

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра металургії

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проект)

другий магістерський

(рівень вищої освіти)

на тему Пелеробна переділкового набуху до структури з версії металургійних
чагаріман

Виконав: студент ІІ курсу, групи 8.1360-МЕМ

спеціальності металургії

(код і назва спеціальності)

освітньої програми металургія чорних металів

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації _____

(код і назва спеціалізації)

Мищенко Р.А

(ініціали та прізвище)

Керівник д.т.н. доцент Качков В.О

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент к.т.н. доцент Кестеренко Т.М.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра металургії
Рівень вищої освіти другий магістерський
Спеціальність металургія
(код та назва)
Освітня програма металургія чорних металів
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

[Підпис]
« 01 » 12 2021 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Лисенко Олександр Андрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Підготовка передільного чавуну до структури з вершинними частини

керівник роботи д.т.н. доцент Сасин В.О.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 30 » 06 2021 року № 974 - С

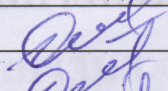

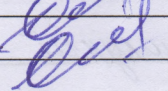

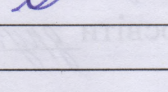

2 Строк подання студентом роботи 01. 12. 2021 р

3 Вихідні дані до роботи чавун передільний, чавун зі структурною з вершинними частини, модифікатор РС65 + барій

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) вплив температури на будову чавуну, вплив хімічного складу на тварні властивості, механізми зміцнення вуглець, будова чавуну з модифікованою структурою

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Діаграма складу системи залізо-чавунистий, скелет фаз чавуну чавун, хімічний склад передільного чавуну, довершений передільного чавуну, вплив величини барію в модифікаторі на величину варті по міді, вплив величини частки на РС65 ба 25 на властивість чавуну

6 Консультанти розділів роботи

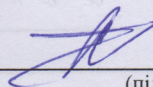
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	професор Спачин В.О		
2	професор Спачин В.О		
3	професор Спачин В.О		

7 Дата видачі завдання 25.06.2021р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна частина	25.06-2.07.21	
2	Технологію доведення червоного чокуни	5.07-17.07.21	
3	Випробування червоний з шарнірною конструкцією	01.09-12.09.21	
4	Формування червоного матеріалу	6.12-20.11.21	

Студент

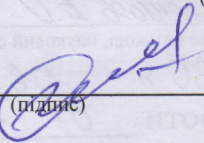


(підпис)

Михайло О.А

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)



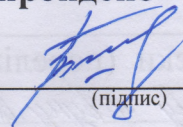
(підпис)

Спачин В.О

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер



(підпис)

Василь Р.М

(ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка: на 72 сторінках машинного тексту, з застосуванням 7 ілюстрацій, 2 таблиць та 40 літературних посилань.

ЧАВУН, ВЕРМІКУЛЯРНИЙ ГРАФІТ, ПЕРЕДІЛЬНИЙ ЧАВУН, ДЕСУЛЬФУРАЦІЯ, МОДИФІКАТОР, ПИРИТ

Тема магістерської роботи «Переробка передільного чавуну до структури з вермікулярним графітом».

В загальній частині представлено види чавуну та фазовий склад. Достатньо повно розглянуто вплив температури та хімічного складу на властивості та будову чавуну.

У другій частині представлено технологічні особливості доведення передільного чавуну. Надана оцінка впливу домішок на структуру і властивості чавуну.

В третій частині розглянуто особливості виплавки чавуну з модифікованою структурою. Визначено температурні режими обробки чавуну та вплив перегрівання на будову чавуну.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	9
1.1 Види чавуну.....	9
1.2 Фазовий склад чавуну.....	11
1.3 Легування чавуну.....	16
1.4 Вплив температури на будову чавуну.....	20
1.5 Вплив хімічного складу на ливарні властивості чавуну.....	22
2 ТЕХНОЛОГІЯ ДОВЕДЕННЯ ПЕРЕДІЛЬНОГО ЧАВУНУ.....	27
2.1 Методи зниження вмісту вуглецю.....	27
2.2 Десульфуріяція чавуну.....	28
2.3 Вплив домішок на структуру і властивості чавуну.....	31
3 ВИПЛАВКА ЧАВУНУ З МОДИФІКОВАНОЮ СТРУКТУРОЮ.....	33
3.1 Модифікування сірого чавуну.....	33
3.1.1 Модифікатори які містять барій.....	33
3.1.2 Модифікація чавуну магнієм.....	37
3.2 Температурні режими обробки чавуну.....	42
3.2.1 Вплив перегрівання на будову чавуну.....	42
3.2.2 Кристалізація чавуну з модифікаторами.....	48
3.3 Основи індукційної плавки чавуну.....	54
3.4 Поверхнева модифікація сірого чавуну.....	62
ВИСНОВКИ.....	68
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	69

ВСТУП

Підвищення вимог до якості сталі при одночасному зменшенні собівартості виробництва призвело до розробки та впровадження у сталеплавних цехах інноваційних технологій виплавки сталі.

Однією з таких ресурсо- та енергозберігаючих інновацій стала розробка процесу плавки із попереднім рафінуванням переробного чавуну по сірці. Використання переробного чавуну із зниженим вмістом сірки (0,005-0,01%) дозволяє суттєво зменшити витрати флюсів, знизити втрати металу із скачаним шлаком, скоротити тривалість плавки, підвищити продуктивність роботи сталеплавильного агрегату.

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: На основі проведеного аналізу структури та фазового складу передільного чавуну розробити метод його доробки та запропонувати модифікатор для отримання вермекулярного графіту.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз залежності структури та фазового складу від елементного складу чавуну.
2. Розробити спосіб доробки передільного чавуну до хімічного складу доевтектичного типу.
3. Запропонувати модифікатор для формування графіту в вермекулярному вигляді.

Об'єкт дослідження: фізико - хімічні закономірності в технології лиття заготовок підвищеного якості.

Предмет дослідження: Технологічні особливості відливки заготовок з передільного чавуну з вермекулярними видами графіту.

Методи дослідження: Оцінка впливу складу модифікатора на структуру графіта та фазовий склад металевої частини чавуну в заготовці.

Наукова новизна:

1. Запропонована методика доробки передільного чавуну до стану доефектного.
2. Запропоновано модифікатор та способи його вдосконалення для формування в заготовці вермекулярного графіту.

Практичне значення:

1. Запропонований варіант дробки передільного чавуну можуть бути використано в реальному виробництві чавунних заготовок.

2. Уточнені склад модифікатору та технологія можуть бути використанні в процесі лиття заготовок з підвищеними механічними характеристиками.

Структура і об'єм роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 40 найменувань, викладена на 72 сторінкахі машинописного тексту, включаючи 7 рисунків, 2 таблиці.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Види чавуну

Чавуни є групою сплавів заліза, що містять вуглецю понад 2,14%. Слід розрізняти чавуни, що є первинними продуктами переробки залізних руд в доменних печах, і чавуни, що виплавляються в ливарних цехах для отримання фасонних відливань. Доменні чавуни розділяють на ливарні і передільні.

Велику частину доменних чавунів складають передільні. Вони призначені для переробки в сталь. Доменні ливарні чавуни призначені для виплавки відливань.

По своєму складу і властивостям вони непридатні для безпосереднього виготовлення фасонних відливань, але використовуються в ливарних цехи як шихтові матеріали при плавці із сталевим ломом, власними відходами ливарного виробництва, а також із спеціальними добавками, що вводяться для легування чавуну в цілях надання йому підвищеної міцності і пластичності, жаростійкості, стійкості проти корозії та ін.

Структура і властивості чавуну в основному визначаються тим, в якій кількості і в якому виді міститься в нім вуглець. Вільний вуглець в чавуні є рівномірно розподіленими в металевій основі сплаву включеннями графіту, що має малу міцність і твердість, має в різних чавунах різну форму: пластинчасту, кулясту, пластівчасту або проміжну.

Пов'язаний вуглець входить до складу чавуну у вигляді хімічної сполуки Fe_3C - цементита. Включення графіту, особливо пластинчастої форми, знижують її механічну міцність і пластичність. Тому чавуни мають меншу міцність і більшу крихкість. Чим більше по кількості і розмірам включення графіту в чавуні, тим менше його міцність.

Найбільш високі механічні властивості мають високоміцні чавуни з кулястою формою графіту, а також ковкі чавуни, в яких відбувається виділення вуглецю відпалу у вигляді пластівчастих часток.

Високий вміст вуглецю в чавуні робить позитивний вплив на ливарні властивості чавуну: знижує температуру плавлення, підвищує рідкотекучість, зменшує усадку. Тому з чавуну можна отримувати більше тонкостінні, ніж із сталі, відливання, менше витратити металу на систему ливника і прибудки.

Звичайний сірий чавун дешевше і простіше в приготуванні, ніж сталь, відливання з нього менш схильні до викривлення і утворення тріщин, у меншій мірі взаємодіють з піщаною формою при твердінні і охолодженні в ній, тому мають чистішу поверхню.

Сірий чавун є найпоширенішим матеріалом для виготовлення різних деталей - від багатотонних станин до гільз автомобільних двигунів, не лише через дешевизну і хороші ливарні властивості, але і у зв'язку з легкою оброблюваністю різанням.

Включення графіту в чавуні сприяють розосередженню напруги за об'ємом відливання. Тому в чавунних деталях менш небезпечні різні надрізи, дрібні раковини, пори, неметалічні включення, а також різкі переходи між окремими стінками і іншими конструктивними елементами.

До основних складових структури різних чавунів, що визначають їх властивості, окрім графіту відносять ферит, цементит, перліт, аустеніт, ледебурит. Залізо існує у вигляді різних різновидів, що розрізняються по кристалічній структурі або за магнітними властивостями.

1.2 Фазовий склад чавуну

Ферит - твердий розчин вуглецю в α -залізо існує від 0° до 910°C , аж до 769°C має магнітні властивості; від 769°C до температури 910°C α -залізо не має магнітних властивостей; у інтервалі температур 910 - 1392° відбувається перехід його в γ -залізо - аустеніт; у інтервалі температур 1392 - 1539°C стійко δ -залізо. У фериті можуть бути розчинені також кремній, марганець, фосфор і інші елементи. Ферит м'який і пластичний, якщо не містить легуючих домішок, що підвищують його міцність, твердість, крихкість.

Цементит є хімічною сполукою, що містить $93,33\%$ заліза і $6,67\%$ вуглецю і є найбільш твердою і крихкою складовою чавунів.

Перліт - евтектоїдна механічна суміш цементита і фериту. Найдрібніші частки цементита, що знаходяться в пластичній масі фериту, надають цій суміші хороші прочностні властивості. У перліті міститься $0,83\%$ вуглецю.

Аустеніт - твердий розчин вуглецю в γ -железе. Аустеніт немагнітний.

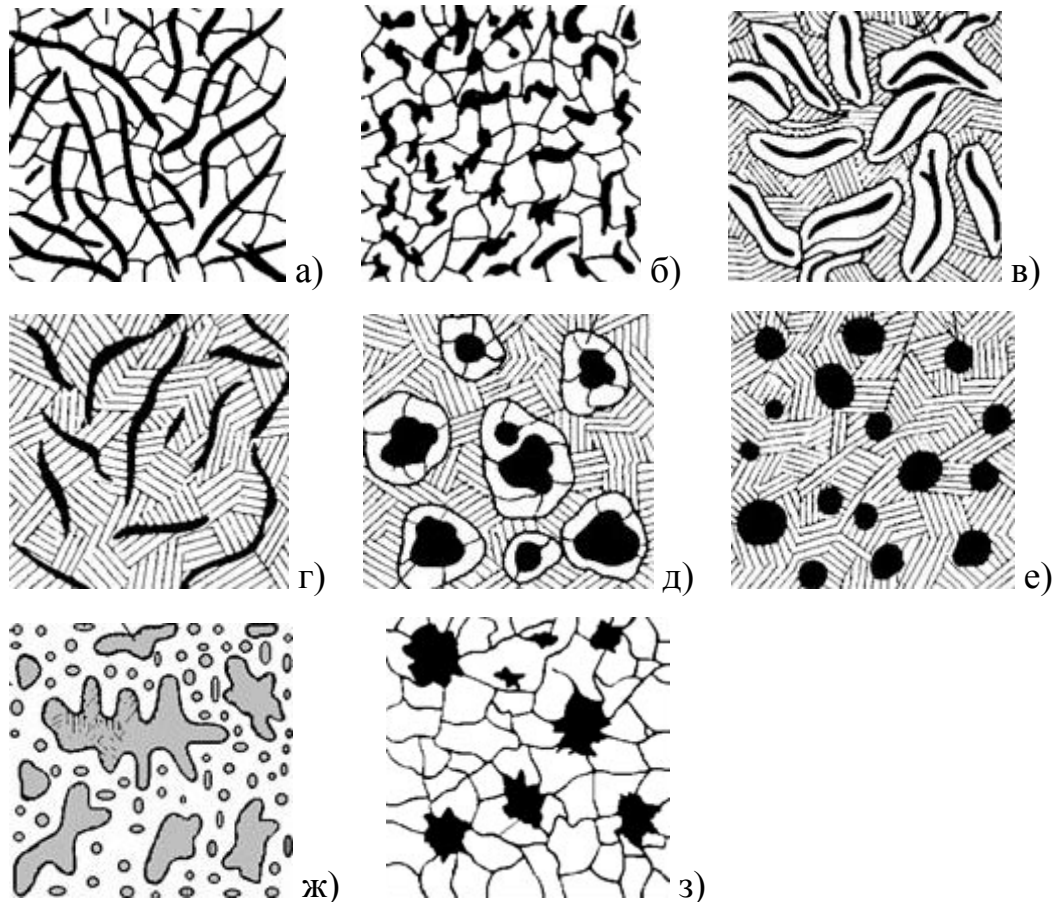
Ледебурит - евтектична механічна суміш аустеніту і цементита, що утворюється при температурах нижче 1145°C . Вміст вуглецю в ледебуриті $4,3\%$. При нормальній температурі ледебурит є сумішшю цементита і перліту. На процес формування структури чавунних відливаних робить вплив ряд чинників.

Найбільш суттєвим з них є хімічний склад чавуну, температура перегрівання його перед заливкою у форму і швидкість охолодження відливання. Структуру металу відливання можна змінювати термічною обробкою. По хімічному складу чавуни розділяють на нелеговані і леговані.

Зазвичай в чавунах міститься $2,4$ - $3,6\%$ вуглецю, $0,5$ - 3% кремнію, $0,2$ - $1,0\%$ марганцю, $0,04$ - $0,8\%$ фосфору, $0,02$ - $0,2\%$ сірки. Як основні, так і легуючі елементи роблять різний вплив на графітизацію чавуну. У приведеному ряду елементи розташовані залежно від їх впливу на графітизацію: ліворуч - сприяючі графітизації, справа - що гальмують її, в

середині - що не роблять на цей процес істотного впливу - Al, C, Si, Ti, Ni, Cu, P, Co, Zr, Nb, W, Mn, Mo, S, Cr, V, Te, Mg, Sr, B.

