки при забезпеченні правильної кулястої форми включень графіту, але і при отриманні його компактних форм. Зокрема, останнім часом у ряді країн швидко прогресує виробництво виливків з чавуну з графітом вермикулярним. (Червоподібною) форми. З чавунів з вермикулярним графітом виготовляються картера зчеплення, випускні колектори, гальмівні барабани, маховики і інші деталі автомобілів, тракторів і т. д.

Чавуни з вермикулярним графітом були відомі давно, практично одночасно з кулястим графітом. Вперше їх описав у 1948 р. англійський дослідник Морроу.

Однак спочатку вони – розглядалися як чавуни з виродженої формою графіту.

Вермикулярним і компактна форми включень графіту в чавуні досягаються при сфероїдизуючій обробці розплаву чавуну, що містить алюміній, олово, свинець, сурму, вісмут, сірку, фосфор, марганець, титан, азот та інші елементи в кількостях більших, ніж це припустимо для отримання графіту кулястої форми.

Дослідження морфології пластинчастого графіту, графіту переохолодження, коралоподібного, вермикулярного і кулястого графіту показує, що вони утворюють еволюційний ряд, в якому – немає чіткої межі при переході від однієї форми до іншої.

Для отримання ВЧВГ застосовуються такі способи: а) обробка рідкого чавуну лігатурою, що містить одночасно глобуляризуючі (Mg, Ce) і антиглобуляризуючі (Ti, Al) елементи; б) обробка рідкого чавуну РЗМ; в) глибока десульфуратія чавуну в поєднанні з високою швидкістю охолодження, а також з

модифікуванням цирконієм; г) недостатнє модифікування рідкого чавуну магнієм або перетримка обробленого магнієм розплаву; д) обробка високосірчистого чавуну магнієм і РЗМ; е) обробка розплаву чавуну певного складу азотом.

У практиці ливарного виробництва найбільшого поширення-набули способи отримання ВЧВГ з використанням комплексних модифікаторів, що містять титан, і з застосуванням РЗМ. За даними НПО ЦНИИТМАШ, достатню ефективність мають лігатури, що містять 20...30% РЗМ, типу Сіітміш або Сцеміш; ферросілікомішметалл та ін Застосування багатоконпонентних лігатур дозволяє підвищити ступінь засвоєння РЗМ і виключити піроефект при введенні їх в рідкий метал.

Витрата лігатур істотно залежить від вмісту сірки в чавуні. Отримати вермикулярну форму графіту можна і при високому вмісті

сірки, використовуючи, наприклад, лігатуру, що містить РЗМ і магній (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 - Витрата лігатури (51,8% Si; 4,64 %Mg; 4,97 %Ti; 2,69%Al; 0,3 % мішметала) для отримання вермикулярної та кульової форми графіту в чавуні, що вміщує різну кількість сірки (по даним Б.Л. Кузнецова)

Проте кращі і більш стабільні результати модифікування отримують при масовій частці сірки в чавуні, складовою менше 0,015%, і низькому вмісті стабілізуючих елементів – хрому, марганцю, ванадію. Рекомендована присадка лігатур типу Суміш для отримання графіту вермикулярної форми в чавуні з різним вмістом сірки наведена в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Знаходження кількості лігатури Суміш для отримання вермикулярного графіту в чавуні з різною масовою часткою сірки (за даними НПО ЦНИИТмаш)

Масова частка сірки в розплаві чавуну, %	$\sigma_B = 313...343$ МПа		$\sigma_B = 431...490$ МПа	
	Присадка лігатури, %	В тому числі, %	Присадка лігатури, %	В тому числі, %
0,005	0,3...0,4	0,10	0,6...0,05	0,22
0,015	0,6...0,65	0,20	1,0	0,30
0,030	1,0	0,30	1,3	0,40
0,050	1,3	0,40	1,7	0,50
0,075	1,7	0,50	2,2	0,70
0,100	2,0	0,60	2,5	0,80

Для тонкостінних виливків витрата лігатури може бути зменшений на 15...20%. Температура модифікування оптимальна в інтервалі 1450...1520 °С, при більш високій температурі збільшується угар елементів, процес стає нестабільним.

Вторинне модифікування у виробництві ВЧВГ застосовується. Для усунення карбідних фаз в структурі чавуну. Як звичайно, для цієї мети використовують присадку в ківш ФС75 в кількості, що становить 0,5...0,8% маси металу, в залежності від складу чавуну (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 - Рекомендуема присадка ФС75 для вторинного модифікування при виробництві ВЧВГ (по даним Н.Н.Александрова)

Ефективно також пізніше модифікування безпосередньо в ливарній формі, при цьому кількість феросиліцію зменшується до 0,2...0,3%. Для прикладу результати отримання ВЧВГ різними способами наведено в табл. 2.2.

Широке застосування титану для одержання чавуну з вермикулярним графітом пов'язано з тим, що він сприяє нейтралізації глобуляризуючої дії сфероїдизуючих компонентів лігатур, компактного і вермикулярного графіту.

Такий чавун застосовується у випадках, коли поряд з підвищеною міцністю необхідна хороша оброблюваність, менша схильність до усадки, більш висока теплопровідність, ніж у високоміцного чавуну, що важливо для таких виливків, як блок циліндрів, деталі компресорів, масляних насосів, головки блоків двигунів, маховики, зубчасті колеса, вихлопні патрубки і т. д.

Таблиця 2.2 - Структура та механічні властивості чавуна з вермикулярним графітом, отриманого різними способами

Параметри	Способи отримання ВЧВГ		
	Модифікування чавуну лігатурою	Модифікування попередньо десульфурованого чавуна мішметалом ФСМ-2	Модифікування чавуна лігатурою Суміш 1
Температура обробки, оС	1480	1420	1440
Масова частка сірки в вихідному чавуні, %	0,020	0,005	0,016
Кількість присадки, %	1,30	0,20	0,30
Хімічний склад чавуна в виливниці, %			
C	3,61	3,61	3,73
Si	2,80	2,54	2,60
Ti	0,20	-	-
Mg	0,012	-	-
PЗМ(Се)	0,07	-	0,12
Структурні складові, %			
Вермікулярний графіт	90	95	95
Перліт	-	5	10
Ферит	100	95	90
Механічні властивості			
σ_b , МПа	325	335	378
σ_T , МПа	266	256	287
δ , %	6,0	6,7	5,0
НВ1480	136	157	170

Примітка. Вторинне модифікування в ковші – 0,4% ФС75

Для підвищення міцнісних властивостей чавуну з вермикулярним графітом доцільне застосування присадки міді. Легування міддю в кількості 0,3...0,8% дозволяє підвищити межу міцності на розтяг з 350 до 500 МПа. Крім того, у виливках, що працюють в умовах тертя, мідь сприяє перлітизації металевої матриці і тим самим підвищує зносостійкість.

У зв'язку з накопиченням титану і пов'язаними з цим відбілити, погіршенням оброблюваності та іншими небажаними наслідками, при виробництві виливків з чавуну з вермикулярним графітом все більше застосування знаходять методи прецизійного модифікування магнітоскладової лігатурами з РЗМ. У цьому випадку домагаються високої стабільності заданого залишкового вмісту магнію (0,02...0,025%) або РЗМ стосовно складу чавуну і умовам затвердіння виливків, забезпечуючи гарантоване отримання в структурі сплавів вермикулярної форм графіту. Застосування лігатур комплексного складу, які містять магній, РЗМ, барій, а також вторинного графітизуючого модифікування і в цьому випадку дає більш надійні результати.

2.3 Основні види і застосування індукційних печей

Індукційні печі бувають двох типів - тиглі і каналні. Футерування печі буває кисла, основна або нейтральна.

Кисла це коли футерування набивається за шаблоном, кварцевим піском або кварцитовим босм на боросилікатної зв'язці, коштує при плавці чавуну 20 - 30 плавок.

Основна формується при набиванні футерування плавленим магнезитом, на жаростійких сталях таке футерування коштує 70 - 90 плавок.

Нейтральна формується з вторинного білого електрокорунда з мулітом, коштує на чавуні 40 - 50 плавок.

Для плавки чавуну все більшого поширення набувають індукційні печі промислової частоти. Починаючи з кінця п'ятдесятих років плавка чавуну в

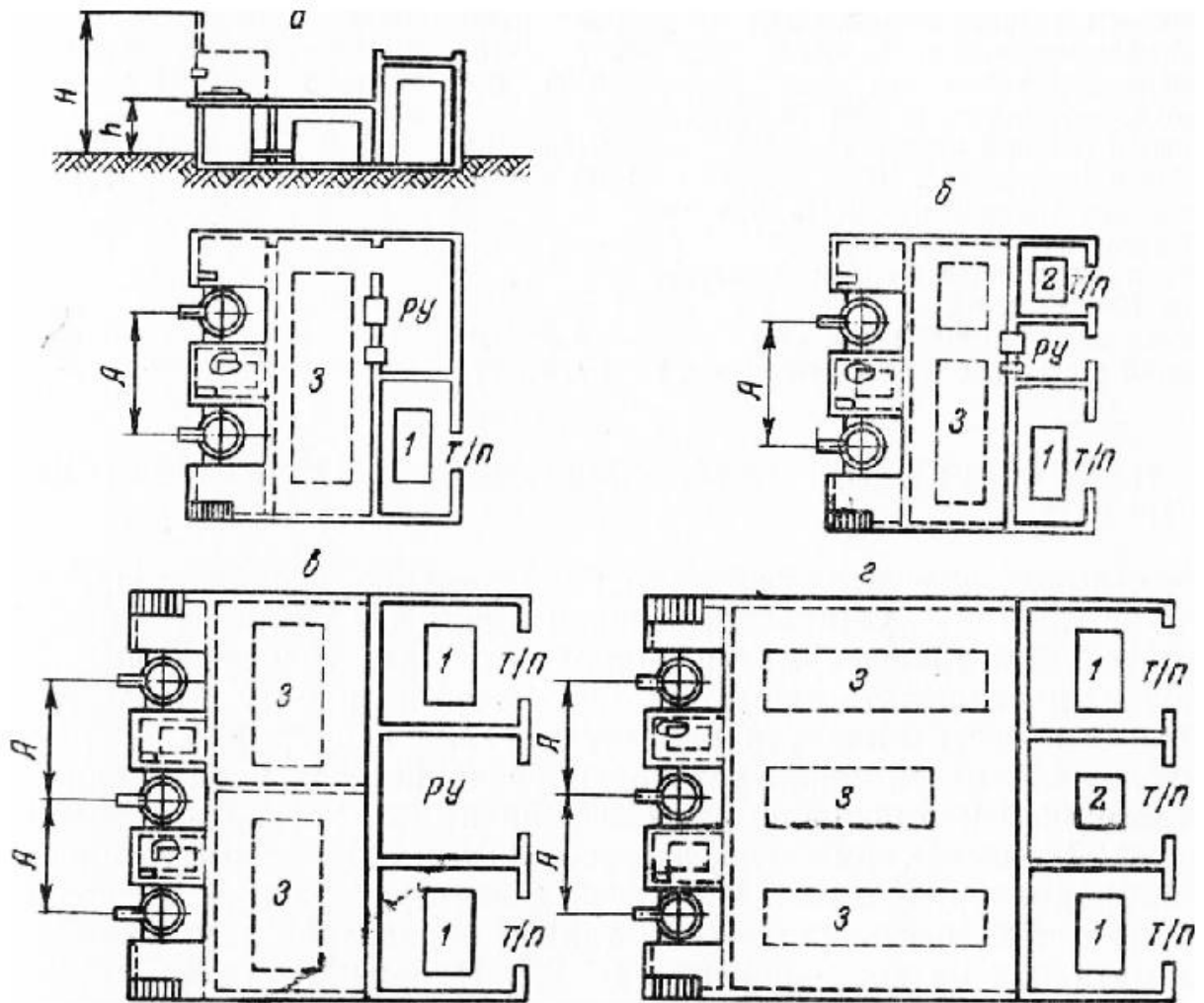
електропечах і особливо в індукційних печах в промислово розвинених країнах починає витіснити вагранковий плавці. За період з 1963 по 1968 р в США кількість працюючих електропечей для плавки чавуну зросло до 4000. З них близько 70% становлять індукційні печі промислової частоти. За останні 6-7 років в США число вагранок скоротилося майже вдвічі, а число електропечей зросло в 25 рази. У Західній Європі також йде процес заміни вагранок електропечами.

