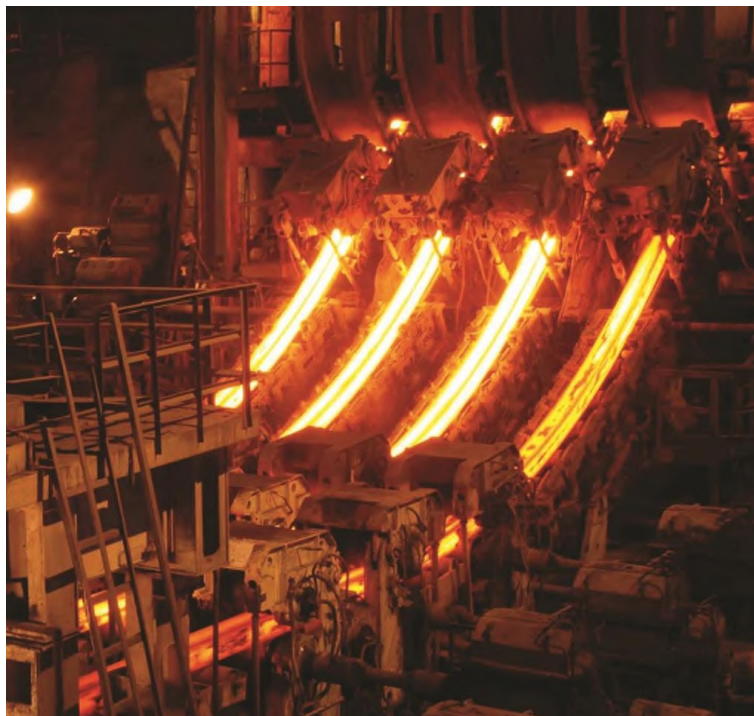


Міністерство освіти і науки України
Інженерний навчально-науковий інститут
Запорізького національного університету

О. С. Воденнікова

РОЗЛИВКА СТАЛІ ТА СПЕЦІАЛЬНІ МОДИФІКАТОРИ, ЛІГАТУРИ

Конспект лекцій
для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра
спеціальності «Металургія»
освітньо-професійної програми «Металургія»



Затверджено
Вченою радою ЗНУ
Протокол № 10 від 14.05.21р.

Запоріжжя
2021

УДК 669.18:621.746+621.745.4] (075)

В 620

Воденнікова О. С. Розливка сталі та спеціальні модифікатори, лігатури: конспект лекцій для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Металургія» освітньо-професійної програми «Металургія». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2021. 157 с.

У конспекті лекцій розглянуто сучасні уявлення про процеси розливки сталі, формування структури сталевого зливку та безперервної заготовки. Значна увага приділена огляду світових тенденцій розливки сталі, зокрема розглянуто перспективи та проблеми безперервної розливки сталі. Детально розглянуто сучасні МБЛЗ для виробництва різних видів металопродукції та описано методи підвищення продуктивності МБЛЗ. Приведено основні види модифікаторів для виробництва чавунного й сталевого лиття та описано закономірності використання модифікаторів та лігатур для підвищення якості металопродукції. Проаналізовано вплив природи модифікаторів на фізико-механічні властивості сталі. Розглянуто сучасні методи введення модифікаторів у розплави чавуну та сталі.

Для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Металургія» освітньо-професійної програми «Металургія».

Рецензент

В. О. Скачков, доктор технічних наук, професор кафедри металургії

Відповідальний за випуск

О. Г. Кириченко, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри металургії.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
Тема 1. СУЧАСНИЙ СТАН РОЗЛИВКИ СТАЛІ.....	7
1.1 Сучасні способи розливки сталі та сплавів.....	7
1.2 Світові тенденції розливки сталі.....	9
1.3 Сучасний стан, перспективи та проблеми безперервної розливки сталі в Україні.....	11
1.4 Охорона праці та техніка безпеки під час розливки сталі на МБЛЗ.....	13
Тема 2. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ РОЗЛИВКИ СТАЛІ У ВИЛИВНИЦІ.....	15
2.1 Особливості розливки сталі у виливниці.....	15
2.2 Основне та допоміжне обладнання для розливки сталі у виливниці.....	17
Тема 3. ОСНОВНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ КРИСТАЛІЗАЦІЇ СТАЛЕВОГО ЗЛИВКА.....	24
3.1 Основні поняття кристалізації сталі та сплавів.....	24
3.2 Структура зливку спокійної сталі.....	26
3.3 Структура зливку напівспокійної сталі.....	28
3.4 Структура зливку киплячої сталі.....	29
3.5 Методи боротьби з основними дефектами зливку.....	31
Тема 4. ОСНОВНІ ТИПИ МБЛЗ ТА ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ.....	34
4.1 Переваги безперервної розливки сталі.....	34
4.2 Типи МБЛЗ.....	35
4.2.1 МБЛЗ вертикального типу.....	37
4.2.2 МБЛЗ криволінійного та радіального типу.....	38
4.2.3 МБЛЗ горизонтального типу.....	40
4.3 Напівбезперервна розливка сталі.....	41
Тема 5. КОНСТРУКЦІЯ ТА ПРИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ВУЗЛІВ МБЛЗ.....	44
5.1 Система подачі металу в кристалізатор.....	44
5.2 Стенди для сталерозливних ковшів.....	45
5.3 Кристалізатор.....	47
5.4 Металоприймач.....	50
Тема 6. СУЧАСНІ МБЛЗ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА РІЗНИХ ВИДІВ МЕТАЛОПРОДУКЦІЇ.....	53
6.1 МБЛЗ для виробництва сортових заготовок.....	53
6.2 МБЛЗ для виробництва круглої заготовки.....	54
6.3 МБЛЗ для отримання сляба.....	56
6.4 Розливка металу на тонкі сляби та ливарно-прокатні модулі.....	57
Тема 7. ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ БЕЗПЕРЕРВНОЇ РОЗЛИВКИ СТАЛІ.....	62
7.1 Вплив технологічних параметрів розливки і кристалізації сталі на якісні показники безперервнолитої заготовки.....	62

7.2 Особливості підготовка кристалізатора і запуск установки.....	64
7.3 Температурно-швидкісний режим розливки сталі.....	65
Тема 8. СТРУКТУРА, ЯКІСТЬ ТА ДЕФЕКТИ БЕЗПЕРЕРВНОЛИТОГО МЕТАЛУ.....	67
8.1 Структура безперервнолитої заготовки.....	67
8.2 Дефекти безперервно-литого металу.....	70
8.2.1 Дефекти поверхні безперервнолитих заготовок.....	70
8.2.2 Дефекти внутрішньої структури безперервнолитої заготовки.....	76
Тема 9. СУЧАСНІ МЕТОДИ РОЗЛИВКИ СТАЛІ.....	81
9.1 Розливка сталі методом «плавка на плавку».....	81
9.2 Захист металу від вторинного окислення.....	81
9.3 Розливка сталі під тиском та поєднання безперервної розливки з обробкою тиском.....	84
9.4 Поєднання процесу безперервної розливки та прокатки.....	84
9.5 Розливка сталі у вакуумі.....	87
Тема 10. КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ПРИЗНАЧЕННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ МОДИФІКАТОРІВ ТА ЛІГАТУР.....	90
10.1. Загальні уявлення про модифікування.....	90
10.2 Класифікація модифікаторів.....	93
10.3 Типи добавок-модифікаторів та їх ефективність.....	94
10.3.1 Модифікатори 1-го роду.....	94
10.3.2 Модифікатори 2-го роду.....	94
10.3.3 Активовані домішки.....	97
10.3.4 Комплексні модифікатори.....	98
10.3.5 Модифікатори 3-го роду (інокулятори).....	99
Тема 11. МОДИФІКАТОРИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЧАВУННОГО ТА СТАЛЕВОГО ЛИТТЯ.....	101
11.1. Модифікатори чавуну.....	101
11.1.1 Модифікатори сірого чавуну.....	101
11.1.2 Ефективність модифікування чавуну.....	104
11.1.3 Комплексний сфероїдизуючий модифікатор для високоміцного чавуну.....	105
11.1.4 Сфероїдизуюче модифікування для отримання чавуну з шароподібним графітом.....	108
11.1.5 «Чіпс» – модифікатори.....	108
11.2 Модифікатори сталі.....	110
Тема 12. СУЧАСНІ МЕТОДИ ВВЕДЕННЯ МОДИФІКАТОРІВ У РОЗПЛАВ ЧАВУНУ ТА СТАЛІ.....	112
12.1 Основні напрямки по вдосконаленню методів введення модифікаторів.....	112
12.2 Метод блоків, що втоплюються.....	114
12.3 Обробка кусковими феросплавами.....	115
12.4 Обробка порошковим дротом.....	116

12.5 Продувка порошкоподібними ферросплавами.....	119
Тема 13. ЛІГАТУРИ НА ОСНОВІ АЛЮМІНІЮ, МІДІ ТА НІКЕЛЮ.....	121
13.1 Основні уявлення про лігатури.....	121
13.2 Легуючі таблетки (брикетована лігатура).....	123
13.3 Лігатури на основі алюмінію	124
13.4 Лігатури на основі міді.....	126
13.5 Лігатури на основі нікелю.....	127
Тема 14. ЛІГАТУРИ НА ОСНОВІ КОБАЛЬТУ, СВИНЦЮ, ЦИНКУ ТА МАГНІЮ.....	129
14.1 Лігатури на основі кобальту.....	129
14.2 Лігатури на основі свинцю.....	130
14.3 Лігатури на основі цинку.....	130
14.4 Лігатури на основі магнію.....	131
Тема 15. ЛІГАТУРИ З ВАНАДІЄМ, МОЛІБДЕНОМ ТА НІОБІЄМ.....	133
15.1 Лігатури з ванадієм.....	133
15.2 Лігатури з молібденом.....	134
15.3 Лігатури з ніобієм.....	135
Тема 16. КОМПЛЕКСНІ ЛІГАТУРИ З КРЕМНІЄМ, ХРОМОМ ТА МАРГАНЦЕМ.....	137
16.1. Комплексні лігатури з кремнієм.....	137
16.2. Комплексні лігатури з хромом.....	137
16.3. Комплексні лігатури з марганцем.....	138
16.3.1 Отримання комплексних лігатур на основі марганцю методом розпилення розплаву водою	138
Тема 17. МОДИФІКАТОРИ ТА ЛІГАТУРИ З ЛУЖНОЗЕМЕЛЬНИХ МЕТАЛІВ.....	141
17.1 Вплив природи модифікаторів на основі ЛЗМ на фізико-механічні властивості сталі.....	141
17.2 Види модифікаторів на основі ЛЗМ	141
Тема №18 МОДИФІКАТОРИ ТА ЛІГАТУРИ З РІДКОЗЕМЕЛЬНИХ МЕТАЛІВ.....	148
18.1 Вплив природи модифікаторів на основі РЗМ на фізико-механічні властивості сталі.....	148
18.2 Види модифікаторів на основі РЗМ	150
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА.....	153

ВСТУП

Мета курсу «Розливка сталі та спеціальні модифікатори, лігатури» – ознайомлення із сучасними способами розливки сталі, з новітніми розробками та технологічними особливостями розливки сталі на машинах безперервного лиття заготовок (МБЛЗ), з властивостями спеціальних сплавів, модифікаторів та лігатур, їх впливом на властивості сталі та чавуну, формування умінь практичного застосування набутих знань з технології розливки сталі та модифікування чавунів і сталей.

Основними **завданнями** вивчення дисципліни «Розливка сталі та спеціальні модифікатори, лігатури» є:

- ознайомлення із сучасними технологічними особливостями розливки сталі у виливниці та на машинах безперервного лиття заготовок,
- засвоєння технології безперервної розливки сортової заготовки;
- ознайомлення з закономірностями модифікування сталі та чавуну спеціальними сплавами та модифікаторами;
- аналіз сучасних видів модифікаторів та лігатур.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен **знати:**

- основні способи розливки сталі, їх переваги та недоліки;
- основне та допоміжне обладнання для розливки сталі у виливниці та на МБЛЗ;
- особливості кристалізації сталевого зливку та безперервнолитої заготовки;
- закономірності використання модифікаторів та лігатур для підвищення якості металопродукції.

вміти:

- вибирати основні (оптимальні) технологічні параметри розливки сталі;
- застосовувати новітні розробки та технології розливки сталі, що забезпечують високу якість сталевого зливку та безперервнолитої заготовки;
- обрати тип та кількість МБЛЗ для сталеплавильного цеху заданого виробництва безперервнолитої заготовки;
- застосовувати нові види модифікаторів та лігатур в металургійному виробництві та машинобудуванні.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких **компетентностей:**

1. Загальні компетентності:

- Здатність вчитися та оволодіти сучасними знаннями.
- Здатність працювати в команді.
- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.
- Здатність приймати обґрунтовані рішення.
- Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

2. Спеціальні (фахові, предметні) компетентності:

– Здатність застосовувати системний підхід до вирішення проблем металургії.

– Здатність вирішувати типові інженерні завдання відповідно до спеціалізації.

– Критичне осмислення наукових фактів, концепції, теорій, принципів і методів, необхідних для професійної діяльності в сфері металургії.

– Здатність демонструвати творчий та інноваційний потенціал в синтезі рішень і розробці проектів в металургії.

– Здатність виявляти, класифікувати і описувати ефективність систем, компонентів і процесів в металургії на основі використання аналітичних методів і методів моделювання.

– Здатність забезпечувати якість продукції.

– Здатність застосовувати кращі світові практики, стандарти, діяльності в металургії за спеціалізацією.

Відповідно до структурно-логічної схеми освітньо-професійної програми викладання дисципліни «Розливка сталі та спеціальні модифікатори, лігатури» базується на знаннях, отриманих під час вивчення таких дисциплін, як: «Металургія чорних металів», «Теорія та технологія сталеплавильного виробництва», «Електрометалургія сталі та феросплавів». Знання, отримані під час вивчення дисципліни «Розливка сталі та спеціальні модифікатори, лігатури» стануть у пригоді у процесі написання кваліфікаційної роботи бакалавра та проходження виробничої практики.

Мета конспекту лекцій з дисципліни «Розливка сталі та спеціальні модифікатори, лігатури» – допомогти студентам у вивченні теоретичного матеріалу, набутті навичок самостійного прийняття рішень у конкретних умовах металургійного виробництва. Конспект лекцій буде сприяти не тільки засвоєнню знань, а й формуванню необхідних умінь і навичок.

Результатом вивчення студентами курсу «Розливка сталі та спеціальні модифікатори, лігатури» стане ознайомлення з сучасними способами розливки сталі, з властивостями спеціальних сплавів, модифікаторів та лігатур, їх впливом на властивості сталі та чавуну.

Тема 1. СУЧАСНИЙ СТАН РОЗЛИВКИ СТАЛІ

Мета лекції – ознайомлення з сучасним станом, перспективами та проблеми розливки сталі.

План

- 1.1 Сучасні способи розливки сталі та сплавів
- 1.2 Світові тенденції розливки сталі
- 1.3 Сучасний стан, перспективи та проблеми безперервної розливки сталі в Україні
- 1.4 Охорона праці та техніка безпеки під час розливки сталі на МБЛЗ

Перелік ключових термінів і понять: розливка сталі зверху, розливка сталі сифоном, машини безперервного лиття заготовок, зливок, заготовка.

1.1 Сучасні способи розливки сталі та сплавів

На сьогодні розливка сталі здійснюється переважно у виливниці (зверху або сифоном) або на машинах безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) (рис. 1.1).

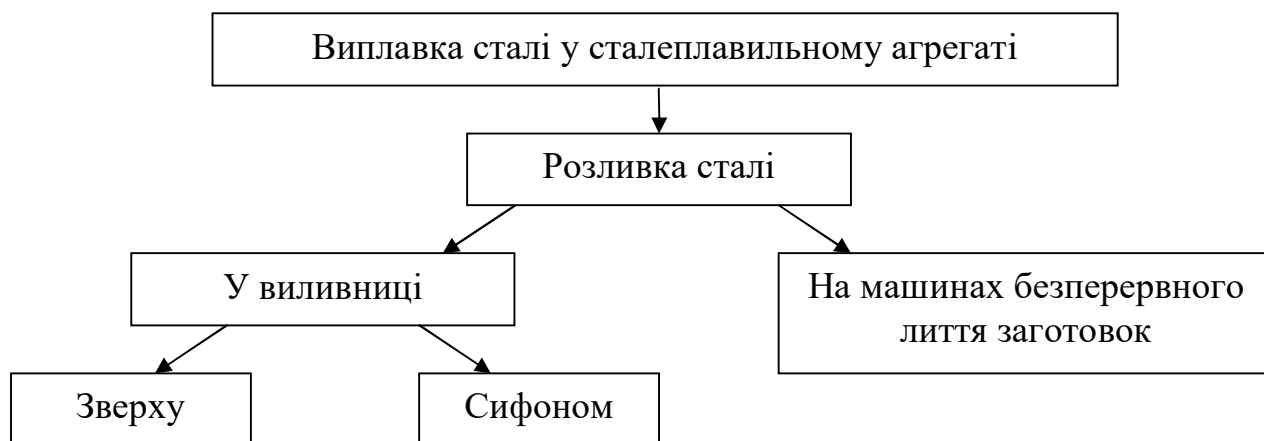


Рис. 1.1 Сучасні способи розливки сталі

Найбільшого поширення в промисловості одержали чавунні виливниці вертикального типу, в яких одержують вертикальні сталеві зливки, які потім використовуються для виготовлення заготовок для прокатного виробництва.

Для розливки чавуну на розливних машинах застосовують виливниці горизонтального типу (мульди), в яких одержують чушковий чавун. Для розливки феросплавів і деяких кольорових металів застосовують виливниці у вигляді невисоких ванн, іноді з вертикальними перегородками.

Вибір способу розливки сталі, його головних параметрів (температури, швидкості надходження у виливницю чи кристалізатор), оптимальних об'ємів та конструкції пристроїв, що приймають метал, впливає на техніко-економічні показники сталеплавильних цехів, насамперед на вихід придатних зливок або заготовок.

1.2 Світові тенденції розливки сталі

На сьогодні роль безперервної розливки сталі як «життєво важливої сполучної ланки» між процесом виплавки сталі та прокаткою буде тільки зростати в силу, наприклад, наближення геометричної форми заготовки до конфігурації готової продукції.

Так, фірма KME Germany GmbH & Co. KG представила нову конструкцію гільзового кристалізатора з хвилястою внутрішньою поверхнею. Нова конструкція кристалізатора називається «WAVE» і розглядається як інноваційне рішення в частині підвищення якості поверхні заготовки. Поздовжня хвилястість поверхні кристалізатора формує хвилястість на поверхні заготовки та виконує функцію напрямку її руху без поперечних коливань. Така форма кристалізатора забезпечує більш інтенсивне та рівномірне відведення тепла і, отже, рівномірне формування твердої оболонки.

Оригінальна форма гільзового кристалізатора представлена також фірмою DANIELI. Конструкція типу POWER MOLDTM забезпечує максимально інтенсивне та рівномірне відведення тепла в кристалізаторі за рахунок пропускання води через висвердлені в стінках кристалізатора циліндричні канали. При цьому в кутах кристалізатора такі канали відсутні, що вирівнює інтенсивність відводу тепла на горизонтальному перерізі. При цьому продуктивність одного струмка може бути підвищена на 35–50% в порівнянні з відомими рішеннями і скласти, наприклад, для квадрата перетином 150×150 мм – 45–55 т/рік на один струмок.

Слід зауважити, що нова 5-ти струмкова комбінована МБЛЗ, споруджена компанією SMS Concast на заводі Kardemir A.S. (Туреччина), дозволяє розливати сортову заготовку перетинами 150×150 і 200×200 мм, блям – 320×480 та фасонну заготовку – 500×400×110, що дає можливість забезпечувати завантаження прокатних станів, наявних на заводі.

Завдяки співпраці та спільному досвіду заводу Laiwu Steel Co та компанії Danieli найбільша в світі 5-ти струмкова МБЛЗ для розливки круглої заготовки була успішно запущена. Максимальний перетин заготовки складає 800 мм, продуктивність – 1,1 млн.т/рік аготовки.

В останні 30 років процес безперервної розливки сталі на тонкі сляби, поєднаний з їх подальшою прокаткою, активно розвивався провідними компаніями як альтернатива низькозатратна система технологій для традиційних слябових МБЛЗ. Так показники ливарно-прокатних модулів (ЛПМ) безперервно зростають. Наприклад, заводи з ЛПМ першого покоління забезпечували річний обсяг виробництва на рівні 0,8–0,9 млн. т листа в рулонах.

Тим часом на одному з останніх ЛПМ, спорудженому компанією Danieli для POSCO (Південна Корея), досягнуто обсягу виробництва в 2 млн.т/рік листа на один струмок. При цьому середня щоденна швидкість розливки становить 7,0 м/хв, а рекордний показник – 8 м/хв.

Нова концепція міні-заводу SMS Group (Schloemann, Concast і

Mannesmann Demag), що складається з вертикальної МБЛЗ з загином у твердій зоні, тунельної печі та прокатного стану, характеризується помітним зниженням інвестиційних витрат, завдяки зменшенню товщини сляба, що відливається (за рахунок «воронкоподібного» кристалізатора), і виключенню обжимної кліти. В цілому для досягнення високих показників нове покоління тонкослябових МБЛЗ повинно забезпечувати вирішення наступних питань:

- оптимізація динаміки руху потоків рідини в кристалізаторі;
- стабільність положення рівня стали в кристалізаторі;
- рівномірність формування твердої скоринки в кристалізаторі;
- запобігання витріщення заготовки в зоні вторинного охолодження (ЗВО);
- контроль температури заготовки по всій траєкторії її руху в ЗВО.

Основним елементом таких технологій, мабуть, буде раціональна форма воронкоподібного кристалізатора, що забезпечує деформацію твердої скоринки без критичних напружень при надання слябів прямокутного перетину.

За даними аналізу тенденцій розвитку вогнетривів для розливки тонких слябів на протязі останніх 30 років, представленим компанією RHİ (Австрія), конструкція заглибних склянок вимагає подальшого безперервного вдосконалення як в частині внутрішньої конфігурації, кількості та форми випускних отворів, так і в частині підбору вогнетривких матеріалів для найбільш відповідальних ділянок, що піддаються хімічній ерозії і руйнувань.

Так на сьогодні в експлуатації по всьому світу знаходяться 40 заводів з МБЛЗ для тонкого сляба, 62 МБЛЗ і 65 струмків, в тому числі CSP (Compact Strip Production) – 25 МБЛЗ; ISP (Inline Strip Production) – 3 МБЛЗ; Sumitomo – 3 МБЛЗ та FTSC (Flexible Thin Slab Casting) – 11 МБЛЗ. Річне виробництво тонкого сляба перевищує 80 млн тонн на рік.

Досвід розливки сталі на тонку смугу реалізується на двовалковій МБЛЗ заводу Outokumpu Krefeld, представленому компанією VEZUVIUS (Франція).

Досить перспективною виглядає розробка компанії SMS Siemag AG, заснована на горизонтальній розливці листа – Belt Casting Technology (BCT®). Технологія реалізована в промисловому масштабі на заводі Salzgitter Flachstahl GmbH. Фактично ця технологія представляється технологічним стрибком в частині лиття заготовок, максимально наближених за геометричною формою до готової продукції.

Між іншим під час розливки заготовок великого перетину (товстий сляб, блюм) велике значення набуває осьова сегрегація. Особливо актуальною вона є при розливці товстих слябів (350–400 мм). Так відомо, що в центральній частині сляба існує осьова зона товщиною 5–10 мм, де ізоляція вуглецю, сірки і фосфору може бути критичною.

Ефективним способом контролю макросегрегації в безперервнолитій заготовці представляється вже добре досліджений метод «м'якого» обтиску, сутність якого полягає в накладенні певного механічного обтиску на твердий каркас заготовки в області, що передуює закінченню рідкої фази. Так, результати, досягнуті на 5-ти струмковій МБЛЗ заводу Voestalpine Stahl Donawitz GmbH

(Австрія) для кола діаметром 230 мм, демонструють широкі можливості по ефективності м'якого обтиску для таких заготовок. Оскільки розглянута МБЛЗ-3 самого початку не була пристосована для реалізації методу «м'якого» обтиску, то слід очікувати, що повністю адаптовані нові МБЛЗ можуть забезпечити ще більший ефект в частині придушення макросегрегації, а також гомогенізації кристалічної структури.

1.3 Сучасний стан, перспективи та проблеми безперервної розливки сталі в Україні

Підприємства чорної металургії України є одними з найбільших постачальників сортової заготовки та довгомірного прокату на світовий ринок, динаміка розвитку якого характеризується помітним підвищенням конкуренції та вимог до якості продукції. Так на сьогодні в Україні безперервним способом розливають близько 50 % сталі, що виплавляється. Головною причиною цього є брак інвестицій на спорудження машин безперервного лиття заготовок (МБЛЗ). У якості додаткових стримуючих факторів виступають проблеми, пов'язані з освоєнням розливки високоякісних марок сталі та високий ступінь залежності українських підприємств від іноземних постачальників у плані керуючих алгоритмів.

Слід зазначити, що в останні три десятиліття номінальна продуктивність типових слябових та сортових МБЛЗ зростає в 2,0–2,5 рази. Це створило передумови для зменшення кількості струмків МБЛЗ та скорочення обслуговуючої інфраструктури, при цьому обсяг капітальних вкладень зріс у значно меншій мірі, ніж її продуктивність. Для розливки рядових й якісних сталей загального призначення використовують, як правило, блюмові МБЛЗ радіального й криволінійного типу, для яких характерно одержання заготовок декількох перетинів. Відомо, що більшість виробників сортової заготовки віддають перевагу прямому одержанню сортових заготовок на високошвидкісних сортових МБЛЗ меншого перетину (максимально наближеним до розмірів перетину кінцевого продукту), оскільки в умовах прискореного затвердіння в меншій мірі розвиваються ліквідаційні та усадкові процеси.

Зараз Україна успішно експлуатує високопродуктивні сортові МБЛЗ на ТОВ «Донецький електromеталургійний завод», ВАТ «Єнакіївський металургійний завод», ТОВ «Електросталь» (Курахове), ПрАТ «Дніпровський металургійний завод» (всього 5 машин та 28 струмків), виробничий потенціал яких забезпечує розливку понад 5 млн. т сталі на рік.

На ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» освоєно нову технологію розливки сталі на МБЛЗ конвертерного цеху (рис. 1.2). У відділенні безперервної розливки сталі проведено тестові випробування з розливки сталі закритим струменем (стопорна розливка). У складі відділення діють установка позапічної обробки сталі типу «ківш-піч» і шостиструменева сортова МБЛЗ потужністю 1,2 млн. т/рік для виробництва заготовки з вуглецевих, конструкційних і

низьколегованих марок сталі.

На ПрАТ «Дніпровський металургійний завод» успішно впроваджуються та удосконалюються технології безперервної розливки сталі, що включають реконструкцію поміжного ковша, підбір вогнетривких матеріалів підвищеної стійкості та високотехнологічних утеплювальних сумішей для захисту дзеркала металу в проміжному ковші. Підвищення продуктивності МБЛЗ можливе також за рахунок збільшення середньої швидкості витягання заготовки та за рахунок частки плавки, що відливаються методом «плавка на плавку» з підвищенням кількості плавки в одній серії.

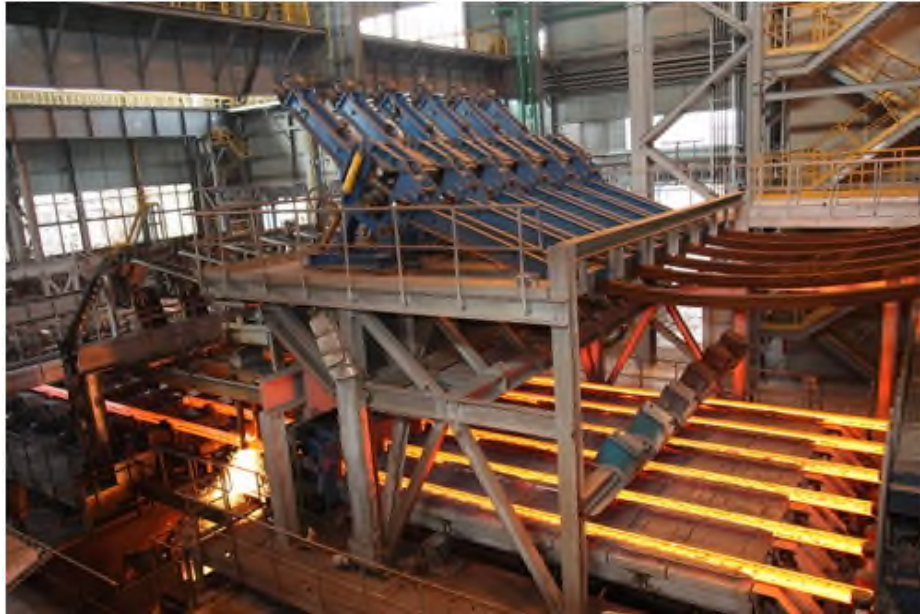


Рис. 1.2. Розливка сталі на МБЛЗ конвертерного цеху в умовах ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Також в умовах ПрАТ «Дніпровський металургійний завод» відновили виробництво виливниць (рис. 1.3).

На МБЛЗ конвертерного цеху ВАТ «Єнакіївський металургійний завод» впроваджено нову схему охолодження заготовки з використанням 5-ї секції зони вторинного охолодження, що дозволило збільшити швидкість розливки на 7–13 %, тим самим збільшивши обсяги виробництва безперервнолитої заготовки на 100–150 тис. т на рік, поліпшивши при цьому якість структури заготовки.

Отже, завдяки останнім досягненням в області безперервної розливки сталі на практиці металургійного виробництва створені всі необхідні передумови для виробництва сортової заготовки у сталеплавильних цехах з високою одиничною потужністю основних агрегатів. Це досягають використанням багатострумкових сортових МБЛЗ з високою швидкістю витяжки заготовки в сукупності зі застосуванням агрегатів типу «ківш-піч», що забезпечують необхідну якість рідкого металу та ритмічність його подачі на МБЛЗ. Подальше підвищення якості безперервнолитої сортової заготовки слід досягати за рахунок розширення застосування методів захисту сталі від

вторинного окислення, наприклад, при використанні розливки через систему «стопор-моноблок» – «стакан-дозатор» – «стакан, що занурюють». Одним з шляхів удосконалення безперервної розливки сталі є використання магнітодинамічних проміжних ковшів як складової частини елементів МБЛЗ. Найбільше застосовують магнітодинамічні проміжні ковші під час напівбезперервної розливки якісних марок сталі невеликими партіями в умовах металургійних мікро- та мінівиробництв, а також виробництві тонкого слябу на ливарно-прокатних модулях.



Рис. 1.3. Фасонно-ливарний цех ПрАТ «Дніпровський металургійний завод»

1.4 Охорона праці та техніка безпеки під час розливки сталі на МБЛЗ

Весь обслуговуючий персонал, що працює на машині безперервного лиття заготовок, повинен дотримуватися вимог «Правил техніки безпеки в сталеплавильному виробництві», а також діючої інструкції з техніки безпеки для разливщиків та операторів МБЛЗ даного підприємства (цеху).

МБЛЗ повинна експлуатуватися відповідно до вимог всіх стандартів і норм, що діють на момент використання машини, а також з дотриманням всіх вимог щодо захисту здоров'я, довкілля та заходів, що забезпечують безпеку. Все МБЛЗ обладнується гучномовного і телефонним зв'язком, сигналізацією і при необхідності телевізійними пристроями для спостереження за роботою окремих агрегатів. На пульті керування МБЛЗ необхідно мати набір приладдя для надання швидкої медичної допомоги, зміст набору необхідно періодично оглядати і поповнювати.

Усі виробничі процеси на МБЛЗ, починаючи з розливки металу і закінчуючи видачею заготовок на стелажі, повинні бути механізовані та по можливості автоматизовані. Однак в конструкції МБЛЗ обов'язково

передбачається можливість і ручного (аварійного) управління роботою всіх механізмів. Більшу частину технологічних операцій по розливання сталі обслуговуючий персонал виконує безпосередньо з розплавленим металом і шлаком. Неправильне виконання цих операцій може викликати вибухи, сплески, викиди металу, що призводять до опіків і травм. Особливо небезпечним є зіткнення рідкого металу з вологими пористими матеріалами. Тому від робітників та інженерно-технічних працівників потрібне ретельне виконання правил техніки безпеки, особливо при транспортуванні наповнених металом ковшів від сталеплавильного агрегату до МБЛЗ. Траса на шляху переміщення ковша повинна бути вільна від сторонніх об'єктів, а транспортування супроводжується постійним звуковим сигналом. Доцільно зону переміщення захищати попереджувальними знаками.