Постійні компоненти чавуну C і Si чинять сильну графітуючу дію, а Mn і S гальмують виділення вільного графіту. Схематичне зображення структур показано на рис. 1.1.



- а) – ферит + пластинчатий графіт;
- б) – ферит + графіт вермекулярний;
- в) – ферит + перліт + пластинчатий графіт;
- г) – перліт + пластинчатий графіт;
- д) – ферит + перліт + кулястий графіт;
- е) – перліт + кулястий графіт;
- ж) – перліт + ледебурит;
- з) – перліт + графіт у вигляді пластівців

Рисунок 1.1 – Структура чавуну

При одному і тому ж вмісті вуглецю (3,0%) виходитиме білий чавун, якщо зміст кремнію не перевищує 0,8%, сірий перлітовий, - при 1,1 до 2% Si і при 2,8% і більше - сірий ферритний чавун. Таким чином, регулюючи сумарну кількість вуглецю і кремнію в розплаві чавуну, а також швидкість охолодження його у формі, можна отримувати відливання з різною структурою.

Як показано на рис. 1.1, а, ферритний сірий чавун (СЧ) має маломіцну ферритную основу, сильно ослаблену великою кількістю великих включень пластинчатого графіту. До достоїнств цього чавуну (СЧ10, СЧ15, СЧ20, СЧ25, СЧ30, СЧ35) відноситься еге низька вартість, проста в приготуванні, має хороші ливарні властивості.

З нього виготовляють відливання невідповідального призначення : вантажі, кришки, руків'я, плити для поли і т. п. Нині усе більш часто застосовують чавун з вермикулярним графітом (ЧВГ), що має переважно ферритную основу.

Як видно з схеми рис. 1.1б, вермикулярная форма включень графіту займає проміжне положення між пластинчатою (див. рис. 1.1а) і кулястою (рис. 1.1д, е). ЧВГ виплавляють з особливо чистих шихтових матеріалів, що містять малу кількість сірки, з використанням легуючих добавок: невеликих кількостей ванадію, міді, титану і ін..

На рис. 1.1в зображена структура перлітно-ферритного СЧ, характерна тим, що в перлітовій металевій основі знаходяться включення фериту з розташованим усередині їх пластинчатим графітом.

Такий чавун має високу міцність, хороші ливарні властивості і виходить з дешевих шихтових матеріалів широко використовують для виготовлення різноманітних деталей машин (сільськогосподарських, дорожніх, автомобілів і тракторів, верстатів, насосів, а також арматури і т. д.).

Перлітовий сірий чавун (рис. 1.1, г) - міцніший сплав, ніж розглянуті вище різновиди СЧ. Цей чавун використовують для отримання

навантажених, у тому числі великих відливань, наприклад деталей компресорів, турбін, тепловозів, насосів.

Механічну міцність і пластичність сірих чавунів можна наблизити до властивостей сталі при одночасному збереженні кращих ливарних властивостей, застосовуючи модифікування, легування, а також термічну обробку чавуну.

Модифікування чавуну полягає в тому, що при випуску його з плавильної печі (наприклад, на жолобі вагранки), в ковші, а іноді в системі ливника при заливці форм в розплав вводять добавки-модифікатори, що подрібнюють структурні складові чавуну, або зухвали зміну форми включень графіту.

Використовуючи феросиліцій ФС75, силікокальцій і деякі інші модифікатори, обробляють розплав чавуну з пониженим вмістом вуглецю і кремнію.

Без дії модифікаторів в структурі чавуну при твердінні утворюється цементит. Але модифікатор чинить графітизуючу дію і забезпечує виділення графіту у вигляді дрібних пластинок, а загальна кількість їх в металевій основі мало, оскільки малим був вміст вуглецю в початковому чавуні.

В результаті разупрочняюще дію включень графіту проявляється у меншій мірі, чим в звичайному сірому чавуні, і досягаються вищі механічні властивості відливань. Особливо ефективно модифікування магнієм або його сплавами, які впливають на того, що виділяється при кристалізації відливання графіт і він набуває кулястої форми, а чавун стає пластичним і високоміцним (ВЧ).

На рис. 1.1 д, е показані відповідно структури перлітноферритного і перлітового високоміцних чавунів з кулястим графітом. Відливання з високоміцного модифікованого чавуну мають кулясту форму графіту в результаті введення в рідкий чавун модифікаторів : Mg, Ca, Li, Na. Найбільше застосування отримав магній, при вмісті якого 0,03-0,05 % графіт кристалізується в чавуні у вигляді кулястих включень.

Такий чавун називають магнієвим. Магнієвий ВЧ за механічними властивостями близький до конструкційної вуглецевої сталі, проте має в порівнянні з нею ряд переваг : дешевше, плавиться при нижчій температурі, має вищі ливарні властивості, менш схильний до утворення тріщин, пригару і краще обробляється різанням.

Оскільки магній легко спалахує при підвищених температурах, введення його в розплав чавуну пов'язане з певними труднощами. Попри те, що кількість магнію, що вводиться, невелика (0,15-0,45% від маси чавуну), обробку його розплаву проводять з великими обережностями.

Часто щоб уникнути виплеску металу модифікування виконують в спеціальних, герметично таких, що закриваються ковшах. При введенні магнію у вигляді лігатур (Mg - N; Mg - Fe - Si) процес модифікування протікає спокійніше.

Для отримання високоміцного чавуну з кулястим графітом застосовують також модифікування церієм, вводячи його у вигляді шматків безпосередньо в ківш. Витрата церію складає не більше 0,3% від маси розплаву, що модифікується, причому за якістю церієвий чавун перевершує магнієвий.

Для поліпшення структури металевої основи чавуну після модифікування його магнієм або церієм рекомендується вводити в розплав кусковий феросиліцій ФС75 у кількості 0,3-1,0%. ВЧ з кулястим графітом використовують для виготовлення таких високонавантажених відливаних відповідального призначення, як колінчасті вали автомобільних двигунів, деталі турбін, працюючих в умовах ударних, знакозмінних навантажень, шатуни, прокатні валяння та ін.

1.3 Легування чавуну

Легування чавунів застосовують як в цілях підвищення їх міцності, так і для надання відливанням ряду спеціальних властивостей : зносостійкості, стійкості проти корозії в різних середовищах.

Розрізняють низько- і високолеговані хромисті, крем'янисті, алюмінієві, марганцеві і нікелеві чавуни. Нині застосовують також чавуни, модифіковані невеликими кількостями рідкоземельних елементів.

Сфери застосування низьколегованих чавунів дуже різноманітні. З чавунів, легованих спільно нікелем (до 1,75%), хромом (до 0,8%) і вольфрамом (0,2%), відливають штампи; з чавуну з одним відсотком нікелю і 0,25% Cr - базові деталі металорізальних верстатів високої точності; з чавунів, комплексно легованих Ni, Cr, Mo і Cu, - циліндри автомобільних двигунів.

Введенням великої кількості легуючих компонентів сірим чавунам з пластинчатим графітом надають різноманітні спеціальні властивості. Немагнітні відливання, що мають аустенітну структуру металевої основи, виготовляють з чавуну, що містить до 7,0% марганцю і до 12% нікелю, а при відливанні ряду корозійно-стійких деталей для хімічного машинобудування, що добре витримують дію сірчаної, оцтової, мурашиної кислот, каустичної соди, деяких солей і лугів, а також морської води, використовують чавун, легований молібденом, міддю, нікелем і хромом.

Для позначень марок легованих чавунів використовують букви, які означають : Ч - чавун; Х - хром, С - кремній, Г - марганець. Н - нікель, Д - мідь, М - молібден, Т - титан, П - фосфор, Ю - алюміній; буква Ш вказує, що графіт в чавуні має кулясту форму; цифри після букви вказують масову долю основних легуючих елементів; відсутність цифри означає, що вміст легуючого елемента складає біля 1%.

Термічною обробкою сірих чавунів, так само як легуванням або модифікуванням, можна істотно змінити їх структуру і властивості. У

відливань з високоміцного чавуну з ферритно - перлітової - графітовою структурою, в якій переважає ферит (75-80%), загартуванням, що полягає в нагріві струмами високої частоти до 975-1000 °С і швидкому охолодженні, можна отримати однорідну структуру мартенситу в загартованому шарі.

Мартенсит - мікроструктура голчастого виду, що надає металу дуже високу твердість. Є твердим пересиченим розчином вуглецю в α - залізі. Білий чавун на відміну від сірого не містить в структурі графіту (рис. 5.3ж).

Він складається з перліту і цементита, має світлий, блискучий злам, дуже твердий і крихкий, практично не піддається механічній обробці, добре протистоїть стиранню. Тому з білого чавуну відливають такі деталі, як лопаті дробеметних апаратів, шоки каменедробарок, зірочки для очищення металевих деталей в галтувальних барабанах.

Структура білого чавуну утворюється при малому змісті в нім кремнію і інших графітизуючих елементів. Утворенню такої структури значною мірою сприяє швидке охолодження відливань.

Це використовують при отриманні деяких деталей, вживаних для обробки металу і у виробництві паперу, вживаючи заходи до того, щоб у таких відливань, що називаються вибіленими або загартованими, серцевина мала структуру сірого чавуну досить в'язкого, для того, щоб витримувати ударні навантаження, а робочий поверхневий шар - структуру білого чавуну.

Значно ширше білий чавун використовують як проміжний матеріал для подальшої переробки на ковкий чавун, з якого виготовляються багато навантажених деталей машин і механізмів.

Технологія отримання ковкого чавуну полягає в тому, що деталі відливають з білого чавуну, а потім піддають термічній обробці, в результаті якої відбувається розкладання основної структурної складової білого чавуну, - цементита.

Залежно від хімічного складу початкового чавуну і режиму термообробки можна отримати два основні різновиди ковкого чавуну : ферритної (Ф) і перлітовою (П) структурами металевої основи. В окремих

випадках отримують ковкий чавун з проміжною структурою - перлитно-ферритної.

Загальною відмітною особливістю усіх різновидів КЧ є те, що графіт (вуглець, що виділяється при відпалі) в них має компакту, пластівчасту форму, близьку до глобулярної, а це і визначає властивості КЧ як проміжні між СЧ і сталлю.

Хороші механічні властивості ковких чавунів у поєднанні з високою рідкотекучістю початкового чавуну зумовили їх використання для виготовлення широкої номенклатури дрібних, тонкостінних відливаних для автомобілів, тракторів, сільськогосподарських машин, а також арматури і інших деталей масового виробництва.

Ферритний КЧ, структура якого показана на рис. 5.3.3, має пластичність, добре витримує ударні навантаження.

Перлітовий ковкий чавун має високу міцність і зносостійкість. Остання властивість може бути підвищена легуванням. Пластичні властивості у перлітового чавуну середні.

Ковкий чавун застосовують для виготовлення дрібних, тонкостінних відливаних для сільськогосподарських машин і автомобілів. Відливання з ковкого чавуну маркують двома буквами КЧ, далі слідують дві цифри - перша характеризує тимчасовий опір при розтягуванні, а друга - відносне подовження, %.

При розробці технології відливання деталей з ковкого чавуну враховують, що початковий білий чавун має велику усадку, чим звичайний сірий, зважаючи на що доводиться передбачати спеціальні відвідні прибутки для живлення масивних вузлів відливаних.

Слід зазначити, що багато особливостей отримання деталей з ковкого чавуну істотно обмежують сферу можливого застосування цього процесу. Він тривалий і енергоємний, оскільки навіть у разі використання найбільш сучасних методів прискореного відпалу тривалість цієї операції складає декілька годин, а необхідна температура нагріву відливаних досягає 1000 °С.

У багатьох випадках значно економічніше виявляється отримання відливаних з високоміцних чавунів, багато різновидів яких перевершують ковкі чавуни за експлуатаційними властивостями.

На відміну від КЧ отримання кулястої форми графіту у ВЧ практично не обмежується завтовшки стінки і масою відливання. Високоміцний чавун широко застосовується для відливання деталей металургійного устаткування, до яких пред'являються спеціальні вимоги (жароміцність).

Високоміцний чавун маркують його буквами ВЧ, потім слідує цифра, що характеризує межу міцності при розтягуванні. Нині широко поширені спеціальні антифрикційні чавуни, призначені для відливаних, працюючих з мастилом у вузлах тертя машин і механізмів.

На ці відливання поширюється ГОСТ 1585-85, що включає шість марок антифрикційних сірих чавунів з пластинчастим графітом (АЧС-1, АЧС-2, АЧС-3, АЧС-4, АЧС-5, АЧС-6), дві марки високоміцного чавуну з кулястим графітом (АЧВ-1, АЧВ-2) і дві марки антифрикційного ковкого чавуну з пластівчастим графітом (АЧК-1 і АЧК-2).

Вказані чавуни мають перлітову або перлітовий - ферритну металеву основу і можуть замінити значно дорожчі і дефіцитніші сплави на мідній основі, у тому числі в умовах тертя з підвищеними швидкостями ковзання. Майже для кожного складу чавуну існує своя критична швидкість кристалізації, вище за яку чавун кристалізується білим, а нижче - сірим.

1.4 Вплив температури на будову чавуну

Нагрівання рідкого чавуну до температури, що перевищує температуру ліквідус, супроводжується поступовим розчиненням листочків графіту і кристалів цементита. При невеликому перегріванні чавуну і виливанні його у форму виявляються великі пластинки графіту.

При підвищенні перегрівання пластинки стають дрібніше. Чим вище температура перегрівання, тим досконаліше розподіл атомів вуглецю між шістьма атомами заліза. Якщо вилити сплав у форму після високого перегрівання, наприклад, з температурою 1450°C, то в чавуні з'явиться більше пов'язаного вуглецю, чим після низького перегрівання.

Пластинки графіту стають дрібними, а загальні властивості чавуну з підвищенням температури перегрівання покращуються. З підвищенням температури рідкої ванни збільшується інтенсивність окислення кремнію і марганцю, а потім і вуглецю.

Перегрівання чавуну у відбивній або в дуговій електричній печі при високій температурі супроводжується спінюванням шлаку, а потім кипінням ванни. Це сильно впливає не лише на будову чавуну, але і на сильне виділення окислу вуглецю.

Занадто сильне перегрівання чавуну до 1500-1550°C вимагає вжиття заходів по усуненню пористості : розкислювання і усунення розчиненого активного закису заліза. Помірно високе перегрівання чавуну (до 1450°C) є корисною операцією, сприяючою роздрібненню величини первинного зерна аустеніту і, отже, графіту в чавуні доевтектичного складу.

Незважаючи на високу температуру випуску з доменної печі (1500-1550°C), графіт кристалізується у вигляді великих листочків, метал гранично насичений розчиненими газами і тому властивості чавуну першої плавки завжди нижче властивостей переплавленого чавуну.