При плавці чавуну в індукційних печах різко знижується вміст S в розплаві, що полегшує отримання чавуну з кулястим графітом. Істотно поліпшуються санітарно-гігієнічні умови праці, так як обслуговуючий персонал не піддається шкідливим впливам тепла, пилу, шуму, газів від спалювання палива. Останній фактор особливо важливий в межах міста і населених пунктах, так як при роботі індукційних печей повітряний басейн засмічується у багато разів менше, ніж при ваграночном процесі, при якому потрібні громіздкі, дорогі засоби очищення. Знижується питома витрата вогнетривких матеріалів - для індукційної печі він становить 3 кг /т, дугового печі з кислотою футеровкою - 176 і для вагранки - 27 кг /т.

Індукційні печі гнучкі в роботі, забезпечують відбір металу великими порціями або безперервно в залежності від умов виробництва при високій стабільності складу рідкого чавуну.

Розрахунки, зарубіжна практика і практика Каунаського заводу «Центролит» підтверджують повну доцільність широкого застосування індукційних печей замість вагранок. При використанні дешевої шихти собівартість тонни рідкого металу може знижуватися на 30-40%.

Аукціонні печі більш капіталомісткі внаслідок високої вартості обладнання. Однак при використанні дешевої шихти термін окупності капітальних витрат не перевищує півроку. При наявності у вагранок установок для підігріву дуття, очищення газів, охолодження футеровки, автоматичного управління режимів плавки та іншого різниці у вартості установок немає.



1 - основний трансформатор; 2 - допоміжний трансформатор; 3 - конденсаторні батареї; т /п - трансформаторна підстанція

Рисунок 2.3 - Схема варіантів установки індукційних печей:

Насправді ж продуктивність печей прийнята рівною 70% від теоретичної з урахуванням часу на завантаження шихти, випуск металу з печі і підготовку тигля до плавки.

На рис. 2.3 а показана установка з двох тиглів і одного основного трансформатора, де один тигель є резервним; на рис. 2.3 в - установка з трьох тиглів і двох основних трансформаторів, два тигля працюють одночасно, а один резервний; на рис. 2.3 б - установка, яка має два тигля і один допоміжний трансформатор. Додатковий трансформатор дозволяє

перемикати будь-яку з двох печей на роботу в міксерному режимі і вести плавку і роздачу металу безперервно. Продуктивність печей такої установки збільшується і визначається множенням нормативної на коефіцієнт 13. Установка печей на рис. 2.3 г має три тигля, два основних і один допоміжний трансформатор. Кожен з тиглів може працювати в міксерному режимі. Потужність установки також визначається множенням нормативної на коефіцієнт 26-27. Плавка і видача металу ведеться безперервно. При проектуванні ливарних цехів із застосуванням індукційних печей можливі і інші схеми компонування печей та електрообладнання.

При розробці проектів із застосуванням індукційних печей необхідно передбачати спеціальні засоби для видалення вологи, масла, емульсії та інших жиросодержащих речовин в стружці і інших відходах, які направляються на плавку. За даними Каунаського заводу «Центролит», що використовує в якості шихти чавунну стружку розсипом, в 1 т стружки міститься більше 30 кг масла і емульсії.

Плавка необробленої шихти забруднює цех кіптявою, при завантаженні можливі загоряння і хлопки, лужні компоненти емульсії прискорюють руйнування футеровки, а сірчисті складові масла насичують метал сіркою. В результаті якість виливків погіршується і знижуються техніко-економічні показники.

Підготовку шихти можна виробляти тепловим методом в печі при 500-700 ° С, де видаляються практично всі летючі і горючі речовини. Щоб уникнути окислення стружки, створюють в печі нейтральну або відновну атмосферу.

Для знежирення легковагих металовідходів застосовують також промивку слаболужними розчинами їдкого натру (40- 50% NaOH і 05-1% ДС РАС - поверхнево-активна речовина). Операція промивки проводиться методом душування зверху в спеціальній ємності. Тривалість знежирення становить 5-10 хв. Розчин підігрівають до 60-80 ° С, що полегшує подальшу сушку шихти за рахунок власного тепла.

Серйозним резервом в зниженні вартості плавки і підвищення продуктивності індукційних печей промислової частоти є попередній підігрів шихти дешевшим паливом - мазутом або газом. Завантаження шихти, що має температуру 650-700 ° С, забезпечує підвищення продуктивності печі на 40 і зниження витрати електроенергії на 30%.

Виплавка металу в чавуноливарних цехах може здійснюватися різними плавильними агрегатами або їх поєднанням, проте в більшості випадків питання стоїть про вибір між Вагранка, індукційної та електродугової піччю. Від вибору плавильного агрегату багато в чому залежать техніко-економічні показники роботи плавильного відділення.

При порівнянні варіантів плавильних агрегатів необхідно враховувати поряд з економічною ефективністю і такі технологічні чинники, як якість рідкого чавуну, гнучкість в роботі при виплавці послідовним використанням різних марок чавуну, умови роботи на плавильному агрегаті, які в окремих випадках можуть мати вирішальне значення при виборі плавильного агрегату.

При виплавці рідкого металу для ковкого чавуну найбільшого поширення набули дуплекс-процеси вагранка 'Електродугове або індукційна піч. Наприклад, за схемою вагранка 'Електродугова піч працюють ливарні цехи Горьковського автозаводу і Тульського використанні в складі шихти стружки.

У промислово розвинених країнах, крім індукційних печей, для плавки чавунів широко застосовується дуплекс-процес вагранка + -ріндукційна піч, який вирішує проблему плавки різних марок синтетичного чавуну з низьким вмістом сірки, придатним для отримання високоміцних чавунів.

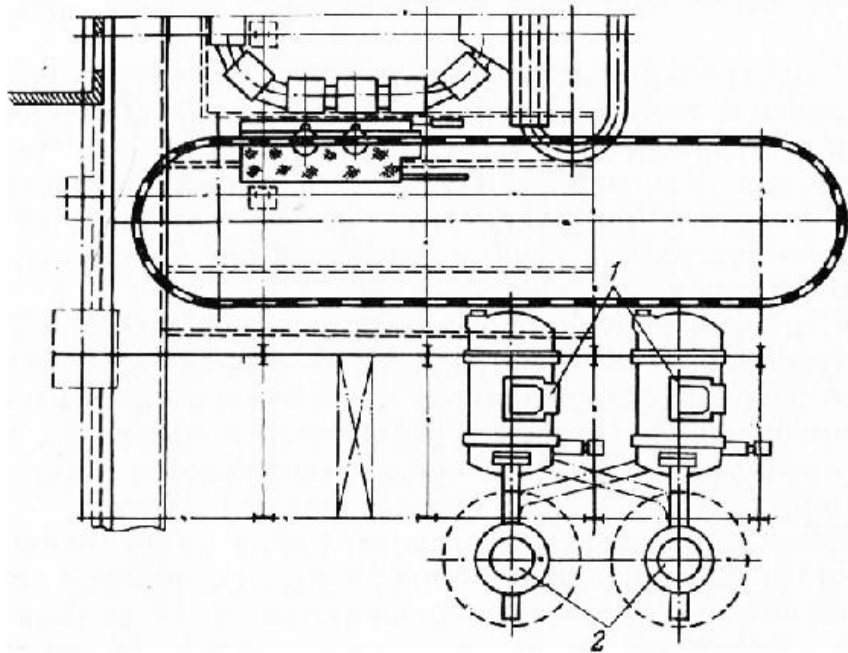
У ФРН застосовується дуплекс-процес вагранка + індукційна піч, де використовуються 10-тонні вагранки з підігрівом дуття і 5-тонна індукційна піч. На заводі «Вольво» в Швеції використовується дуплекс-процес вагранка + канална піч для виливків блоків циліндрів, головок блоків. У 10-тонній вагранке з підігрівом дуття до 500 °С виплавляється синтетичний чавун на

шихті з сталевого брухту, повернення і 10% доменного чавуну. Метал з вагранки в 20-тонну каналну піч надходить по жолобу і підігрівається до 1450-1470 °С. Стійкість футеровки ванни - три роки. За такою ж схемою вагранка + канална піч працюють ливарні цехи шведських фірм «Еббесен Брук» і «Сканія вабіс».