Зона вторинного охолодження зазвичай виділяється в окреме приміщення, яке має теплоізолюючі стіни та витяжну вентиляцію. При цьому двері, що ведуть в приміщення, під час лиття металу повинні бути закриті на замок, а для обслуговування ЗВО влаштовуються майданчики і сходи. Технологічне обладнання, розташоване нижче ЗВО до тягнуть механізмів включно, розміщується в приміщенні з вогнестійкими стінами і доступ в нього обслуговуючого персоналу під час розливання металу забороняється.

В системі охолодження кристалізатора і зони вторинного охолодження передбачається аварійне водопостачання для випадку відключення основної системи подачі води. Резервний запас води повинен забезпечувати розливу всієї сталі, що знаходиться в сталерозливних ковшах. У разі припинення або зменшення подачі води в кристалізатор і в ЗВО на пост керування МБЛЗ повинні автоматично подаватися звукові та світлові сигнали та розливка сталі негайно припиняється. Наявність вологи (або підтікань води) у внутрішній порожнині кристалізатора не допускається, а починати розливу сталі до подачі води в систему охолодження кристалізатора і в ЗВО категорично забороняється.

Питання для самоконтролю

1. Які сучасні способи розливки сталі та сплавів?
2. Охарактеризувати світові тенденції розливки сталі.
3. Визначити основні завдання для досягнення високих показників сучасних тонкослябових МБЛЗ.
4. Охарактеризувати сучасний стан, перспективи та проблеми безперервної розливки сталі в Україні.
5. Перелічити основні металургійні підприємства України, оснащені відділенням безперервної розливки сталі.
6. Визначити основні питання охорони праці та техніки безпеки під час розливки сталі на МБЛЗ.

Тема 2. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ РОЗЛИВКИ СТАЛІ У ВИЛИВНИЦІ

Мета лекції – ознайомлення з перевагами та недоліками розливки сталі зверху та сифоном, а також основним та допоміжним обладнанням для розливки сталі у виливниці.

План

2.1 Особливості розливки сталі у виливниці

2.2 Основне та допоміжне обладнання для розливки сталі у виливниці

Перелік ключових термінів і понять: розливка сталі зверху, розливка сталі сифоном, сталерозливний ківш, жолоб, проміжний ківш, виливниця, піддони.

2.1 Особливості розливки сталі у виливниці

Способи розливки сталі в виливниці поділять на:

– розливку сталі зверху (рис. 2.1).

Цей спосіб застосовують в тих випадках, коли потрібно отримати невелике число великих зливків. Він дозволяє розливати не надто гарячу сталь: при цьому виходить більш здоровий злиток з меншою усадочною раковиною. Якість поверхні зливка виходить невисока через бризок при заливці, але неметалевих включень в зливку утворюється менше.

– розливку сталі сифоном (рис. 2.2).

Розливку сталі сифоном (знизу) застосовують в тих випадках, коли потрібно розлити сталь в велике число виливниць (2–6 шт.).

Основними параметрами, які впливають на якість зливка сталі є його маса, розміри поперечного перерізу, висота, контур, ухил граней і радіуси заокруглення кутів. Ці параметри встановлюють залежно від технологічних вимог, розмірів цехових будівель, характеристики кранового обладнання нагрівальних колодязів та прокатних станів, швидкості прокатки і режиму обтиснень зливків сталі.

Форма поперічного перерізу зливка визначається його призначенням. Зливки квадратного перетину з увігнутими або опуклими гранями використовують для прокатки на сорт (коло, куточки, швелер та інші). Зливки з увігнутими гранями відрізняються великою жорсткістю, він також більш зручний при прокатці, оскільки стійко переміщається по рольгангу в зв'язку з двома лініями опори і правильно робить в валки обтискного стану. Зливки прямокутної форми призначені для прокатки на лист.

Перевагами розливки сталі зверху є:

– проста підготовка обладнання до розливки і менша його вартість;

– твйдсутність витрати металу на літники;

– температура металу перед розливкою може бути нижче, ніж при

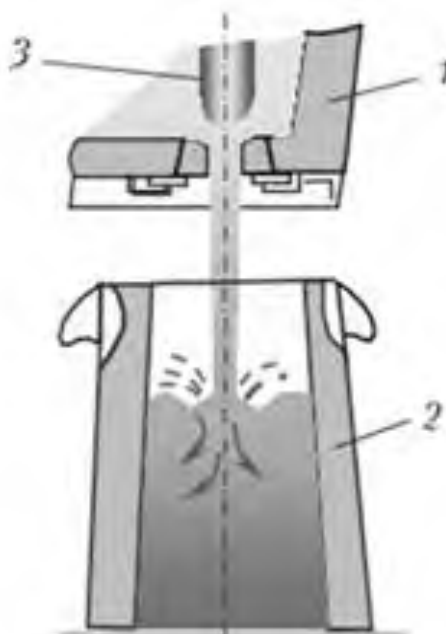
сифонній розливці.

Недоліками розливки сталі зверху є:

– утворення полон на поверхні нижньої частини зливків, що є наслідком розбризкування металу при ударі струменя об дно виливниці. Застиглі на стінках виливниці і окислені з поверхні бризки металу не розчиняються в піднімається рідкої сталі, утворюючи дефекти поверхні – полон, що не зварюються з металом при прокатці. В результаті цього поверхня прокатних заготовок доводиться піддавати зачистці;

– велика тривалість розливки;

– через велику тривалість розливки знижується стійкість футеровки ковша і погіршуються умови роботи шибєрного затвора.



1 – сталерозливний ківш; 2 – виливниця; 3 – шамотна пробка ковша

Рис. 2.1. Схема розливки сталі зверху

Високоякісні вуглецеві та леговані сталі розливають, головним чином, сифоном. Розливку сталі сифоном (рис. 2.2) використовують також при розливці вуглецевої сталі звичайної якості в злитки малого розважування.

Перевагами сифонної розливки сталі є:

– можливість одночасної розливки декількох зливків скорочує тривалість розливки усїєї плавки;

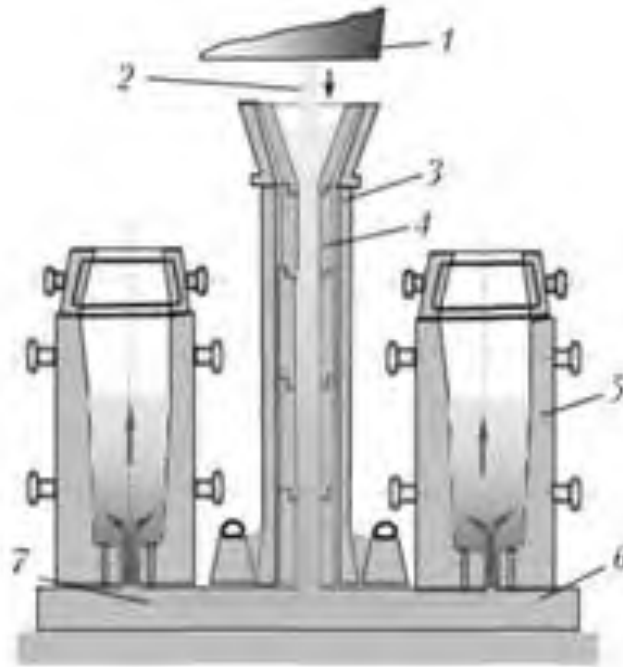
– внаслідок скорочення загальної тривалості розливки швидкість підйому металу в виливниці може бути значно менше, ніж при розливці зверху;

– поверхню зливків виходить чистою, так як метал в виливниці піднімається спокійно без розбризкування;

– підвищується стійкість футеровки ковша та поліпшуються умови роботи шибєрного затвора внаслідок меншої тривалості розливки та зменшення числа закривань й відкриттів затвора;

– під час розливки можна стежити за поведінкою піднімається в

виливниці металу і відповідно до цього регулювати швидкість розливки.



1 – сталерозливний ківш; 2 – рідка сталь; 3 – центровий літник; 4 – вогнетривкі трубки; 5 – виливниці; 6 – піддон; 7 – з'єднувальні канали

Рис. 2.2. Схема розливки сталі сифоном

Недоліками сифонної розливки сталі є:

– складність і підвищена вартість розливки, обумовлені витратою сифонного цегли, встановленням додаткового обладнання і значними витратами праці на складання піддонів і центрових;

– додаткові втрати металу у вигляді літників (0,7– 2,5% від маси сталі, що розливається) і можливість втрати металу при проривах через сифонні цеглини;

– температура металу перед розливкою повинна бути вище, ніж при розливці зверху, так як він додатково охолоджується в каналах сифонної цегли.

При сифонній розливці та розливці сталі зверху втрати металу у вигляді скрапу і недоливков становлять 0,6– 1,9%.

2.2 Основне та допоміжне обладнання для розливки сталі у виливниці

Для розливки сталі використовують наступне устаткування:

- жолоб, по якому сталь з сталеплавильного агрегату в ківш;
- сталерозливний ківш;
- проміжний ківш або проміжний розливний пристрій;
- виливниці;
- піддони.

Випускний жолоб складається з металевого зварного або литого кожуха, який футерований, як правило, шамотною цеглою. Жолоб встановлюють з нахилом 0,10–0,12 до горизонталі (для забезпечення повноти стікання металу).

На мартенівських печах садкою >300 т плавку одночасно випускають в два ковші. Такі печі називають двохжолобними печами.

Жолоб ванного типу розрізняють на:

- приставні з випуском металу відкритим струменем (рис. 2.3);
- зістиковані з задньою стінкою плавильного агрегату, в які метал надходить в режимі затопленого струменя.

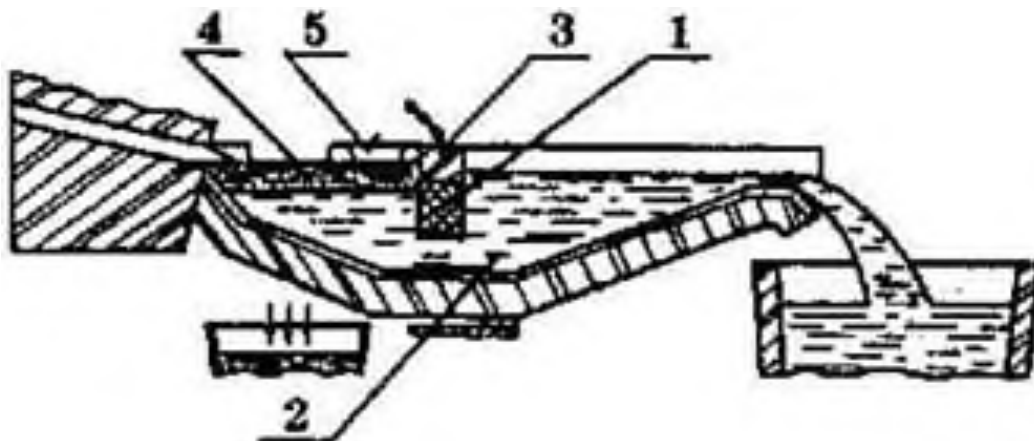


Рис. 2.3. Сталевипускний жолоб ванного типу

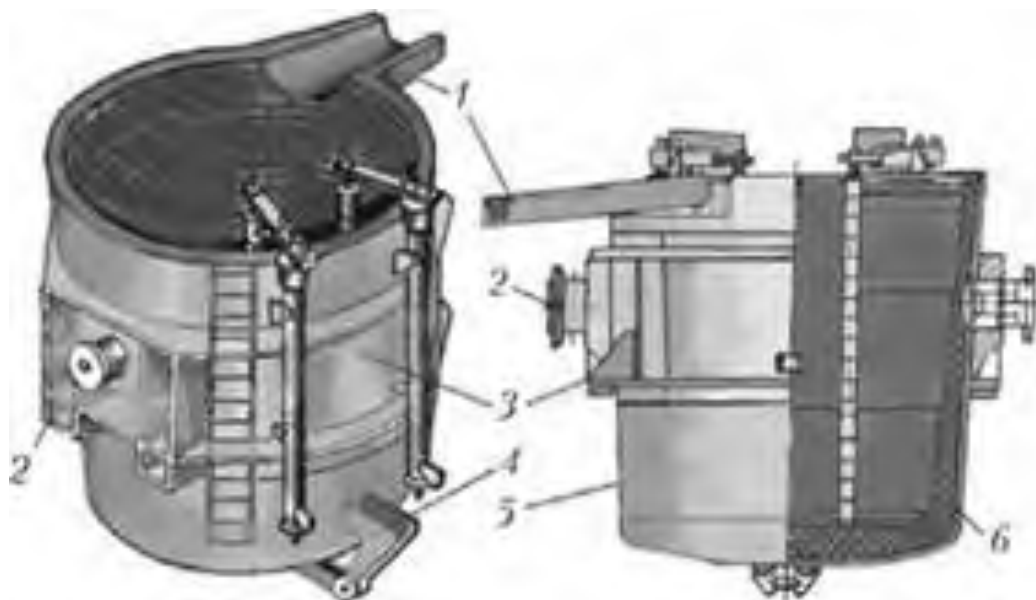
Жолоби ванного типу складаються з приймальної та змінної частини з'єднаних отвором (2). В приставному жолобі скімерною перегородкою (1) забезпечується гарне відділення шлаку від металу, який через виїмку (4) стікає в шлакову чашу. Після закінчення випуску плавки видаляють вставку (5) і в шлакову чашу зливається весь в приймальні частини жолоба шлак. Після цього краном піднімають та розкантовують жолоб, зливаючи залишки металу в ківш. Така схема випуску металу забезпечує досить повне відсічення пічного шлаку. Якщо ж потрібно частину шлаку випустити в сталерозливний ківш для теплової ізоляції металу, то це забезпечується видаленням змінною надставки (3) в кінці випуску.

Сталерозливний ківш (рис. 2.3) являє собою клепану сталеву посудину (5), викладену зсередини шамотною цеглою (6). У днище встановлюють шамотну пробку, яка може бути витягнута з допомогою простого важільного механізму, укріпленого на ковші.

Сталерозливний ківш виконує декілька функцій:

- служить ємністю для транспортування металу від сталеплавильного агрегату до місця розливки;
- є пристроєм, за допомогою якого сталь розподіляється по виливницях або кристалізаторах МБЛЗ;
- є агрегатом, в якому здійснюють ряд металургійних процесів (розкислювання, легування, обробка вакуумом, продування інертним газом, обробка рідкими синтетичними шлаками або твердими шлаковими сумішами та інші);
- служить ємністю, в якій метал витримують при заданій температурі в процесі розливки плавки.

Футерівка ковша повинна забезпечувати можливо тривалішу його компанію (від ремонту до ремонту). Конструкція та футерівка ковша повинні забезпечувати мінімальні втрати тепла (мінімальне охолодження металу) протягом періоду розливання. Кожух ковша зварний, форма ковша - зрізаний конус зі сферичним днищем. Перетин ковша круглий, в деяких випадках трішки овальне (щоб при тому ж розмірі траверси розливного крана використовувати ковші більшої місткості). Об'єм ковша розраховують, виходячи з об'єму маси металу і певного (5–10 %) шару шлаку.



1 – зливний носок; 2 – цапфа; 3 – пояс жорсткості; 4 – стопор; 5 – сталевий корпус; 6 – вогнетривка цегла

Рис. 2.4. Схема сталерозливного ковша

Зазвичай ковші бувають місткістю від 50 до 480 т. Маса порожнього футерованого ковша місткістю 300 т складає 72,5 т, а маса порожнього 480 т ковша складає 136 т. Розливний ківш переміщається за допомогою розливного крана. Ковші футерують шамотом або іншими вогнетривкими матеріалами. Футеровку ковша виконують з цегли або монолітною.

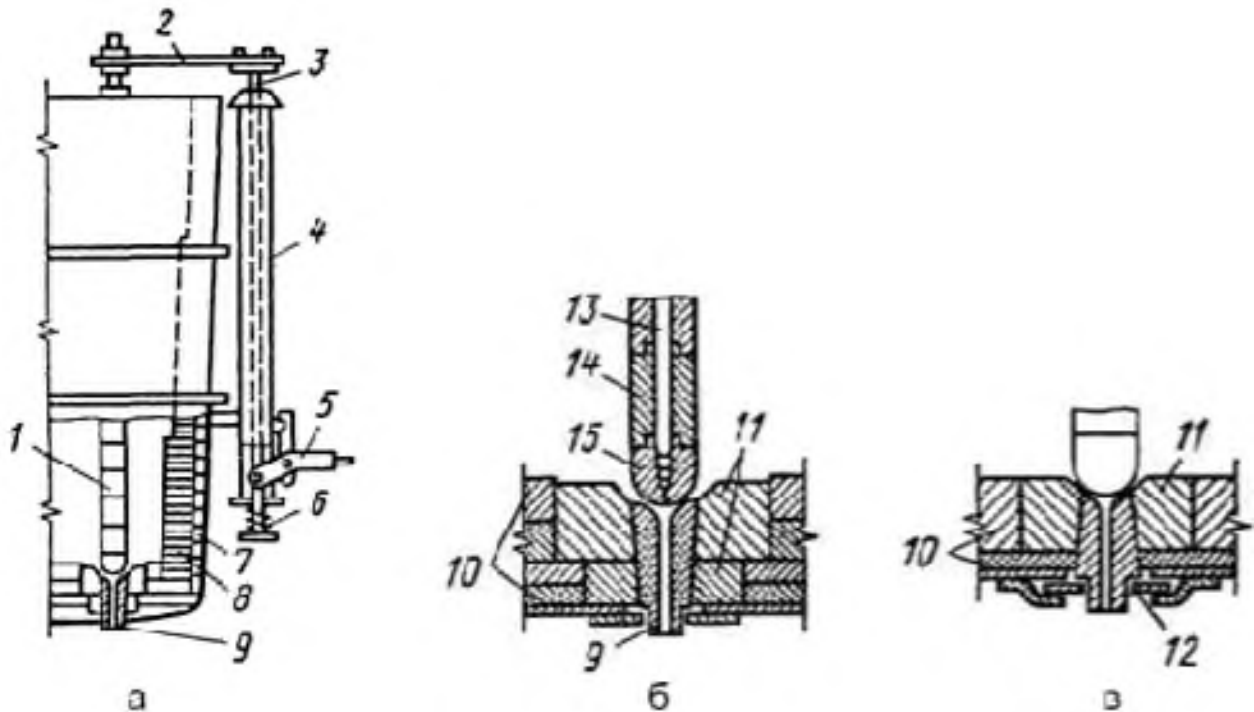
Стійкість футерівки ковшів, виготовлених із звичайної шамотної цегли, всього 15–25 плавок (наливів). Футеровка зношується безперервно, при чому найбільше зношування відбувається в місці падіння струменя металу і в районі шлакового поясу.

Устаткування для випуску сталі з ковша складається із стопорного устаткування і розливного стакана (рис. 2.5). Зазвичай в кожному ковші встановлюють один комплект такого обладнання, проте в ковшах великої місткості для прискореної розливки сталі вмонтовують два таких комплекти.

Розливний стакан встановлюють в гніздо, передбачене в днищі ковша (у найнижчій його частині, з тим щоб в стакан зливався з ковша весь метал, без залишку). Після розливки кожної плавки стакан замінюють новим.

Розрізняють два види стопорних пристроїв:

1. Вертикальні стопорні пристрої (або просто стопори). Їх устрій включає вертикальний стопор, що проходить усередині ковша через масу металу. За допомогою механізму типу важеля стопор піднімається та опускається. При підйомі нижній кінець стопора (пробка стопора) відходить від розливного стакану та через отвір, що відкрився, метал з ковша виливається у виливницю. Стопор складається із суцільного або полого металевого стержня, на який надівають серію катушок з вогнетривкого матеріалу (зазвичай з шамоту).



- 1 – стопор; 2 – качани; 3 – повзун; 4 – напрямна; 5 – важіль; 6 – пружина;
 7, 8 – арматурний і робітник шари футерівки відповідно; 9 – стакан;
 10 – футерівка дна ковша; 11 – гніздової цегла; 12 – упорна шайба;
 13 – стрижень; 14 – шамотна трубка; 15 – пробка

Рис. 2.5. Стопорний механізм та установка стаканів у сталерозливному ковші

2. Стопорні пристрої ковзаючого типу. Пристрій закріплюють до кожуха ковша знизу зовні. Отвір розливного стакану перекривається (і відкривається) горизонтальним відсікаючим рухом ковзаючої вогнетривкої плити. Залежно від виду руху відсікала (прямолінійного або обертального) ковзаючі затвори ділять на шибєрні і поворотні або дискові з декількома отворами різного діаметру.

В процесі розливки перетин розливного стакану змінюється. Безпечним вважається випадок так званого заростання стакану.

Проміжні розливні пристрої сприяють зменшенню розбризкування при ударі струменя об дно виливниці або об поверхню металу. Вживання таких проміжних розливних пристроїв, як воронки, коритоподібні футеровані місткості з декількома отворами у днищі та т. п., обмежено окремими

випадками (наприклад, розливка одиничних крупних зливків для поковок). Вживання проміжних ковшів отримало широке поширення при безперервному розливанні, коли характер дії струменя на метал, що кристалізується, має особливий вплив на якість заготовки.

Проміжний ківш є додатковою ланкою в технологічному ланцюжку сталеплавильний агрегат – сталерозливний ківш – зливков. Проте, незважаючи на значні витрати, пов'язані з виготовленням проміжних ковшів та їх обслуговуванням, застосування цієї додаткової ланки доцільне.

Застосування проміжних ковшів надає наступні переваги:

- забезпечується розливання практично всієї плавки з однаковою швидкістю і характером витікання струменя металу;
- суттєво зменшується удар струменя метала при розливанні;
- можна вести розливання зверху одночасно на декілька зливків;
- у необхідних випадках можна здійснювати додаткові операції по виправленню складу і підвищенню якості метала;
- при безперервному розливанні є можливість розливати декілька плавков без переривання струменя металу, який витікає з проміжного ковша (так названий метод «плавка на плавку»).

Деякий запас металу в проміжному ковші дозволяє продовжувати розливу у той час, поки один спорожнений великий сталерозливний ківш замінюють іншим.

До недоліків вживання проміжних ковшів відносять:

- додаткова поверхня контакту струменя металу з навколишнім повітрям між великим розливним і проміжним ковшем приводить до вторинного окислення металу та взаємодія його з повітрям;
- додаткова операція перепустка металу через проміжний ківш приводить до посилення охолодження металу.

Приведені недоліки при використанні проміжних ковшів усуваються шляхом удосконалення їх конструкцій: застосовують проміжні ковші, що безпосередньо прикріплюються до великих розливних (для зменшення контакту струменя з повітрям), використовують ковші з кришкою для зменшення втрат тепла, ковші з вогнетривкими перегородками для поліпшення умов спливання неметалічних включень та т.д.

Виливниця (або мультда) – це металева форма для розливки металу і утворення зливків.

За конструкцією виливниці бувають:

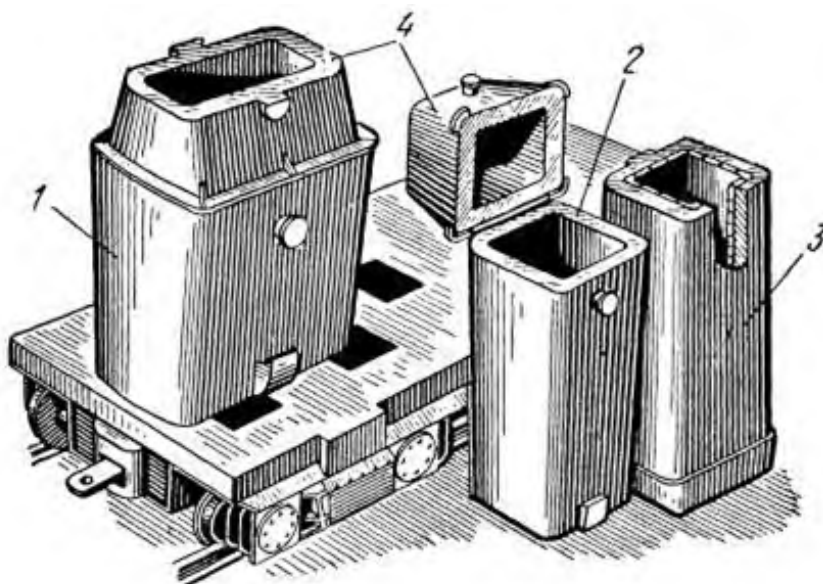
- пляшкові, глуходонні, наскрізні;
- вертикальні та горизонтальні;
- прямокутного, круглого, квадратного або іншого поперечного перерізу;
- з дном або без дна (наскрізні).

Виливниці (рис 2.6) відливають зазвичай з чавуну, отриманого у вагранці, або інколи із чавуну безпосередньо з доменної печі, оскільки чавун має відносно невисоку вартість, володіє хорошими ливарними властивостями і відливання з нього при нагріві майже не коробляться.

Для розливки киплячої та напівспокійної сталі зверху або сифоном застосовують наскрізні, розширені донизу виливниці, які є найбільш простими й зручними як у виготовленні, так і в експлуатації. Виливниці для розливки спокійної сталі приведені на рис. 2.7.



Рис. 2.6. Виливниці для розливки сталі зверху в сталерозливних канаві



1 – для спокійного листового металу; 2 – розширена догори;
3 – з футерованим верхом; 4 – прибуткова надставка
Рис. 2.7. Виливниці для розливки спокійної сталі

Залежно від форми поперечного переріза та розмірів такі виливниці можуть служити для отримання зливків різних форм та призначення:

- до 1,5 т для сортових і листових станів (сифона розливка);
- до 10 т для блюмінгів та сортових і проволоко-штрипсових станів (розливка в виливниці квадратного, прямокутного перетину; це так звані прості

виливниці, у яких відношення широкої сторони до вузького не перевищує 1,1);
– до 10т для блюмінгів і наступної прокатки на середній або тонкій лист (розливка в виливниці прямокутного перетину з відношенням широкої сторони до вузького приблизно 1,5);

– до 10 т для прокатки як на квадратні, так і на плоскі заготовки (сляби) перетином 150 x 1000 мм (розливка в уніфіковані прямокутні виливниці з відношенням сторін 1,3);

– від 6 до 25 т, для прокатки на товстолистових станах і слябінгах. Форма поперечного перерізу виливниці зумовлюється подальшою обробкою зливка.

На рис. 2.8. показано найпоширеніші форми поперечного перерізу зливків. На блюмінгу, як правило, обтискують зливки з квадратною формою поперечного перерізу(рис. 2.8 а–в), на слябінгу – прямокутного і овального (рис. 2.8 г, д), зливки круглого перерізу (рис. 2.8 е, ж) використовують для виготовлення труб.

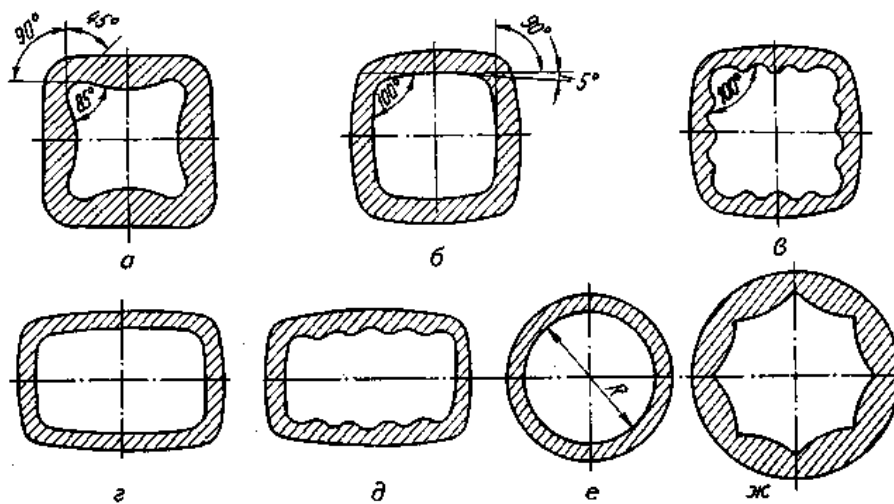


Рис. 2.8 Форми (а–ж) поперечного перетину виливниць

Питання для самоконтролю

1. Визначити основні переваги та недоліки розливки сталі зверху.
2. Визначити основні переваги та недоліки розливки сталі сифоном.
3. Охарактеризувати призначення та устрій випускного жолоба.
4. Яке призначення та устрій сталерозливного ковша?
4. Охарактеризувати призначення та устрій проміжного ковша.
5. Перелічити основне устаткування для випуску сталі з ковша.
6. Надати визначення поняття «виливниця».
7. Які ви знаєте види виливниць за конструкцією та їх головне призначення?

Тема 3. ОСНОВНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ КРИСТАЛІЗАЦІЇ СТАЛЕВОГО ЗЛИВКА

Мета лекції – ознайомлення з будовою зливку спокійної, напівспокійної, кислячої сталей та дефектами їх структури.

План

- 3.1 Основні поняття кристалізації сталі та сплавів
- 3.2 Структура зливку спокійної сталі
- 3.3 Структура зливку напівспокійної сталі
- 3.4 Структура зливку киплячої сталі
- 3.5 Методи боротьби з основними дефектами зливку

Перелік ключових термінів і понять: кристалізація, зливок спокійної сталі, зливок напівспокійної сталі, зливок киплячої сталі, дефекти зливоків.

3.1 Основні поняття кристалізації сталі та сплавів

Кристалізація сплавів – це процес переходу сплаву з рідкого стану у твердий з утворенням кристалічних ґраток (кристалів).

У основі кристалізації сплавів, як і чистих металів, лежить прагнення системи до найстійкішого стану при даних умовах, тобто прагнення до стану з мінімальною, вільною енергією. Проте, розглядаючи кристалізацію сплавів слід мати на увазі, що зміна рівноважного стану багатоконпонентної системи визначається не тільки такими зовнішніми факторами як температура і тиск, але і внутрішніми, оскільки з уведенням у метал інших елементів з'являється нова термодинамічна змінна – склад (концентрація).

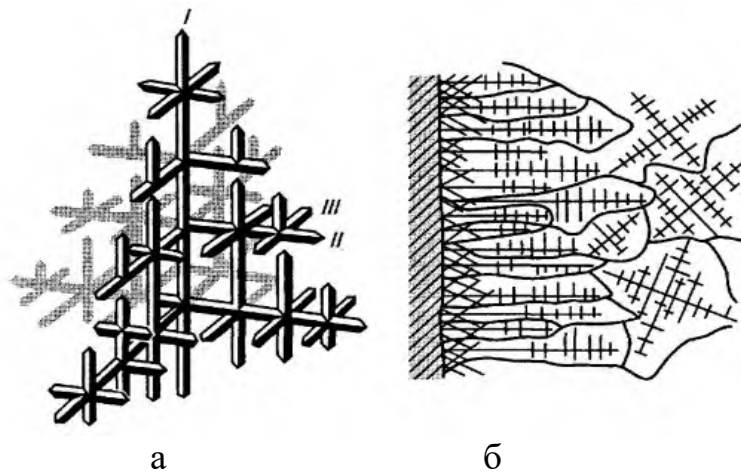
Процес кристалізації металевих сплавів і пов'язані з ним численні закономірності їх будови описуються за допомогою так званих діаграм стану (діаграм фазової рівноваги).

Дендритна кристалізація була помічена ще Д. К. Черновим. Кристал його імені представляє зразок дендрита, що виріс в умовах кристалізації сталевого зливка до величезних розмірів і ваги (висота 39 см, вага 345 кг).

Схема утворення дендритів по Д. К Чернову представлена на рис. 3.1. Приклад дендритної будови металу представлений на рис. 3.2а, де зображено кристалічне утворення з великою кількості яскраво виражених дендритних кристалів заліза.

Різновидом дендритних кристалізації є утворення в зливках стовпчастих (шестоватих) кристалів. Явище утворення стовпчастих дендритів, які пронизують зливок від периферії до серцевини, носить назву транс-кристалізації (рис. 3.2 б).

Розміри кристала, для якого робота утворення максимальна, називають критичними, а сам зародок кристала – критичним зародком. Схема формування зерен при кристалізації металу приведена на рис. 3.3.