Температура заливки ливарних форм визначається головним чином завтовшки стінок відливань. Чим менше товщина стінок, тим за інших рівних

умов має бути вища температура заливки. Якщо рідким чавуном залити три форми (одну піщано-глинисту в сухому, іншу піщано-глинисту в сирому стані і третю - металеву форму), то при однаковій температурі заливки чавун в усіх трьох формах стане тверднути з різною швидкістю.

Для чавуну, як і для інших сплавів, характерне загальне правило: чим повільніше відбувається кристалізація, тим більше первинні зерна аустеніту в чавуні доевтектичного і первинні зерна графіту або цементита в чавуні заевтектичного складу.

Кількість, величина, форма і розподіл графітових виділень залежать від швидкості твердіння сплаву. При найбільшій швидкості кристалізації чавун може тверднути білим. Кількість графіту стає майже рівною нулю, а вуглець знаходиться в пов'язаній формі - у вигляді цементита.

При уповільненні швидкості кристалізації утворюється "половинчастий" чавун, в якому частина сплаву кристалізується як білий, а частина сплаву - як сірий чавун. Форма графіту- сітчаста або дендритна. Вуглець виділяється у формі графіту в евтектиці (графіт - аустеніт), а частина - у формі ледебуриту (цементит - аустеніт).

При подальшому уповільненні швидкості твердіння чавун стає сірим. Графіт виділяється в змішаній формі - у вигляді пластинчатого графіту і графіту евтектичного.

При ще більшому уповільненні кристалізації графіт виділяється у формі завихрених пластинок, нарешті, у вигляді прямих пластинок на феритовому полі. При подальшому уповільненні швидкості охолодження розмір прямих пластинок стає все більше.

Швидкість твердіння зовнішнього тонкого шару відливання у декілька разів більше, ніж центральних шарів, тому будова чавуну в поперечному перерізі стає різною; наприклад, зовнішній шар може стати вибіленим, а середні і центральні шари з м'якого сірого чавуну. У масивному відливанні часто є присутнім графіт усіх різноманітних форм, описаних вище. Така картина спостерігається і в подовжньому перерізі клинної проби.

1.5 Вплив хімічного складу на ливарні властивості чавуну

Різні хімічні елементи і їх з'єднання можуть чинити дію на графітизацію і на будову металевої маси. Вуглець і кремній - графітизуючі елементи.

Для більшості відливань застосовують чавуни з вмістом вуглецю від 2,7 до 3,6 %. Чим більше вміст вуглецю, тим більше рідкотекучість чавуну і нижче температура плавлення. Зі збільшенням загального вмісту вуглецю знижується механічна міцність чавуну, оскільки при цьому збільшується кількість графіту, що знижує міцність металевої фази.

Вміст кремнію зазвичай складає не більше 2,5 %. Марганець і сірка - це елементи, що гальмують графітизацію. Збільшення вмісту марганцю сприяє підвищенню твердості чавуну і погіршенню оброблюваності.

При підвищенні змісту сірки збільшується усадка чавуну, знижується його рідкотекучість, підвищується крихкість. Вміст сірки зазвичай знаходиться в межах 0,1-0,12 %. Фосфор, зменшує розчинність вуглецю в рідкому чавуні. Підвищення вмісту фосфору збільшує рідкотекучість чавуну, але при цьому зростає крихкість металу.

Вміст фосфору не перевищує 0,25 %, але у відливаннях для художнього литва і в тонкостінних відливаннях для предметів народного споживання з метою підвищення рідкотекучості вміст фосфору збільшують до 1,0–1,5 %.

Окрім вуглецю одним з найсильніших графітизаторів є кремній, який поводить себе як елемент, сприяючий графітизації при певних межах змісту. При концентрації до 2,5% кремній розчиняється в рідкому залізі, самостійної фази не утворює і діє як графітизатор.

Кремній зрушує евтектичну і евтектоїдну точки вліво. При вмісті в чавуні більше 2,5% кремній утворює карбідну фазу. При подальшому збільшенні концентрації кремній діє як антиграфітизатор, сприяючий вибілюванню чавуну.

При вмісті у кількості 18% кремній із залізом утворює силіцид FeSi , який випадає з розчину α -заліза у вигляді евтектики FeSi , - α - залізо. У звичайному чавуні кремній при вмісті до 2,5% розчиняється в аустеніті і, повидимому, в цементите, роблячи останній нестійким.

Кремній витісняє вуглець з розчину у вигляді спели і загальний вміст вуглецю зі збільшенням змісту кремнію зменшується. Марганець і сірка перешкоджають графітизації і по дії протилежні до вуглецю і кремнію. Марганець сприяє підвищенню вмісту вуглецю в сплаві.

При 80% марганцю в доменному феромарганці міститься близько 7% С. В звичайному чавуні при збільшенні вмісту марганцю на 1 % вміст вуглецю збільшується на 0,2%.

Сірка, навпаки, витісняє вуглець, і при збільшенні змісту сірки на 0,1% вміст вуглецю зменшується на 0,05%. Збільшення вмісту сірки в чавуні на 0,01 % нейтралізується збільшенням вмісту кремнію на 0,1%.

Сірка утворює із залізом і іншими хімічними елементами украй шкідливі сульфід FeS і Al_2O_3 і менш шкідливі сульфід MnS , Cu_2S . Сульфід FeS має найменшу температуру плавлення, інші - вищу.

Цей сульфід перешкоджає виділенню газів з рідкого чавуну, відливання стають фізично неоднорідними і негерметичними. Сірка значно зменшує зазвичай хорошу рідкотекучість білого і сірого чавуну.

Вплив сірки може бути дещо ослаблено при збільшенні вмісту марганцю. Сульфід FeS переходить в складніший подвійний сульфід $m\text{FeS} - n\text{MnS}$, що має вищу температуру плавлення. Відношення вмісту марганцю до вмісту сірки в сірому чавуні має бути: $\text{Mn} : \text{S} = 4,0 : 6,0$.

Тугоплавкі подвійні сульфід утворюють в чавуні самотійну кристалічну фазу у вигляді кубиків сірого кольору. Марганець при вмісті його до 0,4 % витрачається головним чином на утворення сульфід марганцю і графітизації не перешкоджає, а при подальшому збільшенні вмісту стає антиграфітизатором.

Нормальний вміст марганцю в ковкому чавуні не повинен перевищувати 0,5-0,6%, а в сірому - 1,0%. Поршневі кільця з обичайок для авіаmotorів можуть містити марганцю до 1,5%. У великому чавунному машинному литві вміст марганцю більше 1,2% викликає схильність до утворення тріщин.

Марганець при вмісті його до 1 % в сірому чавуні є корисною домішкою, оскільки він частково паралізує шкідливу дію сірки і подрібнює графіт і перліт.

Фосфор знижує температуру твердіння чавуну. Фосфор в масивних відливаннях схильний до утворення зональної ліквідації.

Нікель і мідь сприяють графітизації чавуну (приблизно в два рази слабкіше, ніж кремній).

Магній відомий як елемент, сприяючий, подібно до церію, отримання високоміцного чавуну з кулястою формою графіту; магній впливає на чавун, як антиграфітизатор; у дуже малих кількостях сприяє виділенню вуглецю у формі графіту. Кальцій у вигляді сплаву з кремнієм застосовується як відмінний модифікатор; сприяє графітизації чавуну при твердінні.

Літій додається в чавун для підвищення щільності відливань і для усунення шкідливого впливу газової пористості. Цей елемент, подібно до ванадію, відноситься до дегазуючих домішок.

Переважаюча кількість відливань з сірого чавуну виготовляє в піщаних формах, як правило, без застосування прибутків. Відливання типу тіл обертання (труби, гільзи, втулки та ін.) виготовляють відцентровим литвом.

Відливання з високоміцного чавуну переважно виготовляють в піщаних формах, литвом в кокіль і відцентровим литвом. Оскільки цей сплав має велику усадку необхідно створювати умови для спрямованого твердіння відливань і застосування прибутків, які дозволяють попереджати утворення усадкових раковин і пористості в масивних частинах.

Однією з особливостей отримання відливань з ковкого чавуну є те, що початковий розплав - білий чавун - має знижену рідкотекучість. Усадка

білого чавуну значно більше, чим сірого, тому у відливаннях утворюється більше усадкових раковин, пористості і тріщин.

Крім того, процес виготовлення відливаних з ковкого чавуну тривалий і енергоємний, тому тільки 5 % чавунних відливаних роблять з цього чавуну. У багатьох випадках отримання виробів з високоміцних чавунів є економічнішим.

Дані металографічного дослідження показують, що оптимальною кількістю комплексного модифікатора зі змістом не міні 40,6% рідкоземельних металів (РЗМ) являється 1,5-2,0%, що відповідає засвоюваності 0,25-0,30% РЗМ.

У сірому чавуні при відливанні в кокілі кількість цементита знаходиться в межах 25,3÷27,2%. У вибілених чавунах кількість цементита зростає від 29,0 до 31,4%, а графіт відсутній. У структурі вибілених чавунів, відлитих в піщано-глинисті форми, доля цементита знаходиться в межах від 27,7 до 30,0%.

Використання комплексного модифікатора, що містить у своєму складі 41% кремнію і 4,8% алюмінію, не дозволило встановити міру впливу тільки РЗМ на структуроутворення і властивості валкових чавунів.

Для дослідження впливу тільки РЗМ на формування структури, кількості і форми графіту були проведені додаткові дослідження по модифікуванню доєвтектичного чавуну, що містить (в % по масі): С – 3,23...2,44; Si – 2,66..2,90; Mn – 0,66....0,83; P – 0,041...0,057; S_{исх} – 0,032...0,034.

Вміст основних елементів, окрім кремнію і фосфору, був прийнятий в межах, використовуваних для робочого шару валків з модифікованих чавунів.

Виконані дослідження показали, що в початковому чавуні до модифікування графіт має пластинчасту форму при швидкості охолодження 1,9°С/с, а при 5,5°С/с - розеткову. З підвищенням змісту РЗМ збільшується компактність графітних включень.

При вмісті 0,064-0,105% РЗМ графіт стає вермикулярним. Компактний і вермикулярний графіт отриманий при вмісті 0,122-0,315% РЗМ. Збільшення вмісту РЗМ понад 0,35% призводить до погіршення форми графіту, при 0,405% РЗМ виділяється міждендритний графіт.

Проведені дослідження також показують, що збільшення швидкості охолодження сприяє отриманню компактного, близького до вермикулярному, графіту при менших концентраціях РЗМ. При підвищених швидкостях охолодження відливань в кокільних формах (5,5°C/с) вже при вмісті більше 0,10% РЗМ в структурі з'являється помітна кількість карбідної евтектики, що повністю пригнічує кристалізацію графіту.

Чавуни зі вмістом більше 0,10% РЗМ мають структуру білого чавуну з різною дисперсністю фаз. При цьому з ростом вмісту РЗМ в структурі зменшується кількість ледеburиту і зростає загальний вміст карбідів.

При вмісті 0,234% РЗМ і охолодженні чавуну в кокільній формі кристалізація ледеburиту повністю пригнічувалася і формується аномальна евтектика, що складається з грубих конгломератів кристалів евтектичних фаз.

2 ТЕХНОЛОГІЯ ДОВЕДЕННЯ ПЕРЕДІЛЬНОГО ЧАВУНУ

2.1 Методи зниження вмісту вуглецю

В якості досліджуваного матеріалу вибрано чавун доменний (передільний). Хімічний склад чавуну представлено в табл. 2.1

Таблиця 2.1 - Хімічний склад передільного чавуну, % по масі

Хімічний елемент	C	Mn	Si	S	P	Cr
Чавун СЧ	4,2-4,4	0,57-0,81	0,74-0,93	0,022-0,029	0,062-0,067	0,02

Мікроструктура передільного чавуну у відливанні представлена на рис. 2.1. Графіт має пластинчасту структуру різноманітної форми у вигляді пластинок зігнутої форми, сполучені пластинки, пластинки з місцевими розширеннями.

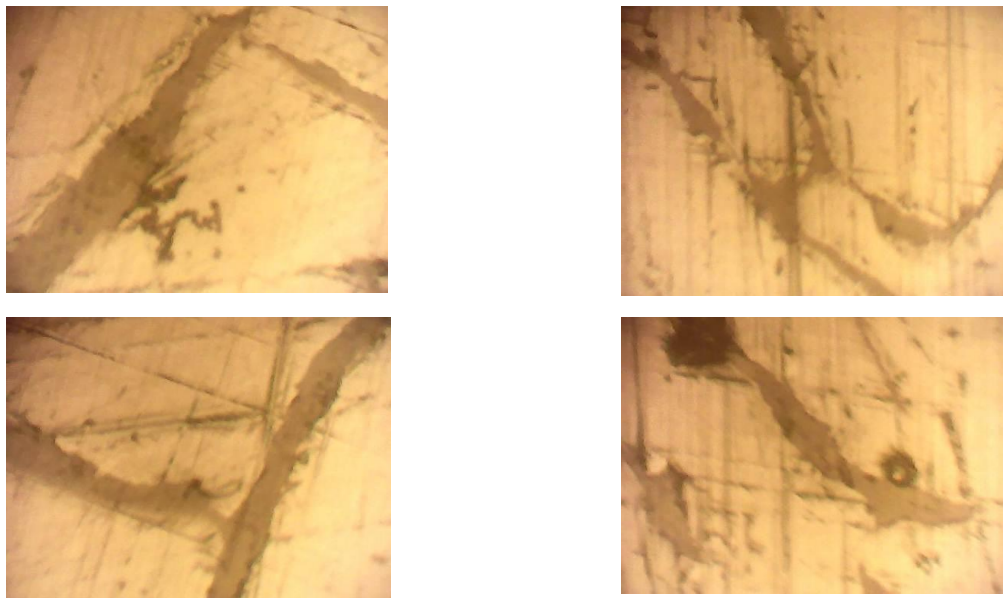


Рисунок 2.1 - Мікроструктура графіту передільного чавуну

Підготовка передільного чавуну під його модифікацію до чавуну з вермікулярним графітом припускає зниження вмісту графіту і сірки. Вміст сірки знижується методами десульфурації. Зниження вмісту графіту можливе методом розбавлення і переведення графіту в карбідну фазу, яка не розчиняється в розплаві чавуну.

Метод зниження вуглецю в чавуні розбавленням припускає введення залізної фази в розплав чавуну. З цією метою в розплав вводиться сталевий низьковуглецевий лом. Для зниження вмісту вуглецю на 0,1 % необхідно в розплав передільного чавуну ввести 26,8 кг/т низьковуглецевої сталі.

Метод переведення зайвого графіту в нерозчинний карбід можливий із застосуванням порошку титану.

В цьому випадку станеться реакція



Карбід титану має температуру плавлення в межах 3260°C і має високу хімічну стійкість при температурі розплаву чавуну. Висока хімічна активність титану забезпечить в розплаві чавуну проходження хімічної реакції (2.1). Для зниження вмісту графіту в передільному чавуні на 0,1 % необхідно ввести в одну тонну розплаву чавуну 1 кг порошку титану.