На автомобільній фірмі «Крейслер» в США дві вагранки продуктивністю по 50 т /год з підігрівом дуття до 750 ° С працюють в дуплекс-процесі з трьома каналними печами ємністю до 100 т, одна з яких - резервна. Чавун з вагранки в каналну піч надходить по жолобу безперервно і перегрівається до 1530-1550 ° С. Він використовується для виливків блоків циліндрів, головок блоків і інших деталей. У ливарному цеху фірми «Atlas Foundry Co» (США) Чавун з низьким вмістом сірки виплавляється в індукційних печах, а потім подається в індукційну тигельну піч, де він додатково науглероживається, а на заводі фірми ASEA для отримання чавуну з кулястим графітом використовується дуплекс-процес індукційна тигельна піч + індукційна канална піч, де дві 8-тонні тигельні печі працюють з однією 10-тонної каналної.

Досить часто на автозаводах для виплавки магнієвого чавуну застосовується дуплекс-процес індукційна тигельна піч промислової частоти + електродугова піч. У проекті реконструкції ливарних цехів заводу для синтетичного чавуну запроектований дуплекс-процес індукційна тигельна піч-канална піч. Ваграночний процес і дуплекс-процес вагранка + дугова піч замінюють дуплекс-процесом металургійна вагранка + " + канална піч, де будуть виплавлятися чавуни марки КЧ35-10 СЧ24-44 СЧ18-36.

Типова схема організації дуплекс-процесу металургійна вагранка + канална піч представлена на рис. 2.4. З вагранки продуктивністю 30 т /год з підігрівом дуття до 500 - 600 ° С чавун надходить по жолобу в каналну піч корисною ємністю 45 т. Вагранка плавить без вибивання протягом тижня.



1 - індукційні каналні печі; 2 - металургійні вагранки

Рисунок 2.4 - Типова схема організації дуплекс-процесу металургійна вагранка + індукційна канална піч

При виплавці чавуну індукційні печі можуть працювати в різних режимах.

Якщо йдуть плавки одного хімічного складу, в печі може залишатися «болото» рідкого металу. Відбір металу виробляється певними порціями. Після кожного відбору піч завантажується такою ж кількістю холодної шихти.

Печі, що забезпечують роботу конвеєрів, повинні працювати за графіком. Для цього на всіх працюючих печі складається графік роботи печей і видачі металу на конвеєр.

Дуплекс-процес вагранка-індукційна піч може бути двох типів. Перший тип - дві печі тигельні, що працюють поперемінно: одна - на заповнення, інша - на видачу рідкого металу. За даними В. Трещаліна, ємність міксерів, що забезпечують стабілізацію хімічного складу, головним чином по кремнію становить $0,8 q$ кожен (q - годинна продуктивність

вагранки). При використанні каналних міксерів, де зазвичай залишається до 30% рідкого металу, ємність міксера збільшується на 30%.

При організації другого типу вагранка обладнується одним міксером, в який чавун надходить безперервно і лунає на заливку.

2.4 Сировинні матеріали для виплавки чавуну

В якості шихтових матеріалів застосовуються первинні і вторинні матеріали.

Отримання рідкого чавуну для лиття різних марок відбувається з використанням первинних і вторинних матеріалів в різних співвідношеннях залежно від типу плавильного агрегату і від вимог до відливань. Так при плавці в електропечах використовують передільні коксові чавуни, чавунний і сталевий лом, феросплави, чавунну стружку у вигляді брикета.

В якості розкислювачів і модифікаторів використовуються феросплави: феросиліцій, феромарганець, феросилікомарганець.

В якості легуючих елементів використовують ферохром, феронікель.

Усі компоненти шихти проходять хімічний аналіз, який представляється у вигляді таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Хімічний склад шихтових матеріалів

Вид сировини	Хімічний склад (%)					
	C	Si	Mn	P	S	Fe
Лом № 1	C ₁	Si ₁	M ₁	P ₁	S ₁	решта
Лом № 2	C ₂	Si ₂	M ₂	P ₂	S ₂	решта
Лом № 3	C ₃	Si ₃	M ₃	P ₃	S ₃	решта
ФС - 10	0-2	8-13	3	0,15	0,3	80±3
ФМн-78А ГОСТ4555-91	< 7	< 6	75-82	0,05	0,02	87±3
Чад, %	8-10	10-20	20-30	0	0	0,7

Вплив марганцю і кремнію на умови заливки позначається таким чином.

Вплив кремнію (Si). Si посилює графітизацію: $\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{Графіт}$, сприяє зниженню усадок при кристалізації. Ця реакція прискорюється при збільшенні вмісту Si– графітизатора.

Вплив марганцю (Mn). Mn - розкислювач. $\text{FeO} + \text{FeMn} \rightarrow \text{MnO}_{(\text{в шлак})} + 2\text{Fe}$, чавун очищається від кисню. Затримує процеси графітизації, знижує виділення графіту, збільшує усадку, знешкоджує сірку. Марганець вибілює чавун. (Вибілювання - процес затримки розпаду цементита). Вміст Mn до 1%.

Вплив фосфору (P). Фосфор збільшує рідкотекучість (легше отримати відливання), збільшує крихкість чавуну. Вміст в чавуні P до 0,2%.

Вплив сірки (S). Сірка погіршує властивості чавуну, перешкоджає утворенню графіту, підвищує крихкість, знижує міцність. Вміст S до 0,1%.

2.5 Модифікатори

Сфероїдизуюче модифікування проводять з метою отримання в структурі чавуну включень графіту кулястої форми. Для сфероїдизуючого модифікування застосовують магній всіх марок, магнієві сплави, магній у вигляді брикетів і сумішей на основі феросиліцію (15...20% Mg), комплексні модифікатори марок ФСМг2-ФСМг9, ЖКМК-1 - ЖКМК-6; ЖКМ-1 - ЖКМ-3, мішметала, сплав ФЦМ-5, лігатури (важкі: Mg-Ni, Mg-Ni-PЗМ, Mg-Si-Fe-PЗМ, Mg-Ni-Cu, Mg-Ni-Cu-Ce, Mg-Ni-Ce; легкі: Ca-Si-Fe-Mg, Mg-Si-Fe, Mg-Si-Fe-PЗМ та ін), виплавляється в електропечах; ітрій, церій і лігатури на їх основі.

В даний час для отримання комплексних модифікаторів виплавляють (найчастіше в електропечах) основні компоненти (феросиліцій, силікокальцій, легуючі), а магній вводять в розливочні ковші в нейтральній атмосфері або в герметичних камерах. Введення в лігатури кальцію в межах

0,5...2,5% підвищує їх рафінуюча і графітізуюча здатність, зменшує небезпеку утворення дефектів.

Магній міститься практично у всіх модифікаторах. Мінімальна кількість залишкового магнію, необхідний для отримання графіту кулястої форми в будь-якому перетині вилівка, має становити не менше 0,03...0,04%. При використанні для модифікування комплексних сфероїдизуючих модифікаторів залишковий вміст магнію повинно бути таким же, однак ефективність модифікування підвищується.

Для запобігання утворення на поверхні розплаву оксидних плівок і усунення або зменшення «чорних плям», що призводять до дефекту виливків, поверхню рідкого чавуну слід захищати від окислення флюсом або вводити флюс разом зі сфероїдизуючим модифікаторами. У якості флюсу застосовують кріоліт штучний технічний, шпат плавиковий марок Ф75, Ф85, Ф92 та інші фториди і хлориди. Кріоліт необхідно просушити при температурі 150...250 ° С і просіяти через сито № 01.

Вихідний чавун, що піддається сфероїдизуючому модифікуванню, повинен бути малосірчистим ($<0,01 \dots 0,02\%$ S), малофосфористим ($<0,05\%$ P при феритній основі і $<0,10\%$ P при перлітній основі) і маломарганцевистим (до 0,4% Mn) при феритній основі.

Крім того, слід враховувати наявність в чавуні супутніх домішок, які є демодифікаторами, у зв'язку з чим їх масова частка в чавуні не повинна перевищувати, %: Pb– 0,02; Bi - 0,003; Sb– 0,01; As– 0, 01; Ti – 0,02; Al – 0,1.

Вплив демодифікаторів частково або повністю усувається добавкою ремодифікаторів, наприклад церію та інших РЗМ.

Металевий магній в якості сфероїдизуючого модифікатора застосовується, як правило, при автоклавному методі отримання ВЧШГ. Низька вартість робить його перспективним і при інших методах. Однак мала щільність, бурхливий піроефект, супроводжуваний його введенням в розплав, перешкоджають широкому поширенню його застосування.

Англійською фірмою «Фосеко» освоєно також виробництво модифікатора у вигляді таблеток, виготовлених із залізного порошку і чистого магнію. Це дозволяє застосовувати такий модифікатор для сендвіч-процесу замість дорогої Ni-Mg-лігатури.

Нікель - магнієві лігатури дорогі, але використання їх в якості сфероїдизатора дозволяє добитися великої стабільності результатів. Можливість застосування без спеціальних герметизованих ковшів і автоклавів забезпечує використання Ni-Mg-лігатури при сендвіч-процесах. Насипна маса дробленої лігатури складає 3200...3400 кг/м³.

Склади найбільш поширених лігатур на основі Ni-Mg наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 - Склади найбільш поширених лігатур на основі Ni-Mg

Тип	Ni	Mg	Si	Fe	Інші елементи
1	15...20	5...15	45...50	інше	-
2	20...50	5...15	до 30		-
3	50...55	15...18	25...30		-
4	40	25...32	до 30		-
5	76...84	14...16	-	-	до 1 % Се
6	10...45	5...17	-	50	-
7	65...70	5...15	-	до 50	до 20 % С

За кордоном розроблено також модифікатор, який крім нікеля і магнію містить близько 5% Са. Ступінь засвоєння кальцію з нього становить 60...80%.

Fe-Si-Mg-модифікатори одержали широке поширення в СРСР, США, Великобританії. Їх переваги: слабкий піроефект; відносно низька вартість; їх застосування не вимагає вторинного модифікування. Модифікатори цього типу легкі, тому отримання стабільних результатів трохи важко.