I – III – порядок осей дендритів

Рис. 3.1. Схема будови дендритного кристалу (а) та росту дендритів за перерізом зливка (б)

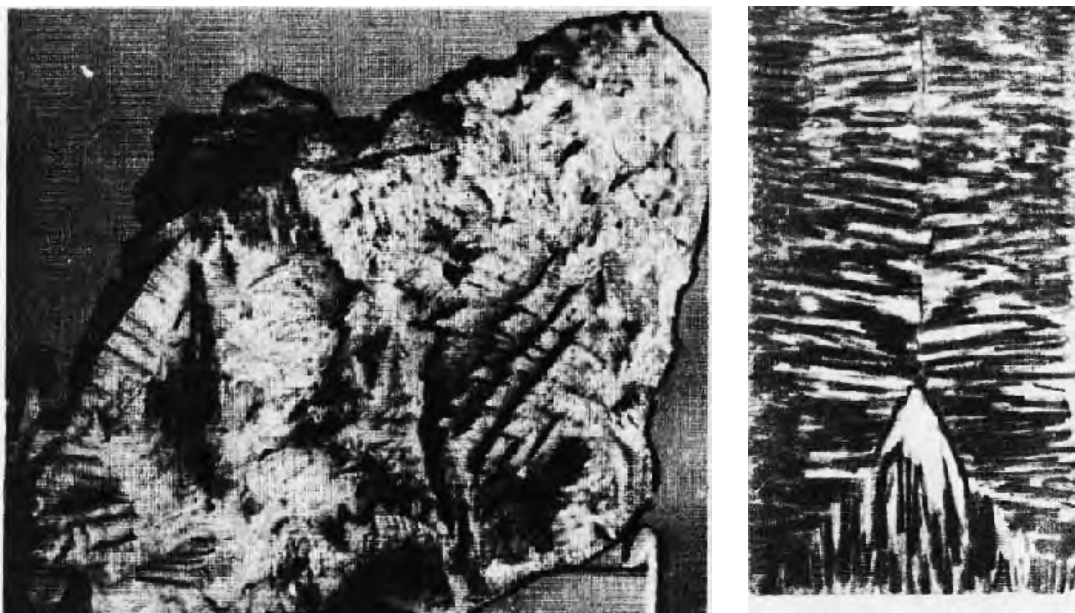


Рис. 3.2. Макроструктура зливка з дендрадами заліза (а) та макроструктура зливка з транскристалізацією (б)

Форма та розмір кристалів, що утворюються після первинної кристалізації, можуть бути різними в залежності від присутності домішок та умов кристалізації. При значній швидкості охолодження утворюється дендритна структура («дендрит» – дерево). Утворення кристалів деревовидної форми зумовлене анізотропією швидкості росту, тому в першу чергу виростають їх довгі гілки (осі першого порядку), найбільш чисті за вмістом домішок; від них ростуть вісі другого порядку, на яких утворюються бічні гілки – осі третього порядку тощо. Внаслідок цього кристал розгалужується; між осями дендритів скупчуються нерозчинені домішки та утворюються дрібні шпарини, що виникають внаслідок зменшення об'єму при переході металу з рідкого стану в твердий. У залежності від напрямку відведення тепла зерна можуть мати рівновісну або стовпчасту (витягнуту) форму (рис. 3.4).

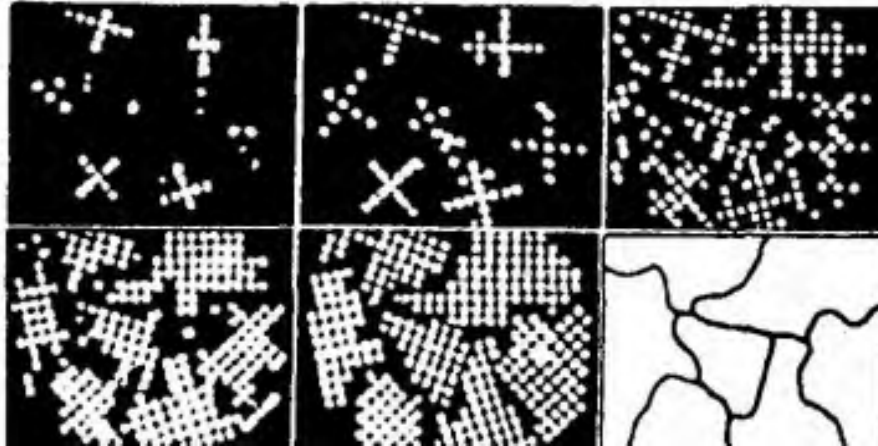
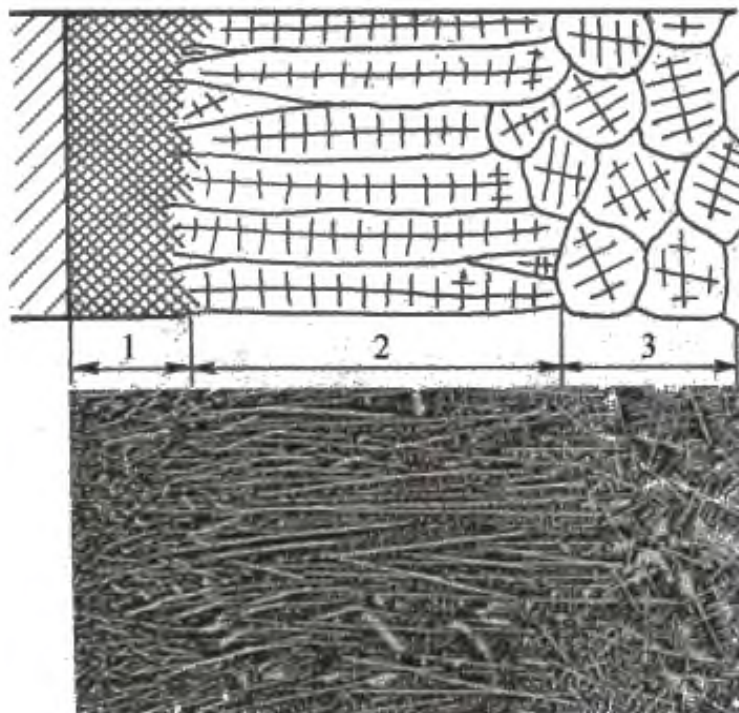


Рис. 3.3. Схема формування зерен при кристалізації металу



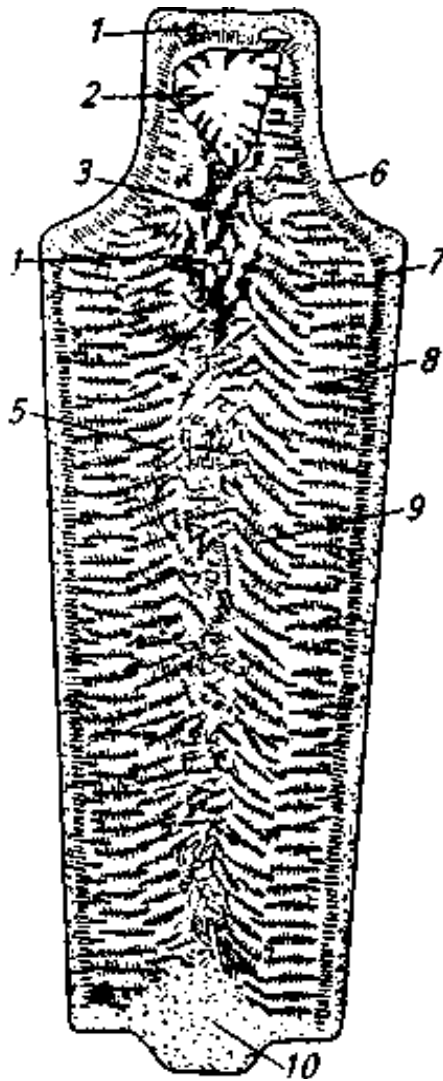
1 – зона дрібнозернистих кристалів; 2 – зона стовпчастих кристалів;
3 – зона великих з хаотичною орієнтацією кристалів

Рис. 3.4. Схема росту дендритів (а) і макроструктура сталі, що розливається (б)

3.2 Структура зливку спокійної сталі

Звичайна структура зливка спокійної сталі (рис. 3.5) характеризується наявністю шести основних зон.

Тонкий поверхневий шар утворюється у момент зіткнення рідкого металу із стінками виливниці або кристалізатора. Цей шар (часто його називають скориночкою зливка) складається з дрібних безладно орієнтованих кристалів; за хімічним складом він близький до складу рідкого металу в ковші.



1 – міст над раковиною; 2 – усадкова раковина; 3, 4 – порожнечі та рихлість; 5 – рівноорієнтовані кристали; 6 – дрібні рівноосні кристали; 7, 8 – зона стовбчастих кристалів; 9 – стовбчасті кристали, направлені до теплового центру; 10 – конус осадження

Рис. 3.5. Схема кристалічної структури зливка спокійної сталі

Зона стовбчастих кристалів. Протяжність і характер цієї зони визначаються складом сталі, інтенсивністю охолодження і різницею температур рідкого маткового розчину і зовнішньої охолоджуваної поверхні. У міру збільшення ширини зони стовбчастих кристалів інтенсивність передачі тепла через цей товстий шар знижується; одночасно зменшується охолоджуюча здатність виливниці, що нагрівається; усадка зливка, який починається, приводить до утворення зазору між виливницею і скориночкою зливка, що також різко погіршує умови тепловідводу.

Зона, що характеризується уповільненням зростання кристалів. Зона, що характеризується уповільненням зростання кристалів, зменшенням їх розмірів і деяким їх відхиленням вгору, у бік теплового центру зливка. Повільно зростаючі кристали вже не встигають «захоплювати» гази, що виділяються при кристалізації; ланцюжок цих газів захоплює з собою ліквати, і в затверділому

зливку залишаються відповідні сліди (Л–образна ліквация або «вуса»). Кінець кристалізації третьої зони відповідає моменту утворення по всьому периметру зливка теплоізолюючого зазору між застиглим зливком і виливницею. Температура виливниці до цього моменту досягає температури червоного коління, а направлений тепловідвід в зоні рідкого металу, що залишився, практично припиняється, і починається поступове охолодження всієї рідкої маси металу, що залишилася в центрі зливка.

Зона безладно орієнтованих кристалів. Супроводжуючі кристалізацію ліквацийні явища приводять до того, що в матковому розчині, що залишився в центрі зливка, є велике число центрів кристалізації. В результаті ця (осьова) зона зливка характеризується наявністю безладно орієнтованих рівновісних кристалів. Унаслідок усадки зливка звичайними дефектами цієї зони є осьова рихлість і V–образна ліквация.

Зона конуса осадження. Зона має конусоподібну форму і розташована в нижній частині зливка. Ця область є конгломератом зрощених кристалів, частка яких зростала вгору під впливом охолоджуючої дії піддону, частка опускалася вниз в результаті обламування кристалів другої та третьої зон, а також осідання кристалів при кристалізації осьової частки зливка. Перетин кристалів другої зони, зростаючих в горизонтальному, і кристалів п'ятої зони, зростаючих у вертикальному напрямках, дає на розрізі зливка рисунок конуса без чітко позначеної вершини. Донна частка зливка (п'ята зона) в більшості випадків характеризується негативною сегрегацією таких домішок, як вуглець, фосфор, сірка; проте в разі введення в метал сильних розкислювачів і десульфураторів, утворюючих тугоплавкі оксиди і сульфіді, здатних служити центрами кристалізації, в зоні конуса осадження виявляється підвищений вміст таких тугоплавких включень як Al_2O_3 , CeO , CeS .

Зона усадкової раковини. Усадка сталевого зливка супроводиться окрім підвищення щільності металу протіканням процесу газовиділення при переході з рідкого в твердий стан. Одночасно в процесі усадки змінюються розміри і форма зливка.

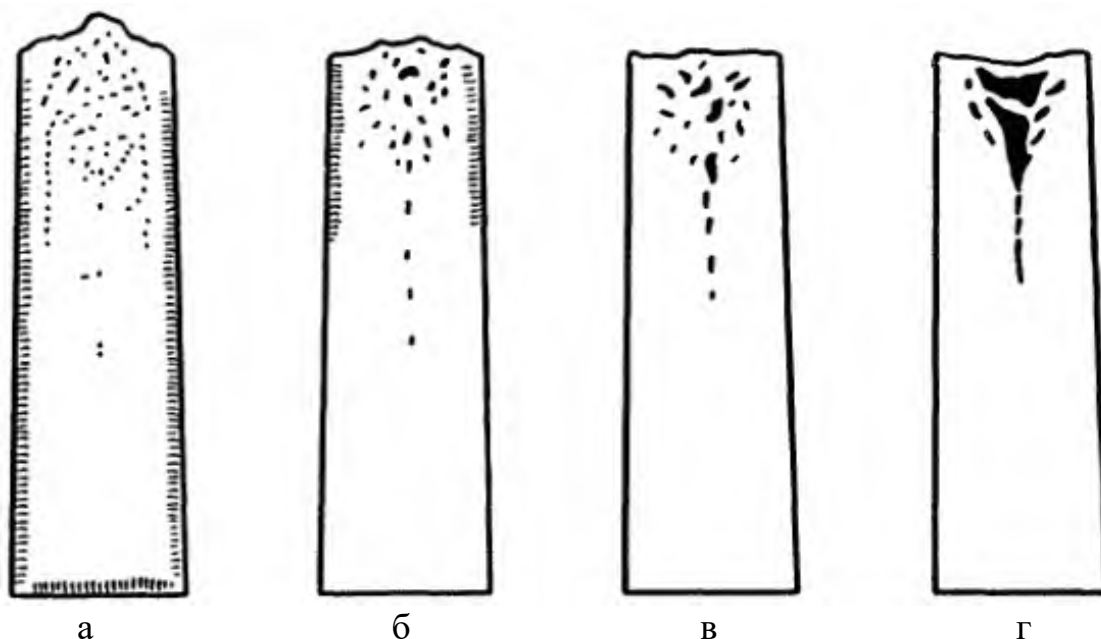
3.3 Структура зливку напівспокійної сталі

Структура зливка напівспокійної сталі формується за умов його розкислення, що наближається до спокійного металу. Ступінь розкислення напівспокійної сталі має вирішальне значення на якість зливка. Розрізняють чотири групи напівспокійної сталі за ступенем розкислення (рис. 3.6).

Напівспокійна сталь порівняно з киплячою має більшу однорідність, кращі механічні властивості, підвищену холодноламкість та стійкість проти старіння, містить менше неметалічних включень.

Якість зливка напівспокійної сталі збільшується разом з зростанням його маси та швидкості розливання металу. Порівняно з спокійною сталлю зберігається високий вихід придатного, вдвічі зменшується витрата феросплавів

та розкислювачів, зменшуються також трудові затрати при підготовці до розливки виливниць та при розливанні сталі. Напівспокійна сталь – найбільш економічна і в багатьох випадках може використовуватись як заміник спокійної сталі (листова, арматурна, періодичний та сортовий прокат), а в ряді випадків і киплячої.



а – недорозкислений зливкок; б – зливкок з вмістом кисню, близьким до верхньої межі; в – нормально розкислений зливкок з вмістом кисню, близьким до нижньої межі; г – перерозкислений зливкок

Рис. 3.6. Типи структур злиwkів напівспокійної сталі

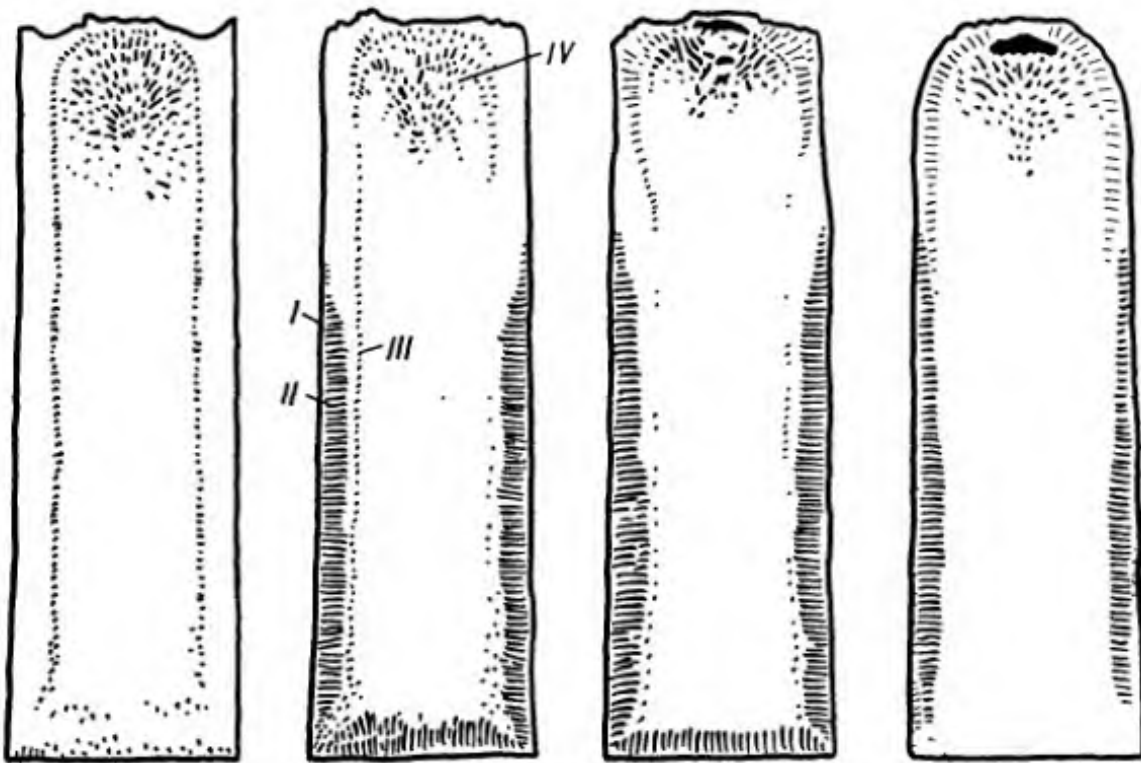
3.4 Структура зливку киплячої сталі

На відміну від спокійної сталі, що повністю розкислена, **кипляча сталь** при кристалізації «кипить». Ефект кипіння викликається реакцією між розчиненими в металі вуглецем і киснем: $[C] + [O] = CO_{\uparrow}$.

Навіть у зливку спокійної сталі, що повністю розкислена, у момент кристалізації має місце виділення деякої кількості газів. У зливку киплячої сталі рясне газовиділення не лише накладає певний відбиток на будову зливка, але і значною мірою визначає його якість. У зливку киплячої сталі, що кристалізується, формуються наступні основні зони (рис.3.7). Поперечний розріз зливку киплячої сталі приведено на рис. 3.8.

Зона щільного зовнішнього шару («скориночка») утворюється у момент зіткнення рідкої сталі з холодними стінками виливниці. Метал цієї зони складається з дрібних, безладно орієнтованих кристалів, за хімічним складом близьким до складу рідкого металу в ковші. Товщина зони (товщина скоринки) залежить від ряду чинників, і перш за все від швидкості розливання (швидкості наповнення виливниці). При швидкому наповненні

випливанні товщина скориночки менша, при повільній розливці товщина скориночки більша.



а

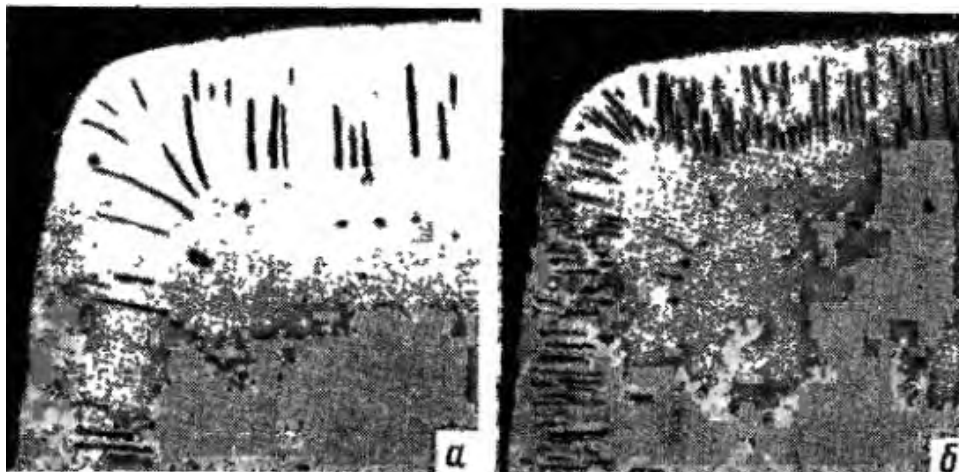
б

в

г

а – 0,02% С; б – 0,08–0,1% С; в – 0,13–0,15% С; г – 0,17–0,19% С;
 I – скориночка зливку; II – стільникові пухирці; III – глибинні пухирці; IV –
 скопчення округлих газових пухирців в головній частині зливку

Рис. 3.7. Будова зливка киплячої сталі



а – на рівні 0,8 Н від низу; б – на рівні 0,8 Н від низу
 Рис. 3.8. Поперечний розріз зливку киплячої сталі, х 1/10

Зона стільникових пухирців. Так само, як і в разі кристалізації зливка спокійної сталі, при кристалізації киплячої сталі починається зростання стовбчастих кристалів. Осі зростаючих кристалів збігаються з напрямленням відведення тепла. Оскільки кристалізація відбувається вибірково, осі кристалів

чистіші за матковий розчин, між осями зростаючих кристалів знаходиться збагачений лікватами матковий розчин.

Зона відносно щільного і чистого металу. При твердінні металу в цій зоні ліквацийні процеси продовжуються, проте концентрації лікватів ще недостатньо для газовиділення (значна частка розчинених в металі газів, раніше всього водню, вже виділилася при утворенні стільникових пухирців).

Зона вторинних пухирців. В мить, коли концентрація лікватів стає достатньою для початку газовиділення, в зливку утворюються пухирці, які прийнято називати вторинними. Швидкість росту кристалів у цей момент вже невелика і пухирці мають округлу форму. До моменту утворення вторинних пухирців наповнення виливниці закінчене і на поверхні зливка, що формується, утворюється кірка застиглого металу, тобто умови видалення пухирців стають несприятливими і велика частка вторинних пухирців залишається в зливку у вигляді стовпа округлих пухирців, зафіксованих в металі на деякій відстані від стільникових пухирців. Вторинні пухирці також заварюються при плющенні.

Осьова зона зливка. Ця зона кристалізується в останню чергу і подібно до осьової зони зливка спокійної сталі складається з безладно орієнтованих кристалів, що твердіють в матковому розчині, збагаченому лікватами. У цій зоні також є пухирці, особливо в головній частині зливка, що твердіє в останню чергу, проте це пухирці усадкового походження. Довкола них концентруються ліквати. Ці пухирці погано зварюються при плющенні, а крупні пухирці в головній частині зливка з скупченнями лікватів (зокрема сірки і фосфору) на внутрішній поверхні взагалі не зварюються. Головну частину зливка киплячої сталі (5–10 %, що становить приблизно удвічі менше, ніж у зливку спокійної сталі) також відрізають і відправляють в переплав.

3.5 Методи збільшення виходу придатного

Для збільшення виходу придатного за рахунок кращого формування злиwkів спокійної сталі застосовують утеплення головної частини злиwkів в виливницях, розширених догори стаціонарними й плаваючими прибутковими надставками різної конструкції (рис. 3.9).

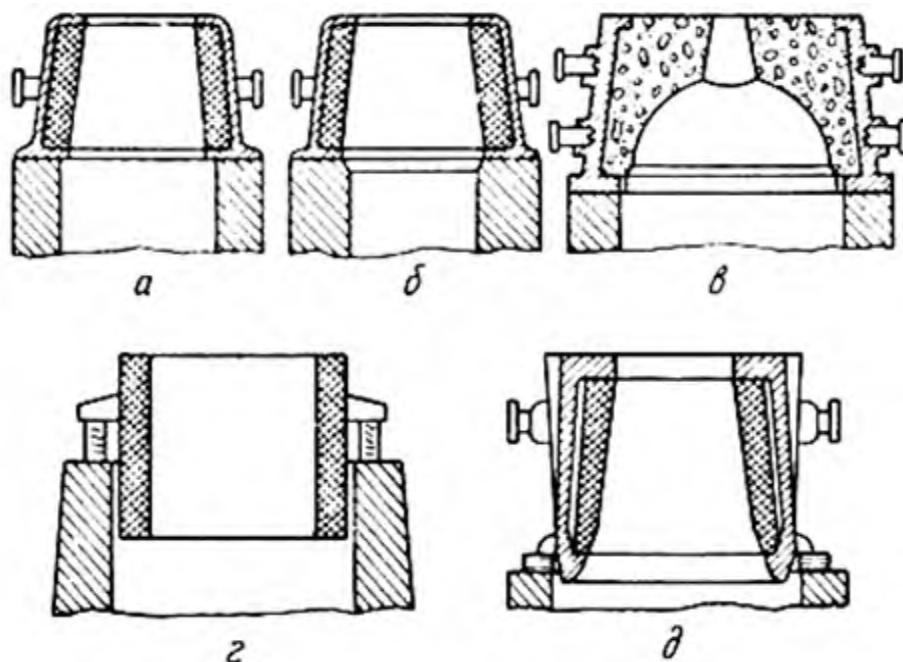
Стаціонарні прибуткові надставки (рис. 3.9 а, б) встановлюють на верхній торець виливниці. Для виливниць, які стоять на візках, використовують прибуткові надставки з обмежувальними припливами – замками, які допомагають правильно встановлювати надставки на виливниці й запобігають зсув надставок під час пересування составів.

Дотичні поверхні виливниці й надставки варто піддавати струганню для отримання між ними мінімального зазору (до 1,5 мм).

Плаваючі прибуткові надставки виготовляють або керамічними (зазвичай із шамоту) без каркаса (рис. 3.9г), або металевими з футерівкою цеглою (рис. 3.9 д).

Надставки можуть бути сферичної (рис. 3.9 в), конічної або пірамідальної форми. На більшості металургійних заводів застосовують прибуткові

надставки, футеровані усередині вогнетривкою цеглою. Після футерівки надставки усередині обмазують масою з 80% шамотного порошку й 20% меленої вогнетривкої глини, фарбують составом із графіту, замішаного на розчині сульфїтного лугу, і сушать або теплом, акумульованим прибутком від попередньої плавки, або на спеціальних пальниках.



а – стаціонарна з підставою, що трохи виступає усередину виливниці;
 б – стаціонарна з підставою, що трохи відступає від внутрішньої поверхні виливниці й із спеціальною фаскою; в – стаціонарна сферичної форми;
 г – плаваюча керамічна; д – плаваюча металева футерована
 Рис. 3.9. Прибуткові надставки для виливниць, розширених догори

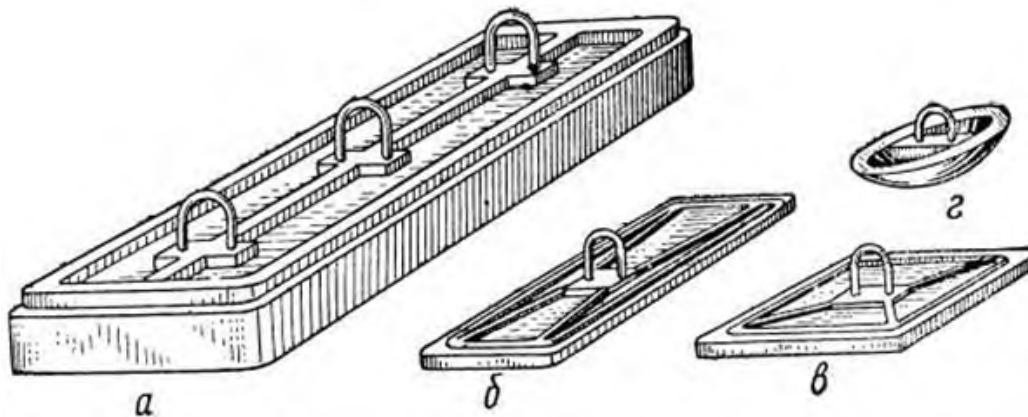
При кристалізації зливків киплячої сталі верхня грань злитка повинна повністю затвердіти задовго до затвердіння всього обсягу його. Для цього злитки накривають спеціальними чавунними кришками (рис. 3.10), розміри та маса яких залежать від поперечного переріза зливка та від прийнятої тривалості кипіння металу в виливниці.

Маса звичайних кришок для малих зливків коливається в межах від 10 до 15 кг і для середніх зливків – від 80 до 130 кг (рис. 3.10 в). Великі зливки накривають важкими кришками вагою до 1,5 т (рис. 3.10 а). Кришки для накривання злитків в виливницях пляшкового типу повинні бути круглими (рис. 3.10 г) або овальними залежно від форми верху виливниці. Маса таких кришок зазвичай складає 40–55 кг.

При виробництві киплячої сталі на заводах, де виробляється тонкий лист, замість кришок використовують вирізані з тонкого листа пластини, якими накривають головну частину киплячого зливка та рясно поливають промисловою водою.

Якість прокатної продукції у відомій мірі визначається станом поверхні злитка, що у свою чергу залежить від підготовки внутрішньої порожнини

виливниці перед заливанням сталі. Незадовільне чищення та змащення виливниць приводять до виникнення в зливках підкіркових міхурів і дрібних тріщин, до приварювання злиwkів до виливниць і зменшення стійкості останніх.



а – листова; б – слябова; в – квадратна; г – пляшкова
Рис. 3.10. Кришки для накривання злиwkів киплячої сталі

Всі роботи, пов'язані із чищенням, змащенням виливниць та підготовкою составів сталеливарних візків (установка піддонів, набирання центрових, установка та підмазка прибуткових надставок та інше), виконують механізованими способами в спеціалізованих відділеннях (цехах).

Питання для самоконтролю

1. Надати визначення поняття «кристалізація».
2. Зазначити яка структура зливка спокійної сталі.
3. Охарактеризувати структуру зливка напівпокійної сталі.
4. Надати характеристику структурі зливка киплячої сталі.
5. Охарактеризувати основні дефекти зливку.
6. Визначити основні методи збільшення виходу придатного при кристалізації сталі у виливниці.

Тема 4. ОСНОВНІ ТИПИ МБЛЗ ТА ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ

Мета лекції – ознайомлення з перевагами безперервної розливки сталі, основними типами машин безперервного лиття заготовок та їх конструкційними особливостями.

План

- 4.1 Переваги безперервної розливки сталі.
- 4.2 Типи МБЛЗ
- 4.3 Напівбезперервна розливка сталі

Перелік ключових термінів і понять: машина безперервного лиття заготовок, сортова МБЛЗ, МБЛЗ вертикального типу, МБЛЗ криволінійного типу, МБЛЗ радіального типу, МБЛЗ горизонтального типу, напівбезперервна розливка сталі.

4.1 Переваги безперервної розливки сталі

На сьогодні технології безперервної розливки сталі посідають одне з чільних місць з точки зору підвищення ефективності металургійного виробництва та забезпечення високої якості металопродукції. Стабільність процесу безперервної розливки металевих розплавів, а отже і якості одержуваних заготовок, багато в чому визначається технологічними параметрами в ланцюгу: «сталерозливний ківш – проміжний ківш – кристалізатор».

Так підприємства чорної металургії України є одними з найбільших постачальників сортової заготовки та довгомірного прокату на світовий ринок, динаміка розвитку якого характеризується помітним підвищенням конкуренції та вимог до якості продукції. У цьому плані вельми актуальним є аналіз тенденцій розвитку технології й обладнання для безперервного лиття сортової заготовки (сталевої балки квадратного, прямокутного або круглого перетину (максимальний розмір меншої сторони не більше 180–200 мм), отриманої при розливці на МБЛЗ або шляхом прокатки зі зливка на блюмінгу).

Серед переваг безперервної розливки сталі в порівнянні з розливкою у виливниці слід виділити:

– істотно збільшується вихід придатного металу.

Так для спокійної сталі отримання слябів і блюмів шляхом безперервної розливки замість розливки у виливниці з подальшим плющенням забезпечує підвищення виходу придатного на 10–15%. Це пояснюється тим, що при прокатці головна частина кожного зливка (13–20%) йде в обріз через наявність усадковою раковини. При безперервній розливці усадкова раковина утворюється один раз на заключному етапі розливки заготовки;

– відпадає необхідність в наявності на підприємстві потужних обтискних станів (блюмінгів і слябінгів), зменшуються енергетичні витрати, потреба в

робочій силі та інші;

- поліпшується якість металу в результаті зменшення хімічної неоднорідності при швидкому затвердінні заготовок малого перерізу;

- поліпшуються умови праці та різко скорочується кількість ручної праці при розливці сталі;

- виникають умови для автоматизації розливки металу.

Основні технологічні прийоми, що забезпечують отримання безперервнолитої заготовки високої якості, повинні відповідати наступним основним вимогам:

- висока якість металу, що розливається;

- можливо мати нижчий перегрів (над температурою ліквідусу) металу, що поступає в кристалізатор;

- захист металу від вторинного окислення і попадання шлакових часток;

- перемішування металу, що кристалізується;

- обробка тиском заготовки, що кристалізується. При виконанні цих вимог заготовки, отримані при безперервній розливці, мають, як правило, більш однорідну кристалічну структуру, чим звичайні заготовки.

На сьогодні близько 60% заготовок, що відливаються безперервним литтям, розливається на слябових МБЛЗ.