2.2 Десульфурація чавуну

Азот широко застосовується в якості транспортуючого газу для інжектування магнію в метал при введеном десульфурації чавуну. Проте, нині в науково-технічній літературі містяться у край суперечливі відомості про можливий його вплив ефективність обробки [1-8]. Тому в справжній роботі ставилося завдання уточнити характер впливу азоту на ефективність використання десульфуратора.

Можливість освіти і стійкого існування в чавуні нітриду магнію при інжектуванні гранульованого магнію в метал азотом якнайповніше проаналізована авторами роботи [9].

При русі двофазного потоку уздовж фурми азот може взаємодіяти з твердим і рідким магнієм. У нижній частині фурми можливий частковий випар магнію і протікання реакції з утворенням нітриду.

У об'ємі чавуну поблизу вихідного отвору фурми відбувається випар магнію і часткове розчинення його в металі. Тому азот може взаємодіяти як з газоподібним, так і з розчиненим в чавуні магнієм.

З точки зору термодинаміки взаємодія магнію з азотом можлива. Проте, враховуючи порівняно низькі температури, високу швидкість двофазного потоку у фурмі, наявність на поверхні гранул магнію захисного сольового покриття та ін., автори роботи [9] дійшли висновку, що ці реакції не отримують істотного розвитку.

У безпосередній близькості від вихідного отвору фурми термодинамічні і кінетичні умови протікання реакцій дуже сприятливі. Експериментальним підтвердженням утворення нітриду магнію може служити робота [6], автори якої в ході лабораторного дослідження десульфурації чавуну інжектуванням магнію в потоці азоту спостерігали випадки закупорювання внутрішнього каналу фурми.

Рентгеноспектральний аналіз речовини, яка закупорювала канал фурми, показав наявність в його складі Mg_3N_2 , MgO , металевого магнію та ін. В промислових умовах при вдуванні магнію в чавун через фурми з випарними камерами на внутрішній поверхні камер зазвичай спостерігаються відкладення, для видалення яких поверхню камери обприскують водою.

Нітрид магнію, що утворився поблизу вихідного отвору фурми, виноситься з металу спливаючими пухирями газу або залишаються в чавуні. У міру спливання пухирів тиск в них знижується. Крім того, в результаті взаємодії з домішками чавуну зменшується вміст магнію в газовій фазі. Тому

у верхніх горизонтах ковша реакції можуть протікати у напрямі дисоціації нітриду магнію.

Результати приведеного аналізу свідчать про те, що негативний вплив азоту на ефективність десульфурації чавуну магнієм стає можливим, якщо нітрид магнію, що утворився поблизу вихідного отвору фурми, виноситься з металу або піддається термічній дисоціації поблизу поверхні розплаву, що внаслідок чого утворюється при дисоціації нітриду газоподібний магній не устигає взаємодіяти з домішками чавуну.

Для кількісної оцінки втрат магнію при використанні в якості транспортуючого газу азоту необхідно порівняти ефективність десульфурації чавуну при інжектуванні магнію в метал азотом і аргоном. Якщо ці дослідження проведені в ковшах різного тоннажу, а також при використанні режимів обробки, що істотно відрізняються, порівняння результатів можливе тільки за наявності математичної моделі, яка коректно відбиває вплив параметрів технологічного процесу на результати обробки.

У роботі [10] показано, що зміна розчинності магнію в чавуні і умов розчинення його в оброблюваному металі не робить істотного впливу на ефективність десульфурації. Це можливо тільки у разі, коли сірка видаляється з чавуну, головним чином, в результаті гетерогенної реакції у поверхні спливаючих в металі пухирів пари десульфуратора.

У роботах [11,12] описана математична модель десульфурації чавуну спливаючими пухирями пароподібного магнію і інертного газу. На прикладі приведених авторами роботи [13] результатів досвідчено - промислового дослідження десульфурації чавуну інжектуванням порошкоподібного магнію в потоці азоту показано, що ця модель дозволяє з достатньою точністю прогнозувати вплив зміни концентрації сірки в металі, температури чавуну і параметрів технологічного процесу на ефективність обробки.

Нині металургійні підприємства України освоїли технологію десульфурації чавуну у великих заливальних ковшах інжектуванням

гранульованого магнію спільно з порошкоподібним флюїдизированной вапном.

Ефективність використання десульфураторів в цьому процесі проаналізована авторами робіт [17-19], у яких показано, що вдуване разом з магнієм в метал вапно не робить істотного впливу на результати обробки. Це дозволяє провести безпосереднє порівняння ефективності десульфурації чавуну у великих заливальних ковшах при використанні в якості транспортуючого газу аргону і азоту.

2.3 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.

3 ВИПЛАВКА ЧАВУНУ З МОДИФІКОВАНОЮ СТРУКТУРОЮ

3.1 Модифікування сірого чавуну

3.1.1 Модифікатори які містять барій

Основними вимогами до графітуючих модифікаторів є:

- усунення отбела в чавунних відливаннях;
- збільшення тривалості збереження модифікуючого ефекту;
- дія на розподіл, морфологію і розмір включень пластинчатого графіту.

З метою оптимізації складів модифікаторів за вмістом барію проведені порівняльні дослідження по ефективності впливу силікобарія на структуру і механічні властивості чавунів серійних марок ФС65Ба4, ФС65Ба12 і спеціально виплавлених досвідчених партій ФС65Ба25 і ФС65Ба35, що містять відповідно ~ 4, 12, 25 і 35%Ba.

Виплавка чавунів проводилася в індукційній печі ИЧТ-1 з подальшою позапічною обробкою в розливному ковші (присадка розміщувалася на дні ковша перед випуском металу). З кожного ковша відливалися в піщаних рідкоскляних формах наступні проби:

- клинові заввишки 60, завдовжки 120 і завтовшки біля основи клину 30 мм,
- ступінчасті шириною 50, завдовжки 160 мм і відповідно з товщиною сходинок 3, 6, 12, 24 і 40 мм,
- стандартні циліндричні проби Ø30x300 мм для визначення властивостей міцності.

На рис. 1 приведені дані за величиною відбілу по клину чавуну з пластинчатим графітом марки СЧ25, модифікованого звичайним 75% -вим феросиліцієм і силікобарієм з різним змістом Ba.

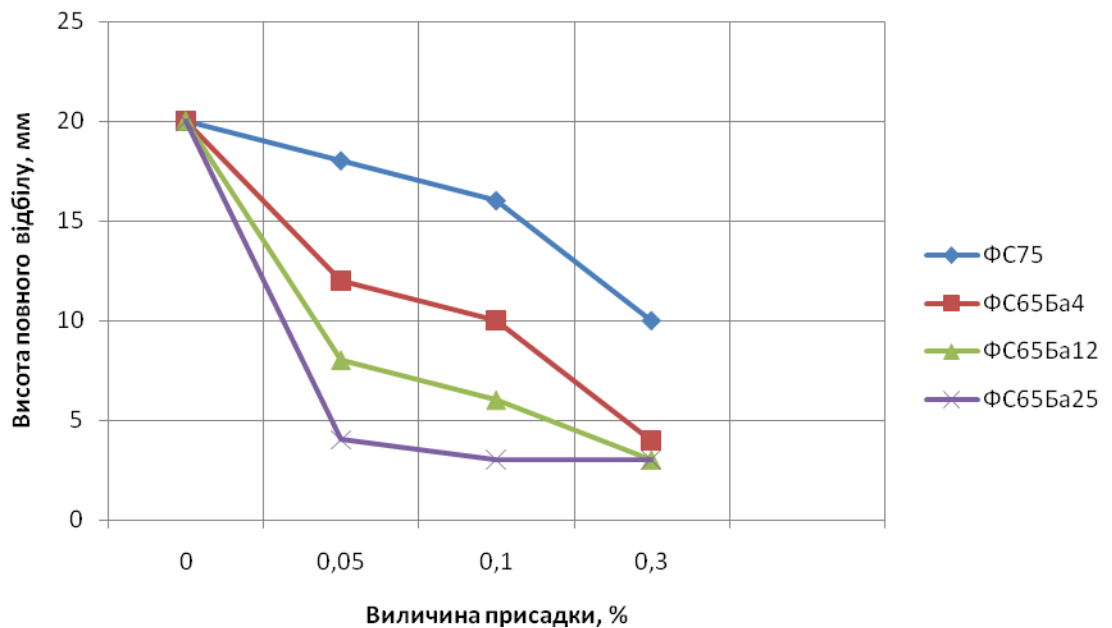


Рисунок 3.1 – Вплив вмісту барію в лігатурі на величину відбілу по клину

Дані показують, що в порівнянні з ФС75 усі досліджувані барієві модифікатори значно ефективніше знижують схильність чавуну до відбілу. Так присадка з 4% Ва при витраті 0,1% знижує відбіл по клину в 2 рази, що досягається лише при присадці 0,3% ФС75. Збільшення концентрації Ва в лігатурі підвищує її ефективність і при вмісті 25% Ва досить ввести в чавун 0,05% лігатури, щоб практично повністю усунути відбіл. Подальше підвищення концентрації Ва в лігатурі не покращує результати по зняттю відбілу.

Результати дослідження впливу часу витримки в ковші модифікованого рідкого чавуну марки СЧ30 на величину відбіла в клині (рис. 3.2) показали, що найбільшу тривалість модифікуючого ефекту зберігає силікобарій з високим вмістом барію (25% Ва). При цьому серійна марка ФС65Ba4 порівняно із звичайним феросиліцієм ФС75 зберігає модифікуючий ефект впродовж тривалішого (у 1,5-2 рази) періоду часу.

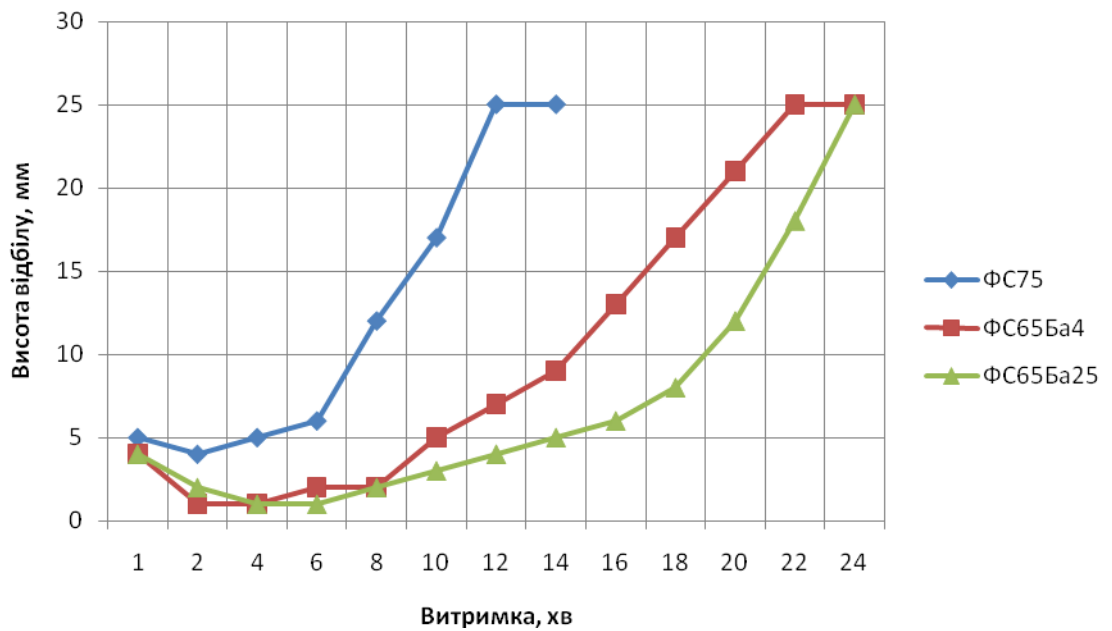


Рисунок 3.2 – Вплив вмісту барію на тривалість модифікуючого ефекту

Примітка: Висота відбіла по клину початкового (немодифікованого) чавуну ~ 30 мм.

Критерієм оцінки ізотропної структури і механічних властивостей модифікованого чавуну можуть служити ці зміни твердості в ступінчастій пробі, що імітує різностінне відливання.

Такі дані (таблиця 3.1), отримані при модифікуванні чавуну марки СЧ25 (ЦЕ=3,7%), показують, що звичайний феросиліцій ФС75 і силікобарій з низьким вмістом барію (4-12% Ва), ефективно знижуючи схильність до відбілу і твердість чавуну, не роблять помітного впливу на мікроструктуру металу в процесі кристалізації ступінчастої проби і, відповідно, на вирівнювання твердості чавуну в різних перерізах відливання.

При цьому твердість чавуну в кожному перерізі сходинки визначається швидкістю її твердіння і чим товще переріз, тим повільніше йде процес кристалізації, укрупнюються включення графіту і лите зерно, внаслідок чого спостерігається значна різниця в твердості, а відповідно і не висока ізотропна структури і механічних властивостей металу у відливанні.

Таблиця 3.1 – Вплив вмісту барію в лігатурі на твердість чавуну в ступінчастій пробі

Марка модифікатора	Величина присадки, %	Твердість (НВ) чавуну в ступінчастій пробі при товщині стінки, мм				
		3	6	12	24	40
-	0,00	415	287	241	223	217
ФС75	0,30	302	269	229	207	197
ФС65Ba4	0,10	269	241	229	217	170
ФС65Ba12	0,10	255	235	229	217	187
ФС65Ba25	0,05	249	229	229	217	187
ФС65Ba25	0,10	241	229	229	229	217
ФС65Ba25	0,20	235	229	229	229	217
ФС65Ba25	0,25	235	229	229	229	217
ФС65Ba25	0,50	241	229	229	217	197

Модифікування чавуну ФС65Ba25 у кількості 0,05% від маси металу, достатньому для зняття відбіла в перерізі 3 мм, приводить і до помітного вирівнювання твердості в ступінчастій пробі. Для підвищення ізотропної чавуну достатня присадка ФС65Ba25 у кількості 0,10-0,25%. При збільшенні присадки цього модифікатора до 0,5% і вище проявляється вже вплив кількості кремнію, що вводиться, змінює хімічний склад чавуну (підвищення ЦЕ), що призводить до помітного зниження твердості в товстих перерізах ступінчастої проби за рахунок появи фериту в металевій основі.

Завдяки глибшій дії на процес кристалізації чавуну, чим тільки зняття відбіла або усунення структурно вільного цементита, модифікування високопроцентним силікобарієм марки ФС65Ba25 дозволяє підвищити (на 10-20%) і характеристики міцності чавуну (рис. 3.3) за рахунок формування щільнішої і дрібнозернистої структури металу у відливанні.