Хімічний склад найбільш поширених комплексних модифікаторів на основі Fe-Si-Mg наводиться в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 - Склад комплексних модифікаторів для отримання чавуну з кулястим включенням графіту

Марка	Масова частка, %					
	Магнію	Кальцію	РЗМ	Кремнію	Алюмінію, не більше	Заліза та ін.
ФСМг9	8,5...10,5	0,2...1	0,3...1	50...60	1,2	Інше також
ФСМг7	6,5...8,5	0,2...1	0,3...1	45...55	1,2	
ФСМг5	4,6...6,5	0,2...1	0,3...1	45...55	1,2	
ФСМг4	3,5...4,5	0,2...1	1...2	45...65	1,2	
ФСМг3	2,5...3,5	2...4	1...2	55...70	2,5	
ФСМг2	1,5...2,5	2...4	1...2	55...70	2,5	

Примітка. По вимозі споживачів модифікатори комплексні можуть додатково містити алюміній в кількості 1,5...2,5%; РЗМ – 2...10%; кальцій – менше 0,2 % чи до 6%; барій – 1...5%; титан – 4...11%; цирконій – 0,5...5%. При введенні в модифікатори додаткових елементів до позначення марки додають відповідні індекси.

У Fe-Si-Mg-модифікатори корисні добавки таких елементів, як Са, Si, Ва, РЗМ. Фірма «Фосеко» розробила модифікатор у вигляді брикетів, який складається з 10% Mg, порошку заліза і силікокальцію. Щільність брикетів складає більше $4,6 \cdot 10^{-3}$ кг/м³.

Комплексні модифікатори найчастіше застосовують спільно з флюсами, в якості яких використовують СаF₂, СаСО₃ і т. д.

Комплексні модифікатори можуть застосовуватися як для ковшового обробки, так і для внутріформенного модифікування. Базою комплексних модифікаторів є феросиліцій або силікокальцій. Добавки РЗМ, барію, стронцію можуть підвищити ефективність і тривалість дії модифікаторів.

Кількість впроваджуються комплексних модифікаторів залежить від способу введення, кількості оброблюваного чавуну, вмісту сірки, хімічного складу чавуну, товщини стінок виливків і знаходиться в межах 1,0...3,0%.

Ітрієво модифікатори. Модифікатори, які містять ітрій, частіше застосовують спільно з магнійвмісткі модифікаторами. Ітрієво модифікатори застосовуються також для отримання чавуну з вермикулярним графітом.

В СРСР ітрієво модифікатори випускалися з масовою часткою ітрію від 99,8% (ІТМ-1) до 93% (ІТМ-5).

Церієві модифікатори. Церієвиймішметалл в кількості 0,005...0,015% є ефективним засобом нейтралізації шкідливих домішок (Pb, Bi і т. д.), сприяє утворенню кулястого графіту, найчастіше неправильної форми. Використання його в якості глобуляризатора визнається не економічним. Кількість мішметалла, що перевищує 0,02% (церію 0,01%), викликає небезпека утворення карбідної фази.

Рекомендується вводити в чавун постійна кількість церію, а величину добавки магнію варіювати в залежності від вмісту сірки. Вплив церію посилюється, якщо його вносити в вихідний чавун до або одночасно з магнієм.

При цьому знижується схильність чавуну до переохолодження і відбілити, збільшується кількість глобул графіту. Мікродобавки церію в кремнійвмісткихмодифікаторах підсилюють їх дію, слабо впливаючи на число евтектичних колоній.

Ефективними модифікаторами на основі церію є ФСЗО, РЗМЗО, Сцеміш-лігатура, що містить 25...30% РЗМ церієвої групи, 5...10% Al, 0,5...9,0% Ca, 55...60% Si. Застосовується також медесілікомішметалл, що включає 20...30% елементів церієвої групи, 10...20% Si, 3...6% Al, 35...45% Si.

Широко застосовується в Японії модифікатор «OZ» являє собою гранульований силікокальцій, покритий спеціальним флюсом, що містить 3% Mg і РЗМ.

Інші елементи в складі модифікаторів. З елементів, потяжуючий модифікатор, знайшли застосування нікель і мідь. Однак у тих випадках, коли необхідна чисто феритної структура, нікель і мідь можуть виявитися небажаними елементами, оскільки вони сприяють перлітизації.

Добавка барію в модифікатори високоміцного чавуну знайшла широке застосування для продовження модифікуючого ефекту. У європейських країнах барій вводять до складу модифікаторів у вигляді спеціальних препаратів «Інокарб» (4...6% Ва), «Інобар» (9...11%Ва). Барій сприяє підвищенню ефективності сфероїдизуючого модифікування. З включенням барію до складу комплексних модифікаторів їх сфероїдизуюча здатність підвищується. У складі вторинних модифікаторів на основі феросиліцію барій підвищує ефективність графітизації.

Останнім часом посилюється інтерес до стронцію у складі модифікаторів для високоміцного чавуну. Стронцій сприяє продовженню ефекту модифікування, зниження схильності чавуну до відбілити.

Цирконій є сильним розкислювачі, бере активну участь у десульфурзації розплаву і тим самим створює сприятливі умови для прояву сфероїдизуючими елементами своєї дії, сприяє зниженню витрати цих елементів. Цирконій входить до складу таких модифікаторів, як «Інокулін» (до 2% Zr), «Калсіграф» (1,5% Zr), «Інопач Ж», «Інопач М» (5...6% Zr) та ін..

Вплив ряду елементів на освіту кулястого графіту наведено в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 - Вплив домішкових елементів на сфероїдизацію графіту

Елемент	Вплив на сфероїдизацію графіту
S, O	Перешкоджає утворенню кулястого графіту
Sb	Перешкоджає утворенню кулястого графіту
Cu	Нешкідливий при масовій частці $m < 2,5\%$
V	Нешкідливий при масовій частці $m < 0,2\%$
Mo, Co	Нешкідливий при масовій частці $m < 1,0\%$
Ni	Нешкідливий
Pb	Шкідливий при $m > 0,003\%$
Cr	Шкідливий при сфероїдизації графіту при $m > 0,05\%$
Zn	Несприятливий для сфероїдизації графіту при $m > 0,01\%$
Ti	Перешкоджає утворенню кулястого графіту, застосовується для отримання ВЧВГ
B	Нешкідливий при $m < 0,05\%$
Cd	Сприятливий для утворення ВЧШГ
Bi	Шкідливий для сфероїдизації при $m > 0,001\%$

Введення до складу модифікатора олова дозволяє вирівнювати твердість у виливках з різним перерізом. Сфероїдизуючі модифікатори, що містять олово, широко застосовуються в автомобільній промисловості.

Висновки до розділу 2

1. Показано переваги та недоліки індукційної плавки чугунів різних марок – високоміцних з вермикулярним графітом, модифікованих різними способами.

2. Надано опис основних видів індукційних печей, схеми їх установки, ефективність використання дуплекс-процесів.

3. Запропоновано способи розрахунку шихтових матеріалів та вибір модифікаторів для чавуну. Показана ефективність використання комплексних модифікаторів. Встановлено вплив домішок на сфероїдизації чавуну.

РАЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЯ ВИПЛАВКИ ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ

3.1 Підготовка сировини

Сировиною для плавки чавуну є чавунний лом, ливарний чавун Лит ФС10, феромарганець і феросиліцій.

Для наведення флюсу, що захищає метал від окислення, на поверхню металу насипається доломіт, для остаточного розрідження шлаку використовується флюорит.

Основна вимога до сировини - хімічний склад і чистота матеріалів, які необхідно завалювати в плавильний агрегат.

Початкові матеріали часто забруднені сміттям, яке в основному представлене кварцевим піском - SiO_2 . Основне завдання очистити початкові матеріали від усіх забруднень.

Частина шлаку утворюється за рахунок розчинення футерування печі. Якщо футерування кисле те доламає і флюорит не додається. Шлак формується з матеріалів футерування SiO_2 і Al_2O_3 і має високу температуру плавлення.

Для очищення металу від забруднень в ливарних цехах застосовують перфоровані галтувальних барабани.

В якості тіл для обдирання металу від фарби, пригару і сміття використовуємо спеціальні зірочки з чавуну. У разі їх відсутності у барабан засипають бій кругів на керамічній або органічній зв'язці, розмірами в межах 2 ... 10 см.

Обертаючись у барабані з металом, ломом чавуну і чавунною чушкою впродовж години, обдирні тіла самоизмельчаються і начисто обдирають метал.

Дрібна фракція піску, обдирного матеріалу і фарби тут же прокидається у бункер галтувального барабана, проходить магнітну сепарацію, для витягання металу і спрямовується у відвал.

Зовнішній вигляд галтувального барабана представлений на рис. 3.1.



Рисунок 3.1 - Галтувальний барабан для очищення початкових матеріалів і готових відливань

3.2 Підготовка індукційної печі до плавки

Тигель індукційних печей представлена на рис. 3.2.

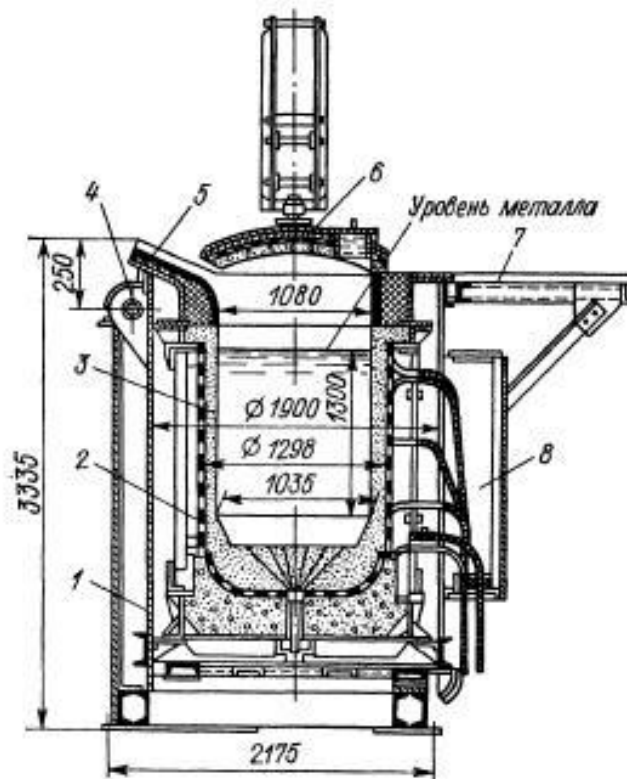


Рисунок 3.2 - Індукційна піч тигля

Підготовка індукційної печі до плавки, включає перевірку надійності токопроводів, нормальну роботу насосів для подачі води на мідний індуктор печі, хорошу ізоляцію індуктора, працездатний датчик контролю прогару футерування, якісний стан футерування, нормальний технічний стан градирни.

Піч має бути якісно зафутерована, оскільки залежно від якості футерування залежить кількість безперервних плавок без зупинки на ремонт.