Рідка сталь безперервно заливається в водоохолоджувальну форму, яка називається *кристалізатором*. Перед початком заливки в кристалізатор вводиться спеціальний пристрій з замковим захопленням («запал»), як дно для першої порції металу. Після затвердіння металу запал витягується з кристалізатора, захоплюючи за собою формується зливоч. Надходження рідкого металу триває і зливоч безперервно нарощується. Цей процес зливкоутворення є способом отримання злиwkів необмеженої довжини. В цьому випадку в порівнянні з розливкою у виливниці різко зменшуються втрати металу на обрізку кінців злиwkів, які, наприклад, при литті спокійної сталі становлять 15–25%. Крім того, завдяки безперервності лиття та кристалізації, досягається повна рівномірність структури зливка по всій його довжині.

4.2 Типи МБЛЗ

Машини безперервного лиття заготовок бувають: сортові; слябові та блюмові.

Сучасні блюмової МБЛЗ можна умовно класифікувати за такими ознаками:

- за призначенням (для розливки рядових і якісних сталей загального призначення);

- за конструкцією (вертикальні, вертикальні з вигином заготовки (зливка), радіальні, криволінійні та горизонтальні);

- за перетину заготовки (квадрат або прямокутник перетином 200–280 мм; блюм великого перерізу з мінімальним розміром сторони 300 мм; кругла заготовка діаметром понад 200 мм, фасонна заготівля типу «собача кістка»);

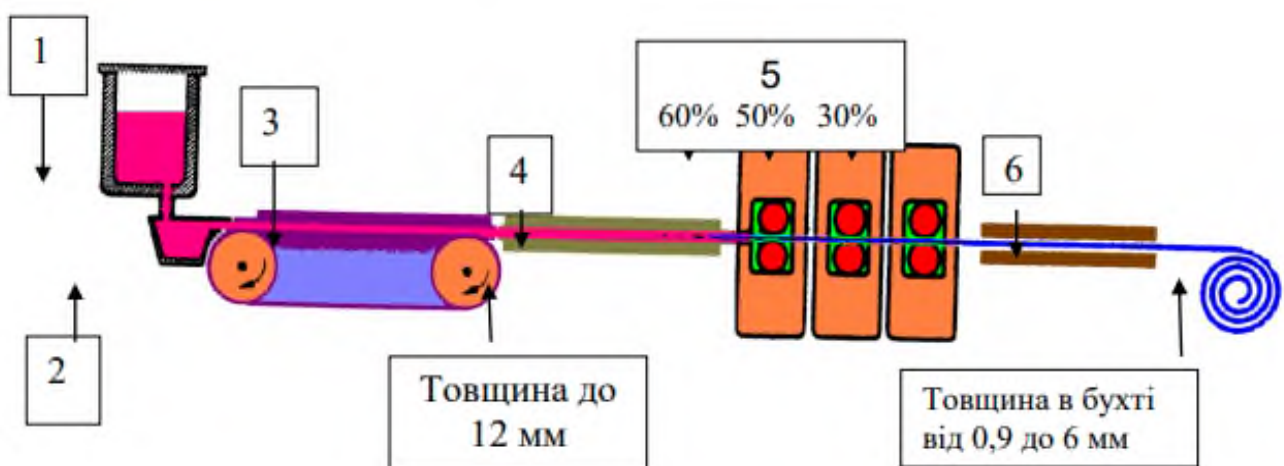
– за числом струмків (однострумкова, двохструмкова та багатострумкова – 3–6 струмків).

Для розливки рядових і якісних сталей загального призначення використовуються, як правило, блюмові МБЛЗ радіального та криволінійного типу. Основна частина блюмової МБЛЗ має 2–4 струмка. На частку 6–струмкових машин припадає близько 1/5 від усієї кількості блюмової струмків МБЛЗ, і вони розташовані в великих конвертерних цехах з великої одиничної ємністю плавильних агрегатів. Крім того, застосування многоручьєвих МБЛЗ вимагає використання промковшей великої протяжності, а також забезпечення підвищених вимог до температурної однорідності стали і ін.

Для розливки високоякісних сталей використовуються МБЛЗ криволінійного типу з вертикальним кристалізатором, а також вертикального типу з загином твердої заготовки. Більшої поширення набули машини з вертикальним кристалізатором та багаточечним загином і розгинанням заготовки. Як правило, це одно-, дво- або чотирьохструмкові МБЛЗ, які розташовані в електросталеплавильних цехах, оснащених вакуумними станціями і агрегатами «ківш-піч». На таких МБЛЗ розливають високолеговані і нержавіючі сталі, а також сталі з особливими властивостями. Швидкість витягування заготовки при цьому виявляється досить низькою (0,35–0,50 м/хв). В окремих випадках для отримання високоякісної блюмової заготовки застосовуються вертикальні МБЛЗ, що забезпечує оптимальні умови для її формування в процесі затвердіння та охолодження.

Наприклад, в електросталеплавильному цеху фірми Edelstahl Witten-Krefeld GmbH (Німеччина) функціонує вертикальна блюмова МНЛЗ (перетин заготовки 340x475 мм, кількість струмків – 2).

Сучасна схема виробництва тонкого листа показана на рис. 4.1. Продуктивність установки складає від 300000 до 500000 т/рік.



1 – ківш для розливки; 2 – проміжний ківш; 3 – первинне охолодження; 4 – вторинне охолодження; 5 – прокатні стани з обтисненням відповідно (60%, 50%, 30%); 6 – третинне охолодження; 7 – бухта

Рис. 4.1. Схема виробництва тонкого листа методом безперервного лиття заготовок

4.2.1 МБЛЗ вертикального типу

Спочатку на практиці застосовувалися тільки вертикальні МБЛЗ. Щоб забезпечити повне затвердіння рідкої фази у зливку, що формується в процесі його вертикального переміщення, необхідно мати достатню висоту всієї конструкції в цілому (рис. 4.2 та рис. 4.3).

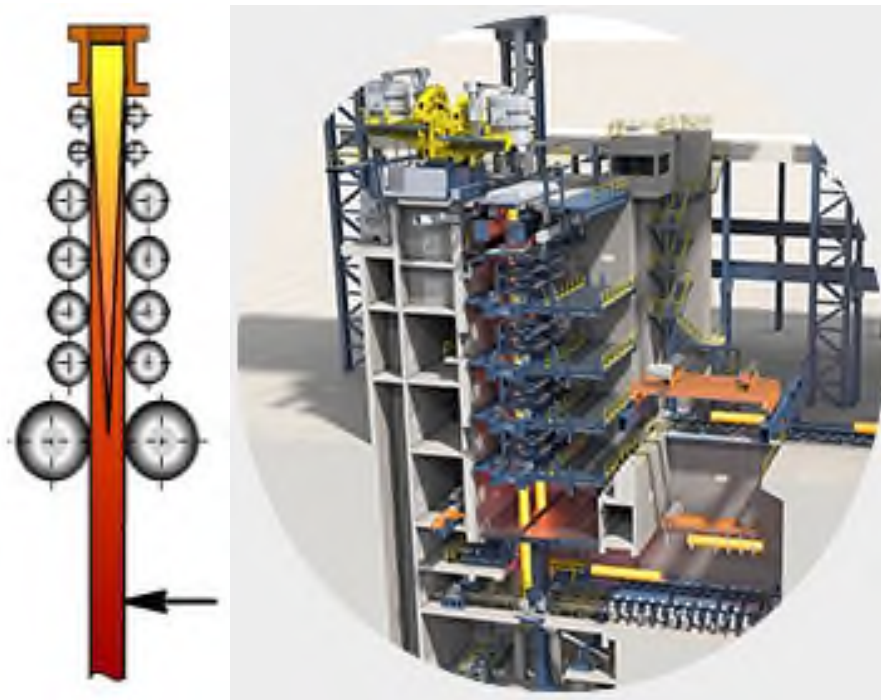
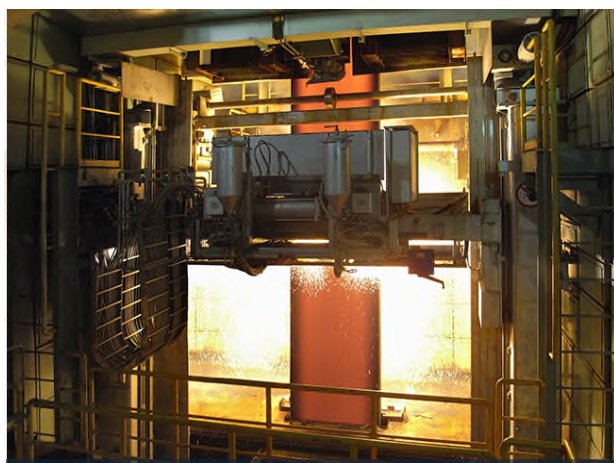


Рис. 4.2. Схема вертикальної МБЛЗ



а



б

Рис. 4.3. Порізка слябу (а) та підъем слябу (б) на вертикальній МБЛЗ

При литті злиwkів великих перетинів з великою протяжністю рідкої фази, а також зі збільшенням довжини заготовки вельми зростає висота вертикальних МБЛЗ. Характерні особливості вертикальних МБЛЗ: значну висоту і заглиблення через фундамент під установку у вигляді опускного колодязя глибиною до 30 м – можна вважати великим недоліком.

Інший **недолік вертикальних МБЛЗ** – відсутність резерву збільшення швидкості розливки і обмеження можливості отримання мірних заготовок великої довжини. Виключається перехід до перспективного технологічного процесу: поєднання безперервної розливки сталі з прокаткою. Вертикальні МБЛЗ доцільні переважно при литві зливків великого перерізу, суцільних трубних заготовок великого діаметра, порожніх трубних заготовок, при розливанні сталей, схильних до утворення тріщин при деформації в гарячому стані. Тобто на машинах вертикального типу не можна розливати плавки з великовантажних агрегатів, наприклад конвертерів садкой 300–400 т, розливка якої зажадала б тривалої витримки металу в ковші.

Розміри зливків, що відливаються на вертикальних МБЛЗ, коливаються від 50x50 до 300x1850 мм. Вихід придатних зливків досягає 95–98% від рідкого металу.

4.2.2 МБЛЗ криволінійного та радіального типу

Розвитком концепції високопродуктивних МБЛЗ слід вважати так звані **криволінійні МБЛЗ**, відмінною рисою яких є наявність вертикально розташованого кристалізатора і вертикальної ділянки під ним довжиною 1,5–2,5 м (рис. 4.4).

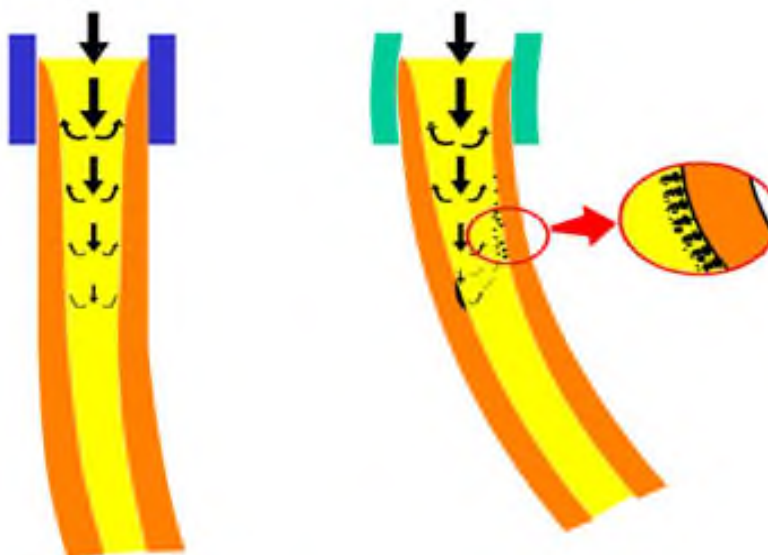


Рис. 4.4. Порівняння умов формування заготовки в вертикальному (а) і радіальному кристалізаторе (б)

Далі заготовка загинається до певного (базового) радіусу (рис. 4.5). Це дозволяє забезпечити сприятливі умови для формування заготовки в початковий період затвердіння, в тому числі для спливання неметалевих включень.

Загин твердіє заготовки здійснюється в 5–8 і більше точках, що запобігає можливості утворення тріщин і проривів металу в твердій скоринці. Наступні ділянки криволінійної МБЛЗ в цілому аналогічні дизайну радіальних МБЛЗ.

Основні переваги криволінійних МБЛЗ знаходяться в площині підвищення якості заготовки (в першу чергу, поверхневих і підповерхневих шарів) і збільшення компактності машини. Тим часом певним недоліком таких МБЛЗ є підвищення вимог до точності настройки роликів ЗВО і технологічної лінії в цілому. Найбільш важливими функціональними моментами при цьому є зона загибу і розгибу заготовки, де жорстко регламентується величина деформації твердої скоринки. Найбільше застосування криволінійні машини отримали при розливці слябової заготовки.

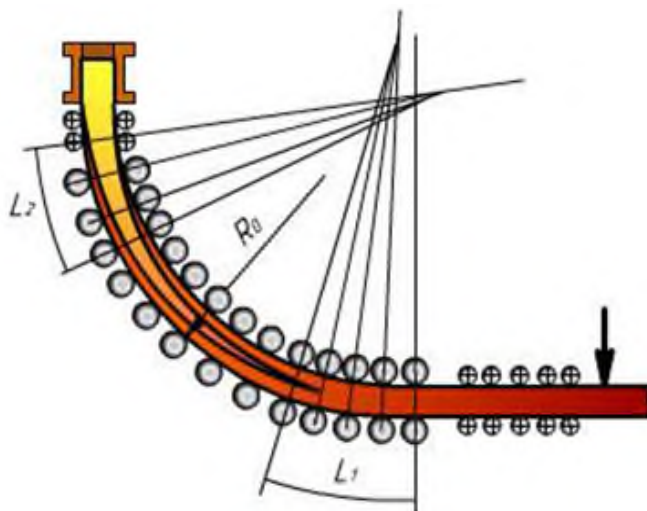


Рис. 4.5. Схема МБЛЗ криволінійного типу (L_1 – участок разгиба заготовки; L_2 – участок загиба заготовки; R_0 – базовий радіус МБЛЗ)

В останнє десятиліття все більшого поширення набувають *криволінійні МБЛЗ для відливання тонких слябів* (близько 40–60 мм і менше). Відмінною особливістю таких МБЛЗ є принципово нова конфігурація внутрішньої порожнини кристалізатора. Серед переваг тонкослябових МБЛЗ можна назвати можливість отримання слябів шириною понад 3000 мм і зменшення втрат енергії та металу в ході подальшого прокатного переділу, який поєднується з розливанням в єдиному агрегаті, званому ливарно-прокатний модуль (ЛПМ).

Різновидом криволінійної є *МБЛЗ з прямим кристалізатором*. У ній початкове формування відливається зливка здійснюється на прямому вертикальному ділянці 2–3 м. Потім відбувається вигин злитка в декількох точках, перекид його на дугу постійного радіуса, випрямлення злитка в декількох точках. Закінчення затвердіння злитка здійснюється на горизонтальній ділянці. Переваги криволінійної МБЛЗ з прямим кристалізатором полягають у використанні більш простого в обслуговуванні і виготовленні прямого кристалізатора і можливого поліпшення якості злитка за рахунок спливання неметалевих включень на прямій ділянці, недоліки - дещо більша висота (1–3 м в залежності від товщини відливається зливка). Технологічна (металургійна) протяжність цих МБЛЗ може досягати 45–47 м і забезпечувати розливання сталі з великою швидкістю.

МБЛЗ криволінійного та криволінійного з вертикальним кристалізатором типів застосовуються в високопродуктивних цехах, в яких

виплавляють вуглецеві і низьколеговані сталі. Криволінійні МБЛЗ з прямим кристалізатором використовують також при литві зливків більш складного марочного сортаменту.

Відмінною особливістю **радіальної МБЛЗ** є те, що формування заготовки здійснюється по дузі постійного радіусу до моменту її повного затвердіння. Збільшення перетину веде до збільшення радіусу МБЛЗ, її висоти і зменшення переваг в порівнянні з МНЛЗ вертикального типу. Тому радіальні МБЛЗ доцільно застосовувати при литві заготовок дрібної сортової (перетином від 70x70 до 200x200 мм) і більших перетинів з сталей, що не допускають деформації в двофазному стані.

4.2.3 МБЛЗ горизонтального типу

Технологічна вісь машин цього типу розташована горизонтально або нахилена на кут до 15–20° до горизонталі (рис. 4.6).



Рис 4.6. Загальний вигляд МБЛЗ горизонтального типу

На рис 4.7 показана схема МБЛЗ горизонтального типу. Головний блок установки (1) складається з опорної рами і металоприймача з яким герметично з'єднаний кристалізатор, де здійснюється формування і часткове затвердіння заготовки. Далі розташовується роликівий провідка зони вторинного охолодження (2), де завершується кристалізація металу. Витягування безперервного зливка здійснюється тягне кліткою з електроприводом (3 і 8). За кліткою розташовується пристрій порізки зливка (4). Це можуть бути ножиці (показані на кресленні), або машина газового різання. Ділянка збирання заготовок (5 і 6) служить для передачі їх в прокатне відділення, або на холодильник (7).

Сталь з розливного ковша надходить у футерований металоприймач, жорстко з'єднаний з кристалізатором допомогою вогнетривкої склянки. Зона вторинного охолодження являє собою рольганг з системою водяних форсунок. Далі розташований механізм періодичного витягування зливка. Механізм переміщує злиток вперед на 20–50 мм, потім повертається назад, після чого цикл повторюється; під час зворотного руху механізму злиток

залишається нерухомим, або кілька осаджується тому. Число циклів змінюється від 20 до 100 в хвилину. Періодичне витягування зливка замінює хитання кристалізатора, використовуване вертикальних і криволінійних машинах для запобігання зависання і розривів кірки зливка в кристалізаторі. За механізмом витягування розташована газорезка і рольганг з приводними роликками. Горизонтальні МБЛЗ застосовують для відливання сортових злитків невеликого перерізу товщиною менше 150–200 мм; швидкість розливання досягає 4 м/хв. Основні переваги горизонтальних машин – мала висота, менша кількість і маса обладнання і, отже, менша вартість їх будівництва.

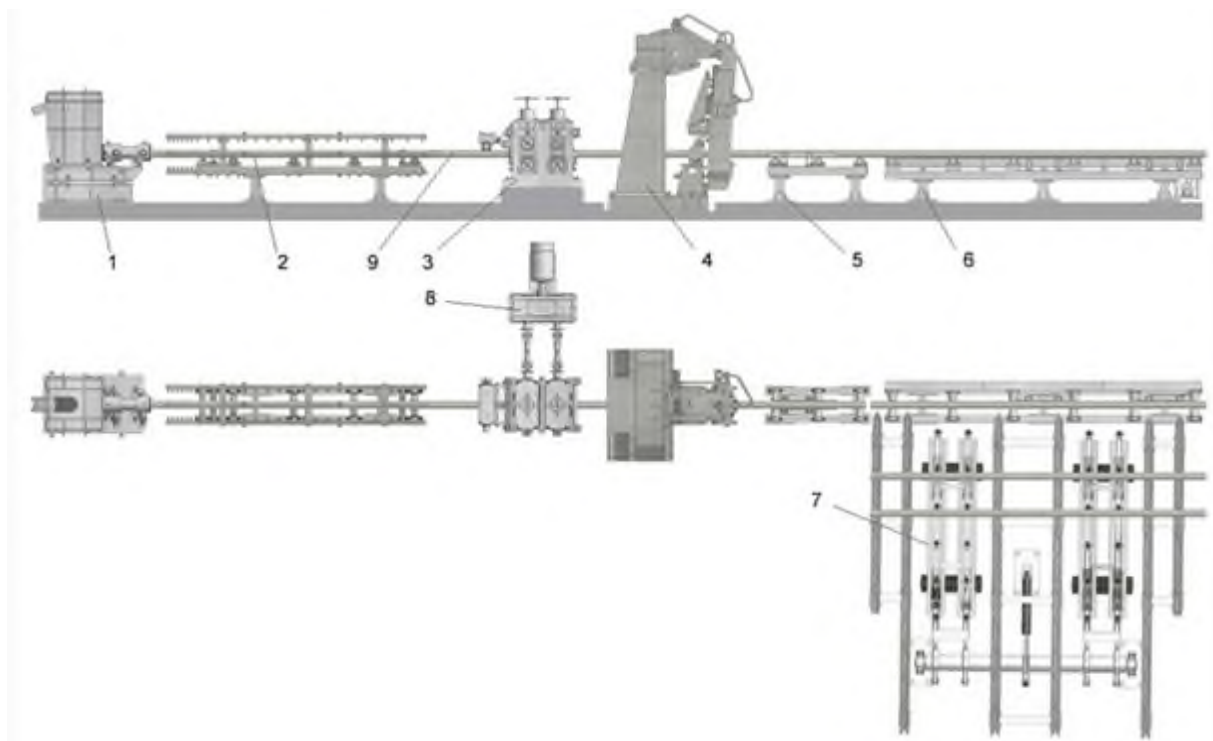


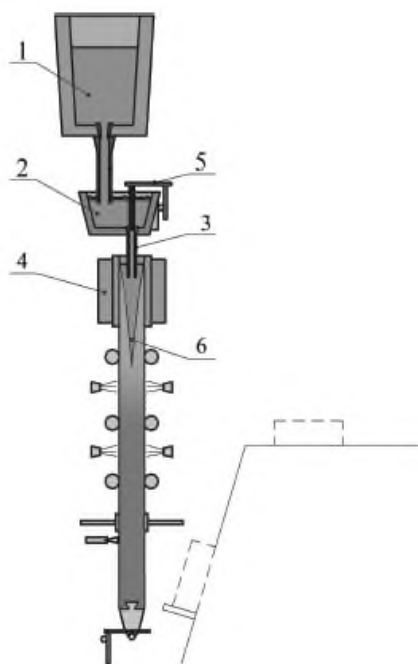
Рис. 4.7. Схема МБЛЗ горизонтального типу

4.3 Напівбезперервна розливка зливків

В основі методу напівбезперервної розливки сталі в зливки лежить принцип радіально-спрямованого тепловідведення при затвердінні заготовки сталі в мідному водоохолоджуваному кристалізаторі і потім нижче, в зоні вторинного охолодження. Фактично цей метод передбачає розливу одного ковша сталі на перетин (коло, квадрат, сляб та інше), наближене до кінцевої продукції з урахуванням подальшої гарячої деформації.

Принципова схема розливки сталі на машині напівбезперервної розливки сталі (МНБРС) з вертикально розташованою віссю показана на рис. 4.8. Метал з сталеразливного ковша 1 подається в мідний водоохолоджуваний кристалізатор (4) через проміжний ківш або прийомну лійку (2), оснащені занурювальним стаканом (3). При цьому кристалізатор за допомогою спеціального механізму (5) здійснює зворотно-поступальні рухи з певною частотою і амплітудою. Заготівлю (6) витягають з кристалізатора в зону вторинного охолодження за

допомогою затравки за допомогою тягне кліті. Хід затравки визначає довжину заготовки, і при цьому розмір її перетину, кількість струмків і масу плавки, яку можна розлити на машині. Розлив закінчується з припиненням руху затравки. У цьому положенні заготівля охолоджується до нормальної температури.



1 – ковш, 2 – воронка, 3 – стакан, 4 – кристалізатор, 5 – стопорний механізм, 6 – заготівля

Рис. 4.8. Схема лиття на вертикальній МПБЛЗ

Тривалість розливки на МНБРС зазвичай становить 20–50 хв. Видача заготовки з машини здійснюється шляхом її кантування з вертикального положення в горизонтальне на рольганг 8. В даний час є великий промисловий досвід відливання заготовок на установках МНБРС вертикального типу великих зливків довжиною 7–9 м і масою до 30–50 т.

При розливанні на кілька струмків метал розподіляють по кристалізаторів через проміжний ковш або футерований жолоб. При цьому проміжний ковш має кілька (за кількістю струмків) незалежних стопорних пристроїв, що дозволяє регулювати витрату металу в кожен кристалізатор. Дзеркало металу в проміжному ковші покривають теплоізолюючих сумішшю, що забезпечує зниження теплових втрат.

Для виливки великих зливків широке поширення одержав спосіб підведення металу під рівень в кристалізаторі через подовжені заглибні стакани. Вогнетривкий матеріал заглибних склянок (зазвичай корундографіт або плавлений кварц) повинен витримувати термічні удари, бути стійким проти хімічного впливу металу і шлаку і не втрачати міцності властивостей при високих температурах. Занурювальні склянки можуть бути виготовлені прямоструминними з одним центральним вихідним отвором або глуходонні з двома або чотирма бічними отворами. Бічні отвори забезпечують надходження

гарячих порцій металу ближче до меніска, що дає більш рівномірне формування твердої скоринки заготовки. Для посилення цього ефекту бічні отвори іноді розташовують під кутом $10\text{--}5^\circ$ до горизонталі.

Технологічний процес напівбезперервного лиття зливків включає підготовчі операції, безпосередньо розливки металу, охолодження зливка і видачу його з МНБРС.

Таким чином, технологія розливки сталі на МНБРС включає в себе як елементи технології безперервної розливки, так і елементи розливки в виливниці. Відповідно процес напівбезперервного лиття зумовлює своєрідні умови формування зливка: якщо при безперервному литті затвердіння заготовки по перетину закінчується безпосередньо в процесі розливання, то при напівбезперервній лиття повне затвердіння заготівлі закінчується через деякий час після закінчення розливання. Отже, формування зовнішніх шарів заготовки відбувається аналогічно процесу безперервного лиття, а серцевина твердне як в зливку, який відлитий у виливницю. Такий характер затвердіння в порівнянні з процесом формування зливків у виливниці підвищує фізичну і хімічну однорідність металу, але в порівнянні з безперервним литтям викликає розвиток лікваційних явищ і усадочної раковини.

В цілому метод напівбезперервної розливки металу отримав досить широке поширення при виробництві суцільних і порожнистих заготовок для машинобудування (насамперед, це стосується круглим і квадратним профілів). Перевагою методу напівбезперервного лиття для таких злитків є можливість отримання якісних зливків і заготовок з широким діапазоном типорозмірів і маси. При цьому використання МНБРС дає можливість виробляти і розливати досить невеликі порції металу, які визначаються одиничною продуктивністю плавильного агрегату. Додатковою перевагою МНБРС є можливість її розташування безпосередньо в сталеливарному цеху конкретного машинобудівного заводу, що дозволяє переплавляти леговані відходи, що накопичуються на підприємстві в результаті обробки заготовок різанням.

Дуже широке поширення метод напівбезперервної розливки отримав у кольоровій металургії.

Питання для самоконтролю

1. Визначити переваги безперервної розливки сталі.
2. Визначити типи МБЛЗ.
3. Охарактеризувати МБЛЗ для виробництва круглої заготовки.
4. Надати характеристику МБЛЗ вертикального типу.
5. Охарактеризувати МБЛЗ криволінійного типу.
6. Яка конструкція МБЛЗ радіального типу?
7. Яка конструкція МБЛЗ горизонтального типу?
8. Надати характеристику напівбезперервній розливці зливків.

Тема 5. КОНСТРУКЦІЯ ТА ПРИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ВУЗЛІВ МБЛЗ

Мета лекції – ознайомлення з конструкційними особливостями основного обладнання машин безперервного лиття заготовок.

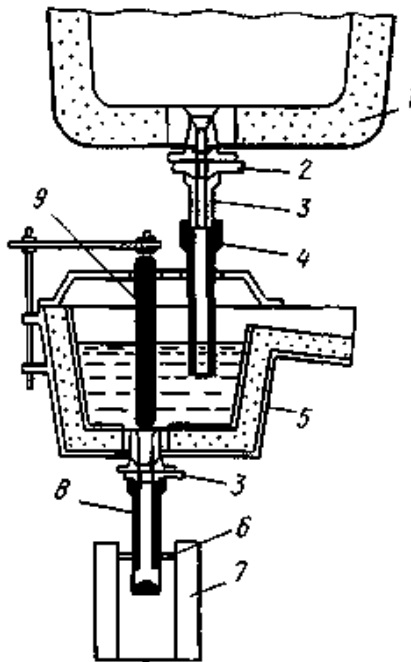
План

- 5.1 Система подачі метала в кристалізатор
- 5.2 Стенди для сталерозливних ковшів
- 5.3 Кристалізатор
- 5.4 Металоприймач

Перелік ключових термінів і понять: система подачі метала в кристалізатор, мостовий стенд для сталерозливних ковшів, поворотний стенд для сталерозливних ковшів, кристалізатор, металоприймач.

5.1 Система подачі метала в кристалізатор

У сучасних конструкціях комплексу сталерозливний ківш – проміжний ківш – кристалізатор передбачене виключення контакту метала з атмосферним повітрям. На рис. 5.1 показаний один з простих (і найбільш поширених) варіантів системи подачі метала в кристалізатор. Найчастіше застосовують аргоновий захист струменя.



- 1 – сталерозливний ківш; 2 – шиберний затвор; 3 – сполучний стакан;
4 – подовжений стакан; 5 – проміжний ківш; 6 – захисні суміші; 7 –
кристалізатор; 8 – занурений стакан; 9 – стопора

Рис. 5.1. Система подачі металу в кристалізатор із захистом від дії атмосфери на струмінь металу

Перед початком розливки очищають внутрішню поверхню кристалізатора, після чого вводять в нього приманку. Щілини між запалом і стінками кристалізатора ущільнюють азбестовим шнуром. Іноді на поверхню затравки засипають сталеву стружку, щоб прискорити затвердіння перших порцій металу.

Проміжний ківш за кілька хвилин до початку розливки встановлюють в робоче положення над кристалізатором, продовжуючи розігрів ковша за допомогою переносних пальників. Перевіряють стан стаканів проміжного ковша щодо стінок кристалізатора. При наявності зміщення стаканудо однієї зі стінок кристалізатора проміжний ківш центриують. При розливання сталі «під рівень» готують склянки для підведення металу в кристалізатор і матеріали для наведення шлаку на дзеркалі металу в кристалізаторі і проміжному ковші.

Під час випуску металу з сталеплавильного агрегату перевіряють готовність електро- і гідросистем, а також тиск води, стисненого повітря, кисню, горючого газу, включають вентиляційну систему зони вторинного охолодження. Всі механізми встановлюють в робоче положення перед розливанням.

Сталерозливний ківш з металом встановлюють на поворотному стенді, вимірюють температуру металу в ковші за допомогою термопари занурення, після чого переміщують ківш в робоче положення, а також подають воду для охолодження кристалізатора і механізмів.

Відкривають шиберний затвор сталеразливного ковша, після чого метал починає надходити в проміжний ківш. Після підвищення рівня металу в проміжному ковші до 350 – 450 мм починають подачу металу в кристалізаторі.

Для захисту металу від окислення киснем повітря при переливу з сталеразливочного ковша в проміжний використовують заглибні захисні труби, при переливу з проміжного ковша в кристалізатор - заглибні стакани, а також подачу захисних шлакообразующих сумішей на дзеркало металу в проміжному ковші і кристалізаторі (рис. 5.1).

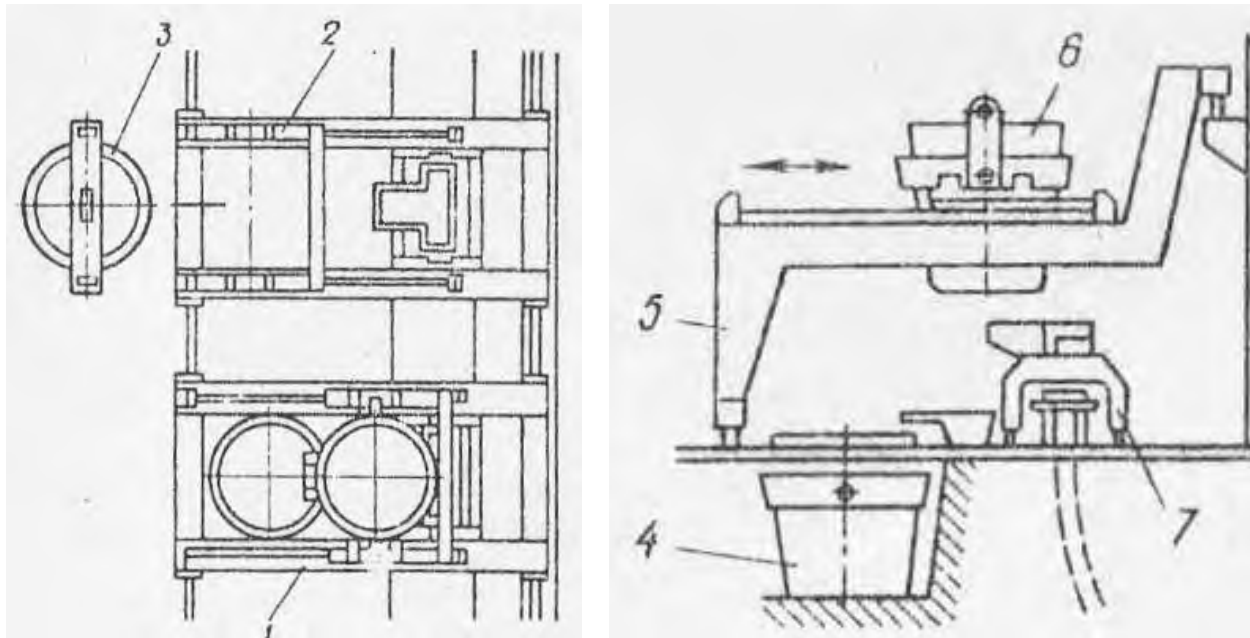
5.2 Стенди для сталерозливних ковшів

Під час розробки та освоєння конструкцій МБЛЗ сталь розливали із застосуванням розливного крана, який переміщував сталерозливний ківш і утримував його при розливці. Такий спосіб малоефективний для відділень безперервного лиття з кількома МБЛЗ, оскільки потрібно багато розливних кранів, складно організувати вантажопотоки сталеплавильного цеху. Це становище особливо ускладнюється із застосуванням розливки металу методом «плавка на плавку». Тому треба було розробити пристрої, які забезпечували б швидко заміну сталерозливних ковшів. Ця операція на сучасних МБЛЗ проводиться за допомогою сталерозливних стендів, на які встановлюють ковші при розливці, і передаються з резервного у робоче положення. За допомогою стендів піднімають також ковші при виконанні допоміжних технологічних операцій і зважують їх разом з металом.