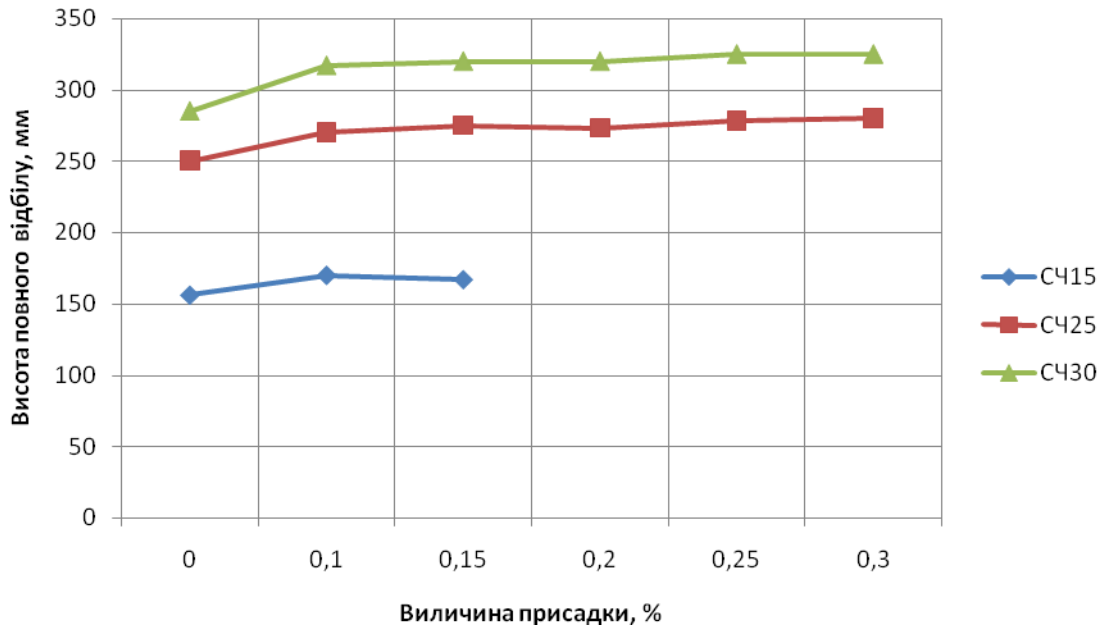


Рисунок 3.3 – Вплив величини присадки ФС65Ба25 на міцність чавуну

При отриманні високих марок сірого чавуну використання цього модифікатора найбільш ефективно.

Таким чином, залежно від умов конкретного виробництва і поставленої мети по поліпшенню якості чавунного литва слід вибирати найбільш ефективну марку силікобарію.

3.1.2 Модифікація чавуну магнієм

Модифікування чавуну магнієм (Mg) отримало в США, Англії і інших країнах досить широке поширення ще на початку ХХ століття. Впровадження процесу модифікування чавуну магнієм привело до створення цілого напрямку в металургії і появи високоякісних чавунів з кулястим графітом, яке сьогодні представляє найважливіше народногосподарське завдання, оскільки вона зачіпає інтереси і проблеми багатьох галузей промисловості.

Широке застосування чавунів з кулястим графітом сприяє: отриманню значної економії металу за рахунок полегшення ваги чавунних деталей і

подовження терміну їх служби; збільшенню довговічності машин і точності їх роботи; заміні у ряді випадків сталевих литва і поковок, а також заготівель з кольорових металів високоякісним чавуном як матеріалом менш дефіцитним, дешевшим і рядом технологічних переваг, що володіє.

Пошуки усе нових і нових рішень по удосконаленню способів модифікування чавуну магнієм велися постійно і ця проблема залишається і сьогодні багато в чому невирішеною.

Поширений спосіб модифікування металевим магнієм в ливарних ковшах має багато недоліків, що полягають в основному в наступному : значний пироэффект з викидом бризок металу і утворенням димоподібного окислу магнію, що викликає необхідність в установці спеціальних камер для модифікування, підвищений відсоток втрати металу з причини бризок і сплесов, незначна засвоюваність магнію металом, що вимагає підвищеної його присадки (витрати), значні втрати тепла металом на випромінювання і конвекцію в процесі модифікування, а також на нагрів і випар підвищеної кількості вводиться магнію, що знижує початковий температура чавун в ківш і утрудняє дотримання оптимальний температури заливка, транспортування рідкий метал до камера для модифікування пов'язаний також з втрата тепло і пониження температура метал в ківш.

Для часткового усунення вказаних недоліків кусковий магній вводився в залізні циліндри, які герметично закривалися, а люк вагранкового копильника після внесення циліндрів з магнієм закривався кришкою з вантажем. Це дозволило зменшити негативний ефект пироэффекта при модифікуванні, зменшити втрати тепла металом в процесі модифікування, зменшити витрату магнію.

Засвоєння магнію металом доходило до 16 - 19% проти 5 - 10% у разі модифікування магнієм в ливарних ковшах [20].

Спроби усунути вказані вище недоліки при введенні в розплав чавуну компактного магнію робилися і таким чином: ківш з рідким металом підводиться під парасольку - вентиляційний пристрій, в конструкції якого

кріпиться штанга з прикріпленням до неї зливком магнію, яка і вводиться в розплав, при цьому парасолька накриває ківш, будучи свого роду кришкою і безпосередньо вентиляційним пристроєм. Спосіб введення в чавун магнію в неупакованому відкритому виді за допомогою штанги не вимагає застосування дорогих матеріалів у вигляді труб або листової сталі для виготовлення присадних склянок.

Недоліком є мала стійкість зливка магнію або лігатури при зануренні в перегрітий чавун, а також передчасне займання магнію. Внаслідок розтріскування, що відбувається при цьому, і спливання шматків магнію і лігатури велика частина її втрачається, внаслідок чого кількість магнію в чавуні не залишається стабільною. Робилися спроби понизити витрату магнію за допомогою використання поворотних ковшів конвертного типу, коли заставу компактного магнію роблять в одну з горловини ковша, що закривається конічною графітною пробкою і з подальшим поворотом ковша так, щоб розплав чавуну знаходився над закладеним в горловину компактным магнієм. При цьому увесь магній опиняється під шаром розплаву і відбувається його взаємодія з розплавом, витрата магнію дещо зменшується, засвоєння збільшується. Створені також пристрої для обробки чавуну магнієм під тиском в автоклаві.

Внаслідок того, що модифікування чавуну магнієм проходить під великим зовнішнім тиском, магній не переходить як завжди бурхливо в пароподібний стан, а спокійно розчиняється в розплаві. Засвоюваність магнію в цьому випадку в 2-2,5 рази більше, ніж в звичайних умовах модифікування в ливарних ковшах [21].

З метою повнішої взаємодії розплаву чавуну з магнієм застосовуються пристрої, в яких, наприклад, зливоч магнію плаває на поверхні розплаву чавуну, поповнюваного таким, що ллється на зливоч магнію чавуном, розпиляним інертним газом, при цьому як магній, так і чавун стикається тільки з інертним газом. В цьому випадку витрата магнію зменшується,

засвоєння збільшується, але установка складна у виготовленні і технологічно складна у дії [22].

З метою зменшення чаду магнію і додаткового рафінування чавуну перед присадкою магнію в ківш вводять флюс, що утворює шлак, питому вагу якої менше питомої ваги магнію. Таким чином, шлак прикриває магній і тим самим ізолює його від повітря, що знаходиться в ємності з чавуном; зменшується чад магнію і збільшується міра його засвоєння [23]. Спосіб трохи зменшує перевитрату магнію, крім того, взаємодія шлаку з чавуном може обважнювати покривний шар, що приведе до взаємодії магнію з киснем.

У іншому випадку, щоб скоротити пилегазовиделення при обробці магнієм, усунути піроефект, понизити витрату магнію, обробку ведуть у відкритій місткості під шаром захисного газу з щільністю, що перевищує значно щільність повітря [24]. Спосіб дещо знижує витрату магнію, але вимоги засвоєння магнію чавуном ведуть до підвищеного завантаження магнію, оскільки все-таки захист важким газом в малій мірі запобігає прориву газоподібного магнію крізь шар захисного газу і витікаючі з цього сліdstва.

Відомий спосіб, при якому конструктивні особливості місткості для чавуну, що має усередині ковша на днищі пазуху, що завантажуються кусковим магнієм і завантаження сталевим скрапом і можливістю поступової заливки чавуну в ємність і можливістю регульованого відведення продуктів газовиділення, що прикривається згори, через спеціальний отвір в стінці місткості, дають можливість забезпечення повнішого засвоєння магнію чавуном [25].

Були спроби модифікування чавуну магнієм за допомогою фурм, що вдувають в розплав порошкоподібний або гранульований магній. Складність апаратурно-технологічного оформлення і обслуговування, а також само по собі виробництво порошкоподібного або гранульованого магнію надзвичайно ускладнюють здійснення і вказаних спроб і перенесення їх

навіть в допрацьованому виді в звичайне металургійне або чавуноливарне виробництва.

Відомий спосіб отримання чавуну з кулястим графітом, що полягає в укладанні на дно ковша Ni - Mg - Se лігатури, накритті її залізовмісним покриттям і заливці металу в ківш. При укладанні на дно ковша між магнієвою лігатурою і захисним покриттям укладають пошарово модифікуючі компоненти (феросиліцій і силікокальцій) в порядку убутання їх активності (по відношенню до сірки, кисню і по сфероїдируючому дії на графіт), при цьому між лігатурою і модифікуючими компонентами укладають захисний шар стружки і дробу.

Відсутність технічного рішення по отриманню і застосуванню високодисперсного магнію (до асоціацій окремих молекул) у поєднанні з можливістю застосування його на існуючому встановленому устаткуванні примушує застосовувати витончені заходи по технологічно-апаратурному оснащенню чавунолитейних виробництв, що само по собі у край дорожче, трудомістке і вимагає висококваліфікованого обслуговування і посиленних заходів по техніці безпеки.

Як вже неодноразово згадувалося вище, незважаючи на уявну простоту операції добавки в рідкий чавун в певних розрахункових кількостях магнію, практичне виконання завдання натрапляє на ряд труднощів, основні з яких фізико-хімічні і термічні властивості магнію. Магній, маючи точку кипіння 1110°C , тобто на $250\text{-}300^{\circ}\text{C}$ нижче температури рідкого чавуну, а питома вага в 4,5 - 5 рази менша, ніж у чавуну, при температурі модифікування представляє дуже важкий об'єкт для розробки способу, суміші, що містить компактний магній, і пристрою для проведення ефективного модифікування.

При зануренні в розплавлений метал патрона з магнієм (кусковим) миттєво виникають пари магнію, які, піднімаючись вгору, тільки короткий час залишаються в зіткненні з рідиною. Швидкість дифузії магнію в рідкий метал при цьому виявляється менше швидкості виходу магнію назовні.

Внаслідок цього, а також внаслідок недостатньої площі контакту пари магнію з рідкою масою - засвоєння магнію в звичайних умовах незначне [26].

Метою використання магнію в якості модифікатора являється підвищення показника засвоєння магнію, зменшення чаду магнію за рахунок активізації часток, а також пари магнію внаслідок отримання можливо максимальної питомої поверхні магнію в самому об'ємі розплаву чавуну і взаємодії мінімальної необхідної кількості магнію з розплавом чавуну з різким зменшенням таких явищ, як пироэффєкт і пилегазовиделение.

Вказані цілі досягаються тим, що магнієва лігатура вводиться в розплав чавуну в герметично закритій посудині, заздалегідь нагрітій до температури 700-800°C. Посудина може бути закрыта скрапом, залізними плитами і тому подібне. Заливка рідкого чавуну робиться за звичайною технологією на існуючому устаткуванні.

3.2 Температурні режими обробки чавуну

3.2.1 Вплив перегрівання на будову чавуну

Майже для кожного складу чавуну існує своя критична швидкість кристалізації, вище за яку чавун кристалізується білим, а нижче - сірим. Нагрівання рідкого чавуну до температури, що перевищує температуру ліквідус, супроводжується поступовим розчиненням листочків графіту і кристалів цементита.

При невеликому перегріванні чавуну і виливанні його у форму виявляються великі пластинки графіту. При підвищенні перегрівання пластинки стають дрібніше. Чим вище температура перегрівання, тим досконаліше розподіл атомів вуглецю між шістьма атомами заліза. Якщо вилити сплав у форму після високого перегрівання, наприклад, з температурою 1450°C, то в чавуні з'явиться більше пов'язаного вуглецю, чим після низького перегрівання.

Пластинки графіту стають дрібними, а загальні властивості чавуну з підвищенням температури перегрівання покращуються. З підвищенням температури рідкої ванни збільшується інтенсивність окислення кремнію і марганцю, а потім і вуглецю.

Перегрівання чавуну у відбивній або в дуговій електричній печі при високій температурі супроводжується спінюванням шлаку, а потім кипінням ванни. Це сильно впливає не лише на будову чавуну (роздрібнення графіту), але і на сильне виділення окислу вуглецю.

Занадто сильне перегрівання чавуну, наприклад, до 1500-1550°C, вимагає вжиття заходів по усуненню пористості, т. е. розкислювання і усунення розчиненого активного закису заліза - першоджерела реакції окислення вуглецю.

Помірно високе перегрівання чавуну (до 1450°C), навпаки, є корисною операцією, сприяючою роздрібненню величини первинного зерна аустеніту і, отже, графіту в чавуні доевтектичного складу. Незважаючи на високу температуру випуску з доменної печі (1500-1550°C), графіт кристалізується у вигляді великих листочків, метал гранично насичений розчиненими газами і тому властивості чавуну першої плавки завжди нижче властивостей переплавленого чавуну.

Температура заливки ливарних форм визначається головним чином завтовшки стінок відливань. Чим менше товщина стінок, тим за інших рівних умов має бути вища температура заливки.

Якщо рідким чавуном залити три форми (одну піщано-глинисту в сухому, іншу піщано-глинисту в сирому стані і третю - металеву форму), то при однаковій температурі заливки чавун в усіх трьох формах стане тверднути з різною швидкістю.

Для чавуну, як і для інших сплавів, характерне загальне правило: чим повільніше відбувається кристалізація, тим більше первинні зерна аустеніту в чавуні доевтектичного і первинні зерна графіту або цементита в чавуні

заевтектичного складу. Кількість, величина, форма і розподіл графітових виділень залежать від швидкості твердіння сплаву.

При найбільшій швидкості кристалізації чавун може тверднути білим. Кількість графіту стає майже рівною нулю, а вуглець знаходиться в пов'язаній формі, т. ч. у вигляді цементита. При уповільненні швидкості кристалізації утворюється "половинчастий" чавун, в якому частина сплаву кристалізується як білий, а частина сплаву - як сірий чавун. Форма графіту-сітчаста або дендритна.

Вуглець виділяється у формі графіту в евтектиці (графіть - аустеніт), а частина - у формі ледебуриту (цементит - аустеніт). При подальшому уповільненні швидкості твердіння чавун стає сірим. Графіт виділяється в змішаній формі - у вигляді пластинчатого графіту і графіту евтектичного.