Футерування печі буває кисла, основна або нейтральна.

Кисла це коли футерування набивається за шаблоном, кварцевим піском або кварцитовим боєм на боросилікатной зв'язці, стоїть на чавуні 20 – 30 плавок. Основна, при набиванні футерування плавленим магнезитом,

приклад "Мотор Сич", на жаростійких сталях таке футерування коштує 70 - 90 плавок.

Нейтральна з вторинного білого електрокорунда з муллитом стоїть 40 – 50 плавок.

3.3 Розрахунок шихти для плавки чавуну

Необхідно відмітити що, маючи в цехах портативні аналізатори початкової сировини, технолог зобов'язаний перевірити хімічний склад початкового матеріалу перед завантаженням його в плавильний агрегат. Використовуючи отримані дані повинен зробити відповідні розрахунки і узгодження їх з начальником цеху. Перед подачею металу на шихтову майданчик оперативно оформити шихтову карту.

На сьогодні ціна чушкового чавуну в Україні складає 7 – 8 тис. гривень за тону, ціна лому чавуну складає 2500 - 3000 гривень за тонну, ціна Лит ФС 10 складає 3500 - 4000 гривень за тонну, тому цілком логічним стає звістці плавку на ломі чавуну, ломі сталі, власному поверненні і Лит ФС 10.

Найдешевша сировина це власне повернення і лом чавуну, тому беремо їх за основу. При цьому з'являється небезпека наростання в металі Al, P, S і інших включень.

Дуже важливо перед кожною плавкою проводити в цеху аналіз початкового металу, проте лом не всякого чавуну підходить для литва тих або інших деталей. Для тонкостінного литва краще брати лом тонкостінного чавунного литва.

При плавці чавуну в печах застосовуються металеві, вогнетривкі матеріали і флюси.

В якості шихтових матеріалів застосовуються первинні і вторинні матеріали.

Отримання рідкого чавуну для литва різних марок відбувається з використанням первинних і вторинних матеріалів в різних співвідношеннях

залежно від типу плавильного агрегату і від вимог до відливань. Так при плавці в електропечах використовують передільні коксові чавуни, чавунний і сталевий лом, феросплави, чавунну стружку у вигляді брикета.

При індукційній плавці пропонується використовувати лом чавуну, сталевий лом, чавун Лит ФС10 у разі потреби невеликі добавки феромарганця ФМНА78 чи феросиліцію ФС45..

Вартість сировини складає як правило 25 - 30% від вартості готового литва, тому важливо підбирати як можна дешевші початкові матеріали.

Для отримання крем'янистих чавунів, можлива плавка на ФС 10 ливарний. Зовнішній вигляд зливка ФС 10 ливарний представлений на рис. 3.3.



Рисунок 3.3 - Висококремнистий чавун Лит ФС10, який застосовується як замітник чавунного лому

Для забезпечення плинності рідкого чавуну, при використанні Літ ФС 10 необхідно застосовувати феромарганець, оскільки кремнію вистачає з лишком, а, марганцю необхідного надання сплаву плинності, недостатньо.

У готовому чавуні кремній має бути на рівні 1,8 - 2,5, марганець має бути на рівні 0,6 - 0,7%, але не більше 0,8.

Створювати шихтову карту можна трьома методами:

- Аналітичним методом, вирішуючи систему рівнянь.
- Геометричним методом, використовуючи існуючі правила трикутника.

Методом перебору, використовуючи ПЕВМ.

Третій метод використовується найширше, оскільки дозволяє вирішити два питання - підібрати необхідну хімію матеріалу і визначитися з ціною шихтовки.

Розглянемо приклад шихтовки для плавки чавуну марки СЧ 40.

Хімічний склад чавуну сч25 - сч 30, з якого плавлять станини верстатів, приведена в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад чавуну Сч20

Марка чавуну	C	Si	Mn	P	S
Сч20	3,3 – 3,5	1,4-2,4,	0,7-1,0	0,2	0,15

Хімічний склад ФС 10 представлено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Хімічний склад ФС 10

Марка чавуну	C	Si	Mn	P	S
ФС10лит	1,0 -2,0	9,0 – 12,0	сліди	0,1	0,2

Хімічний склад феромарганцю ФМ 78, приведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Хімічний склад феромарганцю ФМн78

Марка феросплаву	C	Si	Mn	P	S
ФМн 78А	7	2	78 - 82	0,05	0,3

Таким чином, якщо розглядати хімічні складові лому і Лит ФС 10 можна дійти висновку, що феромарганець в плавці не потрібний. На підставі вищевикладеного слідує технологія:

- береться лом чавуну чушки вагою 20 – 30 кг

- беруться куски Лит ФС10 вагою 20 - 30 кг Чистий матеріал ЛитФС10, покритий іржею спільно з ломом чавуну завантажують в галтувальний барабан, ретельно очищаємо - шихта готова.
- шматки феромарганця необхідно підготувати вагою 1 - 5 кг, для полегшення подачі їх в шихтовку.
- ферромарганець, у разі потреби подається під шар шихти на подину печі.

3.4 Підготовка матеріалів для розкислювання

Розкислювання матеріалу за рахунок використання Лит ФС 10 відбувається в шихті мимоволі в період плавки. Для кінцевого розкислювання використовується феросиліцій ФС 45

Плавку проводять в індукційній печі, розбавляючи сталевим ломом і додаючи трохи феромарганця.

Додаткову десульфурізацію проводять, додаючи гранули соди в коші на леточний жолоб.

Доведення розплаву до випуску в розливний ківш здійснюємо шляхом зняття легкоподвижного шлаку з поверхні металу в індукційній печі плавильником за допомогою спеціального скребка, збиття шлаку в короб, визначення температури металу за допомогою лазерного або оптичного пірометра, нахилу печі тельфером, або гідравлічним підйомником і випуск металу в розливний ківш.

3.5 Підготовка розливного ковша до прийому металу

Оскільки за нашими даними для розливання використовується чайниковий ківш об'ємом дві тонни з ручним поворотним механізмом такий ківш викладається по стінках шамотним кирпичем, днище викладається посиленішим шаром.

Ківш сушиться в течії доби, якщо не спеціальної сушарної камери в ківш закладаються дрова, коли вони розгоряться, засипається трохи коксу і вставляється сталева трубка з шлангом, від компресорної подається вода, ківш висихає в нижній і середній частині, потім верхню частину з шлакоуловителем остаточно досушують газовими пальниками.

Футерування ковша робиться як правило піщане- глиниста, ходить приблизно 6 - 8 заток, потім розмивається, для поліпшення якості футерування ми особисто використовували для тонного ковша суміш електрокорунда з глиною, рис. 3.4



Рисунок 3.4 - Зовнішній вигляд електрокорунда металургійної якості

Електрокорунд металургійний отримували самостійно, сировина, технологія є, устаткування те ж. Температура плавлення електрокорунда нормального близько 1860°C , такі ковши стояли 30 - 40 заток без обростання і розмивання футерування. Схеми великовантажних ковшів з шлакоулавлюючими перегородками представлені на рис. 3.5.

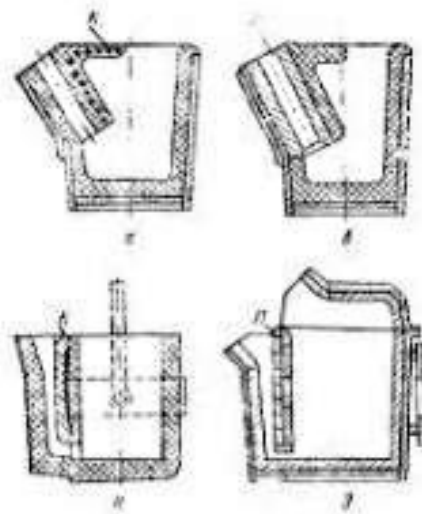


Рисунок 3.5 - Схеми чайникових ковшів що уловлюють шлак

3.6 Підготовка рідкого чавуну в ковші для заливки у форми

Рідкий чавун в ковші повинен мати достатню температуру і плинність. З точки зору технологічної необхідно дотримуватися наступної швидкості заливки чавуну у форми, табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Швидкість заливки чавуну у форми

Тип ковша	Місткість ковша, кг	Повільний поворот кг/с	Середня швидкість повороту кг/с	Швидкий поворот кг/с
Ручний	25-50	1-3	3 -5	5-7
Монорейковий	100 - 250	1-4	4-6	6-8
Крановий	1000- 5000	5-10	10-20	20-30

Майстер заливальної ділянки і заливщик фіксують процес входу металу в проміжний ківш і контролюють цілісність опоки. Для безпеки процесу розливання чавуну на опоки встановлюють додатковий вантаж. Вантаж розташовується по кутах опок рівномірно і має спеціальну форму.

3.7 Ливарні властивості високоміцних чавунів

Ливарні властивості чавунів з кулястим графітом відрізняються від відповідних параметрів з пластинчастим графітом: Як правило, рідкотекучість ВЧШГ становить 70...80% рідкотекучість ЧПГ, а усадка (як об'ємна, так і лінійна) більше, ніж у чавунів з пластинчастим графітом, на 30...50 %.

Рідкотекучість і усадка чавунів з кулястим графітом залежать від багатьох чинників і в першу чергу від хімічного складу, температури перегріву і способу сфероїдизуючої обробки. Що стосується хімічного складу і температури перегріву, то закономірності тут такі: із збільшенням відносини вуглецю до кремнію до 1,2...1,3 рідкотекучість ВЧШГ підвищується, а подальше зростання стосунки C / Si веде до пониження рідкотекучості. Крім того, підвищення вмісту кремнію викликає деяке зниження усадки.

Для отримання виливків з високоміцного чавуну з кулястим графітом рекомендується застосовувати тонкі живильники, відношення ширини до товщини яких дорівнює 4: 1 і більше. Товщина живильників повинна залежати від температури заливання. Наприклад, при температурі 1480 °C товщина живильника може становити 3,2 мм, а при 1400 °C – 6,5 мм.

Площа перерізу шлаковловлювача повинна бути в 3 рази більше сумарної площі перетинів всіх живильників. Відношення висоти поперечного перерізу шлаковловлювача до ширини повинне становити 2:3. При розміщенні шлаковловлювача і живильника основна вимога полягає в тому, щоб нижні поверхні шлаковловлювача і живильників знаходилися в одній площині. Якщо ця площина є площиною роз'єму, то шлаковловлювача і живильники повинні розташовуватися у верхній опоки. Якщо живильники повинні знаходитися в нижній опоки, то частина шлаковловлювача, рівна товщині живильника, також повинна розміщуватися в нижній опоки.