За конструкцією та принципом роботи стенди розділяють на два типи:

- мостові (самохідні);
- поворотні.

Мостовий стэнд – це порталний або напівпортальний кран, який має отвори для розміщення сталерозливних ковшів (рис. 5.2). Кран з резервного положення в робоче пересувається над кристалізатором по коліях, прокладених на розливному майданчику МБЛЗ. Він має механізм для пересування, піднімання, а також пристрої для зважування сталерозливного ковша.



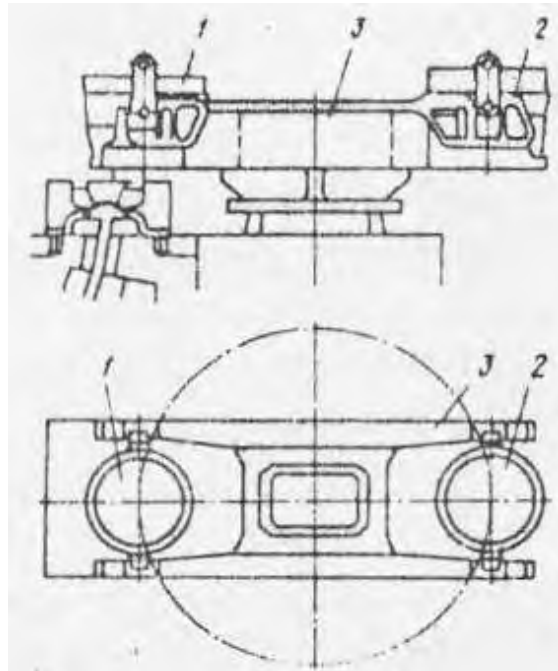
- 1 – стэнд в робочому положенні; 2 – стэнд у резервному положенні;
3 – подавання сталерозливного ковша; 4 – аварійна ємкість; 5 – міст стенду;
6 – сталерозливний ківш; 7 – возик проміжного ковша

Рис. 5.2. Сталерозливний стэнд мостового типу

Самохідні мостові стенди мають ряд недоліків: необхідність мати посилену металоконструкцію МБЛЗ, кран стенда займає багато місця на розливному майданчику. Більш широкого застосування набули стенди поворотного типу (рис. 6.3). Вони складаються з опорних елементів, поворотних частин з приводом повороту та піднімання сталерозливних ковшів і пристроїв для їх зважування. На більшості стендів здійснюється одночасне вертикальне переміщення ковшів. Інколи, залежно від розміщення шибєрів сталерозливного ковша і планування МБЛЗ, застосовують стенди з роздільним переміщенням ковшів.

Поворотні стенди забезпечують більшу точність у роботі і мають такі переваги серед самохідними стендами мостового типу: встановлення ковша відбувається поза зоною розливання; поворот стенда на 90° забезпечує обслуговування краном всього розливного майданчика МБЛЗ; аварійне зливання металу з сталерозливного ковша можна здійснити поза розливним майданчиком МБЛЗ. Швидкість повороту стенда 0,7–1,0 об./хв. При цьому

тривалість переривання струменя, що надходить у проміжний ківш, не перевищує 90 с.



1 – сталерозливний ківш у робочому положенні; 2 – сталерозливний ківш у резервному положенні; 3 – поворотна консоль станда

Рис. 5.3. Поворотний стенд

5.3 Кристалізатор

Кристалізатор є один з найбільш функціонально важливих вузлів, що визначають раціональну роботу МБЛЗ і оптимальну якість безперервнолитої заготовки. Він призначений для прийому рідкого металу, що потрапляє в нього з проміжного ковша, а також переведення частини рідкої сталі в твердий стан за допомогою інтенсивного відводу тепла охолоджуючою водою.

Переміщення рідкого металу в кристалізаторі обумовлено наступними процесами:

- вертикальним рухом струменя металу з проміжного ковша в кристалізатор. При розливі відкритим струменем метал продовжує рухатися вертикально вниз і безпосередньо в рідкій ванні заготовки, проникаючи на глибину в кілька метрів. При використанні погрузного стакану струмінь металу проникає в рідку ванну заготовки також вертикально або під кутом, відповідно до кута нахилу отворів в погрузном стакані;

- конвективними потоками в рідкій ванні заготовки, зумовленими впровадженням в розплав струменя (або струменів) металу, яка витікає з проміжного ковша (погрузного стакану);

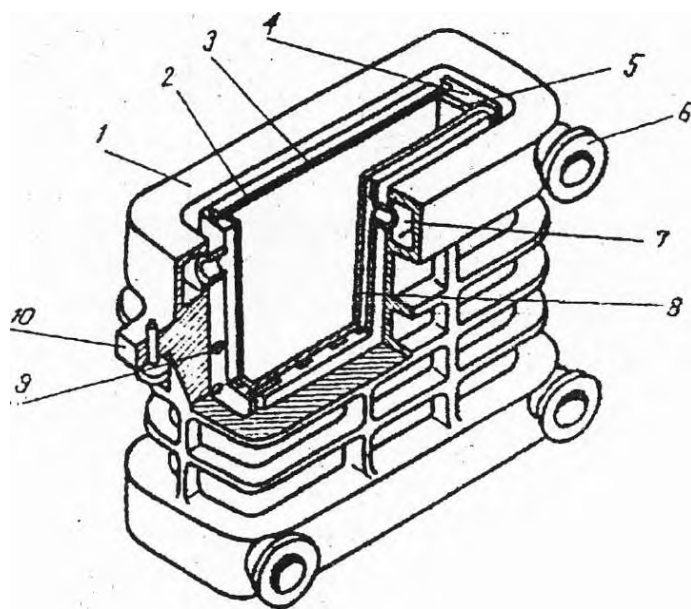
- хвильовими процесами на дзеркалі металу в кристалізаторі, які негативно впливають на якість поверхні заготовки внаслідок захоплення шлакоутворюючої суміші;

- бурлінням поверхні металу при розливанні відкритим струменем або

при вдування аргону через стопор- моноблок.

Кристалізатор складається (рис. 5.4) з корпусу, всередині якого встановлені широкі і вузькі робочі мідні та сталеві стінки, системи охолодження з трубопроводами для підведення води у збірні колектори, пристрої для регулювання положення вузьких стінок і стягуючого пристрою. Збірні колектори сполучені з пазами для циркуляції охолоджуючої води між мідними і сталевими плитами робочих стінок, закріплених гвинтами до корпусу. На корпусі кристалізатора передбачені кронштейн , що опирається на ролики приводних важелів механізму гойдання. Для переходу на лиття заготовок іншої товщини замінюють вузькі стінки.

3D-модель МБЛЗ для отримання слябових заготовок під прокатку розміром 1850 мм на 300 мм представлена на рис. 5.5.



- 1 – корпус; 2, 5 – широкі і вузькі робочі мідні і сталеві 3, 4 стінки; 6 – системи охолодження з трубопроводами для підведення води в збірні колектори; 7, 8 – пази для циркуляції охолоджуючої води; 9 – гвинти; 10 – кронштейн

Рис. 5.4. Схема кристалізатора

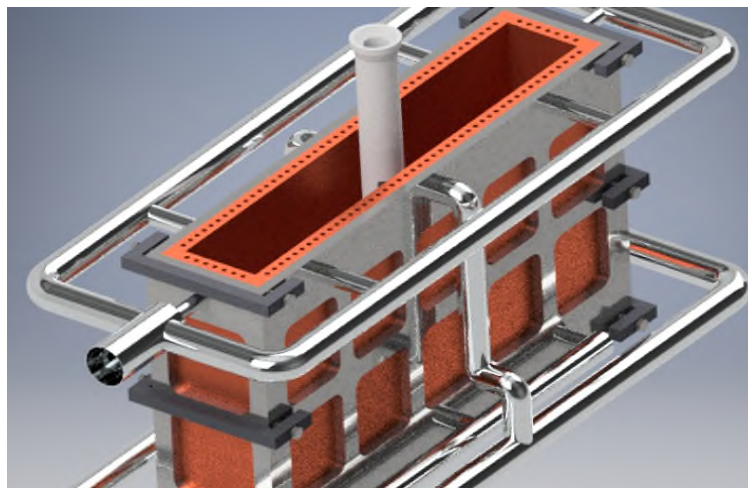


Рис. 5.5. 3D-модель кристалізатора МБЛЗ

На сьогодні всі конструкції кристалізаторів за способом виготовлення і сферою застосування можна об'єднати в три великі групи: блокові, гільзові та збірні. Всі вони залежно від форми технологічної осі МБЛЗ можуть бути прямолінійними і радіальними.

Гільзові кристалізатори виготовляються з суцільно витягнутих мідних труб з товщиною стін 5–20 мм. Гільзи вставляються в сталевий корпус і кріпляться у верхній частці за допомогою фланця. Вода протікає між корпусом і гільзою по зазору шириною 4–7 мм, забезпечуючи рівномірне та інтенсивне відведення теплоти. Гільзові кристалізатори набули широкого поширення на МБЛЗ, що відливають порівняно невеликі по перетину сортови заготовки, переважно квадратного перетину з максимальним розміром сторін 200–250 мм. Застосовуються вони при відливанні круглих, порожнистих та інших профілів. Достоїнством таких кристалізаторів є можливість досягнення високих швидкостей розливання внаслідок великої інтенсивності тепловідводу через тонкі стіни гільзи.

Блокові кристалізатори виготовляються з суцільнокованих або литих мідних блоків товщиною стінок 150–75 мм. У стінках просвердлені отвори, по яких проходить вода для охолодження. Кристалізатори такою типа характеризуються порівняльним довгим терміном роботи. В той же час вони дорогі у виготовленні та в процесі експлуатації. У такій монолітній конструкції виникає термічна напруга, що викликає деформації стінок і в них тріщини (особливо по кутах). Все це зрештою знижує продуктивність кристалізатора та якість заготовки. На сьогодні в масових промислових масштабах блокова конструкція кристалізаторів майже ніде не застосовується.

Збірні кристалізатори виготовляються з чотирьох окремих мідних плит, кожна з яких для більшої жорсткості кріпиться шпильками на окремій сталевій плиті. Залежно від товщини плит кристалізатори діляться на тонкостінні (15–75 мм) і товстостінні (50–100 мм). Такі кристалізатори широко застосовуються для відливання прямокутних листових заготовок-слябів і крупних блюмів. Характерною особливістю збірного кристалізатора є можливість зміни ширини заготовки, яку відливають. Це досягається переміщенням вузьких стін, вставлених між широкими, за допомогою різних механічних або електромеханічних приводів. При цьому, з метою підвищення продуктивності МБЛЗ, час, необхідний для налаштування, регулювання і заміни кристалізатора треба звести до мінімуму. В даний час в експлуатації широке застосування знайшли кристалізатори, що дозволяють регулювати його параметри по перетину безпосередньо в машині без знімання його з механізму гойдання. Довжина (висота) збірних кристалізаторів коливається в широких межах: від 650 до 1200 мм. За кордоном при швидкості розливання до 1 м/хв. отримали кристалізатори, довжина яких 650–800 мм. При збільшенні швидкостей розливання до 1,2–1,8 м/хв. короткі кристалізатори стали причиною підвищеної аварійності із-за збільшеного числа проривів. Тому при швидкостях >1,2 м/хв. рекомендується застосовувати кристалізатори завдовжки >900 мм.

На МБЛЗ для отримання слябів застосовуються кристалізатори висотою

до 1200 мм.

Для запобігання прилипання скориночки зливка до кристалізатора і можливого при цьому зависання заготовки (і утворення тріщин) за допомогою механізмів гойдання організують безперервний зворотно-поступальний рух кристалізатора. Щоб уникнути появи на поверхні заготовки грубих складок (слідів гойдання), інтенсивність гойдання має бути дуже високою (на сучасних УБРС до 400 і більше разів за 1 хв.). Режим зворотно-поступального руху зазвичай підкоряється синусоїдальному закону. Добрі результати отримані також при організації вібрації кристалізатора.

Слід зазначити, що характер руху потоків сталі при розливі відкритим струменем і при розливі під рівень істотно відрізняються. Зразкове схематичне розподіл потоків рідкої сталі в процесі безперервного розливання, що спостерігається на прозорих і математичних моделях, представлено на рис. 5.6.

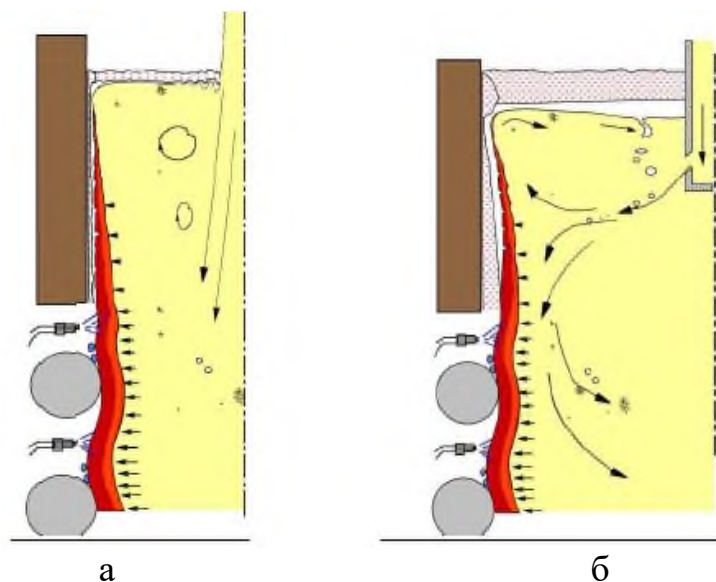


Рис. 5.6. Характер руху потоків сталі в кристалізаторі при розливі відкритим струменем (а) та під рівень (б)

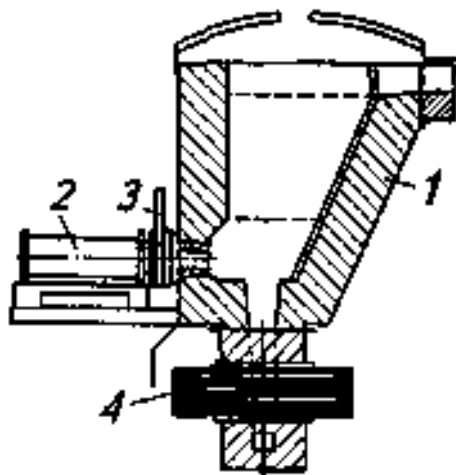
Вибір раціональної схеми підведення струменя металу в кристалізатор визначається цілою сукупністю технологічних міркувань. Однак, найбільший вплив на прогрів стінки кристалізатора і підмив твердої скоринки надають потоки в точках перетину траєкторії руху струменя з поверхнею кристалізатора. Разом з тим, в окремих випадках впливають з погрузного стакану потоки металу доцільно направляти під кутом вгору з метою обігріву меніска в кутах кристалізатора у бічних граней. У цьому випадку найбільш складні гідродинамічні та теплофізичні умови формування скоринки затверділого металу спостерігаються на кордоні зворотних потоків зі стінкою кристалізатора і утеплює шлаком на меніску.

5.4 Металоприймач

На рис. 5.7 показана схема металоприймача горизонтальної МБЛЗ,

забезпеченого шибєрним затвором, індуктором і кришкою. Однією з найбільш відповідальних деталей МБЛЗ горизонтального типу є так зване роздільне кільце, яке сполучає металоприймач з кристалізатором. До матеріалу цієї деталі пред'являють особливо високі вимоги, оскільки окрім високої точності розмірів ця деталь повинна володіти високою термічною стійкістю, стійкістю до руйнувань, налипання металу і включень, низьким температурним коефіцієнтом лінійного розширення та іншими властивостями. Зазвичай для виготовлення розділових кілець використовують такі дорогі та дефіцитні матеріали, як порошки нітриду бору (BN), інколи нітриду кремнію (Si_2NO). Витрати на виготовлення і експлуатацію розділових кілець істотно впливають на економічність роботи МБЛЗ горизонтального типу. Дорожчим, ніж для звичайних МБЛЗ, є і кристалізатор МБЛЗ горизонтального типу.

На деяких МБЛЗ горизонтального типу використовують кристалізатори з декількома (наприклад, трьома) зонами тепловідводу. Перша зона – кільце з нітриду бору, друга (утворення скориночки заготівки) – з мідно-берилієвого сплаву з високою твердістю і зносостійкістю, третя – графітова вставка. Оскільки теплопровідність графіту нижча, ніж мідь, забезпечується рівномірний розподіл температур по перетину заготівки. Графіт зменшує також сили тертя між заготівкою і кристалізатором.



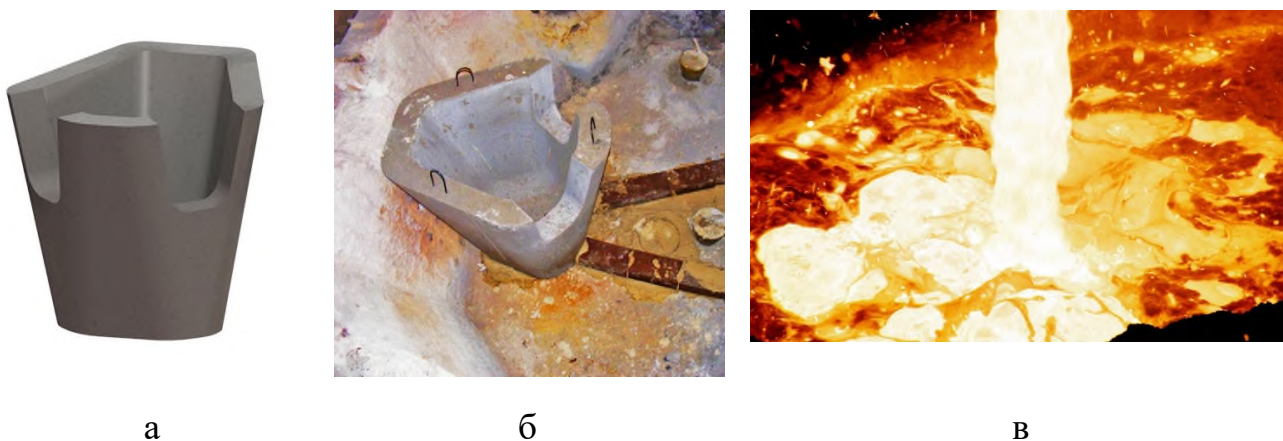
1 – корпус; 2 – кристалізатор; 3 – шибєрний затвор; 4 – індуктор для підігріву металу

Рис. 5.7. Металоприймач МБЛЗ горизонтального типу

Для умов МБЛЗ ВАТ «Електросталь» спільно з фірмою «Calderys» на підставі численних лабораторних і виробничих досліджень було розроблено і випробувано конструкцію металоприймача (рис.5.8). На першому етапі промислових випробувань нового металоприймача доведена можливість його використання для розливання наддовгих серій. Після невеликої корекції конструкції металоприймача можливо забезпечити розливання більше 60 плавок в серії. В ході випробувань не було досягнуто експлуатаційних меж стійкості як металоприймача, так і робочого шару промковша. Протягом 124-х плавок розлитих на металоприймачах нової конструкції відбулося 2 шлакових

прориви. Цей факт слід розглядати, як підтвердження ефективної роботи металоприймача в частині запобігання попадання в рідку ванну промковша великої кількості рідких шлакових включень.

Для підвищення швидкості розливання на МБЛЗ ВАТ «Електросталь» до рівня 2,8–3,5 м/хв, а, отже, і збільшення продуктивності, виконано ряд досліджень, направлених на вивчення особливостей теплової роботи МБЛЗ, а також розрахунок раціональних витрат води в зоні вторинного охолодження (ЗВО). Внаслідок розрахунку теплового стану заготовки були визначені оптимальні конструкційні особливості нульової зони вторинного охолодження, котру рекомендували встановити на МБЛЗ.



а – модель металоприймача; б – металоприймач, встановлений в промківш; в - металоприймач в процесі розливання

Рис. 5.8. Випробування металоприймача на МБЛЗ ВАТ «Електросталь»

Питання для самоконтролю

1. Охарактеризувати принцип системи подачі металу в кристалізатор.
2. Визначити призначення та принцип дії мостового стану.
3. Яке призначення та принцип дії поворотного стану?
4. Чим обумовлено переміщення рідкого металу в кристалізаторі?
5. Визначити призначення та принцип дії кристалізатору.
6. Які основні види кристалізаторів?
7. Визначити призначення та принцип дії металоприймача МБЛЗ горизонтального типу.

Тема 6. СУЧАСНІ МБЛЗ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА РІЗНИХ ВИДІВ МЕТАЛОПРОДУКЦІЇ

Мета лекції – ознайомлення з машинами безперервного лиття заготовок для виробництва різних видів металопродукції (сортових заготовок, круглої заготовки та сляба), а також різними видами ливарно-прокатних модулів.

План

- 6.1 МБЛЗ для виробництва сортових заготовок
- 6.2 МБЛЗ для виробництва круглої заготовки
- 6.3 МБЛЗ для отримання сляба
- 6.4 Розливка металу на тонкі сляби та ливарно-прокатні модулі

Перелік ключових термінів і понять: МБЛЗ для виробництва сортових заготовок, МБЛЗ для виробництва круглої заготовки, МБЛЗ для отримання сляба, розливка металу на тонкі сляби, розливка металу ливарно-прокатні модулі.

6.1 МБЛЗ для виробництва сортових заготовок

У стандартах більшості країн світу під сортовий заготівлею (billet) мається на увазі квадратна (або близька до квадрату) заготовка з перетином, як правило, від 100x100 мм до 160x160 мм. Крім того, до сортових заготовок відноситься кругла заготовка діаметром від 100 до 180 мм.

В Україні високопродуктивні сортові МНЛЗ успішно експлуатуються на ТОВ «Донецький електрометалургійний завод», ВАТ «Єнакіївський металургійний завод», ТОВ «Електросталь» (Курахове), ВАТ «Дніпровський металургійний комбінат» (всього 5 машин і 28 струмків). Виробничий потенціал цих МБЛЗ забезпечує розливання понад 5 млн.т/рік.

У конструкційному плані машини для розливки на сортові заготовки є, головним чином, радіальні МБЛЗ, що пояснюється їх простотою і високою функціональністю. Базовий радіус швидкісних сортових МБЛЗ зазвичай становить 7–9 м. Зона вторинного охолодження має, як правило, 4–5 секцій, які обладнані форсунками для розбризкування води (для останніх секцій це може бути також водоповітряних суміш).

Як правило, сортові машини забезпечують розливаку квадратної заготовки декількох перетинів зі стороною в діапазоні 100–150 мм. У ряді випадків сортові машини охоплюють більш широкий спектр перетинів, в тому числі і дозволяють розливати круглу заготовку діаметром до 180 мм.

Сучасна сортова МБЛЗ забезпечує розливку 200–250 тис.т сталі на рік або 0,45–0,55 т/хв. на струмок. Розливка сталі з підвищеними швидкостями зазвичай обумовлюється технологічними обмеженнями тривалості розливання одного ковша великої місткості (60–80 хв.) при фіксованому числі струмків МБЛЗ.

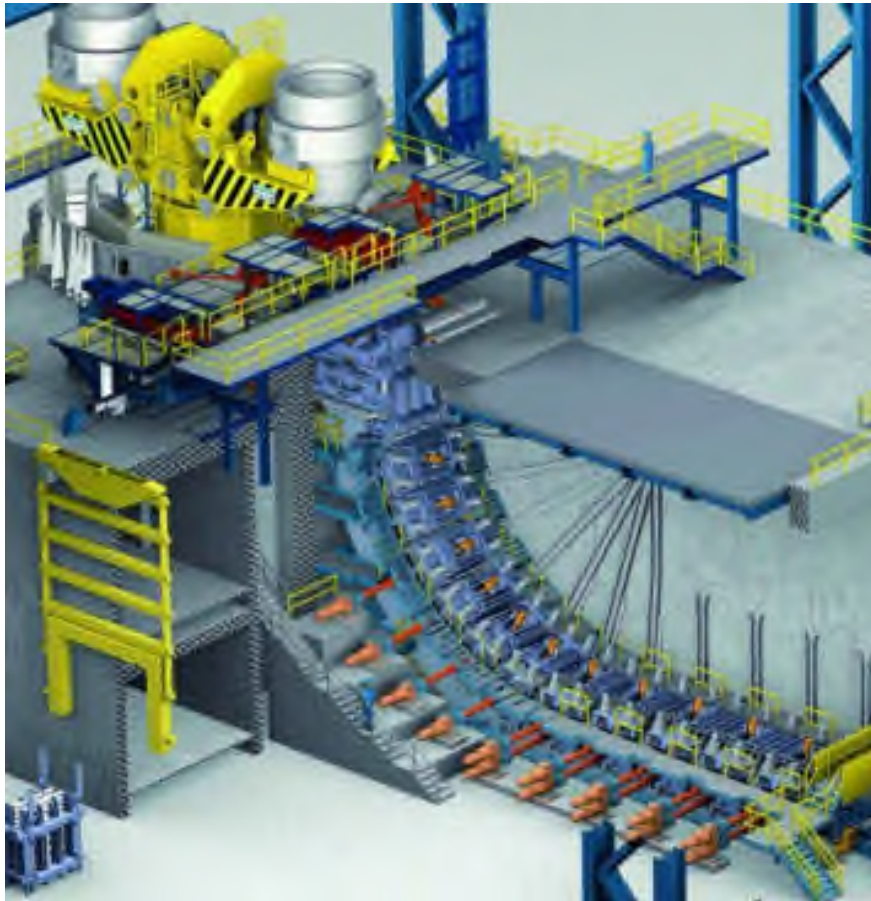


Рис. 6.1. Схема сортової МБЛЗ

6.2 МБЛЗ для виробництва круглої заготовки

Кругла безперервнолита заготовка широко використовується в індустріально розвинених країнах для виробництва безшовних труб, залізничних коліс і бандажів, а також якісного сортового прокату. Цьому сприяли досягнення в області позапічної обробки, що забезпечують високий рівень якості рідкої сталі, а також подальше вдосконалення процесу безперервної розливки сталі. Дослідженнями, проведеними в ФРН, США та Японії, встановлено, що використання круглої литої заготовки в порівнянні з застосуванням безперервнолитих блюмів при виробництві труб має певні переваги:

- поверхня круглої заготовки має більш високу якість, ніж квадратної (немає поздовжніх і кутових тріщин). Це безпосередньо призводить до більш високій якості труб, виготовлених з круглої безперервнолитої заготовки (рис. 6.1).

- підвищена щільність равноосной структури в осьовій зоні круглих заготовок забезпечує зниження кількості мікродфектов. Останні зазвичай утворюються на внутрішній поверхні труби через наявність осьової пористості у квадратних заготовок.

Розмірний сортамент литих круглих трубних і колісних заготовок

довільно широкий: від 150 до 500 мм. Крім того, на сортових МБЛЗ відкритим струменем відливаються заготовки діаметром 100–130 мм.

Безперервна розливка круглих сталевих заготовок здійснюється на МБЛЗ, які в конструкційному плані близькі до традиційних блюмових МБЛЗ (рис. 6.2).

Якісні трубні марки сталей розливаються переважно на радіальних або криволінійних МБЛЗ з багатоточечним загином і розгинанням заготовки, що дозволяє отримувати заготовки діаметром 300–400 мм. Базовий радіус на цих машинах коливається в межах 10–14 м залежно від максимального діаметра відливається заготовки.

Основними виробниками машин для розливки круглих сталевих заготовок є фірми MDM (Німеччина), SMS-Demag (Німеччина) і Danieli (Італія).



Рис. 6.1. Загальний вид круглої безперервнолитої заготовки (а) і безшовних труб, отриманих з них (б)

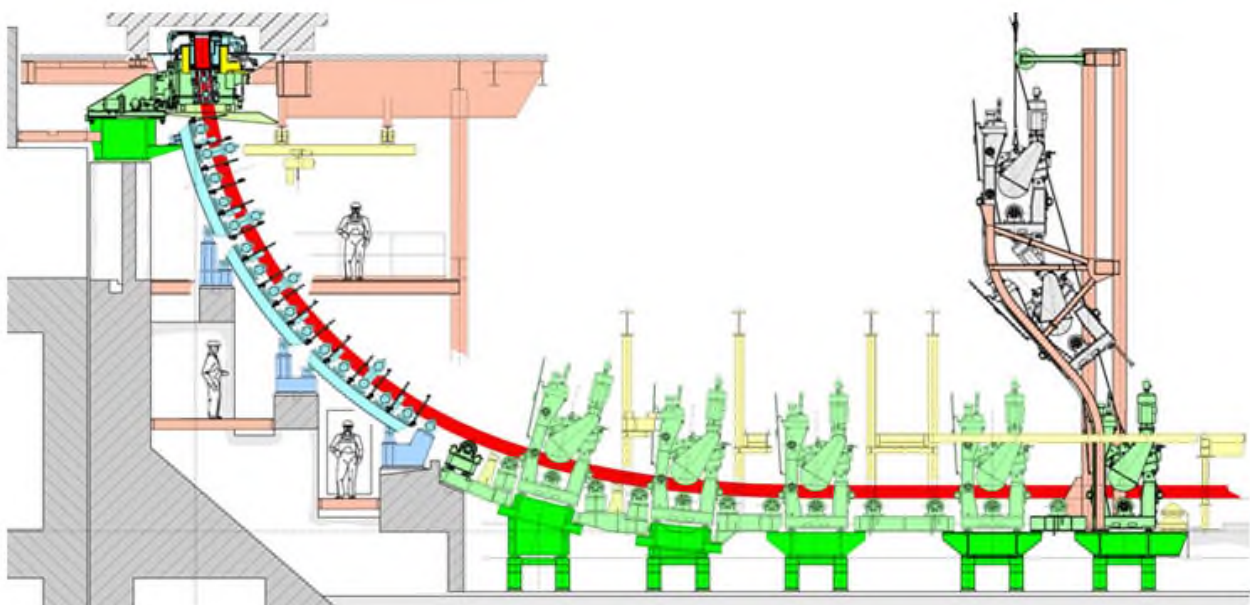


Рис. 6.2. Схема сучасної МБЛЗ для розливки круглої заготовки

6.3 МБЛЗ для отримання сляба



Рис. 6.3. Загальний вигляд сучасної одноструменевої слябової МБЛЗ

Основні характерні риси сучасних слябових МБЛЗ (рис. 6.3) полягають в наступному:

- конструктивно основна робоча вісь МБЛЗ виконується криволінійною;
- кристалізатор МБЛЗ виконаний вертикальним і має довжину 0,8–1,0 м, що забезпечує поліпшення умов флотації неметалевих включень;
- під кристалізатором передбачається вертикальну ділянку ЗВО довжиною 1,5–2,5 м;
- після закінчення вертикального ділянки передбачається секція многоточечного (безперервного) загибу заготовки до базового радіусу (кількість точок загибу коливається в межах 4–8);
- механізм хитання кристалізатора виконується з гідравлічним приводом, що дозволяє забезпечити вільний вибір амплітуди і частоти коливань в процесі розливання і коригувати ці параметри при зміні швидкості витяжки заготовки (наприклад, амплітуда коливань збільшується, а частота хитань зменшується в міру збільшення швидкості розливання) з метою мінімізації слідів гойдання і витрати ШОС;
- конструкція кристалізатора передбачає можливість зміни ширини сляба безпосередньо в процесі розливання;
- з урахуванням зростаючих вимог до якості сляба і швидкості розливання виробники прагнуть зменшити діаметр підтримувальних роликів (в верхніх секціях до 100–120 мм) шляхом спеціальних рішень (додаткових опор), що попереджають їх прогин;
- величина базового радіусу становить, як правило, 6–10 м і вибирається в залежності від товщини сляба, швидкості розливання і вимог до якості сляба; для слябів товщиною 200–250 мм і більше в даний час базовий радіус становить, як правило, не менше 10 м;
- зона вторинного охолодження розбивається на 10–15 секцій, і охолодження здійснюється шляхом застосування форсунок для водоповітряного розпилення (за винятком зони підкладки); при цьому

особлива увага приділяється рівномірності розпилення холодоагенту і перекриття полів форсунок.