При ще більшому уповільненні кристалізації графіт виділяється у формі завихрених пластинок, нарешті, у вигляді прямих пластинок на феритовому полі. При подальшому уповільненні швидкості охолодження розмір прямих пластинок стає все більше.

Швидкість твердіння зовнішнього тонкого шару відливання у декілька разів більше, ніж центральних шарів, тому будова чавуну в поперечному перерізі стає різною; наприклад, зовнішній шар може стати вибіленим, а середні і центральні шари з м'якого сірого чавуну.

У масивному відливанні часто є присутнім графіт усіх різноманітних форм, описаних вище. Така картина спостерігається і в подовжньому перерізі клинної проби. Будова чавуну перед заливкою ливарної форми визначається на підставі зламу пробного клину (відношення до основи 4: 1 або 5:1).

Вплив хімічного складу на ливарні властивості чавуну Різні хімічні елементи і їх з'єднання можуть чинити дію на графітизацію і на будову металеві маси. Вуглець і кремній - графітизуючі елементи.

Для більшості відливань застосовують чавуни з вмістом вуглецю від 2,7 до 3,6 %. Чим більше вміст вуглецю, тим більше рідкотекучість чавуну і нижче температура плавлення. Зі збільшенням загального вмісту вуглецю

знижується механічна міцність чавуну, оскільки при цьому збільшується кількість графіту, що знижує міцність металевої фази.

Вміст кремнію зазвичай складає не більше 2,5 %. Марганець і сірка - це елементи, що гальмують графітизацію. Збільшення вмісту марганцю сприяє підвищенню твердості чавуну і погіршенню оброблюваності. При підвищенні вмісту сірки збільшується усадка чавуну, знижується його рідкотекучість, підвищується крихкість.

Вміст сірки зазвичай знаходиться в межах 0,1-0,12 %. Фосфор, подібно до сірки, зменшує розчинність вуглецю в рідкому чавуні. Підвищення вмісту фосфору збільшує рідкотекучість чавуну, але при цьому зростає крихкість металу.

Вміст фосфору не перевищує 0,25 %, але у відливаннях для художественноголитья і в тонкостінних відливаннях для предметів народного споживання з метою підвищення рідкотекучості вміст фосфору збільшують до 1,0–1,5 %.

Окрім вуглецю, про вплив якого говорилося, як про вплив одного з найсильніших графітизаторів, слід вказати на кремній, який поводить себе як елемент, сприяючий графітизації при певних межах вмісту. При концентрації до 2,5% кремній розчиняється в рідкому залізі, самостійної фази не утворює і діє як графітизатор.

Кремній зрушує евтектичну і евтектоїдну точки вліво. При вмісті в чавуні більше 2,5% кремній утворює карбідну фазу. При подальшому збільшенні концентрації кремній діє як антиграфітизатор, сприяючий вибілюванню чавуну.

При вмісті у кількості 18% кремній із залізом утворює силіцид $FeSi$, який випадає з розчину α -железа у вигляді евтектики $FeSi$, - α - залізо. У звичайному чавуні кремній при вмісті до 2,5% розчиняється в аустеніті і, мабуть, в цементиті, роблячи останній нестійким.

Кремній витісняє вуглець з розчину у вигляді спели (кремній, графітизатором, що являється, сприяє появі графітної спели - центрів

графітизації) і загальний вміст вуглецю зі збільшенням вмісту кремнію зменшується.

Марганець і сірка перешкоджають графітизації і по дії протилежні до вуглецю і кремнію. Марганець сприяє підвищенню вмісту вуглецю в сплаві. Так, наприклад, при 80% Mn в доменному феромарганці міститься близько 7% C. В звичайному чавуні при збільшенні вмісту марганцю на 1 % вміст вуглецю збільшується на 0,2%.

Сірка, навпаки, витісняє вуглець, і при збільшенні вмісту сірки на 0,1% вміст вуглецю зменшується на 0,05%. Збільшення вмісту сірки в чавуні на 0,01 % нейтралізується збільшенням вмісту кремнію на 0,1%. Сірка утворює із залізом і іншими хімічними елементами у край шкідливі сульфід FeS і Al_2O_3 і менш шкідливі сульфід MnS, Cu_2S і т. д.

Сульфід FeS має найменшу температуру плавлення, інші - вищу. Цей сульфід перешкоджає виділенню газів з рідкого чавуну, відливання стають фізично неоднорідними і негерметичними. Сірка значно зменшує зазвичай хорошу рідкотекучість білого і сірого чавуну.

Вплив сірки може бути дещо ослаблено при збільшенні вмісту марганцю. Сульфід FeS переходить в складніший подвійний сульфід $mFeS \cdot nMnS$, що має вищу температуру плавлення. Відношення вмісту марганцю до вмісту сірки в сірому чавуні має бути: Mn : S = 4,0 до 6,0.

Тугоплавкі подвійні сульфід утворюють в чавуні самостійну кристалічну фазу у вигляді кубиків сірого кольору. Марганець при вмісті його до 0,4 % витрачається головним чином на утворення сульфід марганцю і графітизації не перешкоджає, а при подальшому збільшенні вмісту стає антиграфітизатором.

Нормальний вміст марганцю в ковкому чавуні не повинен перевищувати 0,5-0,6%, а в сірому - 1,0%. Поршневі кільця з обичайок для авіаmotorів можуть містити марганцю до 1,5%. У великому чавунному машинному литві вміст марганцю більше 1,2% викликає схильність до утворення тріщин.

Марганець при вмісті його до 1 % в сірому чавуні є корисною домішкою, оскільки він частково паралізує шкідливу дію сірки і, крім того, подрібнює графіт і перліт.

Фосфор знижує температуру твердіння чавуну. Фосфор в масивних відливаннях схильний до утворення зональної ліквіації. Нікель і мідь сприяють графітизації чавуну (приблизно в два рази слабкіше, ніж кремній).

Магній відомий як елемент, сприяючий, подібно до церію, отримання високоміцного чавуну з кулястою формою графіту; магній впливає на чавун, як антиграфітизатор; у дуже малих кількостях сприяє виділенню вуглецю у формі графіту.

Кальцій у вигляді сплаву з кремнієм застосовується як відмінний модифікатор; сприяє графітизації чавуну при твердінні.

Літій додається в чавун для підвищення щільності відливань і для усунення шкідливого впливу газової пористості. Цей елемент, подібно до ванадію, відноситься до дегазуючих домішок.

Переважаюча кількість відливань з сірого чавуну виготовляє в піщаних формах, як правило, без застосування прибутків. Відливання типу тіл обертання (труби, гільзи, втулки та ін.) виготовляють відцентровим литвом. Відливання з високоміцного чавуну переважно виготовляють в піщаних формах, литвом в кокіль і відцентровим литвом.

Оскільки цей сплав має велику усадку необхідно створювати умови для спрямованого твердіння відливань і застосування прибутків, які дозволяють попереджати утворення усадкових раковин і пористості в масивних частинах.

Однією з особливостей отримання відливань з ковкого чавуну є те, що початковий розплав - білий чавун - має знижену рідкотекучість. Усадка білого чавуну значно більше, чим сірого, тому у відливаннях утворюється більше усадкових раковин, пористості і тріщин. Крім того, процес виготовлення відливань з ковкого чавуну тривалий і енергоємний, тому тільки 5 % чавунних відливань роблять з цього чавуну. У багатьох випадках отримання виробів з високоміцних чавунів є економічнішим.

3.2.2 Кристалізація чавуну з модифікаторами

Сірий чавун має ряд принципових особливостей. Частки (атоми) рідкого чавуну, що твердіє, сегрегація розділяються, що говорить про зміну енергії зв'язку між атомами заліза і вуглецю у момент твердіння. У атомів вуглецю зростає доля ковалентних зв'язків в ковалентно-металевому зв'язку з атомами заліза.

Ковалентні зв'язки сильніші і здатні міцно утримувати атоми. Ця обставина стає визначальною і призводить до того, що найбільшу стійкість атоми вуглецю отримують у разі, коли вони об'єднуються і утворюють агрегатні комплекси. У звичайних умовах кристалізації графітні комплекси розташовуються між гілками аустенітного дендриту.

В цілях вивчення можливості впливу на характер зародження і росту графітної фази виконаний аналіз діаграм стабільної рівноваги Fe - C - Si сплавів.

Ізотермічні розрізи відповідають температурному інтервалу модифікування і твердіння сірого чавуну. На розрізах є області однофазних станів: рідкого розчину (Ж) вуглецю і кремнію в залозі, твердого розчину вуглецю і кремнію в $\alpha(\delta)$ - Fe і твердого розчину вуглецю і кремнію в γ - Fe; двофазні області: $\alpha+\text{ж}$, $\gamma+\text{Же}$ і $\alpha+\gamma$ і трифазна область перитектичної рівноваги $\alpha+\gamma+\text{Ж}$.

Технологія модифікування передбачала витримку рідкого розчину (Ж) сірого чавуну в ковші перед введенням добавки. Тому можна припустити, що його стан близький до рівноважного. Частки дисперсного сумішевого модифікатора кремнію добре, а вуглецю задовільно змочуються рідким чавуном [27-29].

З можливих варіантів введення вибрана технологія, здатна забезпечити рівномірний розподіл добавки за усім обсягом. Дисперсні частки добавки починають розчинятися і цим створюють локальні неравновесия. Оскільки за модифікуванням йде заливка ливарних форм, то на локальні концентраційні

неравновесія накладаються додатково термодинамічні неравновесія, викликані зниженням температури.

З пониженням температури відбуваються зміщення меж двофазних областей $\alpha+\text{Же}$ і $\gamma+\text{ж}$, а також трифазній області перитектичної рівноваги $\alpha+\gamma+\text{ж}$. Рідкий розчин (Ж) сірого чавуну стає за усім обсягом, що твердіє, двофазною областю $\gamma+\text{ж}$. Стан цієї області зазнаватиме додаткові зміни під впливом часток Si, що розчиняються. У області кожної частки кремнію виникає надлишок атомів кремнію, що переходять в рідину (Ж), і відбувається відповідно ріст щільності валентних електронів, які прагнуть стати колективізованими.

Ці два чинники здатні змінити гранецентровану упаковку атомів заліза на менш щільну об'ємно центровану, яка слабо розчиняє і підтримує дифузію атомів вуглецю. Короткочасний надлишок валентних електронів, створений частками кремнію, допомагає атомам вуглецю перейти у вільний необурений стан, погасити дефіцит парціальної енергії і відновити свою активність.

У спокійному стані атомам вуглецю легше посилювати ковалентні зв'язки. Звідси безпосередньо витікає, що частки кремнію створюють навколо себе перитектичну трифазну область, а вуглець, ставши надмірним компонентом, дістає можливість покинути ті, що стали нестійкими, місця в ґратах $\gamma\text{-Fe}$, які він займав раніше при стійкому стані металевого розчину.

Для вуглецю характерним є високий рівень ковалентних зв'язків. Це призводить до того, що вуглецеві частки модифікатора починають розшаровуватися на лусочки, в площині яких діє ковалентний зв'язок. Дисперсні лусочки графітної добавки мають усі властивості графітної фази в γ -растворі. Тому вони здатні виконувати роль зародкових центрів і контролювати приєднання атомів вуглецю, які витісняються кремнієм.

Оскільки поверхня лусочок графіту стабілізована металевим зв'язком, те виборче витіснення кремнієм атомів вуглецю з $\gamma\text{-Fe}$ збільшує вірогідність утворення фрактальних зародкових центрів графіту і вони можуть виникнути під час модифікування рідкого сірого чавуну.

Експерименти по загартуванню з рідкого стану немодифікованого і модифікованого чавунів підтвердили зроблені вище передумови. Технологія передбачала використання суміші дисперсних порошків кремнію марки КР0 і графіту малозольного в співвідношенні 1:1. Для максимального розчинення внесених з шихтою включень графіту перед загартуванням проводилася термовременная обробка розплаву при 1500°C впродовж 30 хвилин.

Спеціально розроблені зразки гартували у воді із швидкістю 110 - 130°C в секунду з метою фіксації зародків графіту в рідкому стані після модифікування. Немодифіковані зразки застигли з усадковими раковинами. У модифікованих зразках вони відсутні. Це свідчить про те, що процес графітизації, що почався, активно йшов навіть при загартуванні.

Металографічному аналізу піддавався центр теплових вузлів зразків, метал в яких перед загартуванням залишався рідким. У немодифікованому зразку виявлена невелика кількість недорастворившихся включень графіту, що вносяться шихтою. Добре були видимі різні неметалічні включення.

У структурі загартованого чавуну переважали великі конгломерати фаз білого чавуну. У модифікованому зразку виявлена велика кількість включень графіту за формою близької до кулястої.

Загартування рідкого чавуну протікало так швидко, що графітні включення виявилися такими, що "вморожують" в металеву матрицю і істотно подрібнили фази білого чавуну.

Для глибшого вивчення включень був виконаний рентгеноспектральний аналіз модифікованого зразка на аналізаторі Camebax SX - 50. Аналізу піддавали поліровану нетруєну поверхню шліфа.

Для вивчення вибрані найбільш характерні частки, Також виконаний і нормалізований хімічний аналіз усіх виділених елементів системи. Встановлена присутність включень сульфїду марганцю, складного карбїду $(Cr, Fe)_7C_3$, включень графіту, часток графітного і кремнієвого модифікатора, що не розчинилися.

Для вуглецю можна говорити про частковий, а для кремнію про практично повне засвоєння модифікатора. Графіт, що виділився на момент загартування, представлений хаотично орієнтованими перерізами пластинок з характерним малим числом відгалужень. Характер агрегації пластинок графіту показує, що їх кількість на одиницю об'єму досягла рівня освіти в рідині просторової структурної графітної сітки.

Відомі багато вуглецевмісних матеріалів. Загальний їх недолік у великій кількості золи. Найбільш чистими від домішок є вуглецеві матеріали тих графітових виробів, які працюють в екстремальних умовах.

Такий графіт отримують з коксо-пекових композицій високотемпературною обробкою при 3000-3500°C з подальшою додатковою механоактивацією. Такий графіт вибраний в якості вуглецевого компонента сумішевого модифікатора. За своїми фізико-хімічними властивостями він максимально близький до графіту чавуну. В якості кремнійвмісного матеріалу найбільший інтерес представили дисперсні порошки, що отримуються фізико-хімічним шляхом при прямому синтезі органогалогенсиланів.

Вміст кремнію в них складає 70-75%. Присутність в порошках невеликих кількостей Са, Al, Си наближає їх склад до ФС75. Недоліком порошку є необхідність доопрацювання, що полягає в нейтралізації залишкових галогенів, сушці і прожаренні.

Ефективність модифікування прямо залежить від гранулометричного складу добавок. Існують багато способів визначення розміру часток порошоків, які є нетиповими для ливарного виробництва, дорогими і вимагаючими спеціальної підготовки персоналу для роботи з ними.