Для одержання якісних виливків з ВЧШГ без усадочних дефектів необхідно виконання наступних умов.

1. Температура заливки не повинна перевищувати 1345 °С.
2. Форма повинна бути досить жорсткою. Твердість форми в товщиною стінки 40 мм повинна становити не менше 90 од.
3. Щоб уникнути виникнення дефектів, пов'язаних з неправильним харчуванням виливки, необхідно зменшити розмір шийки прибутку так, щоб вона затвердла перш, ніж почнеться інтенсивне затвердіння виливка.
4. Ефективне графітизуюче модифікування і склад металу повинні забезпечити утворення достатньої для компенсації об'ємної усадки кількості евтектичного графіту і викликати передусадкове розширення, що становить не менше 0,4...0,5%, що при високій жорсткості форми призводить до отримання щільної виливки без усадочних дефектів.

Велике значення має харчування виливків з ВЧШГ аустенітного класу, які мають велику усадку, ніж звичайні ВЧШГ. Установка прибутків є обов'язковою.

Між відливанням і прибутком має бути відмінність у температурі після заливки; прибуток повинна залишатися в рідкому стані до повного затвердіння виливка.

Ливникова система для низьковуглецевих ВЧШГ аустенітного класу повинна бути такою ж, як для сталі, прибутку повинні мати більший діаметр і їх слід встановлювати на більш близькій відстані від виливки. Ливникова система повинна бути розосереджена і забезпечувати «обвід» металу навколо виливки.

Переважає сифоновий метод заливки. Температура заливки повинна бути підвищеною.

Виготовлення виливків із ВЧВГ без внутрішніх і зовнішніх усадочних дефектів простіше, ніж з ВЧШГ. Це пов'язано з тим, що схильність до передусадкового розширення і силовому взаємодії зі стінками форми у ВЧВГ менше. З метою зменшення кількості шлакових та інших неметалевих

включень у відливках з ВЧВГ рекомендується витримувати більш низький вміст вуглецевого еквіваленту. Схильність до відбілити ВЧВГ менше, ніж чавуну з включеннями графіту кулястої форми.

3.8 Властивості високоміцного чавуну

Властивості чавуну з графітом кулястої і вермикулярної форм наведено в табл.3.5.

Таблиця 3.5 - Механічні властивості чавуна з кулястим графітом

Марка чавуну	Марка чавуну по СТ СЕВ 455-84	Тимчасовий опір при розтягуванні σ_B , МПа	Умовна границя текучості $\sigma_{0,2}$, МПа	Відносне видовження δ , % не менше	Твердість по Бринелю НВ
ВЧ 350-22	33135	350	220	22	140...170
ВЧ 400-15	33140	400	250	15	140...202
ВЧ 459-10	33145	450	310	10	140...225
ВЧ 50-7	33150	500	320	7	153...245
ВЧ 60-3	33160	600	370	3	192...277
ВЧ 700-2	33170	700	420	2	228...302
ВЧ 800-2	33180	800	480	2	248...351
ВЧ 100-2	-	1000	700	2	270...360

Границі міцності при розтягуванні сталі 5Л, ковкого чавуну КЧ45-6 і високоміцного чавуну ВЧ45-5 приблизно однакові ($\sigma_B = (40...50) \cdot 10^7$ Па), однак межі міцності, текучості і витривалості високоміцного чавуну при вигині і крученні в 1,3...1,9 рази вище.

Для отримання в литому стані феритної-перлітної структури необхідно подвійне, а в деяких випадках і потрійне модифікування. Великий вплив робить також вміст сірки перед модифікуванням. Збільшення масової

частки сірки понад 0,02% викликає помітне зниження ударної в'язкості, об'єктивно веде до підвищеної витрати модифікатора і зростанням ймовірності утворення дефектів у зв'язку з ліквідацією оксидних і сульфідних включень, помітно знижують міцності властивості.

Пластичність ВЧШГ знаходиться в прямого кореляційного зв'язку з формою графіту. При цьому вплив форми графіту на пластичність значно сильніше, ніж на міцнісні характеристики. З погіршенням форми графіту різко падають показники пластичності. Для отримання пластичного ВЧШГ небажано високий вміст кремнію. Включення до складу шихти низькокремнистого сталевого брухту підвищує пластичні властивості ВЧШГ.

Металева основа чавуну є домінуючим чинником, що визначає величину ударної в'язкості. Бейнітна структура забезпечує більш високу ударну в'язкість, ніж перлітна. Великий вплив на ударну в'язкість надає також характер розподілу фериту. Чавун з феритної облямівкою навколо глобул графіту має вищі показники ударної в'язкості, ніж чавун з феритом по границях зерен. Феритного матриця забезпечує високу ударну в'язкість (1000...1400 кДж/м²) при нормальній температурі.

Неправильна форма графіту сприяє помітному зниженню ударної в'язкості при мінусових температурах. Її можна підвищити за рахунок термічної обробки.

Феритизуючий відпал при 850...900 °С з витримкою протягом 2...3 год сприяє підвищенню ударної в'язкості. Зниження температурного порогу холодостійкості сприяє також оптимізація хімічного складу. Рекомендується чавун, що містить 3,1...3,6% С; 2,0...2,6% Si; до 0,3% Mn; до 0,03% Cr, Ti.

Легуванням можна отримати високоміцні чавуни з бейнітною, сорбітною, мартенситною і аустенітною структурою.

Мідь у складі високоміцного чавуну чинить на його властивості більш складний вплив, ніж в складі сірого. Наявність магнію призводить до зменшення розчинності міді в рідкому і твердому чавуні. У магнієвих

чавунах поява фази, збагаченої міддю, спостерігається при масовій частці міді, рівної 2% і вище, тоді як в сірому чавуні ця фаза з'являється при вмісті міді, що перевищує 5%. У магнієвому чавуні при масовій частці міді понад 2,5% спостерігається зміна форми графіту – поява пластинчастого графіту замість кулястого. При вмісті в магнієвому чавуні 0,04% титану і 0,92% міді з'являється значна кількість пластинчастого графіту, незважаючи на нормальне залишковий вміст магнію в чавуні в кількості 0,04...0,05%, отже, масова частка міді в магнієвому чавуні не повинна перевищувати 1,5...2%.

Нікель сприяє збільшенню розчинності міді. Таким чином нікель підвищує допустима межа вмісту міді в магнієвому чавуні, при якому утворюється графіт кулястої форми.

Спільне легування нікелем і міддю має велике значення при виробництві аустенітних чавунів типу «Нірезіст», в якому звичайна масова частка міді становить 6...7%, нікелю – 12...15 %.

Легування чавуну нікелем в кількості до 2% приводить до подрібнення структури металевої основи, підвищенню ізотропності властивостей. З підвищенням вмісту нікелю в структурі чавуну збільшується кількість перліту.

При масовій частці нікелю 4,6...4,8% структура чавуну стає повністю перлітною, при 6,4... 6,5% - утворюється бейнітний структура.

Хром справляє дестабілізуючий дію на освіту кулястого графіту, тому його вміст у високоміцного чавуну повинні становити менше 0,1%.

Масова частка молібдену в магнієвих чавунах зазвичай не перевищує 0,2%. У деяких випадках з метою одержання дисперсних структур, і особливо для зменшення повзучості, додають до 1% молібдену.

Для виготовлення шатунів, колінчастих валів і шестерень знайшли застосування чавуни з кулястим графітом, що містять 1,5...2,0% Ni, 0,7...1,0% Mo, твердість яких після нормалізації і відпуску не перевищує 300 НВ. Для деталей, що піддаються зносу під дією ерозії або абразивів, широко застосовуються самозагартовочні чавуни з мартенситною структурою,

леговані 2,5... 4,0% Ni, 0,5...1,0% Mo, 1...2% Mn. Твердість таких чавунів у литому: стані в товстих перетинах дорівнює 350 НВ, в перетинах 5...15 мм – 400...450 НВ. Такі чавуни важко піддаються механічному обробленні, тому їх піддають відпустки при 700 °С з попередніми відпалом тонкостінних деталей при 900...950 °С. Після обробки різанням для отримання мартенситної структури деталі можна загартувати при 850 °С з наступним відпуском при 300...400 °С. Така термообробка дозволяє одержувати виливки з легованого високоміцного чавуну, міцність яких на розрив досягає 1200 МПа, межа текучості – 1000 МПа, твердість – 400...500 НВ.

Марганець різко знижує пластичні властивості ВЧШГ. Так, при підвищенні вмісту в чавуні марганцю з 0,2 до 0,8% відносно подовження металу знижується на 40...50%. Вміст марганцю в розплаві є важливим для отримання ВЧШГ без термічної обробки. Якщо вміст марганцю становитиме соті частки відсотка, можна одержувати виливки зі стінками товщиною 2 мм без відбілу і без відпалу.

При $0,15 \leq \text{Mn} \leq 0,25\%$ можна виготовляти виливки без відбілу і термічної обробки з товщиною стінки до 12 мм. Можна виробляти виливки з ВЧШГ без термічної обробки, виплавляючи синтетичний чавун з масовою часткою марганцю менш 0,01%.

Для отримання виливків з перлітного високоміцного чавуну застосовують марганець у кількості 1,35%, досягаючи перлітною структури і пошта повної відсутності феритових ободків навколо глобул графіту. Легуючих вплив марганцю проявляється сильніше в магнієвому чавуні, ніж в сірому, оскільки сірка в значній мірі зв'язується магнієм.

Фосфор практично не впливає на сфероїдизацію графіту, хоча знижує розчинність вуглецю в залозі і евтектичну температуру кристалізації чавуну.

Включення фосфідної евтектики спостерігаються при вмісті фосфору понад 0,15%. З підвищенням вмісту фосфору кількість фосфідної евтектики збільшується: спочатку вона утворюється у вигляді окремих включень, а при масовій частці фосфору 0,8...0,9% розташовується у вигляді суцільної

сітки по межах зерен. Підвищення вмісту фосфору в чавуні призводить до різкого зниження його пластичних властивостей. Тому масова частка фосфору в чавуні з феритної основою не повинна перевищувати 0,10...0,15%, з перлітною основою - 0,15...0,20%. Це особливо важливо у виробництві виливків, що працюють в умовах низьких температур.