- розгин заготовки здійснюється в спеціальних секціях по многоточечной (безперервної) схемою (кількість точок розгинання знаходиться в межах 4–10), що забезпечує мінімізацію напружень на міжфазній межі;

- практично обов'язковим елементом конструкції слябової МБЛЗ є операція «м'якого» обтиску, яка здійснюється на ділянці ЗВО в зоні, де частка твердої фази досягає величини 0,5–0,7 (величина обтиснення становить кілька міліметрів); мета динамічного м'якого обтиску полягає в тому, щоб запобігти затратоємкості зниження якості, тому протягом усього процесу розливання зона м'якого обтиску регулюється таким чином, щоб її положення відповідало положенню закінчення затвердіння;

- при розливці сталі обов'язково передбачається система автоматичного контролю рівня металу в кристалізаторі, система автоматичного запобігання проривів, а також система динамічного супроводу процесу охолодження заготовки;

- розливці на слябових МБЛЗ передбачає максимальний захист сталі від вторинного окислення за допомогою викорис-тання изостатических вогнетривів (захисна труба, стопор-моноблок, стакан-дозатор і погрузной склянка);

- при розливці слябів, до яких пред'являються вимоги підвищеної якості, передбачається застосування електромагнітне перемішування в кристалізаторі або ЗВО.

6.4 Розливка металу на тонкі сляби та ливарно-прокатні модулі

В цілому технологічна система на базі ливарно-прокатних модулів (ЛПМ) або ливарно-прокатних агрегатів (ЛПА) може бути представлена наступним чином:

- виплавка сталі в сталеплавильному агрегаті (дуговій сталеплавильній печі або конвертері);

- доведення сталі на установці «ківш-піч»;

- розливка сталі на сляб (товщина сляба 50–70 мм);

- гаряча прокатка в технологічному ланцюжку ЛПМ;

- прокатка на станах холодної прокатки.

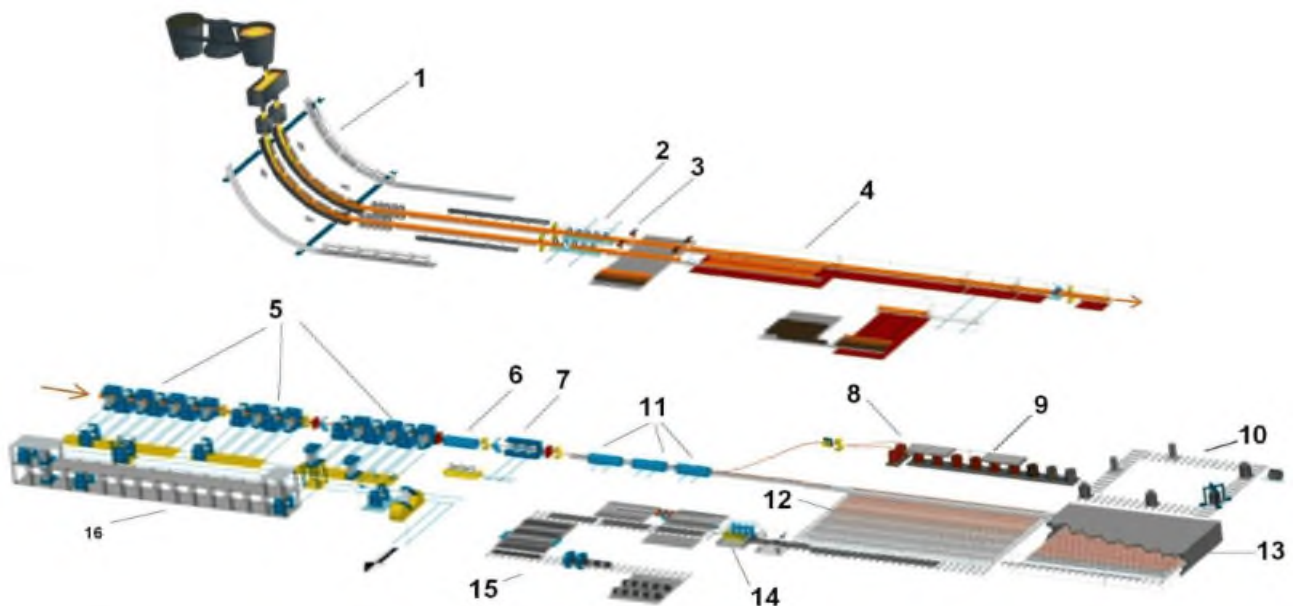
При цьому, як показала практика, для отримання 1 т холоднокатаного листа досить 1,10–1,12 т рідкої сталі, а значний енергозберігаючий ефект досягненьгається, головним чином, за рахунок скорочення технологічного ланцюжка і виключення додаткових циклів охолодження і нагрівання заготовки.

Лідером в створенні ЛПМ (за обсягом розробок і кількістю реалізованих агрегатів) є фірма «SMS-Demag» (Німеччина). Власну концепцію ЛПМ розробила фірма «Mannesmann Demag» і дала їй назву ISP (Inline Strip Production). Вона реалізована в 1992 р. на заводі в Кремені фірми Arvedi.

Одним з останніх зданих в експлуатацію ЛПМ для виробництва круглих і квадратних профілів є ЛПМ, розроблений фірмою «Danieli» (Італія) і побудований на заводі «Luna» фірми «Acciaierie Bertoli Safau» («ABS») в Удіне (Італія). ЛПМ виробляє: круглі профілі діаметром 2–100 мм і квадратні зі стороною 40–100 мм – в прутках; круглі профілі діаметром 15–50 мм – в бунтах. Річна продуктивність становить 500 тис. т.

Схема розташування обладнання ЛПМ показана на рис. 6.5. У ЛПМ використовується двухструменева МБЛЗ (відстань між струмками два метри, номінальний радіус вигину 9 м). МБЛЗ може працювати на два або один струмок, в залежності від необхідного обсягу виробництва.

Перетин заготовок, що відливаються, становить 200x160 мм. МБЛЗ обладнана механізмом заміни підтримувальних роликів, яка займає не більше 10 хв. Швидкість лиття заготовок: для вуглецевої сталі – 6 м/хв.; цементованої – 5,5 м/хв.; пружинної – 5 м/хв.; мікролегованої (бором і ванадієм) – 4,5 м/хв.; підшипникової – 4 м/хв.; корозійностійких – 3,5 м/хв.



1 – МБЛЗ; 2 – гартівні камери; 3 – ножиці; 4 – тунельна піч; 5 – чорнова, проміжна та чистова групи клітей прокатного стану; 6 – лінія охолодження; 7 – редуційно-калібрувальний блок; 8 – моталки; 9 – піч відпалу бунтів; 10 – ділянка обробки бунтів; 11 – ділянка остаточного охолодження; 12 – холодильник; 13 – піч відпалу; 14 – установка механічного видалення окалини; 15 – ділянка обробки прутків, 16 – ділянку зміни і обслуговування клітей

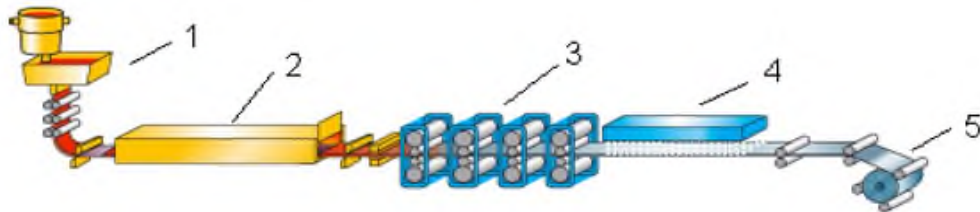
Рис. 6.5. Схема розташування обладнання ЛПМ фірми «ABS» в Удіне

Існує велика кількість конструкцій листових ливарно-прокатних модулів, які отримали суттєво більшого поширення ніж сортові ЛПМ. Вони відрізняються як за складом обладнання, так і по товщині сляба. Розрізняють тонкослябові (товщина відливається сляба 50–80 мм), середньослябові (100–150

мм) і товстослябові (180–250 мм) ЛНА. В основному, останнім часом розвиток отримали тонкослябові ЛПМ.

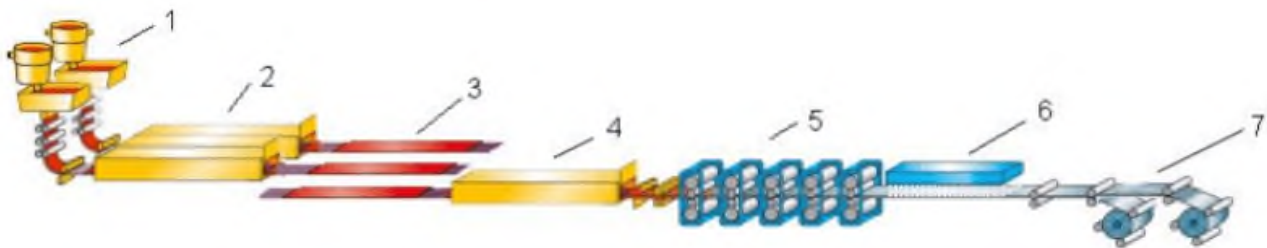
Фірма «Schloemann Siemag» розробила технологію CSP (Compact Strip Production) компактне виробництво смуги), яка вже успішно впроваджена на близько тридцяти ЛПМ по всьому світу.

Одно-та двохструменевий агрегат CSP приведений на рис. 6.6 та 6.7.



1 – машина безперервного лиття заготовок; 2 – прохідна піч; 3 – прокатний стан; 4 – ділянка охолодження; 5 – моталка

Рис. 6.6. Одноструменевий агрегат CSP прямої прокатки смуги



1 – двохструменева МБЛЗ; 2 – прохідна піч; 3 – пристрій поперечного транспортування; 4 – піч витримки; 5 – прокатний стан; 6 – ділянка охолодження; 7 – моталки

Рис. 6.7. Двохструменевий агрегат CSP з пристроєм поперечного транспортування

Ще одним варіантом ЛПМ є агрегат ISP (In-line Strip Production). В цілому компоновка його обладнання схожа на агрегат CSP, але має кілька особливостей, які дозволяють виробляти більш тонку смугу.

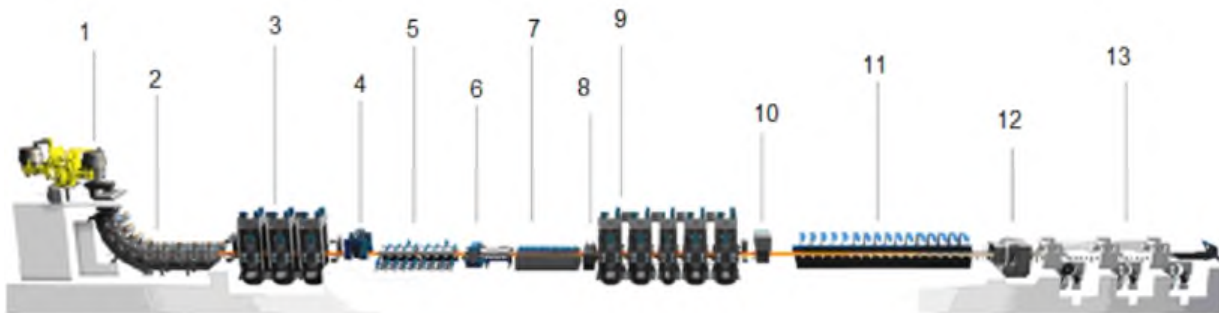
Тонкі сляби відливаються на МБЛЗ і безпосередньо в ній обжимаються в напівтвердий стан до товщини 50 мм. Після виходу з МБЛЗ сляби прокочуються в трехвалковий групі клітей HRM (High Reduction Mill) до товщини 13–17 мм. Після чого гуркіт може забиратися з лінії, як готовий товстолистовий прокат, або надходити далі в прохідну індукційну піч, після якої він змотується пічної моталкою, що служить буфером між чорнової і чистою групами клітей.

Мала швидкість прокатки на стані HRM при більш гарячій серцевині заготовки сприяє рівномірності деформації по товщині і отримання підкату з мінімальною різнотовщинністю. На стані HRM ливарно-прокатного модулю ISP серцевина сляба має температуру 1500–1400 °С, а поверхня – 1200–1150 °С. Низький опір деформації серединних шарів вирівнює розподіл обтиснень по товщині і сприяє підвищенню якості прокату.

Схема агрегату ISP приведена на рис. 6.8. Для отримання тонколистової

сталі підкат надходить в індукційний підігрівач ІН (inductive heater), а потім в одну з двох пічних моталок CFS (Cremona furnaces station), з якої після повороту задається в п'ятиклетевом безперервну групу прокатних клітей кварто FM (finishing mill).

Фірмою SMS розроблений ливарно-прокатний агрегат з використанням високошвидкісної стрічкової МБЛЗ, що отримав назву ВСТ (belt casting technology). Схема агрегату приведена на рис. 6.9. Особливістю стрічкової МБЛЗ є висока швидкість розливки – 10 –30 м/хв., яка відповідає швидкості входу заготовки в першу кліть прокатного стану. В цьому випадку не потрібні буферні пристрої для накопичення заготовок, що робить такий ливарно-прокатний агрегат максимально компактним.



а



б

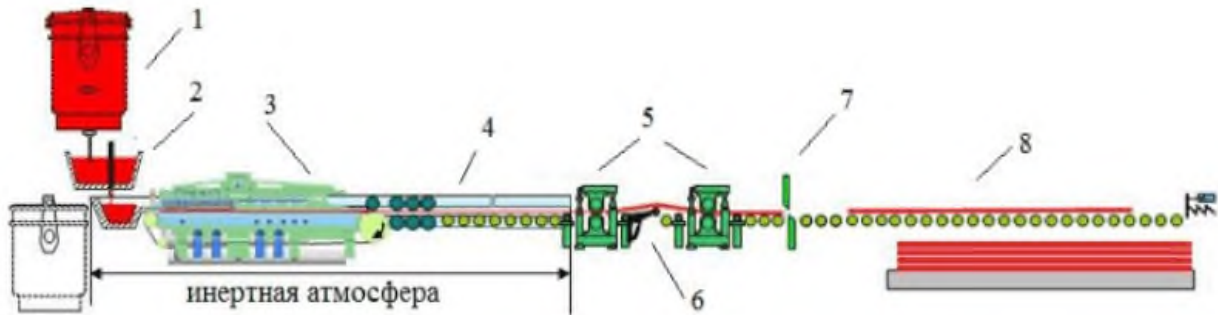
- 1 – розливний стенд; 2 – МБЛЗ з сегментами обтиску сляба; 3 – група клітей HRM; 4 – маятникові ножиці; 5 – ділянка видачі товстих листів; 6 – ножиці;
 7 – індукційний підігрів; 8 – гідросбів окалини; 9 – чистова група;
 10 – вимірювальний блок; 11– лінія ламінарного охолодження; 12 – летючі ножиці; 13 – підпільні моталки

Рис. 6.8. Схема (а) та загальний вигляд агрегату ISP

Валкова розливка-прокатка є однією з найбільш перспективних і енергозберігаючих технологій виробництва тонких смуг. Дана технологія

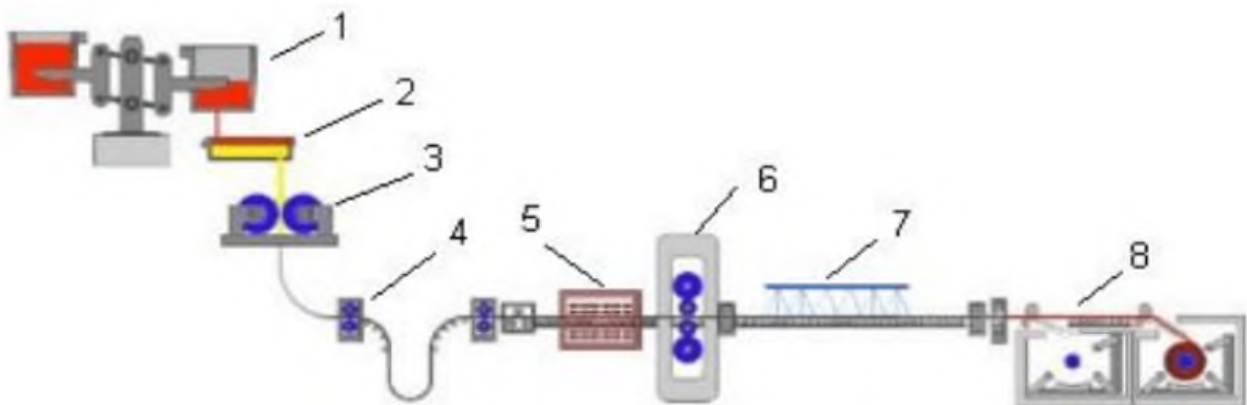
дозволяє відливати смугу максимально наближену по товщині до готового виробу, ніж скорочує цикл виробництва і кількість обладнання до мінімуму.

Отримання тонкого і особливо тонкого плоского прокату полягає у формуванні смуги безпосередньо з рідкого металу шляхом одночасної кристалізації та деформації його між двома обертовими валками з подальшим обтисненням в прокатній кліті. Схема такого агрегату приведена на рис. 6.10.



1 – сталерозливний ківш; 2 – проміжний ківш; 3 – стрічкова МБЛЗ; 4 – зона вирівнювання температури по перетину; 5 – кліті, що тягнуть; 6 – петлевий пристрій; 7 – ножиці; 8 – лінія прокатного стану

Рис. 6.9. Агрегат ВСТ з стрічкової МБЛЗ



1 – сталерозливний ківш; 2 – проміжний ківш; 3 – валковий кристаллизатор; 4 – ролики, що тягнуть; 5 – індукційна піч; 6 – прокатна кліть; 7 – установка прискореного охолодження; 8 – моталки

Рис. 6.10. Схема агрегату валкова розливка-прокатка

Питання для самоконтролю

1. Охарактеризувати МБЛЗ для виробництва сортових заготовок.
2. Надати характеристику МБЛЗ для виробництва круглої заготовки.
3. Охарактеризувати МБЛЗ для отримання сляба.
4. Визначити види ливарно-прокатних модулів.

Тема 7. ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ БЕЗПЕРЕРВНОЇ РОЗЛИВКИ СТАЛІ

Мета лекції – ознайомлення з технологічними особливостями безперервної розливки сталі.

План

- 7.1 Вплив технологічних параметрів розливки і кристалізації сталі на якісні показники безперервнолитої заготовки
- 7.2 Особливості підготовка кристалізатора і запуск установки
- 7.3 Температурно-швидкісний режим розливки сталі

Перелік ключових термінів і понять: технологічні параметри розливки і кристалізації сталі, підготовка кристалізатора і запуск установки, температурно-швидкісний режим розливки сталі.

7.1 Вплив технологічних параметрів розливки і кристалізації сталі на якісні показники безперервнолитої заготовки

Порівняно зі зливками, відлитими у виливниці, кристалічна будова литої заготовки має деякі особливості. Це пов'язано з її інтенсивним охолодженням у кристалізаторі й зоні вторинного охолодження (ЗВО), що в кінцевому підсумку сприяє формуванню більш однорідної кристалічної структури. Безперервнолита заготовка, на відміну від зливки, характеризується дуже незначними коливаннями хімічного складу (повне виключення зональної і зниження мікрофізичної (дендритної) ліквіації) і більш однорідними властивостями як у поздовжньому, так і в поперечному в напрямках.

Формування якісних показників безперервнолитої заготовки (розмір структурних зон, центральна осьова пористість, осьова ліквіація, тріщини та інші) визначають переважно технологічними параметрами процесу розливки рідкої сталі. Істотний вплив при цьому мають температура металу в проміжному ковші й подальша швидкість витяжки заготовки. Підвищення перегріву металу над температурою ліквіду під час розливки металу збільшує протяжність зони стовпчастих кристалів, величина якої також залежить і від вмісту вуглецю в сталі.

Відповідно до останніх світових тенденцій провідні компанії-виробники металургійного устаткування (Danieli, Concast Standard, Siemens VAI та інші) упроваджують прогресивні технологічні режими безперервної розливки високовуглецевих марок сталі, які характеризуються підвищенням інтенсивності водяного охолодження заготовки на перших двох секціях ЗВО, що сприяє підвищенню швидкості кристалізації металу.

Так, наприклад, в умовах ВАТ «Молдавський металургійний завод» (м. Рибниця, Молдова) із застосуванням різних швидкостей кристалізації рідкої сталі та інтенсивністю водяного охолодження у ЗВО середня швидкість

витягування заготовки по шести струмкам МБЛЗ становила: струмок № 1 – 2,41–2,43 м/хв, струмки № 2–5 – 2,38–2,70 м/хв, струмок № 6 – 3,21–3,28 м/хв (рис. 7.1). При цьому макроструктура поздовжніх темплетів безперервнолитої заготовки зі сталі С86D, відлитої з різними швидкостями, приведена на рис 7.2. Центральна пористість має значний розвиток у заготовках малого перетину, зростання ступеня ураженості таким типом дефекту фіксують за підвищення швидкості розливки сталі.

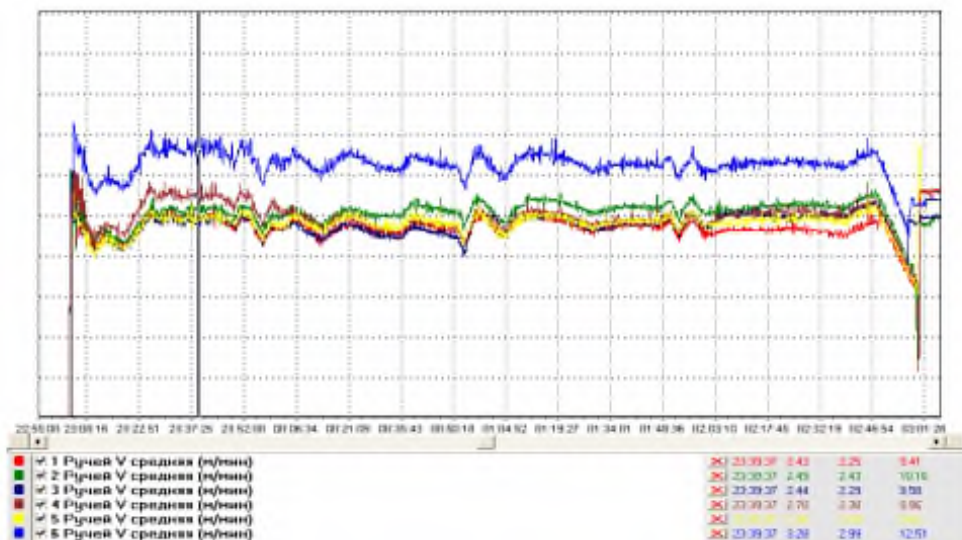


Рис. 7.1. Середня швидкість витягування безперервнолитої заготовки перерізом 125×125 мм зі сталі марки С86D на шестиструмковій МБЛЗ згідно з даними АСУТП ВАТ «Молдавський металургійний завод»



а – середня швидкість витягування заготовки 2,43 м/хв;
б – середня швидкість витягування 3,28 м/хв

Рис. 7.2. Макроструктура поздовжніх темплетів безперервнолитої заготовки зі сталі С86D, відлитої з різними швидкостями

А компанія Danieli рекомендує під час виробництва заготовок із високовуглецевих марок сталі вести охолодження у ЗВО з інтенсивністю витрати води близько 1,6 л/кг, а компанія Concast Standard є прихильником інтенсивнішого водяного охолодження ~ 2,0 л/кг. При цьому рекомендують застосування високошвидкісних форсунок у кристалізаторі, наприклад фірми Lechner. Згідно із твердженнями перших двох компаній, за поєднання таких режимів охолодження з технологією електромагнітного перемішування (ЕМП)

металу в кристалізаторі стає можливим підвищити швидкість розливки сталі, знизити розвиток ліквацийних процесів і зменшити бал центральної пористості в литій заготовці.

7.2 Особливості підготовка кристалізатора і запуск установки

Для стабільної роботи МБЛЗ і отримання якісної безперервної заготовки особливо ретельну увагу слід приділити підготовці кристалізатора до роботи. Для цього необхідно провести спочатку візуальний огляд внутрішньої порожнини кристалізатора і за наявності на його стінках залишків шлаку, метала, шлакової суміші провести їх очищення. При цьому слід уникати попадання цих залишків на деталі роликової проводки і зони вторинного охолодження. Якщо на робочій поверхні є задирки або подряпини їх необхідно зачистити.

Не допускаються до роботи кристалізатори з покоробленими стінками, із зазорами між плитами вище допустимих, за наявності течі води в їх робочу порожнину, закупорювання каналів для охолоджуючої води, з порушенням конусності робочого простору.

Після подачі води в кристалізатор і перевірки відсутності його підтікання в робочу порожнину вводиться приманка, заздалегідь очищена від продуктів попередньої плавки. Затравку встановлюють, як правило, декілька вище за середину висоти кристалізатора, дотримуючи при цьому постійний зазор між нею і робочими стиками. Далі проводиться ущільнення зазору, найчастіше за допомогою азбестових шнурів. Для прискорення твердіння перших порцій металу на приманку накладається деяка кількість твердого металу з близьким до хімічного складу, який треба відлити, у вигляді посічених пластин, прутків та інше.

Після заповнення проміжного ковша металом до потрібної висоти проводять подачу металу в кристалізатор. За наявності на проміжному ковші декількох струмків запуск їх починають послідовно з крайніх. Це пояснюється тим, що в далеких торцях проміжного ковша метал холодніший, ніж в зоні подачі струменя. Перепад температури може досягати 30...40°C. Тому, якщо при запуску відкривати спочатку центральні струмки, в проміжному ковші виникають застійні зони, температура металу в яких ще більш знизиться і вірогідність замерзання сталі випускних отворів значно підвищиться. В цьому випадку (на практиці) проводять пропалювання замороженого в отворах металу за допомогою кисню, який подають через кисневі трубки.

При заповненні кристалізатора для забезпечення прискореного твердіння металу на його поверхню задаються охолоджувачі у вигляді металевої січки. Після досягнення рівня металу в кристалізаторі 100–200 мм від його верхнього зрізу включається механізм руху затравки і машина вважається пущеною.

Затравка відділяється від заготовки після виходу з тягнучого і правильного устрою та переводиться в резервне положення, а передній кінець заготовки відрізається і забирається в металовідходи.

Швидкість розливання надалі визначається температурою металу в ковші і умовами охолодження заготовки в зоні вторинного охолодження.

7.3 Температурно-швидкісний режим розливки сталі

Вибраний температурно-швидкісний режим безперервної розливки сталі є одним з найістотніших параметрів процесу.

Недотримання вибраних для кожної марки сталі оптимальних температурно-швидкісних режимів та перетин заготовки, яку відливають, є причиною порушення якості сталі. В деяких випадках це може привести до аварійних ситуацій.

Низька температура розливки сприяє утворенню мула, поясів, скупчень шлакових включень, утворення настилів. Висока температура металу сприяє утворенню тріщин, підвищеному зносу вогнетривів в проміжному ковші.

Коливання температури металу, що подається на розливку, в обов'язковому порядку необхідно коректувати відповідним зменшенням швидкості лиття. При однаковій робочій швидкості розливки температура металу в проміжному ковші при відливанні заготовок без подовжніх тріщин була на 4–7°C нижче, ніж при відливанні заготовок, на яких утворилися подовжні тріщини.

Температура металу в кристалізаторі була на 12–25°C нижче, ніж в проміжному ковші, і знаходилася в межах 1510–1518°C. Перегрів над температурою ліквідусу складав 15–10°C (з врахуванням концентрації елементів, що становлять), який створює умови для отримання коефіцієнта твердіння в середньому в межах 2,6–2,8 см/хв.^{0,5} і сприяє зменшенню поверхневих і внутрішніх дефектів безперервних заготовок.

При виборі температурного режиму процесу лиття необхідно враховувати величину теплових втрат на всіх етапах від випуску до розливання в кожному конкретному випадку. Спільні рекомендації, сприяючі зменшенню теплових втрат, полягають в наступному:

- час випуску металу необхідно максимально скорочувати (150 т металу повинні випускати не більше 5–7 хв.);

- втрати тепла в сталерозливному ковші мають бути зведені до мінімуму. Це досягається в результаті вживання малозношених ковшів, накритих вогнетривкими кришками;

- нагрів сталерозливного і проміжного ковшів перед розливкою дозволяє декілька знизити температуру перегріву металу. Нагрів ковшів проводиться за допомогою пальників, електричних і плазмових дуг.

Для кожного типу МБЛЗ, перетину заготовки і марки сталі існує інтервал оптимальних температур, при яких забезпечується стабільну розливку та якість продукції. Вихідною точкою для визначення оптимальної температури є температура ліквідусу сталі заданого складу.

Дуже важливим технологічним чинником є управління перегрівом сталі в проміжному ковші. В даний час це здійснюється шляхом вдування сталевого

порошку в струмінь металу на ділянці ківш – проміжний ківш. Ефективність охолодження сталевим порошком є такою, що можна легко забезпечити температуру сталі всього на 10°C вище температури ліквідус.

Заданий інтервал температур при випуску із сталеплавильного агрегату отримати в реальних умовах виробництва вельми важко. Тому точне регулювання температури здійснюють на установках позапічного доведення металу. Як правило, із сталеплавильного агрегату метал випускають з температурою вище заданої. Доведення температури до оптимального значення проводять в процесі продування металу інертним газом або присадкою в ківш металевого охолоджувача.

Найширше застосовують продування сталі аргоном, використовуючи для цього занурені фурми, пористі елементи в днищі ковша або шибєрні затворі спеціальної конструкції. Під час продування відбувається інтенсивне перемішування і усереднювання температури та хімічного складу металу в об'ємі ковша.

Швидкість розливання є дуже важливим технологічним параметром, від якого залежить якість заготовки, продуктивність МБЛЗ та інші техніко-економічні показники. Із швидкістю розливання безпосередньо пов'язані такі дефекти, як тріщини.

Вплив підвищення швидкості розливання на збільшення кількості заготовок з подовжніми тріщинами пояснюється тим, що із зростанням швидкості розливання зменшується товщина затверділої в кристалізаторі оболонки, зростає нерівномірність її товщини, підвищується напруга в тонких частках оболонки, що приводять до розриву металу з утворенням подовжніх тріщин. З ростом швидкості розливки збільшувалося і кількість заготовок, уражених павукоподібними і сітчастими тріщинами.

При відливанні заготовок великого перетину для оптимальної швидкості їх кристалізації необхідно:

- на дзеркалі метала наводити шар шлаку;
- у зоні вторинного охолодження мати конструкції, що підтримують оболонку зливка;
- у металі мати низький вміст сірки, фосфору та водню.

Питання для самоконтролю

1. Охарактеризувати вплив технологічних параметрів розливки і кристалізації сталі на якісні показники безперервнолитої заготовки.
2. Які особливості підготовки кристалізатора та запуску установки?
3. Визначити температурно-швидкісний режим розливки сталі.

Тема 8. СТРУКТУРА, ЯКІСТЬ ТА ДЕФЕКТИ БЕЗПЕРЕРВНО-ЛИТОГО МЕТАЛУ

Мета лекції – ознайомлення зі структурою та основними дефектами безперервно-литого металу.

План

8.1 Структура безперервнолитої заготовки

8.2 Дефекти безперервно-литого металу

Перелік ключових термінів і понять: структура безперервнолитої заготовки, дефекти поверхні безперервнолитих заготовок (поздовжні тріщини (по кутах і гранях), поперечні тріщини, пояса, заворот кірки, залівини, шлакові вclusions, газові бульбашки), дефекти внутрішньої структури безперервнолитої заготовки (лікваційні смуги і тріщини по перетину; кутові тріщини; тріщини в осьовій зоні; центральна пористість; осьова ізоляція; газові бульбашки; скупчення неметалевих і шлакових включень).

8.1 Структура безперервнолитої заготовки

У структурі заготовки зазвичай явно помітні наступні зони:

1. Кірка заготовки – зона дрібних безладно орієнтованих кристалів; товщина її залежить від умов розливання та інтенсивності охолодження і складає 10–20 мм.