Тому розроблена спеціальна проста методика визначення гранулометричного складу порошоків модифікаторів для лабораторій ливарних цехів із застосуванням правилом академіка Колмогорова.

Середній розмір часток графіту склав 12,80 мкм, а кремнію - 16,91 мкм. Ці результати виявилися порівнянними з розмірами визначеними на

лазерному дифракційному мікроаналізаторі Analysette 22 COMFORT фірми FRITSCH, найбільш точному на сьогодні приладі.

Якщо чавун обробити порошками у кількості 0,1-0,2% від маси розплаву, то на 1 см³ розплаву припаде 17,8-35,6·10⁶ дисперсних часток графіту і 4,41-8,82·10⁶ найдрібнішої частки кремнію, що повинне кардинально вплинути на характер кристалізації і усунути відбіл у відливаннях. Далі був уточнений склад модифікатора за наступною методикою.

При виплавки чавуну СЧ30 використовувалися традиційні стандартні матеріали і феросплави. В якості початкових компонентів використовувався активований високотемпературною обробкою графіт з подальшою механоактивацією наступного хімічного складу : вуглець активний - 99,4%, зола - 0,58%, сірка - 0,017%, волога - 0,3% (УСМ).

В якості другого компонента використовувався дисперсний кремній, отриманий фізико-хімічним шляхом, наступного хімічного складу, %: Si - 76,2; Al - 1,2; C - 3,4; Ca - 1,5; Cu - 1,5; Fe - решта (КСМ). Виходячи з хімічного складу, модифікатор є комплексним або скорочено МК. Співвідношення масових частин УСМ і КСМ означали цифрами. Перша цифра означає масову долю УСМ, а друга - КСМ.

Уточнення складу модифікатора полягала в стійкому отриманні структури сірого чавуну марки СЧ30 з рівномірно розподіленим графітом, забезпеченні відсутності отбела і механічних властивостей при мінімальних добавках матеріалу.

Чавун піддавався модифікуванню дозами модифікатора, що збільшуються, від 0,1 до 0,2 % від маси рідкого розплаву. Навішування модифікаторів вводилися в струмінь розплаву при наповненні тигля на 1/3 об'єми. Температура модифікування складала 1420°C. Найбільш ефективним виявився модифікатор МК21.

Вже при введенні його у кількості 0,1% від маси оброблюваного розплаву отбел знизився на 70%, а мікроструктура і механічні властивості

чавуну задовольняли вимогам для марки СЧ30. Оптимальною кількістю присадки виявилось 0,15%, при якому була досягнута мінімальна величина отбела. Порошки кремнію, вуглецю і інші їх поєднання виявилися менш ефективними для СЧ30. Тому усі подальші експерименти проводили з модифікатором МК21.

На другому етапі було проведено порівняння модифікатора МК21 з найчастіше вживаними, традиційними модифікаторами сірого чавуну : ФС75 і ФС65Ба4. Чавун піддавався модифікуванню дозами модифікаторів, що збільшуються, від 0,1 до 0,2 % від маси рідкого розплаву [28,29].

Результати показали, що модифікатор МК21наиболее ефективний. ФС65Ба4 наближається за своїми показниками до МК21, а ФС75 показав найменш стабільний результат. Результати експериментів за визначенням живучості показали, що і тут найбільш ефективний модифікатор МК21. Живучість ФС75 складає 11 хвилин, ФС65Ба4 - 25 хвилин, а МК21 - 35 хвилин.

Експериментально встановлено, що модифікатори ФС75 і ФС65Ба4 ефективно працюють при температурах 1360-1400°C, потім ефективність модифікування починає знижуватися. В той же час модифікатор МК21 ефективніше усуває відбіл при температурах 1400-1440°C, що дуже важливо для чавуну марки СЧ 30, для отримання якої потрібно істотно перегрівання.

Таким чином, експерименти показали ефективність і доцільність використання модифікатора МК21 при виробництві відливаних з сірого чавуну марки СЧ 30.

Ефективність розробленого модифікатора підтвердилася і промисловими випробуваннями. Були проведені досвідчені плавки сірого чавуну СЧ30 в печі електродуги. Модифікатор МК21 вводили на дно роздавального ковша місткістю вісім тонн, після чого робили випуск розплаву з печі.

Температура розливання металу з роздавального ковша коливалася від 1440 до 1470°C. Температура заливки форм складала 1350-1390°C. При

введенні в ківш 0,3% МК21 досягалися стабільність і висока ефективність модифікування, при яких забезпечувалися механічні властивості і відсутність відбілу у відливаннях.

Ефект модифікування розплаву МК21 в усіх випадках зберігався до кінця розливання, яке тривало впродовж 35 - 45 хвилин, що підтвердило високу живучість модифікатора [30,31]. В той же час, оптимальна витрата модифікатора значно перевищила лабораторні значення, що пов'язано з великою кількістю шлаку, який зв'язував модифікатор під час заповнення ковша.

Для зменшення витрати МК21 випробували ефективність модифікування в розливному ковші. Результати експериментів показали, що при модифікуванні чавуну в розливному ковші, де відсутній шлак, досить 0,04-0,08% МК21 для забезпечення оптимальної схильності до отбелу, що істотно нижче, ніж в роздавальному ковші і в лабораторних умовах.

3.3 Основи індукційної плавки чавуну

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.

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.

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 витісняти 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.

Головна перевага індукційної плавки чавуну перед вагранковий 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 металевий завалювання, відходів тонколистового заліза, що знижує витрату чушкового чавуну і брухту. Можливе використання і компактних відходів металу великої ваги і великих

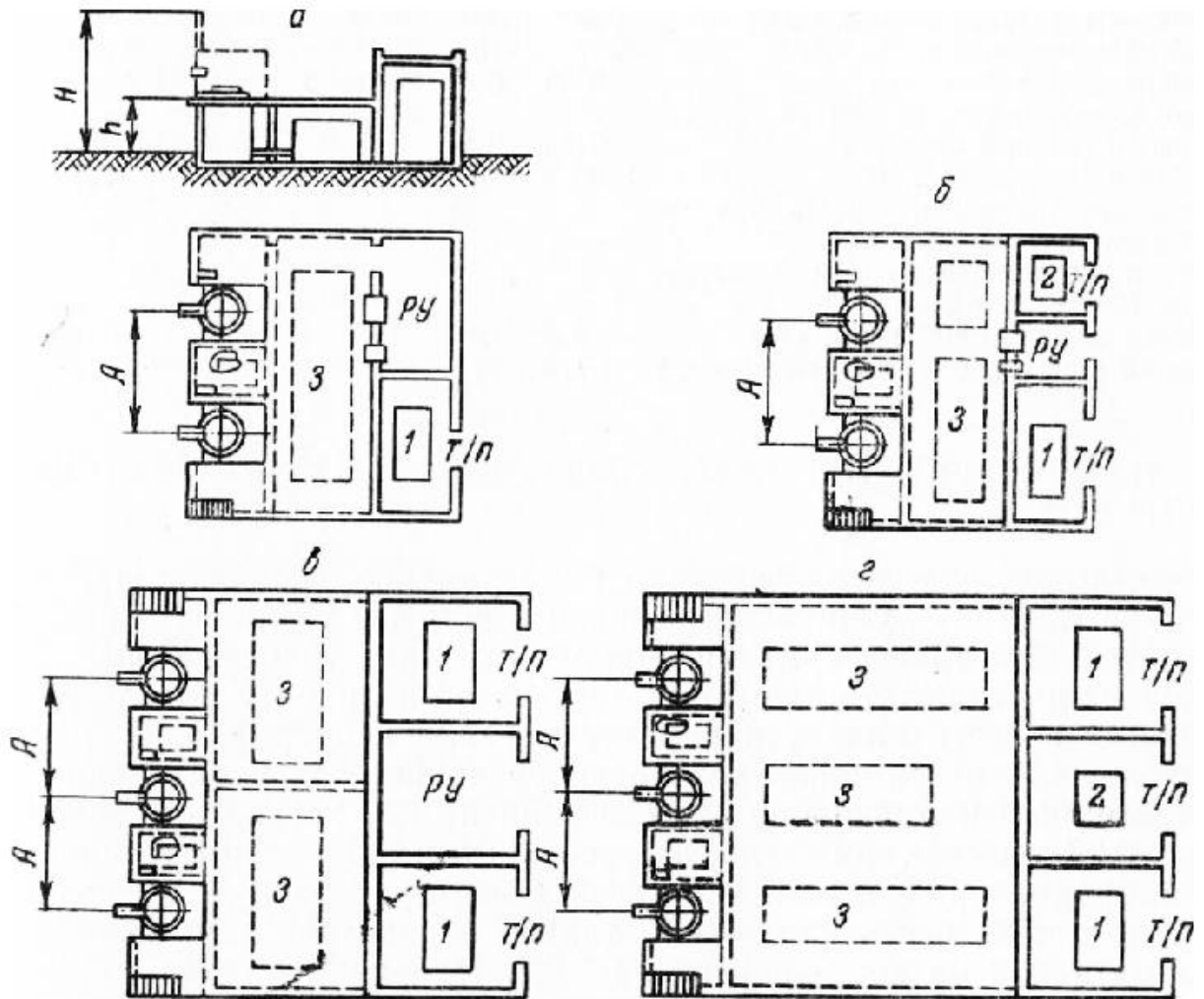
розмірів, істотно обмеженого при плавці в вагранке. При плавці знижується угар Si і Mn, здешевлюють шихтові матеріали, загальний угар знаходиться в межах 2-06%, скорочується штат обслуговуючого персоналу і на 30% - потреба в кубатурі приміщення за рахунок висоти будівлі.

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 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 дугтя, 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 3.4 - 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. 3.4 а показана установка з двох тиглів і одного основного трансформатора, де один тигель є резервним; на рис. 3.4 в - установка з трьох тиглів і двох основних трансформаторів, два тигля працюють одночасно, а один резервний; на рис. 3.4 б - установка, яка має два тигля і один допоміжний трансформатор. Додатковий трансформатор дозволяє перемикає 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. 4.1 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 жиродержащих 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%.

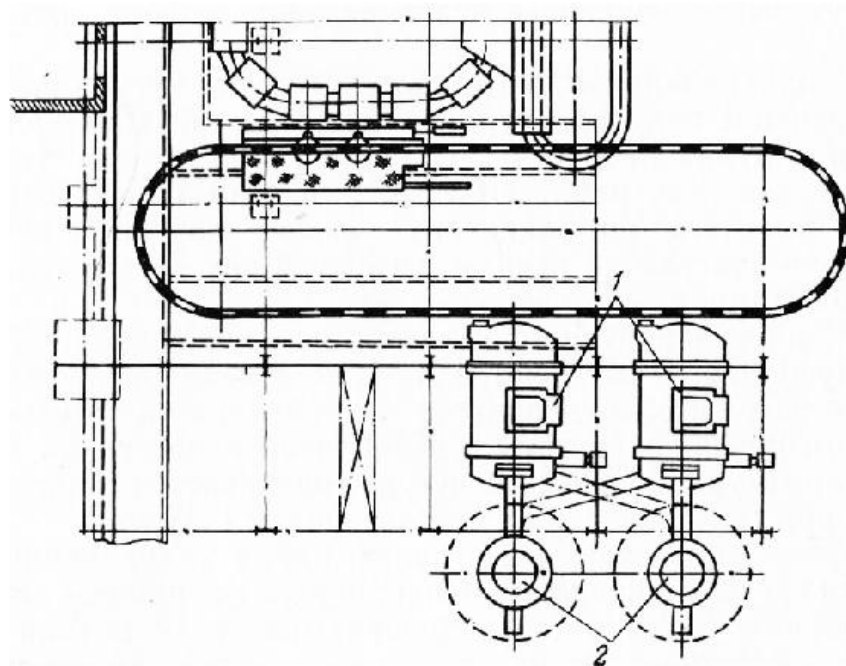
Виплавка металу в чавуноливарних цехах може здійснюватися різними плавильними агрегатами або їх поєднанням, проте в більшості випадків питання стоїть про вибір між Вагранка, індукційної та електродугової піччю. Від вибору плавильного агрегату багато в чому залежать техніко-економічні показники роботи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

У промислово розвинених країнах, крім індукційних печей, для плавки чавунів широко застосовується дуплекс-процес вагранка + індукційна 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-тонної 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 підгрівом дуття до 750°C 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 $1530-1550^{\circ}\text{C}$. 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-тонною каналною.



1 - індукційні каналні печі; 2 - металургійні вагранки

Рисунок 3.5 - Типова схема організації дуплекс-процесу металургійна вагранка + індукційна канална піч

Типова схема організації дуплекс-процесу металургійна вагранка + канална піч представлена на рис. 3.5. 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.

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 08 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.

3.4 Поверхнева модифікація сірого чавуну

Дослідження процесу модифікації поверхні і поверхневого шару зразків з чавунів СЧ21 (НВ 170) і ВЧ75-5003 (НВ 230) проводили за допомогою оптоволоконного іттербиевого квазібезперервного лазера ЛКД4-015.150 з імпульсною модуляцією в режимі безперервної дії.

Частота дотримання імпульсів складала 25 кГц, при тривалості імпульсу 20 мкс. Потужність змінювали в межах від 30 до 240 Вт, при діаметрі променя 1 мм, а швидкість переміщення променя від 2 до 14 мм/с.

Обробку лазером проводили шляхом формування поодинокого термічного сліду на усій поверхні зразка і шляхом утворення декількох паралельних слідів обробки на деяких відстанях один від одного.

Досліджувався вплив потужності випромінювання E і швидкості обробки V на глибину h і ширину b сформованого термічного сліду на поверхні зразка, його мікроструктуру і мікротвердість поверхневого шару. Величина E змінювалася в межах від $4,5 \cdot 10^3$ Вт/см² до $2,5 \cdot 10^4$ Вт/см², а швидкість обробки V від 2 до 14 мм/с.

Після лазерної обробки, зразок розрізав перпендикулярно термічному сліду, відрізнена поверхня зразка шліфувалася на мінімальних режимах для виключення повторного термічного впливу на структуру, після чого на ній виготовлявся мікрошліф.

Мікротвердість вимірювалася мікротвердомером Shimadzu HNV - 2. Структура зразків на мікрошліфі вивчалася на мікроскопі Zeiss AXIO Observer.D1m, а також на електронному скануючому мікроскопі Zeiss LEO1455VP.

Режим лазерного загартування без оплавлення повинен забезпечувати в зоні термічного впливу (ЗТВ) формування зміцненого шару за рахунок структурно-фазових змін і не допустити на поверхні зразка локально оплавлених ділянок. Для цього слід було визначити технологічні умови лазерної обробки, коли режим загартування без оплавлення переходить в режим загартування з оплавленням.

Підвищення щільності теплового потоку призводить до збільшення розмірів зони термічного впливу (ЗТВ), причому досягши $E > 9 \cdot 10^3$ Вт/см² і $V < 10$ мм/с створюються умови до появи зони розплаву поверхневого шару.