Алюміній у складі магнієвого чавуну при вмісті його понад 0,2% сприяє появі пластинчастого графіту, а також збільшенню кількості фериту в структурі чавуну. Зі збільшенням товщини стінок виливків вплив алюмінію посилюється.

Тому для запобігання десфероїдизуючій дії алюмінію в чавун необхідно вводити надмірна кількість магнію або присадку 0,01% церію, яка нейтралізує дію алюмінію.

Свинець інтенсивно перешкоджає утворенню кулястого графіту. При збільшенні масової частки свинцю в магнієвому чавуні понад 0,01% утворюється графіт пластинчастого типу. При наявності свинцю в магнієвому чавуні різко зменшується кількість фериту в литій структурі. У зв'язку з цим слід враховувати, що джерелами проникнення свинцю в чавун є деякі види металобрухту в шихті, підшипникові сплави.

3.9 Термічна обробка виливків

Високоміцний чавун може піддаватися всім видам термічної обробки, розробленим для ковкого чавуну і вуглецевої сталі.

Високотемпературний графітизуючий відпал. Високоміцний чавун відрізняється підвищеною схильністю до відбілити. Наявність структурно – вільного цементиту в чавунних виробках різко погіршує їх оброблюваність різанням, підвищує крихкість і твердість і знижує пластичні властивості, тому однією з операцій термічної обробки литих виробів з високоміцного чавуну є графітизуючий відпал.

Вибір режиму відпалу визначається вихідною структурою і складом чавуну, формою і розмірами виробів, тепловою потужністю печі і т. д. При цьому слід враховувати, що для отримання високих пластичних властивостей відпалу чавуну повинен забезпечувати не тільки графітизації, але і гомогенізацію металевої основи.

Звичайно повний розпад цементиту досягається, в залежності від хімічного складу і товщини стінки виливки, протягом 1...3 год (перша стадія графітизації).

В кінці цього періоду металева матриця складається з аустеніту. Після завершення першої стадії графітизації охолодження можна виробляти або на повітрі для отримання перлітної основи (і до 10% фериту), або разом з піччю до температури нижче інтервалу евтектоїдного перетворення з наступною витримкою при цій температурі (друга стадія графітизації) – для отримання феритної або ферито-перлітної металевої основи. Слід вказати на майже повну втрату високоміцним чавуном ударної в'язкості при неправильному охолодженні виливків в інтервалі 650...450 °С.

Для отримання перлітної основи може бути рекомендована наступна схема режиму термообробки: нагрів з піччю до температури 950 °С, необхідна витримка при цій температурі і подальше охолодження на повітрі.

Мікроструктура відпаленого чавуну - сорбітоподібний перліт + ферит (до 10%) у вигляді оторочек навколо кулястого графіту; НВ не вище 285 од.

Для отримання феритної структури можна рекомендувати нагрів з піччю до температури 950 °С, необхідна витримка при цій температурі; подальше охолодження разом з піччю і витримка при 720...680 °С, охолодження на повітрі від 600 °С. Структура феритного; НВ – 156...170 од. Можливі також інші варіанти цих режимів.

Низькотемпературний графітизуючий відпал застосовується для отримання високоміцних чавунів з феритної основою замість вихідної феритної-перлітної або перлітної структури. При звичайному хімічному

складі магнієвого чавуну режим цього виду термічної обробки проводиться за схемою, яка передбачає лише другу стадію графітизації: завантаження деталей в відпалювальну піч, нагрівання їх до температури 720...780 °С, витримка при цій температурі протягом 1...3 год, охолодження деталей разом з піччю до 680...700 ° С. При повільному охолодженні деталей відбувається розпад перліту на ферит і графіт.

Охолодження деталей від температури 600 ° С проводиться на повітрі, в маслі або у воді. Охолодження до кімнатних температур разом з піччю не рекомендується, так як при витримці в інтервалі температур 550-400 ° С спостерігається поява крихкості.

При відпалі на ферит виливків з ВЧШГ з білим зламом на поверхні виливків спостерігається, так само як і в ковкого чавуну, освіта перлитної облямівки. Перлітна облямівка при нормальному режимі відпалу має глибину 0,10...0,15 мм.

Прийнято вважати, що вона утворюється внаслідок зневуглецювання поверхні виливків, оскільки різке зниження вмісту вуглецю призводить до уповільнення другій стадії графітизації. Крім того, при відпалі від поверхні в глиб виливки дифундують фосфор, магній і марганець, які утворюють на кордоні між зневуглецьована зоною і основним металом перехідну зону, збагачену фосфіду і карбідами.

У збагаченому шарі спостерігається підвищення масової частки магнію до 0,15%, тобто в 3 рази більше в порівнянні з вмістом у зневуглецьована шарі.

Нормалізація застосовується для отримання перлітних чавунів з метою збільшення твердості, міцності, зносостійкості. Однак при цьому знижуються пластичність, в'язкість і оброблюваність. Нормалізації піддаються виливки з ВЧШГ з феритної і феритної-перлітною структурою. У цьому випадку при нагріванні і витримці при температурах вище критичних відбувається розчинення вуглецю в аустеніт, а при наступному охолодженні забезпечується евтектоїдне перетворення з утворенням перліту.

Нагрівання виробляють зазвичай до 920...950°C з витримкою при цій температурі не більше 3 год, після чого виливки охолоджують на повітрі.

Сфероїдизуючий відпал. Чавуни зі структурою зернистого перліту є цінним конструкційним матеріалом, особливо для високонавантажених відповідальних деталей, що працюють при ударних і знакозмінних навантаженнях (колінчаті вали та ін.).

Для отримання структури зернистого перліту деталі з білого високоміцного чавуну піддають термічній обробці за наступною схемою: завантаження деталей у термічну піч і нагрів їх до температури 950 °С, витримка при цій температурі протягом 2...3 год, швидке охолодження з піччю до 700 °С, витримка при цій температурі протягом 3...5 год (з метою освіти зернистого перліту) з подальшим охолодженням на повітрі або в маслі.

Загартування і відпуск. Максимальну твердість при гарній прогартованості отримують при нагріванні чавуну, що містить 2...2,5% кремнію, до 880...900 °С, а чавунів з більш високим вмістом кремнію – до 900...920 °С. Тривалість витримки залежить від товщини виливки і для виливків завтовшки 15...20 мм становить 30 хв. Відлиття простої конфігурації гартують у воді, складної - в маслі.

Подальший відпустку дозволяє регулювати твердість, міцність і пластичність.

Твердість чавуну різко знижується лише при температурі відпустки вище 450...500 °С. При підвищенні температури відпустки до 700...720 °С (в області формування зернистого перліту) досягають високих показників пластичності.

Низькотемпературний відпал для зняття внутрішніх напружень. Внутрішні напруги в виливках з ВЧШГ в 2...3 рази більше, ніж у виливках із сірого чавуну, тому всі відповідальні деталі, різностінні і складної конфігурації, повинні піддаватися термічній обробці для зняття внутрішніх напружень, якщо за своїм призначенням вони не вимагають більш складної

термічної обробки. Термічну обробку для зняття внутрішніх напружень виробляють зазвичай за наступною схемою: нагрів зі швидкістю $75...100^{\circ}\text{C} / \text{год}$ до температур $620...650^{\circ}\text{C}$; витримка при цих температурах в залежності від товщини виливки протягом $2...8$ год, охолодження разом з піччю зі швидкістю $20...60^{\circ}\text{C} / \text{год}$. Встановлено, що такий відпал знижує величину внутрішніх напружень на $90...95\%$ і призводить до підвищення ударної в'язкості чавуну.

Поверхнєве загартування виливків з високоміцних чавунів проводиться з метою підвищення поверхневої твердості, зносостійкості і загальної конструкційної міцності. Чавун з перлітною структурою гартується краще, ніж феритно-перлітною. Твердість феритного чавуну при тих же умовах гарту майже не змінюється. Сприйнятливість чавуну до поверхневого загартування можна підвищити шляхом легування нікелем або міддю.

Ізотермічне гартування високоміцного чавуну здійснюється для підвищення його механічних властивостей і зносостійкості. Ізотермічну загартування білих і половинчастих високоміцних чавунів проводять після проведення першої стадії графітизації, тобто після встановлення фазового рівноваги аустеніт – графіт.

Температура нагріву під загартування знаходиться в межах $860...920^{\circ}\text{C}$ при вмісті кремнію $3...4\%$, витримка складає $15...60$ хв. Оптимальною температурою гартівних середовища слід вважати $300...350^{\circ}\text{C}$. У цьому випадку утвориться однорідна структура, що складається з троститу і $25...30\%$ залишкового аустеніту. Ізотермічної загартування можуть піддаватися виливки з товщиною стінки до 30 мм і розвиненою поверхнею.

У масовому і серійному виробництві виливків з ВЧШГ часто буває вигідним виплавляти розплав одного хімічного складу, а в процесі термічної обробки забезпечити різні фізико-механічні та експлуатаційні властивості чавуну.

За рахунок термічної обробки вирівнюються Ліквация кремнію, властивості і твердість виливків по перерізу.

Широко застосовується ізотермічна гарт високоміцних чавунів з метою отримання бейнітної структури. Формування структури металевої матриці чавуну при ізотермічної загартування визначається температурою розпаду переохолодженого аустеніту. При ізотермічної загартування чавуну виникає необхідність в проведенні двох операцій:

- 1) аустенізації, тобто нагрівання до температури гарту з наступною витримкою;
- 2) переохолодження аустеніту для забезпечення його розпаду в ізотермічних умовах.

Для цього використовуються температури, що знаходяться в проміжній області S-подібної діаграми (250...500°C);

В ізотермічних умовах переохолоджений аустеніт (250...500 °C) розпадається на ферит і цементит з утворенням бейніту. Бейнітні чавуни з кулястим графітом, леговані молібденом і піддані відпалу за спеціальним режимом, володіють виключно високими механічними властивостями, порівнянними з властивостями відпаленого і відпущеної сталі ($\sigma_b = \sim 1500$ МПа).

Ці чавуни застосовуються в автомобільній промисловості для виготовлення шестерень.

Бейнітні чавуни з кулястим графітом можна отримати і без легування, шляхом відповідної термообробки. Технологія термічної обробки ВЧШГ з метою отримання бейніту включає наступні етапи:

- 1) нагрів виливки до температури аустенізації і витримку при цій температурі (850...925 °C);
- 2) охолодження виливки зі швидкістю, яка забезпечує стабільність аустеніту, до температури ізотермічного перетворення аустеніту;
- 3) витримку при температурі ізотермічного перетворення аустеніту.