2. Зона стовпчастих кристалів.

3. Осьова зона рівноосних безладно орієнтованих кристалів з підвищеною концентрацією лікватів і слідами усадкових явищ. При малих розмірах заготовки та інтенсивному охолодженні третьої зони може не бути.

Так само, як і при розливанні у виливниці, при охолодженні і кристалізації лінійні розміри (перетин) безперервнолитої заготовки зменшується; це повинно враховуватися формою кристалізатора (використовують невелику конусність) і зміною відстані між направляючими валками (роліками). Розвиток лікваційних явищ в безперервному зливку обмежений малою тривалістю кристалізації, а зональна ліквація мінімальна; проте хімічна і кристалічна неоднорідності спостерігається і в безперервній заготовці, і це враховується при організації технології.

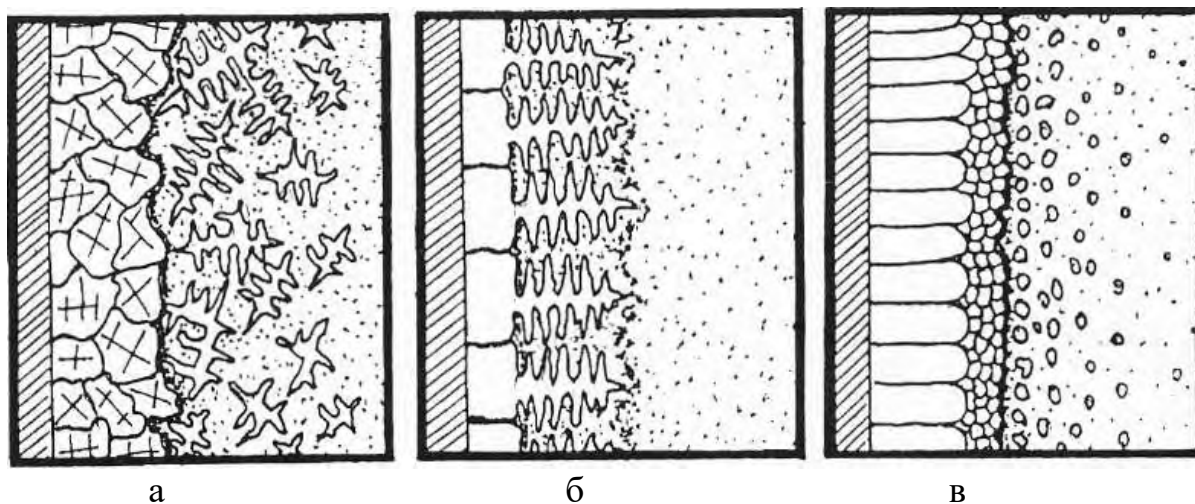
Відмітними особливостями формування безперервної заготовки, які визначають його будову, є високі швидкості кристалізації і мала тривалість її повного твердіння, тому поява ліквації в безперервній заготовці значно менше, ніж в звичайній. Проте при високих скоростях витягування глибина рідкої фази, в якій формується осьова зона заготовки, досягає значних розмірів. Осьова зона литих заготовок є тепловим центром, який твердіє в останню чергу. Цей тепловий центр постійно спостерігається в заготовці і не може бути видалений або виведений. При твердінні безперервнолитої заготовки з

глибоким і сильно витягнутим розташуванням лунки металу, що кристалізується, і усадці заготовки у зв'язку з переходом з рідкого в тверде полягання в цій зоні утворюються і розвиваються значні конвективні потоки. Результатом є посилення осьової ліквіації в безперервній заготовці. Відповідно, з наявністю витягнутої гострої лунки і значних конвективних потоків пов'язане утворення в осьовій зоні пористості та ліквіаційних плям.

Осьова пористість і осьова ліквіація є основними внутрішніми дефектами безперервної заготовки.

У кристалізаторі формується тверда скориночка заготовки, яка по виходу з кристалізатора несе на собі функцію оболонки, що утримує рідку фазу і забезпечує теплоперенос від серцевини до поверхні. Тому виникнення різного роду дефектів у твердій скориночці багато в чому залежить від умов кристалізації і властивостей сталі в області температур, що наближаються до температури солідус.

Основні види кристалічних структур, які утворюються при твердінні, в масштабі, відповідним розмірам дендритів, представлені на рис. 8.1 Відомо, що більш частіше в заготовках зустрічається структура рівноосних дендритів (рис. 8.1 а), які ростуть і формуються всередині рідкотвердої зони і мають практично будь-яку спрямованість головних осей відносно поверхні заготовки.



а – структура рівноосних дендритів; б – структура стовпчастих дендритів;
в – рівноосна «не дендритна» структура

Рис. 8.1. Основні види кристалічних структур, які утворюються при твердінні безперервнолитих заготовок

Характер розвитку зони рівноосних дендритів залежить як від хімічного складу металу, так і від ступеня його перегріву над температурою ліквідус. При цьому твердіння в зоні рівноосних дендритів відбувається по механізму гетерогенного зародження центрів кристалізації або по механізму дендритної мультиплікації (множення числа зародків за рахунок руйнування гілок дендритів). Процес дендритної мультиплікації посилюється за наявності конвективних і вихрових течій, а також пульсуючих перепадів тиску рідини у фронті твердіння. Зазвичай в макроструктурі безперервнолитих заготовок

розрізняють дві зони рівноосних дендритних кристалів. Одна з цих зон пролягає від поверхні на глибину декількох міліметрів і має яскраво виражену дрібнозернисту структуру. Інша зона рівноосних дендритних кристалів розташовується в осьовій зоні заготівки, і розміри кристалів в ній в десятки разів більше, ніж в першій зоні.

В тому випадку, якщо процес гетерогенного утворення зародків не отримує великого розвитку, а процес дендритної мультиплікації має мінімальний прояв (мінімальний розвиток процесів термогравітаційної конвекції при високому температурному градієнті), то в заготовках спостерігається переважно направлене зростання стовпчастих дендритів (рис. 8.1 б). Відомо, що протяжність зони стовпчастих дендритів та її щільність помітно впливає на стійкі і пластичні властивості заготовок. Зона стовпчастих дендритних кристалів розташовується в безперервнолитій заготовці між двома зонами рівноосних дендритних кристалів. Залишкова протяжність дендритів визначається динамікою процесу їх укрупнення, тобто, чим менше час перебігу цього процесу, тим більше подрібнення дендритної структури буде досягнуто.

Якщо сплави інтенсивно перемішуються протягом відповідного відрізка часу початкової стадії твердіння (як, наприклад, це відбувається в кристалізаторі сортової МБЛЗ або при застосуванні електромагнітного перемішування), то дендритна мультиплікація розвивається в таких масштабах, що звичайна дендритна структура значно зменшується по своїй протяжності. У ряді випадків інтенсивне перемішування рідкої фази взагалі зупиняє направлене зростання дендритів. Замість цього твердіння проходить з сфероїдальних зростаючих центрів. Отже, за характерну особливість цієї зони твердіння можна вважати наявність перед фронтом твердіння області рідини, що містить у вигляді механічної суміші велику кількість дрібних частинок твердої фази. З певним ступенем умовності представляється можливим говорити про зону «недендритної» рівноосної структури. Найбільш екстремальний випадок розвитку процесу твердіння по описаній схемі представлений на рис. 8.1 в. Властивості матеріалу такої структурної зони можуть сильно відрізнятись від властивостей матеріалу в зонах з дендритною структурою, що дозволяє достатньо точно ідентифікувати цю зону на практиці.

Разом з тим, на практиці досягнення чистої рівноосної «не дендритної» структури в сортових безперервнолитих заготовках представляється маловірогідним. Проте, в зонах, підданих могутньому примусовому перемішуванню безпосередньо в процесі твердіння, багатьма дослідниками наголошується зміна властивостей матеріалу при подрібненні його кристалічної структури (наприклад, так звані «білі» смуги при електромагнітному перемішуванні).

Окрім розглянутих типових видів кристалічних структур, в макроструктурі будь-якої заготівки слід також розрізняти зони з так званими «перехідними» або «змішаними» структурами. Найбільш вразливою з погляду різкої зміни рівня механічних властивостей представляється зона структурного переходу від зони стовпчастих дендритних кристалів до зони рівноосних

дендритів. З тепло фізичної точки зору ця перехідна зона відповідає моменту часу, в який швидкість відведення тепла через тверду скориночку зменшується до таких величин, що вона приблизно відповідає швидкості виділення тепла вільноплаваючими перед фронтом затверднення твердими кристалами. Протяжність цієї зони багато в чому залежить від умов твердіння заготовки в цілому.

Нерівномірне відведення тепла від заготовки, що твердіє, викликає неоднаковий розподіл температур в твердій скориночці, що обумовлює формування в ній внутрішньої напруги, яка є причиною деформування заготовки в поперечному і подовжньому перетині. Це приводить до розвитку чисельних поверхневих і внутрішніх дефектів, що знижують якісні показники і механічні властивості литого металу та скорочення терміну служби металовиробів з них.

8.2 Дефекти безперервно-литого металу

8.2.1 Дефекти поверхні безперервнолитих заготовок

Основними дефектами поверхні безперервнолитої заготовки є:

- подовжні тріщини (по кутах і гранях);
- поперечні тріщини;
- пояса;
- заворот кірки;
- залівіни;
- шлакові включення;
- газові бульбашки.

Подовжні поверхневі тріщини представляють собою порушення цілісності у вигляді розривів металу. Освіта тріщин в безперервнолиту зливку пов'язано з внутрішньою напругою, що виникають в процесі його формування, і обумовлено зниженою міцністю і пластичністю в різних температурних інтервалах.

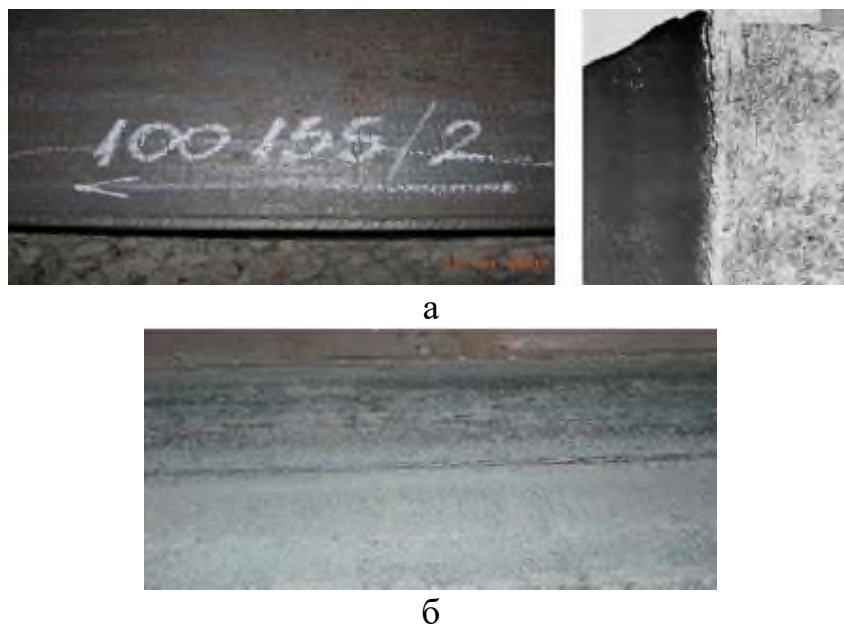
Поверхневі подовжні тріщини, пов'язані з спотворенням профілю злитка, є результатом підвищеної ромбічності заготовок, ужимін на поверхні або випинання граней БЛЗ. Тріщини даного виду поширюються зсередини заготовки уздовж діагоналі між тупими кутами. Зазвичай така тріщина згортає в сторону від діагоналі безпосередньо перед кутом і з'являється на поверхні близько кута, де кірка злитка найбільш тонка.

Цей дефект заготовки при його грубому розвитку може привести до прориву металу при знаходженні зливка в ЗВО.

Подовжні тріщини, не пов'язані з спотворенням профілю безперервнолитої заготовки, можуть мати вигляд від коротких нитковидних (іноді не видимих без зачистки поверхні) до грубих зі значною шириною розкриття. Такі тріщини можуть розташовуватися безпосередньо по кутах, а також на деякому зсуві від кутів або по гранях заготовок (рис. 8.2).

На утворення поздовжніх тріщин певний вплив має величина кутового радіусу (сполучення) гільз кристалізаторів. Вважається, що при кутовому радіусі гільз вище оптимального на заготовках можуть з'являтися тріщини по вершинах кутів.

Поперечні поверхневі тріщини розташовуються по кутах або гранях безперервнолитої заготовки в поперечному напрямку, тобто, перпендикулярно напрямку розливки металу (рис. 8.3). Поперечні тріщини можуть розташовуватися посередині граней, а також в кутах заготовки.



а – білякутові; б – посередині широкої грані сляба

Рис. 8.2. Поздовжні поверхневі тріщини

Основними причинами виникнення поперечних тріщин є надлишкова конусність або деформація робочої поверхні кристалізатора, недостатня кількість мастила в кристалізаторі, відхилення в центрі кристалізатора щодо технологічної осі струмка, відхилення при зворотно-поступальному русі кристалізатора від робочої траєкторії та інші. Все це викликає збільшення сил тертя між злитком і робочою поверхнею кристалізатора.

Одним з основних факторів, що визначають можливість утворення поперечних тріщин на поверхні заготовок, є налагодження режиму хитання кристалізатора.

Відхилення в роботі механізму хитання (люфти, биття), можуть призвести до зміни параметрів, що впливають на формування твердої скоринки, стати причиною її підвисання в кристалізаторі або розриву суцільності оболонки. При утворенні поперечних тріщин в кристалізаторі можливе утворення напливів металу, що значно погіршує якість поверхні безперервнолитої заготовки і вимагає її зачистки.

Ще однією причиною утворення поперечних тріщин може з'явитися операція розгинання заготовки в разі, якщо вона переохолоджена нижче області гарячої пластичної деформації.

Пояс є грубим технологічним дефектом, який легко ідентифікується на поверхні заготовки. Він охоплює практично весь периметр злитка (рис. 8.4).

Пояси, як правило, утворюються через перерви в подачі металу в кристалізатор, або при надмірно різкому зниженні швидкості розливки, особливо при низькій температурі сталі. При цьому верхній край затверділої кірки по всьому периметру кристалізатора окислюється і при поновленні розливання в цьому місці утворюється пояс. Пояс є слабким місцем в зливку, так як одночасно з окисненням по контуру затверділої кірки злитка відбувається і окислення меніска. Грубі пояси, як правило, не піддаються зачистці та їх вирізують зі зливка, що обумовлює додаткові втрати металу.

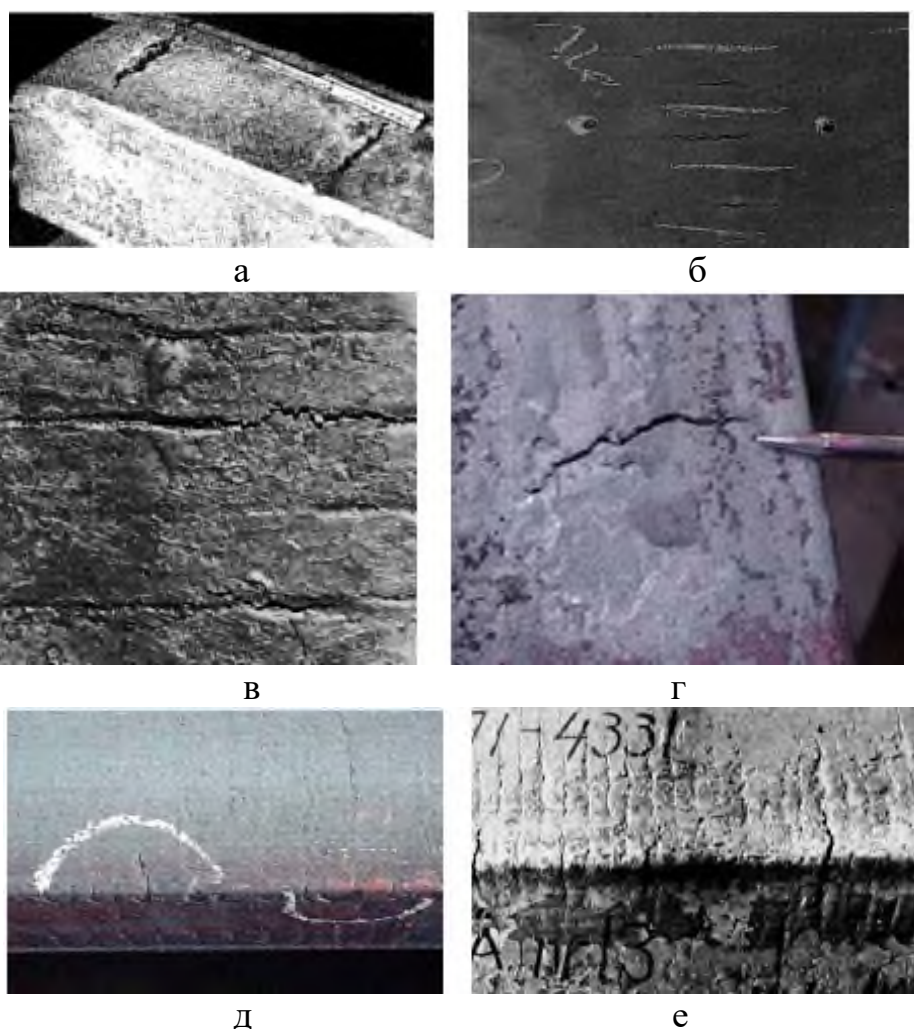


Рис. 8.3. Поперечні поверхневі тріщини на межі сортової заготовки (а, б) і сляба (в, г), а також на кутових ділянках (д, е)

Завороти кірки. Завороти кірки утворюються в тих випадках, коли окислена кірка металу захоплюється з меніска на поверхню зливка. Найчастіше даний дефект, наприклад, виникає при розливі «холодного» металу, що зумовлює появу шматочків твердої фази на меніску. Значного розвитку цей дефект отримує при розливанні сталей зі зниженою рідко текучістю або містять легко окислюються елементи.

Залівини утворюються в результаті попадання рідкого металу в зазор між скоринкою зливка і стінкою кристалізатора, що утворюється внаслідок викривлення меніска в області їх зіткнення (рис. 8.5).



Рис. 8.4. Пояс на поверхні заготовки

Утворення залівин найбільш ймовірно при перервах в подачі металу в кристалізатор, недостатньою або нерівномірною мастилі стінок кристалізатора, значних коливаннях рівня металу в ньому, розливання металу зі зниженою швидкістю і температурою та інші. Залівни утворюються також в разі прориву оболонки зливка.

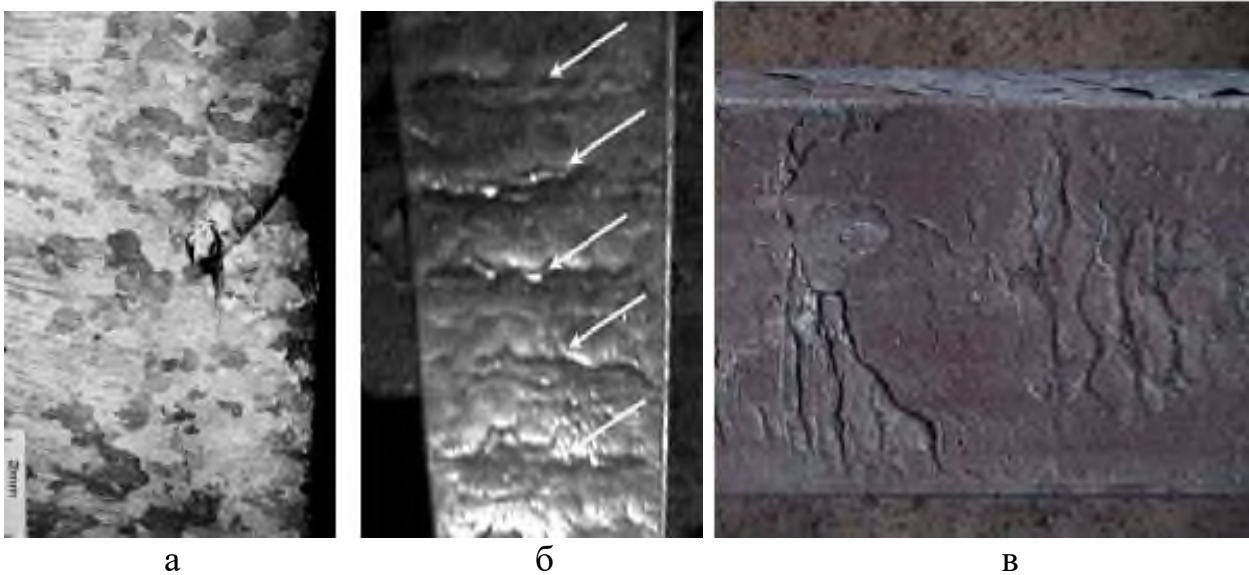


Рис. 8.5. Поздовжній перетин зразка заготовки в місці розташування залівин (а) і її фото на поверхні заготовок (б, в)

В цілому для попередження таких дефектів як пояса, завороту скоринки зливка, залівин необхідно запобігти затягуванню дозуючих вузлів проміжних ковшів, мінімізувати амплітуду коливань рівня металу в кристалізаторі, оптимізувати режими роботи мастила його робочої поверхні, забезпечувати стабільність швидкості розливання тощо.

Шлакові включення. Шлакові включення, що зустрічаються на поверхні БЛЗ і проникаючі всередину металу, є багатофазними, переважно силікатного характеру. У сортових заготовках великі шлакові включення частіше зустрічаються в районі ребер.

Шлакові включення на поверхні безперервнолитих заготовок з'являються внаслідок розмиву вогнетривів ковшів, зтягування шлаку з проміжного ковша і з дзеркала кристалізатора, спливання в кристалізаторі продуктів розкислення стали, коливань рівня металу та інші.

Для вуглецевих сталей, розкислення переважно кремнієм і марганцем, істотну роль грає величина відносини марганцю до кремнію. При низькому відношенні Mn/Si, що утворюється шлак розташовується на дзеркалі металу в кристалізаторі і забруднює поверхню заготовки. При підвищеному щодо Mn/Si в сталі винесення шлаку на поверхню металу в кристалізаторі затруднений, і шлак може бути виявлений в якості макроскопічних оксидних включень усередині зливка. На практиці рекомендується підтримувати відношення марганцю до кремнію в сталі на рівні 3,0–3,5.

Значна кількість шлакових включень на меніску металу в кристалізаторі може привести до масових проривів твердої оболонки заготовки в зоні вторинного охолодження під кристалізатором.

Основні заходи, що дозволяють знизити забрудненість безперервнолитого зливка жужільними включеннями полягають в наступному: дотримання заданих режимів розкислення стали; дотримання температурних режимів; застосування ерозійностійких вогнетривких матеріалів; підтримання постійного рівня металу в промковші і кристалізаторі; правильний підбір ШОС і рівномірна подача її в кристалізатор.

Поверхневі бульбашки представляють собою досить характерний дефект у вигляді поодиноких або групових пір, пустот округлої або витягнутої форми (рис. 8.6).

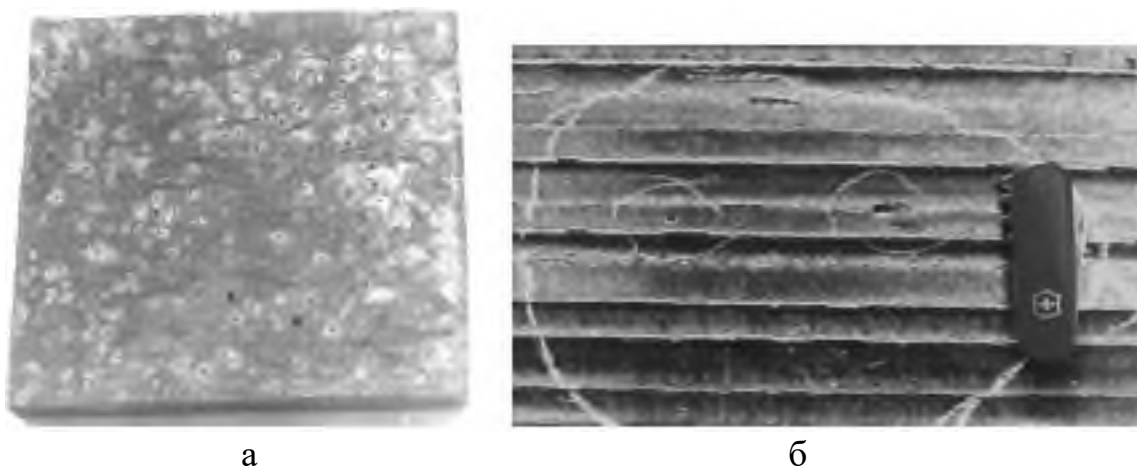


Рис. 8.6. Бульбашки і пори на поверхні безперервнолитої сортової заготовки (а) і сляба (б)

Бульбашки на поверхні безперервнолитої заготовки можуть бути

результатом газовиділення при затвердінні злитка, при згорянні мастила в кристалізаторі, при використанні вогнетривів і шлакоутворюючих сумішей з підвищеною вологістю та інші.

Найбільший вплив на ураженість заготовки цим дефектом надає рівень «вільного» кисню в сталі. З огляду на високій швидкості охолодження злитка, властивою процесу безперервного розливання, в металі присутня «вільний» кисень для освіти окису вуглецю. Щоб уникнути утворення газових пір, рівень «вільного» кисню в сталі повинен бути знижений до мінімального рівня (особливо при розливці низьковуглецевих марок сталі), тому дуже важливо в технологічному плані ефективно проведення операції розкислення сталі.

Витрата мастила (масла) при подачі сталі в кристалізатор відкритим струменем повинен бути встановлений на мінімальному рівні, достатньому для виключення підвисань злитка на його стінках. На практиці рекомендується обмежувати вміст води в мастил (олії).

Павукоподібні (зіркоподібні) тріщини (рис. 8.7) характерні, перш за все, для перитектичного класу сталей (вміст вуглецю 0,12–0,18%).

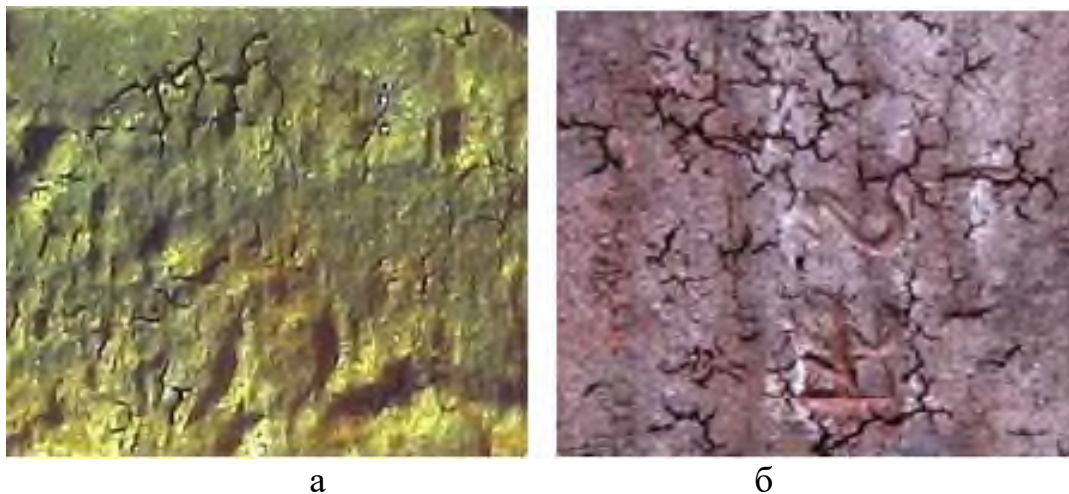


Рис. 8.7. Павукоподібні тріщини (а), сітчасті і поперечні тріщини на сліди хитання кристалізатора (б)

Вони являють собою тонкі тріщини довжиною кілька міліметрів у вигляді променів, що розходяться «зірок» та інші. Вони утворюються під поверхнею безперервнолітої заготовки, що ускладнює їх візуальне виявлення безпосередньо після охолодження. Однак при подальшій прокатці вони розкочуються в тріщини або розриви, що призводить до дефектів металопродукції. На практиці для сталей, схильних до появи павукоподібних тріщин, здійснюється додатковий контроль заготовок за допомогою механічної зачистки поверхні (наприклад, «змійкою»), глибиною 1–2 мм.

Оскільки формування павукоподібних тріщин відбувається в кристалізаторі, то найбільш ефективним засобом їх придушення є застосування ШОС, які кілька знижують відведення тепла від твердої скоринки.

8.2.2 Дефекти внутрішньої структури безперервнолитої заготовки

Основними дефектами макроструктури заготовок є: ліквіційні смуги і тріщини по перетину; кутові тріщини; тріщини в осьовій зоні; центральна пористість; осьова ізоляція; газові бульбашки; скупчення неметалевих і шлакових включень.

Внутрішні тріщини по перетину безперервнолитої заготовки (перпендикулярні граням) (рис. 8.8) являють собою надриви, що розташовуються по межосних просторів кристалічної структури, збагаченої лікватами.

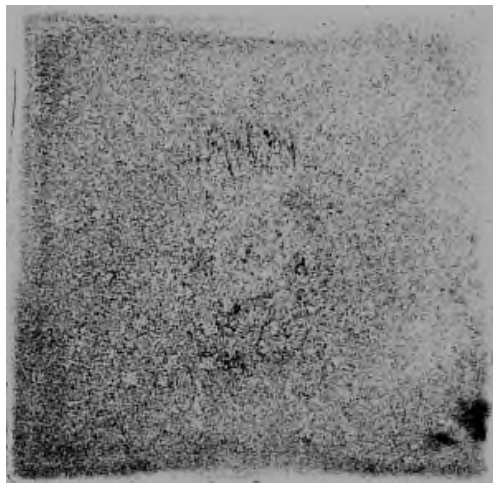


Рис. 8.8. Тріщини по перетину безперервнолитої заготовки (поперечний темплет)

Це тріщини кристалізаційні і утворюються на кордоні твердої і рідкої фаз в інтервалі температур, при яких метал має мінімальну пластичність і міцність. Тріщини можуть розташовуватися в декілька рядів по перетину заготовки. Одна з причин утворення таких тріщин – високі термічні напруги внаслідок незадовільного режиму охолодження. Так, тріщини по перетину можуть виникати через підвищену швидкості розливки металу або надмірному відводі тепла в деяких секціях ЗВО. При інтенсивному вторинному охолодженні твердіє зовнішні шари зливка перешкоджають усадкам внутрішніх, в яких розвиваються внутрішні напруження.

Кутові внутрішні тріщини, також як і поверхневі, визначаються відхиленнями геометричної форми БЛЗ (ромбічність, опуклість граней). Дані тріщини розташовуються по стиках кристалів зливка проти його тупих кутів.

Осьові тріщини (рис. 8.9) утворюються під дією напруг, що розтягують, що виникають в кінці затвердіння зливка.

Напруження в даній зоні, в основному, обумовлені швидкістю розливання металу, режимом і роботою системи вторинного охолодження. До розвитку осьових тріщин може, наприклад, привести підвищене обтиснення заготовок в тягнута-правильної кліті. Центральна пористість є зосередження великих і дрібних пір уздовж теплового центру злитка (рис. 8.10).

Причинами утворення центральної пористості є специфічні умови формування безперервнолитого зливка, пов'язані з утворенням щодо глибокої лунки рідкого металу. Фронт кристалізації по висоті зливка, зважаючи на значну протяжності лунки рідкого металу, сходиться до кінця затвердіння під дуже малим кутом, що визначає наявність мостів і перехоплень в центрі зливка, при яких утворюються усадочні раковини.