Значиму роль у формуванні зони розплаву виконує швидкість переміщення лазерного променя. Виявилось, що для створення однакової глибини h і ширини b зони термічного впливу на зразках з чавуну потрібно на 35.40% велику щільність потужності теплового потоку.

Це обумовлено мабуть кращими теплофізичними характеристиками чавуну перед сталлю. Згідно [32] коефіцієнт теплопровідності чавуну складає 54 Вт/м·град, що більше ніж у сталі (42 Вт/м·град). Ця обставина призводить до відносно швидкого перерозподілу тепла углиб зразка і відповідно до меншого термічного ушкодження поверхневого шару і зразків з чавуну.

Цілком логічним виявилось, що збільшення швидкості, скорочуючи час дії джерела тепла на оброблювану поверхню, сприяє зменшенню досліджуваних значень h і b . В цілому, залежність глибини h і ширини b проплавлення і ЗТВ від щільності потужності випромінювання і швидкості обробки з погрішністю до 20% описуються лінійними залежностями.

В процесі металографічного дослідження оцінювалася зміна мікротвердості по довжині зразка і можливість формування зміцненого шару на усій її поверхні. Для зразків з ділянками, що перекриваються, вимір робився паралельно поверхні зразка на глибині поверхневого шару рівної 50 мкм. Виявилось, що для ділянок з перекриттям ЗТВ мікротвердість в зоні перекриття перевищує мікротвердість основної структури. Перепад мікротвердості між двома зонами термічного впливу знаходиться в межах 15-20.

Дискретний характер розташування на оброблених поверхнях зразків зон термічного впливу, не виключає їх модифікації з відносно рівномірними фізико-механичними властивостями. Незважаючи на певну (до 20%) погрішність виміру досліджуваних показників, отримані емпіричні залежності глибини і ширини зони термічного впливу, дозволяють призначати режими лазерного опромінення для застосування в практичній роботі.

При лазерно-плазмовій модифікації поверхні металів дотримання, що повторюються з високою частотою, лазерні імпульси, сфокусовані на поверхні металу, що переміщається, запалюють плазму оптичного пульсуючого розряду (ОПР) в потоці робочого легуючого га за (наприклад, азоту при нітридізації).

Залежно від частоти дотримання лазерних імпульсів, розміру плями опромінення і відносної швидкості переміщення променя і деталі цикл обробки може включати десятки - сотні дій лазерної плазми на кожному ділянці поверхні.

Як правило, тривалість циклу обробки в умовах інтенсивної дії променя і лазерної плазми (десятки МВт/см²) обмежена розплавленням поверхневого шару, що перевищує допуски на шорсткість обробленої поверхні.

В той же час для досягнення більшої рівномірності і поліпшення технологічних характеристик виробу (наприклад, твердості і глибини зони лазерно-плазмової модифікації) замість одного циклу обробки можливе проведення декількох циклів, що повторюються, з більшою швидкістю і з меншим вкладом енергії.

Відмітимо, що періодична (20.100 кГц) дія лазерної плазми на поверхню металу в легуючій атмосфері одночасно формує:

- високотверде наноструктуроване твердофазне покриття (нітрид, карбіди та ін.);
- хвилю дифузії, утворення легованого шару або твердого розчину (наприклад, твердий розчин азоту в титані);
- теплову хвилю і структурно-фазові (наприклад, мартенситні) перетворення;
- гіперінтенсивний (амплітуда до 10...15 МПа) ультразвук, сприяючий ущільненню мікроструктури в гарячій зоні.

Найбільш детальне дослідження можливостей методу проведене для лазерно-плазмової модифікації поверхні антифрикційного чавуну на перлітовій основі (з метою визначення перспектив застосування ЛПМ для зміцнення гільз циліндрів двигунів внутрішнього згорання) на зразках, вирізаних з циліндрових втулок двигунів внутрішнього згорання [33-37].

Для усіх досліджених зразків спостерігалася модифікація поверхні з утворенням двох шарів. Верхній наноструктурований шар завтовшки сотні

нанометрів придбаває мікротвердість в діапазоні 12 - 15 ГПа за рахунок насичення азотом і завдяки утворенню тонкої мікроструктури. До верхнього наноструктурованого шару примикає шар, що має ділянки із структурою ледебуриту (загартування з рідкого стану) і мартенсіту (загартування з твердого стану).

Причому фазові перетворення з плавленням металу починаються внаслідок концентраційної неоднорідності розподілу вуглецю по фазах сплаву закономірно навколо графітових включень. У цьому шарі (між поверхневим нан шаром і основою металу) відбуваються структурні перетворення, характерні для лазерного загартування, які призводять до збільшення мікротвердості до рівня 8.10 ГПа (у 3-4 рази твердіше за основу) на товщині в десятки-сотні мікрометрів.

Порівняння питомої продуктивності лазерно-плазмової обробки чавуну СЧ25 з традиційним лазерним загартуванням безперервним випромінюванням показало, що продуктивність лазерно-плазмової обробки в 7-10 разів вища, ніж у традиційного лазерного загартування [38-39].

Це пояснюється 4-5-кратним перевищенням ефективності енергообміну між лазерною плазмою і металом над прямим поглинанням лазерного випромінювання і дією гіперінтенсивного ультразвуку.

Оцінка триботехнічних властивостей робилася при випробуванні зразків на машині тертя МИ-1 після попереднього взаємного притирання поверхонь диска (загартована сталь 40) і колодки (зразок, вирізаний з циліндрової втулки двигуна).

Питоме навантаження в умовах рідинного тертя при мастиллі олією М-14В2 ГОСТ 12337-84 складала 1250 МПа. Оброблені лазером зразки зношувалися в прийнятих умовах випробувань зі швидкістю, в 20 разів меншої в порівнянні зі швидкістю зношування початкових (без ЛПМ модифікації) зразків. При цьому на третину зменшився коефіцієнт тертя.

Графітові пластини оточені шарами металу із структурою, отриманою загартуванням з рідкого (ледебурит) і твердого (двійниковий мартенсіт)

стану. Ці тверді ділянки сприймають зусилля, що виникає в парі тертя, забезпечуючи зносостійкість чавуну. Крім того, вони перешкоджають затиранню графітових часток, зберігаючи маслоутримуючий рельєф поверхні і забезпечуючи тим самим низький коефіцієнт тертя.

При оцінці впливу утворення рідкої фази при термічній обробці на властивості сплавів авторами роботи [40] був зроблений висновок про те, що структура, отримана загартуванням з рідкого стану, в деталях машин небажана, оскільки усадкова напруга у поєднанні із структурною напругою, отриманою при загартуванні, сприяє виникненню мікротріщин.

Для перевірки впливу твердих фаз, отриманих при лазерно-плазмовій обробці чавуну, на властивості міцності проведені випробування на статичний вигин σ_i і ударну в'язкість λ_n . Отримані результати не показують помітного зниження міцності на вигин і ударної в'язкості сірого чавуну після ЛПМ.

ВИСНОВКИ

1. Проведено всебічний аналіз структури та властивостей чавуну. Встановлено вплив окремих елементів на фізичні, міцнісні та ливарні властивості чавуну та його фазовий склад.

2. Запропоновано метод зменшення вмісту графіту в передільному чавуні. Визначені температурні межі та масову витрату сталі для разбавлення передільного чавуну з метою зменшення вмісту графіту.

3. Показано вплив температурних – часових параметрів та хімічного складу модифікаторів на процеси відбілу чавуну, підвищення механічних характеристик чавуну та часу збереження модифікуючого впливу.

4. Запропоновано варіант модифікатора, який забезпечує довжину модифікуючого ефекту протягом 15 хвилин та отримання графіту у вермекулярному вигляді.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Воронова Н.А. Вдувание в чугуна порошкового магния в струе различных газов / Н.А. Воронова, П.И. Стовпченко, К.В. Шадрин, Ю.А. Лымарь // Интенсификация металлургических процессов вдуванием порошкообразных материалов: тр. респ. науч. конф., 15 – 17 декабря 1970 г. – М.: Металлургия, 1972. – С. 66–72.
2. Воронова Н.А. Разработка и исследование технологического процесса внепечной обработки чугуна магнием, вводимым в металл в струе природного газа / Н.А. Воронова, Б.В. Двоскин, Д.В. Гулыга [и др.] // Сталь. – 1985. – № 2. – С. 13–15.
6. Nakanishi K. Десульфурация при вдувании магния в чугуна / К. Nakanishi, A. Ejima, T. Suzuki, F. Sudo // Тэцу то хаганэ, Tetsu-to-Hagane, Journal of Iron and Steel Institute Japan. – 1978. – V. 64. – № 9. – P. 1323–1332.
7. Зборщик А.М. Влияние скорости диссипации энергии на кинетику реакции десульфурации чугуна магнием / А.М. Зборщик // Металлы. – 1999. – № 4. – С. 19–20.
9. Sun H. Thermodynamic and Kinetic Analysis of Nitrogenization in Desulfurization of Hot Metal by Magnesium Injection / H. Sun, Y.-C. Liu, M.-J. Lu // Iron and Steel Institute Japan International. – 2009. – V. 49. – № 6. – P. 771–776.
11. Зборщик А.М. Доменный чугуна с шаровидным графитом для крупных отливок / А.М. Зборщик, В.А. Курганов, Ю.Б. Бычков [и др.] – М.: Машиностроение, 1995. – 128 с.
12. Зборщик А.М. О десульфурации чугуна инжектированием магния в струе природного газа / А.М. Зборщик, Н.Т. Лифенко // Известия АН СССР. Металлы. – 1990. – № 1. – С. 21–25.
17. Зборщик А.М. Эффективность современных технологий внедоменной десульфурации чугуна / А.М. Зборщик, С.В. Куберский, К.Е.

Писмарев [и др.] // Известия вузов. Черная металлургия. – 2009. – № 11. – С. 10–12.

18. Зборщик А.М. Эффективность использования флюидизированной извести для десульфурации чугуна в 300-т заливочных ковшах / А.М. Зборщик, С.В. Куберский, Г.Я. Довгалоук, К.Е. Винник // Сталь. – 2011. – № 9. – С. 16–19.

19. Зборщик А.М. Эффективность использования реагентов в современных процессах внедоменной десульфурации чугуна / А.М. Зборщик, С.В. Куберский, Н.В. Косолап // Черная металлургия. Бюл. ин-та «Черметинформация». – 2011. – № 12. – С. 35–41.

20. Голублев Г.М. Получение высокопрочного чугуна со сфероидальным графитом путем модифицирования магнием в копильнике вагранки, ВПТИ, М., 1955 г.

21. Степин П.И. Технология производства высокопрочного чугуна. Заочные курсы усовершенствования ИТР по металлургии чугунолитейного производства, М. 1956 г.

22. Рябухов С.И. Методы обработки жидкого чугуна магнием, ЦБТИ. Горький, 1959 г.

23. А. с. N 827 556, Способ модифицирования чугуна магнием, С 21 С 1/10, 1981 г.

24. А. с. N 1 062 270, Способ модификации чугуна магниесодержащей лигатурой, С 21 С 1/10, 1992 г.

25. А. с. N 1 726 963, Способ обработки чугуна магниесодержащими лигатурами, С 21 С 1/10, 1992 г.

26. Условия получения в литье структуры чугуна с глобулярным графитом. Министерство автомобильной и тракторной промышленности СССР, НАМИ, ВЫПУСК N 64, МАШГИЗ, 1952 г.

27. Мильман Б.С. Высококачественный чугун модифицированный, ГНТИМЛ, М., 1945 г.

28. Семенов В.И. Фазовые и структурные изменения в чугунах после модифицирования / В.И. Семенов, А.В. Чайкин, В.М. Малихин, Ю.А. Уханов, И.А. Малов, Н.Р. Петров // Литейное производство. – 2006г. – № 10. – С. 7–9.
29. Болдырев Д.А. Новые смесевые модификаторы для инокулирующей обработки чугунов / Д.А. Болдырев, А.В. Чайкин // Литейщик России. – 2007 – №3. – С. 32-36.
30. Болдырев Д.А. Особенности графитизирующего модифицирования серого чугуна смесевыми модификаторами / Д.А. Болдырев, А.В. Чайкин // Литейное производство. – 2007. – №10. – С. 40-43.
31. Чайкин А.В. Анализ эффективности модификаторов с помощью статистики и моделирования / А.В. Чайкин., И.Н. Вольнов, В.А. Чайкин, Ю.А. Уханов, Н.Р. Петров // Литейщик России. – 2008. – №10. – С. 20-25.
32. Григорьянц А.Г. Технические процессы лазерной обработки / А.Г. Григорьянц, И.Н. Щиганов, А.И. Мисюров – МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2006. 664 с.
33. Попов В. Лазерное упрочнение сталей: сравнение волоконных и СО₂-лазеров / В. Попов. «Фотоника» №4. 2009. С. 18-21
34. Рютеринг М. Сравнительный анализ лазерной техники / М. Рютеринг. «Фотоника» №3. 2011. С. 26-32
35. Физические величины. Справочник. А.П. Бабичев, Н.А. Бабушкина, А.М. Братковский и др.; Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 1232 с.
36. Bagayev S.N. A new method of laser-plasma synthesis of nanomaterials. First results and prospects / S.N. Bagayev, G.N. Grachev, A.G. Ponomarenko, A.L. Smirnov, V.N. Demin, A.V. Okotrub, A.M. Baklanov, A.A. Onischuk // Proceedings of SPIE. – Volume 6732. International Conference on Lasers, Applications, and Technologies 2007: Laser-assisted Micro- and Nanotechnologies. 673201 (Jul. 25, 2007). – P. 62–71.

37. Стаценко П.А. Исследование пространственных характеристик излучения мощной СО₂-лазерной системы генератор-усилитель / П.А. Стаценко, Г.Н. Грачёв, А.Л. Смирнов, А.А. Мякушина // Сб. докл. 22-й межд. конф. «Лазеры. Измерения. Информация – 2012». – Санкт–Петербург. – 2012. – Т. 2. – С. 168–176.

38. Макагон Л.Д. Исследование формирования структуры рабочей поверхности цилиндрических втулок судовых дизелей при лазерной обработке / Л.Д. Макагон, А.О. Токарев, Г.Н. Грачев, А.Л. Смирнов // Научные проблемы транспорта Сибири и дальнего Востока. – 2006. – №1. – С. 194–198.

39. Токарев А.О. Улучшение триботехнических характеристик серого чугуна лазерной обработкой / А.О. Токарев, И.С. Иванчик, С.Н. Иванчик, Л.Д. Макагон, А.М. Гурин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего востока. – 2012. – № 1. – С. 287–291.

40. Тюрин А.Г. Влияние поверхностного упрочнения на показатели циклической трещиностойкости / А.Г. Тюрин, Н.В. Плотникова, В.Г. Буров, С.В. Веселов, Е.Д. Головин // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2008. – №1 (38). – С. 25–27.