Бейнітний перетворення починається при температурі нижче 550°C.

Спочатку бейніт утворюється навколо глобул графіту, в процесі ізотермічної витримки його кількість швидко збільшується.

Верхній бейніт утворюється при 425 ° С у вигляді дрібних пластин, надалі формуються блоки з паралельними пластинами. Нижній бейніт утворюється при 300 °С навколо глобул графіту, далі його голки ростуть у всіх напрямках, перетинаючись між собою.

Для отримання бейнітного чавуну звичайного хімічного складу (3,5% С, 2,5...3,0% Si, 0,2...0,4% Mn) нагрів ведуть до 880 ° С (аустенізація), витримку при знижених температурах виробляють в соляних ваннах. Оптимальна температура при загартуванні на нижній бейніт дорівнює 280 °С. Середні механічні властивості чавуну (3,3% С, 2,62% Si, 0,3% Mn) в залежності від режиму термічної обробки наведені в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 - Режими термообробки при отриманні бейнітного високоміцного чавуна

Режим термічної обробки	Твердість, НВ	Міцність, МПа		σ, %	αк, Дж/см ²
		σ _{0,2}	σ _в		
Ізотермічне перетворення аустеніту при 345°С	339	882	1106	3,0	5,5
Ізотермічне перетворення аустеніту при 315°С + відпуск при 480°С	347	924	1001	2,0	2,5
Гартування в маслі + відпуск при 555°С	337	931	994	1,5	3,5

Високу міцність чавуну отримують при низькій температурі аустенізації, що забезпечує одержання структури нижнього бейніта. Температура аустенізації, складова 345 °С, приводить до утворення структури верхнього бейніта з великим вмістом залишкового аустеніту.

Для виробництва виливків зубчастих коліс забезпечуються такі властивості чавуну: $\sigma_B \leq 980 \text{ Н/мм}^2$; $\sigma_{0,2} < 730 \text{ Н/мм}^2$; $\text{HB} = 311 \dots 350$. При механічній обробці під дією зусиль різання відбувається розпад залишкового аустеніту з утворенням мартенситу. При цьому в поверхневому шарі виникають стискаючі напруги.

У серцевині зуба зберігається в'язка аустенітно-бейнітна матриця. Поверхнєве зміцнення при фрезеруванні підвищує втомну міцність на 20%. Холодна зміцнююча обробка також підвищує ефективну втомну міцність (при знакозмінному вигині) і поліпшує оброблюваність чавуну.

Висновки до розділу 3

1. Запропоновано технологічні схеми підготовки компонентів шихти до плавки, підготовки індукційних печей та їх перевірки.
2. Проведено розрахунки шихти для плавки певних видів чавуну, складу та кількості матеріалів для розкислення.
3. Запропоновано технології для підготовки розливних ковшем, підготовку рідкого чавуну для заливки в форми.
4. Запропоновано варіанти термообробки відливок. Розглянуто варіанти високотемпературного графітуючого відпуску, низькотемпературного графітуючого відпуску, нормалізації чавунів, сфероїдизації відпуску та поверхнєвого зміцнення.

ВИСНОВКИ

1. Проведено розгорнутий аналіз характеристик видів чавуну, впливу хімічного складу та домішок на їх властивості, методи маркування чавуну. Розглянуто особливості отримання чавунів спеціальних видів – високоміцних, ковких, антифрикційних, жаростійких.

2. Надано розгорнутий аналіз способів та механізмів модифікування чавунів. Запропоновано апаратурно-технологічні схеми, які реалізують способи модифікації чавунів.

3. Показано переваги та недоліки індукційної плавки чугунів різних марок – високоміцних з вермикулярним графітом, модифікованих різними способами.

4. Запропоновано способи розрахунку шихтових матеріалів та вибір модифікаторів для чавуну. Показана ефективність використання комплексних модифікаторів. Встановлено вплив домішок на сфероїдизації чавуну.

5. Запропоновано технологічні схеми підготовки компонентів шихти до плавки, підготовки індукційних печей та їх перевірки. Проведено розрахунки шихти для плавки певних видів чавуну, складу та кількості матеріалів для розкислення.

6. Запропоновано варіанти термообробки відливок. Розглянуто варіанти високотемпературного графітуючого відпуску, низькотемпературного графітуючого відпуску, нормалізації чавуну, сфероїдизації відпуску та поверхневого зміцнення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Владимиров Л.П. Термодинамические расчеты равновесия металлургических реакций / Л.П. Владимиров // М.: Металлургия, 1970, 528с.
2. Дюдкин Д. Внепечная обработка металлов на предприятиях Украины / Д. Дюдкин, В. Лесовой // Металлургическая и горнорудная промышленность.-2000.-№1.-С.99-101.
3. Мачикин В.И. Повышение качества черных металлов / В.И. Мачикин, А.М. Зборщик, Е.Н. Складановский // – К.: Техніка, 1981. –160 с.
4. Инжекционная металлургия Лулеа, Швеция, 1977: Пер. с англ. – М.: Металлургия, 1981. –232 с.
5. Инжекционная металлургия '80. Лулеа, Швеция, 1980: Пер. с англ. – М.: Металлургия, 1982. –352 с.
6. Инжекционная металлургия '83: Труды конференции. Пер. с англ. под ред. Сидоренко М.Ф. –М.: Металлургия, 1986. –390 с.
7. Инжекционная металлургия '86: Труды конференции / Пер. с англ. под ред. Кудрина В.А. –М.: Металлургия, 1990. –400 с.
8. Вишкарев А.Ф. Внедоменное рафинирование чугуна и конвертерный процесс / А.Ф. Вишкарев // Новости черной металлургии за рубежом. -1995.-№2.-С. 34-39.
9. Ващенко К.И. Магниевый чугун / К.И. Ващенко, Л.В. Софрони– 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Южное отделение Машгиза, Киев, 1960. – 487 с.
10. Вегман Е.Ф. Металлургия чугуна / Е.Ф. Вегман, Б.Н. Жеребин, А.Н. Похвиснев // Под ред. Ю. С. Юсфина. – М.: Академкнига, 2004. – 774 с.
11. Кадильникова Т.М. Печь-ковш – главное направление реконструкции мартеновских цехов / Т.М. Кадильникова // М.: Металлургия и горнорудная промышленность. 2003. -№1 –с 26.
12. Соколов Г.А. Производство стали. -М.: Металлургия, 1982. – 145с.
13. Непрерывная разливка стали /А. П. Огурцов, А. Г. Величко, Е. И. Исаев, А. В. Гресс /Днепродзержинск 1999 г. – 302 с.

14. Власов Н. Н. Розливання чорних металів / Власов Н. Н., Корроль В. В., Радя В. З. – М.: Металургія, 1986 р. – 286 с.
15. Розливання і кристалізація сталі: навч. посіб. / [В.І. Баптизманський, Л.С. Рудой, Є.І. Ісаєв та ін.]. – К.: Вища шк., 1993. – 226 с.
16. Якушев А. М. Проектирование сталеплавильных і доменных цехів. М.: Металургія, 1984. – 216 с.
17. Процессы непрерывной разливки. / Смирнов А. Н., Пилющенко В. Л., Минаев А. А., Момот С. В., Белобров Ю. Н. – Донецк: 2002 г. – 390 с.
18. Трубин К. Г. Металлургия стали / Трубин К. Г., Ойкс Г. Н. – М.: Металлургия, 1964 г. – 710 с.
19. Основи металургійного виробництва металів і сплавів: [підруч.] / Чернеца Д.Ф., Богушевський В.С., Готвянський Ю.Я. // – К.: Вища шк., 2006. – 503 с.
20. Сталеплавильне виробництво: навч. посіб. / В.І. Баптизманський, Б.М. Бойченко, О.Г. Величко // – К.: ФЗМН, 1996. – 400 с.
21. Кудрин В.А. Теорія и технология производства стали: [учеб. для вузов] / Виктор Александрович Кудрин. – М.: Мир, ООО «Издательство АСТ», 2003. – 528 с.
22. Начала металлургии: [учеб. для вузов] / В.И. Коротич, С.С. Набойченко, А.И. Сотников // – Екатеринбург: УГТУ, 2000. – 392 с.
23. Воскобойников В.Г. Общая металлургия [текст]: [учеб. для вузов] / Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушев А.М. - [6-изд., перераб. и доп.]. М.: ИКЦ «Академкнига», 2002 – 768 с.
24. Яковлев Ю.Н. Расчет и проектирование кислородно – конверторных цехов / Ю.Н. Яковлев, М.А. Тарапай. – Днепропетровск, 1975. – 68 с.
25. Технология производства стали в современных конвертерных цехах / С.В. Колпаков, Р.В. Староев, В.В. Смоктий. – М.: Машиностроение, 1991. - 464 с.
26. Кудрин В.А. Металлургия стали: [учебное пособие] / Виктор Александрович Кудрин. – М.: Металлургия, 1981. – 528с.

- 27.Линчевский Б.В. Металлургия черных металлов / Б.В. Линчевский, А.А. Соболевский, А.А. Кальменев. - М.: Металлургия, 1986. – 360с.
- 28.Баптизманский В.И. Конвертерные процессы производства стали / В.И. Баптизманский, М.Я.Меджибонский, В.Б. Охотский. – Киев, 1984. – 343 с.
- 29.Кудрін В.А. Технологія одержання якісної сталі / В.А. Кудрін, В.Парма. - М.: Металургія, 1984. – 320 с.
- 30.Бойченко Б.М. Конвертерне виробництво сталі: теорія, технологія, якість сталі, конструкція агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія: [підруч.] / Б.М. Бойченко, В.Б. Охотський, П.С. Харлашин. – Дніпропетровськ: РВА «Дніпро – ВАЛ», 2004. – 454 с.
- 31.Лахтін Ю.М. Матеріалознавство: [підруч. для студ. вищих навч. закл.] / Ю.М. Лахтін, В.П. Леонтєва. - М.: Машинобудування, 1980. – 493с.
- 32.Гаврилко С.О. Теорія і технологія сталеплавильного виробництва: [методичний посібник для виконання інженерних розрахунків і курсовому проектуванні для студентів ЗДІА] / С.О. Гаврилко, В.Г. Чуб, О.І. Казачков. – Запоріжжя: ЗДІА, 2008. – 132 с.