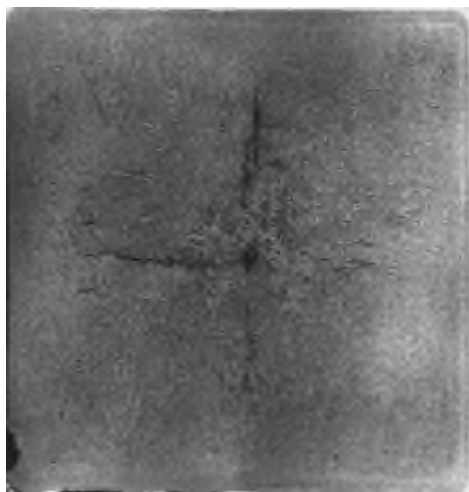
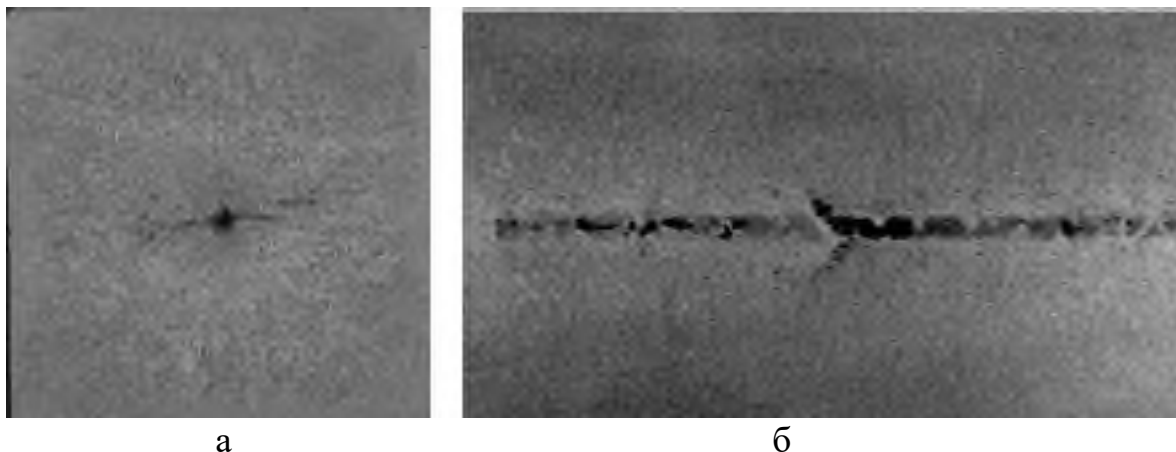


Рис. 8.9. Осьова тріщина в безперервнолитій заготовці (поперечний темплет)



а – поперечний темплет; б – поздовжній темплет

Рис. 8.10. Центральна пористість в безперервнолитій сортової заготівлі

Залежно від величини і швидкості усадки металу в осьовій зоні, а це, в свою чергу, визначається маркою сталі, швидкістю розливання, інтенсивністю вторинного охолодження, розмірами перетину зливка і рядом інших факторів, усадочні порожнини набувають різні форми і розміри. Підвищена температура і швидкість розливки сприяють розвитку центральної пористості, так як при цьому збільшується довжина рідкої лунки металу.

Найбільший розвиток явище центральної пористості отримує при литті заготовок малого перерізу з високою швидкістю. Вона також має тенденцію до збільшення при розливці високовуглецевих марок сталі.

Існує певна залежність між видом пористості та кристалічною структурою заготовки. Зосереджена пористість зазвичай виявляється при розвиненою столбчатої структури і концентрується уздовж вертикальної осі у вигляді переривчастих пустот. Розсіяна пористість отримує розвиток в зоні рівноосних кристалів і обмеженій зоні стовпчастих дендритів. При такій будові безперервнолітої заготовки усадкова пористість утворюється у вигляді численних невеликих пір.

Осьова ліквация обумовлена двома факторами: ліквацийним збагаченням центральних зон домішками і усадкою осьової зони при затвердінні. Швидкість розливання не робить прямого впливу на величину осьової ліквации в заготовках (за винятком випадків, коли виникають порушення геометричної форми зливка). Вплив інтенсивності вторинного охолодження заготовок також носить обмежений характер, так як при товстої кірці охолодження впливає переважно на зовнішню поверхню зливка.

Значно знизити ступінь розвитку осьової ліквации дозволяє посилення технологічних вимог до підготовки металу для розливання, зниження вмісту сірки і фосфору в сталі, а також стабільний процес лиття. Найбільш ефективним заходом проти розвитку осьової ліквации є зниження температури перегріву металу в проміжні ковші. При наближенні температури розливається металу до температури ліквідусу зона рівноосних кристалів найбільш розвинена, і осьова ізоляція буде мінімальною.

Підкіркові бульбашки (рис. 8.11) утворюються в результаті стрибкоподібного зниження розчинності газів (кисню, водню, азоту) при кристалізації сталі. При деформації бульбашки, близько розташовані до поверхні, в результаті окислення при нагріванні злиwkів можуть не зварюватись і викликати утворення волосовин і полон на поверхні прокату (в разі поодиноких бульбашок) або рванина (в разі групового розташування великих бульбашок).

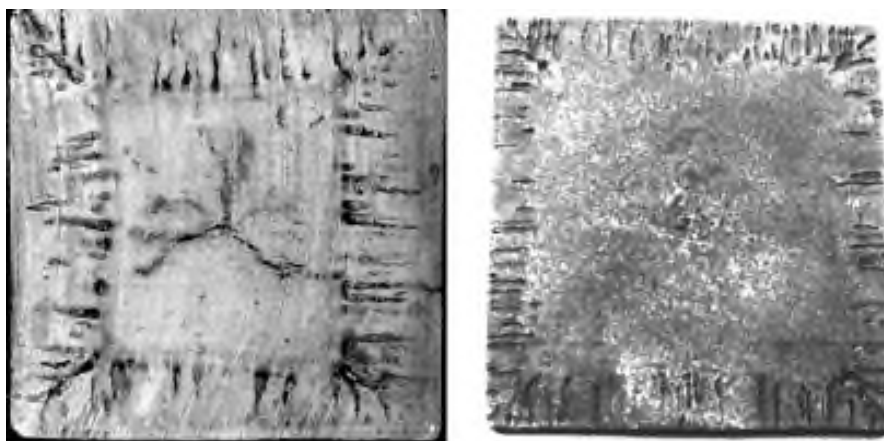


Рис. 8.11. Бульбашки в підкірковій зоні безперервнолітої заготовки (поперечний темплет)

Виникнення підкіркових бульбашок в безперервнолітих зливках найчастіше пов'язують з недостатнім ступенем розкислення сталі. До

утворення газових бульбашок також можуть привести підвищений вміст вологи в мастилі кристалізатора, завороту окисленої кірки зливка, пропалювання дозатора проміжного ковша.

Скупчення шлакових і неметалеві включення в безперервнолитих заготовках обумовлені, перш за все, впливанням і коагуляцією неметалічних включень в кристалізаторі, а також захопленням частинок шлаку безпосередньо з дзеркала металу внаслідок сплесків і конвективних потоків. У безперервнолитих заготовках зустрічаються ті ж види неметалевих включень, що і в зливках: оксиди, сульфідів та нітриди. Вони можуть розташовуватися по всьому перетину заготовки.

При оцінці чистоти безперервнолитих заготовок на практиці використовують такий оціночний параметр, як крайові точкові забруднення (КТЗ). Крайові точкові забруднення проявляються у вигляді точкових скупчень лікватів (в основному сульфідів і оксидів) по перетину БЛЗ і визначаються величиною точок і щільністю їх розташування. Для радіальних МБЛЗ, наприклад, дуже характерно зосередження точкових забруднень по межі заготовки, відповідної малому радіусу.

Дуже важливим фактором появи оксидів є вторинне окислювання сталі, яке відбувається в ході технологічних переливів при безперервного розливання. Ще одним значущим джерелом неметалевих включень в сталі є ерозія вогнетривів, що застосовуються для футерування сталерозливних і проміжних ковшів.

На забрудненість сталі неметалевими включеннями, також, можуть впливати точність і швидкість виконання технологічних операцій в процесі розливання сталі на МБЛЗ: наповнення проміжного ковша металом; кількість шлаку, що потрапляє з сталерозливного ковша в проміжний ківш; мінімізація рівня падіння сталі в проміжні ковші при заміні сталерозливного ковша та інші.

Таким чином, світовий ринок сортової заготовки розвивається в напрямку підвищення вимог до її якості як на макро, так і на мікро рівні. Разом з тим більшість виробників сортової заготовки віддають перевагу прямому отриманню сортових заготовок на високошвидкісних сортових МБЛЗ. При цьому перевага віддається заготівлях меншого перетину (максимально наближеним до розмірів перетину кінцевого продукту), оскільки в умовах прискореного затвердінні в меншій мірі розвиваються ліквацийні та усадкові процеси.

Завдяки останнім досягненням в області безперервної розливки, на практиці створені всі необхідні передумови для виробництва сортової заготовки в сталеплавильних цехах з високою одиничною потужністю основних агрегатів. Це досягається шляхом використання багато струмкових сортових МБЛЗ з високою швидкістю витяжки заготовки в сукупності з застосуванням агрегатів типу «ківш-піч», що забезпечують необхідну якість рідкого металу і ритмічність його подачі на МБЛЗ. Подальше підвищення якості безперервнолитої сортової заготовки та підвищення її

конкурентоспроможності, мабуть, буде досягтися за рахунок розширення застосування методів захисту стали від вторинного окислення, наприклад, при використанні розливання через систему «стопор-моноблок» – «стакан-дозатор» – «стакан для занурення».

Слід очікувати, що прогрес в процесі безперервної розливки сортової заготовки буде досягтися на базі традиційних рішень і конструкцій МБЛЗ за рахунок проведення невеликих, але глибоких і тонких конструкційних і технологічних трансформацій в сукупності з підвищенням рівня автоматизації роботи машини.

Питання для самоконтролю

1. Охарактеризувати структуру безперервнолитої заготовки.
2. Визначити основні дефекти поверхні безперервнолитої заготовки.
3. Які причини впливають на утворення поздовжніх тріщин (по кутах і гранях) в структурі безперервнолитої заготовки?
4. Визначити основні місця розташування поперечних тріщини в структурі заготовки.
5. Охарактеризувати «пояс» як грубий технологічний дефект поверхні безперервнолитої заготовки.
6. Надати характеристику завороту кірки в структурі безперервнолитої заготовки.
7. Надати характеристику наявності залівін в структурі безперервнолитої заготовки.
8. Визначити основні заходи, що дозволяють знизити забрудненість безперервнолитої заготовки шлаковими включеннями.
9. Чим зумовлений розвиток газових бульбашок в структурі заготовки?
10. Визначити основні дефекти внутрішньої структури безперервнолитої заготовки.
11. Чим зумовлений розвиток ліквідаційних смуг та тріщини по перетину заготовки?
12. Надати характеристику наявності кутових тріщин в структурі безперервнолитої заготовки.
13. Охарактеризувати причини виникнення тріщин в осьовій зоні безперервнолитої заготовки.
14. Які причини розвитку явища центральної пористості в структурі безперервнолитої заготовки?
15. Визначити основні методи боротьби з осьовою ліквідацією в внутрішній структурі безперервнолитої заготовки.
16. Назвати основні причини виникнення газових бульбашок в структурі безперервнолитої заготовки.
17. Чим обумовлено скупчення неметалевих і шлакових включень в структурі безперервнолитої заготовки?

Тема 9. СУЧАСНІ МЕТОДИ РОЗЛИВКИ СТАЛІ

Мета лекції – ознайомлення з новітніми досягненнями серед методів розливки сталі.

План

- 9.1 Розливка сталі методом «плавка на плавку»
- 9.2 Захист металу від вторинного окислення
- 9.3 Розливка сталі під тиском та поєднання безперервної розливки з обробкою тиском
- 9.4 Поєднання процесу безперервної розливки та прокатки
- 9.5 Розливка сталі у вакуумі

Перелік ключових термінів і понять: розливка сталі методом «плавка на плавку», захист металу від вторинного окислення, розливка сталі під тиском та поєднання безперервної розливки з обробкою тиском, поєднання процесу безперервної розливки та прокатки, розливка сталі у вакуумі.

9.1 Розливка сталі методом «плавка на плавку»

Безперервна розливка методом «плавка на плавку» найбільш ефективно він використовується в цехах, оснащених кисневими конвертерами і електропечами. Така технологія дозволяє збільшити продуктивність МБЛЗ в 1,5 рази в порівнянні з розливанням одиночних плавок без додаткових капітальних витрат. При цьому методом метал попередньої плавки зливають в проміжний ківш і проводять з нього розливання під час зміни сталерозливних ковшів із зменшеною швидкістю розливання. Перед зливом нової плавки в проміжний ківш в ньому залишається невелика кількість металу.

В даний час метал розливається серіями 2–20 плавок і більше. Серійна розливка зумовило розробку і впровадження стендів та самохідних візків на МБЛЗ. Стенди дозволяють проводити розливання з інтервалом між закриттям сталевипускного отвору протягом 90 с.

Безперервнолітні заготовки мають тоді високий ступінь чистоти за неметалевими включенням, коли при повному звільненні ковша від металу при безперервному розливанні підряд декількох плавок не відбувається надходження шлаку із сталерозливного ковша в проміжний ківш. Крім того, необхідно по можливості триваліше розливати сталь без контакту з атмосферою в проміжному ковші.

9.2 Захист металу від вторинного окислення

Струмінь рідкого металу при виділенні із сталерозливного і проміжного ковшів захоплює за собою газоподібну середу.

Вторинне окислення значно знижує якість металу. Для запобігання цього

при розливці на МБЛЗ метал від вторинного окислення захищають мастилами, синтетичними шлаками та газом. Використовувані для цих цілей мастила мають бути однорідні, стабільні та добре змочувати стінку кристалізатора. У якості таких мастил застосовують тверді та рідкі рослинні олії: льняне масло, стеарин. Газоподібні продукти випару і згорання мастила перешкоджають підходу до стінок кристалізатора плівки оксидів.

Ряд елементів, що знаходяться в металі (Al, Cr, Ti та інші), мають велику хімічну спорідненість до кисню, сильно окислюються, навіть якщо сталь відливати в захисній атмосфері (1–3% O₂). Завдяки цьому на поверхні утворюється шлаковий шар, чому також сприяють спливаючі на поверхню неметалічні включення.

Використання спеціального шлаку як захисну середу захищає метал від окислення, охолодження і, крім того, він асимілює неметалеві включення, що сприяє отриманню металу чистішого по включеннях.

Шлак повинен мати температуру плавлення 1100–1350°C, добре змочувати неметалічні включення, добре адсорбувати їх, мати стабільну в'язкість (в межах звичайних коливань температури). Шлак для відповідальних марок сталі часто формують з таких матеріалів: сілікокальцій, натрієва селітра, кріоліт, окалина, силікатна глина, борний ангідрид, сода. Витрата суміші складають біля 1 кг/т сталі.

При відливанні сталей звичайної якості низьковуглецева (для автолиста), а також з підвищеним вуглецем (інструментальною, рейковою та ін.) широкого поширення набули суміші з графіту і шлакових компонентів. У цих сумішах графіт виконує роль мастила і теплоізолятору, а шлак асимілює неметалічні включення. Витрата шлаку складає 0,2–0,4 кг/т сталі.

Найбільш ефективним способом захисту металу від вторинного окислення є розливка сталі затопленими струменями з покриттям дзеркала металу в кристалізаторі теплоізолюваною шлаковою сумішшю (рис. 9.1).

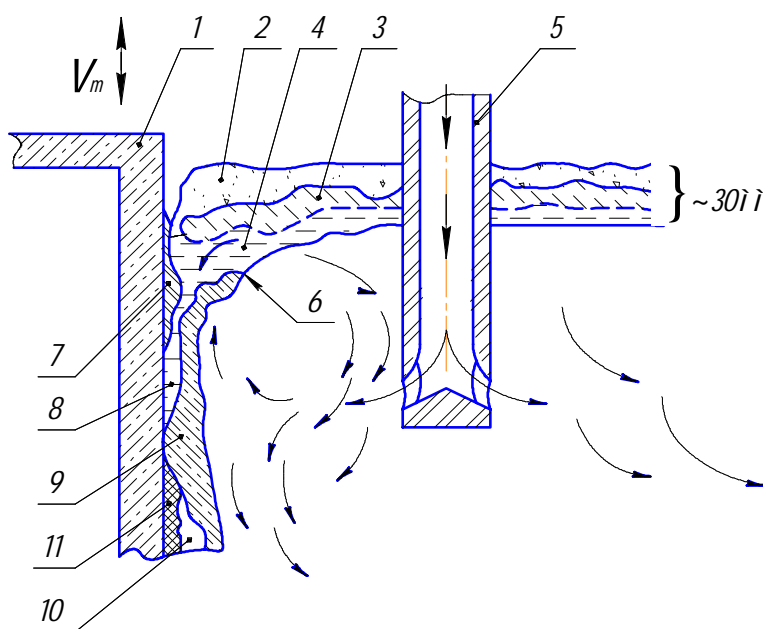
При подачі інертного газу в сталерозливний стакан переслідуються не стільки захисні (від вторинного окислення) цілі, скільки створення умов для виділення неметалевих включень із розплаву на поверхню в кристалізатор.

Крім того, наявність пухирців газу в струмені металу, що проходить в каналі стакана, сприяє запобіганню заморожування металу на виході з отворів, кращої організації потоків в рідкій серцевині заготовки та ін.

До шлаку на дзеркалі металу в кристалізаторі пред'являються вимоги не лише у відношенні теплоізоляційних і захисних властивостей, але і у відношенні здатності асимілювати неметалеві включення із розплаву та вимоги до мастила між поверхнею заготовки і стінками кристалізатора.

Шлакові суміші підрозділяються на екзотермічні та теплоізоляційні. Останнім часом найбільшого поширення набули теплоізоляційні суміші, які більш повно відповідають вимогам техніки безпеки та які задовольняють теплотехнічним вимогам. Склад шлакових сумішей вибирається в залежності від групи марок сталей, причому співвідношення компонентів, що патентуються, частенько визначається специфічними умовами тих або інших

металургійних підприємств і сортаментом металу, що розливають. Розроблені склади сумішей на основі графіту і слюди, портландцементу, доменного шлаку, оксидів кремнію і кальцію. У багато сумішей як обов'язкові компоненти входять фториди лужних металів. Для зменшення вмісту шкідливих для обслуговуючого персоналу фторидів, лужних металів пропонується додавати в шлакову суміш до 20 % борату кальцію. У якості вуглецьміських матеріалів у флюси частенько додають сажу або зольний пил. Причому, введення сумішей в розплавленому стані дозволяє уникнути виникнення полум'я та іскор, які утворюються при використанні, наприклад, флюсу, що містить гранульовану сажу.



1 – кристалізатор з зворотно-поступальним рухом; 2 – шар порошкоподібної шлакової суміші; 3 – рідко-твердий шар шлакової суміші; 4 – шар рідкого шлаку; 5 – заглибний стакан; 6 – рівень рідкого металу; 7 – тверда кірка шлаку; 8 – тонкий шар рідкого шлаку; 9 – кірка шлаку; 10 – повітряний (газовий) зазор; 11 – місце контакту кірки металу з твердою кіркою шлаку

Рис. 9.1. Схема розливки сталі під шлаком з заглибним стаканом

На слябових МБЛЗ проведено випробування гранульованих шлакових сумішей, що дало менше пилу, більш рівномірний розподіл на дзеркалі металу в кристалізаторі, зниження питомої масової витрати суміші, достатню якість поверхні слябів. Для захисту поверхні металу від вторинного окислення застосовують також теплоізоляційні плити, що мають конфігурацію розмірів поперечного перетину кристалізатора та отвору для введення сталерозливних стаканів.

Слід мати на увазі, що при розробці рекомендацій по вживанню шлакової суміші того або іншого складу враховуються не лише хімічний склад сталі, але і габарити заготовки та спосіб підведення металу в кристалізатор (направлення циркуляційних потоків рідкого металу в поверхневій зоні). З метою

забезпечення рівномірної подачі шлакової суміші за площею дзеркала металу в кристалізаторі запропонований пристрій, включаючи бункер для суміші.

9.3 Розливка сталі під тиском та поєднання безперервної розливки з обробкою тиском

Розливка сталі під тиском полягає в подачі рідкої сталі зверху в кристалізатор для отримання заготовки. Рідкий метал проштовхують (видавлюють) в цей кристалізатор з ковша, що поміщається в камеру високого тиску через спеціальний патрубок. Кристалізатори на таких установках водоохолоджувачі або графітові.

Поєднання безперервної розливки з обробкою тиском забезпечує економію електроенергії, необхідної для підігрівання заготовок перед плющенням, і підвищення продуктивності завдяки зниженню втрат. При цьому виявилось, що навіть невеликий ступінь обжимання позитивно впливає на якість металу: при деформації $>0,5$ мм/м помітні зниження ліквації в центрі заготовки і поліпшення її якості. При поєднанні безперервної розливки з плющенням досягаються:

- підвищення продуктивності, економія виробничих майданів і витрат на транспортування заготовок з розливного відділення в прокатний цех;
- зниження витрати палива та енергії внаслідок виключення (або зменшення) енергетичних витрат на нагрів заготовки перед плющенням;
- поліпшення якості сталі навіть при невеликому обжиманні безперервного зливка.

Продуктивність сучасних прокатних станів істотно вища за пропускну спроможність установок безперервного розливання, тому головною проблемою, що виникає при поєднанні безперервної розливки з плющенням, є дослідження такої системи охолодження і такої конструкції кристалізатора, які забезпечують вихід безперервної заготовки зі швидкістю, достатньою для нормального завантаження сучасного безперервного прокатного стану. Максимальна швидкість безперервного розливання (і відповідно швидкість ковзання скориночки заготовки по стінкам мідного кристалізатора), яка досягається на сучасних установках, складає 4–5 м/хв., що набагато нижче за швидкість руху заготовки в прокатному стані.

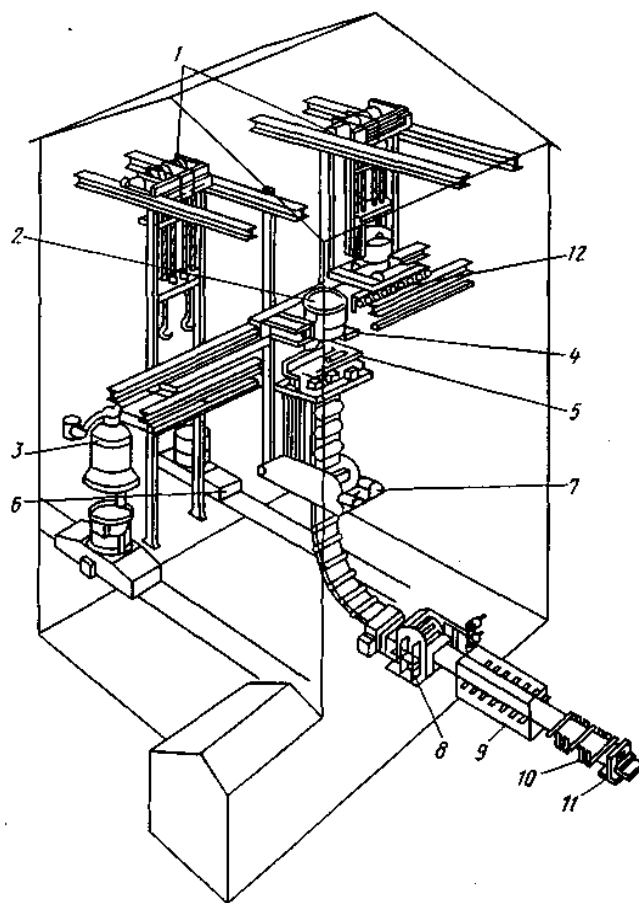
9.4 Поєднання процесу безперервної розливки та прокатки

Розробка поєданого процесу безперервної розливки–прокатки ведеться в двох напрямках:

1. Установка системи прокатних валів безпосередньо на шляху руху заготовок (рис. 9.2).

2. Різання заготовок на мірні довжини, пропуск гарячих заготовок через додатковий нагрівальний пристрій (полум'яний або індукційний нагрів) і подальше направлення безпосередньо в прокатний стан.

Крупні комплекси такого типу діють на ряді заводів світу; їх продуктивність коливається від сотень тисяч до 2 млн.т/рік заготовок. Передача безперервнолитих заготовок на прокатний стан без проміжного нагріву отримала назву пряме плющення. Для забезпечення надійної роботи комплексу безперервне розливання – прокатка необхідно забезпечити отримання бездефектних заготовок, що дозволяє виключити операції їх охолодження, огляду, зачистки і нагріву перед плющенням. Для цього потрібні метал високої якості з мінімальним вмістом шкідливих домішок і включень, що пройшов комплексну позапічну обробку, а також високий рівень організації контролю за ходом процесу розливки та плющення.



- 1 – підйомник сталерозливного ковша; 2 – валки, що тягнуть; 3 – одна з двох установок вакуумування; 4 – проміжний ківш на візку; 5 – кристалізатор; 6 – візок для транспортування сталерозливного ковша; 7 – валки, що згинають; 8 – правильна машина; 9 – підігрів; 10 – обтискний стан; 11 – газорізка; 12 – розливний візок

Рис. 9.2. Схема МБЛЗ, поєднаною з плющенням

При обжиманні необхідне певне співвідношення напруги, що стискує та що розтягує, для забезпечення задовільної якості заготовок. При організації плющення безперервнолитих заготовок на таких комплексах доводиться враховувати, що на відміну від звичайних умов в даному випадку температура внутрішньої частини заготовки вища, ніж зовнішньої. Вона настільки висока,

що опір деформації внутрішніх часток помітно нижчий, ніж зовнішньої. Ця відмінність особлива помітна в разі обжимання заготовки з ще рідкою серцевиною. З одного боку, це дозволяє зменшити потужність прокатних клітей при зменшенні числа проходів, з іншої – ставить ряд таких проблем забезпечення якості прокату, багато з яких знаходиться ще в стадії рішення.

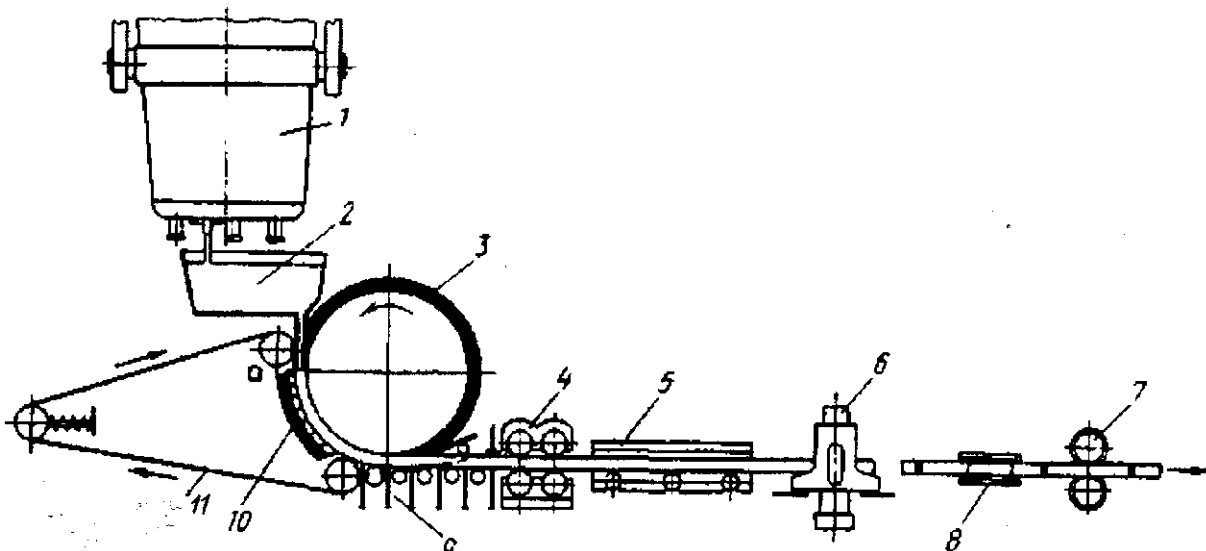
Однією з них є, наприклад, проблема компенсації зниження температури поверхні (внаслідок інтенсивного її охолодження) кутових частин заготовки і запобігання внаслідок виникаючої напруги утворення тріщин, у тому числі кутових, подовжніх, поперечних та інші. Накопичений досвід свідчить про те, що для забезпечення гарантованої високої якості заготовки необхідне проведення наступних заходів:

- вдосконалення технології виплавки сталі та запобігання попадання кінцевого шлаку в ківш при випуску;
- вакуумна обробка сталі;
- продування металу в ковші аргоном;
- захист струменя металу між сталерозливним і проміжним ковшами від взаємодії з повітрям;
- збільшення глибини проміжного ковша для поліпшення умов спливання включень;
- вживання зануреного стакана, що забезпечує вимивання включень з внутрішньої поверхні скориночки, що кристалізується;
- забезпечення рівномірною подачі флюсу в кристалізатор;
- продування аргоном в стакані проміжного ковша;
- контроль, автоматика і устаткування, що забезпечують постійний рівень (± 3 мм) металу в кристалізаторі;
- забезпечення строгої співвісності (в межах $< 0,5$ мм) кристалізатора і верхньої секції направляючих роликів;
- висока частота гойдань кристалізатора;
- забезпечення рівномірного охолодження по ширині та довжині заготовки;
- вживання електромагнітного перемішування рідкої серцевини заготовки;
- пропуск відлитих заготовок (наприклад, слябів) по рольгангу через теплообмінник, що забезпечує стандартні умови охолодження заготовки на шляху до прокатного стану (одночасно утилізується втрачене тепло, яке використовують для отримання низькотемпературного пару).

Перерахування цих заходів показує, що робота методом прямого плющення можлива лише при комплексному використанні методів позапічної обробки металу, вдосконалення устаткування для безперервної розливки, контролю процесу розливки та автоматизації управління всіма операціями.

Одна з технічних проблем, яка виникає при поєднанні розливки і плющення, є тертя скориночки заготовки, що кристалізується, об стінки кристалізатора. Пошуки технічних рішень, що дозволяють усунути (або істотно зменшити) тертя при ковзанні скориночки заготовки об стінки кристалізатора

та забезпечують можливість підвищення швидкості розливання, привели до створення так званих ливарно-прокатних комплексів. Одне з технічних рішень було запропоновано металургами, що створили колісно-стрічковий агрегат, названий ними роторним. Агрегат (рис. 9.3) включає стрічкове колесо, що обертається, діаметром 3 м з виїмкою трапецеїдального перетину на ободі та притискування до обода на ділянці біля 90° безконечну сталеву стрічку, які утворюють таким чином кристалізатор завдовжки 1,8 м. Завдяки більшій (у 2,5 рази), ніж зазвичай, довжині кристалізатора і відносної нерухомості заготовки та кристалізатора продуктивність такої установки істотно вище продуктивності установок традиційного типу. На виході з колеса заготовку розгинають по плавній траєкторії за допомогою водоохолоджуваного клину і ряду роликів. Потім заготовка проходить через правильний пристрій, зону охолодження форсунки, пристрій для вирівнювання температури по перетину і поступає в обтискові кліти, що формує з трапецеїдальної (площею поперечного перетину 18500 мм²) квадратну (перетином 120 x 120 мм) заготовку. У процесі обжимання швидкість виходу заготовки підвищується з 4,2 до 5,5 м/хв. Економічність роботи установки забезпечується високою її продуктивністю, 100%-вою економією витрат на енергію та вогнетриви для нагріву заготовок, підвищенням кризного виходу додатного до 99 %.



1 – сталерозливний ківш; 2 – проміжний ківш; 3 – ливарне колесо; 4 – ролики, що тягнуть; 5 – зона вирівнювання температури; 6 – ножиці; 7 – горизонтальна кліть; 8 – вертикальна кліть; 9 – ролики, що направляють; 10 – охолодження стрічки, 11 – сталева стрічка

Рис. 9.3. Колісно-стрічкова МБЛЗ, поєднана з прокатним станом

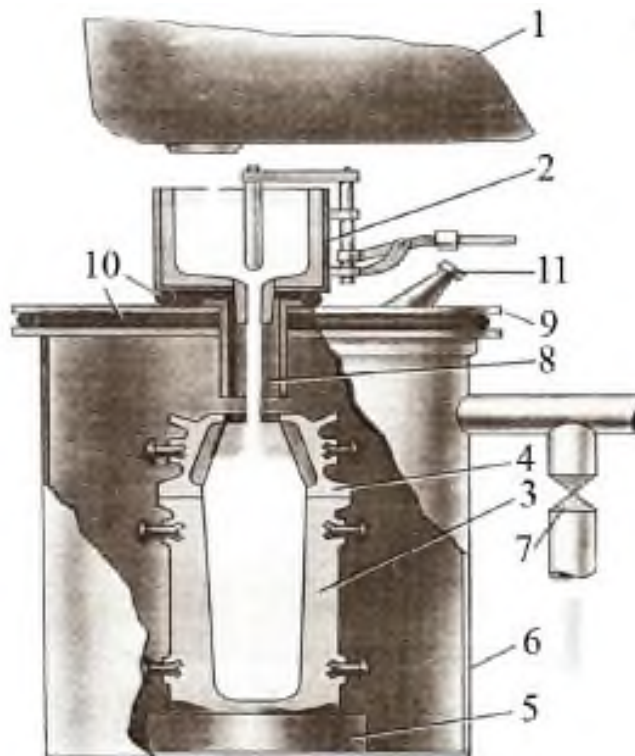
9.5 Розливка сталі у вакуумі

Зазвичай зливки з високоякісних сталей розливаються або у вакуумній камері, або в спеціальній захисній атмосфері. Виливок великих зливок в вакуумі (рис. 9.4) дає можливість істотно підвищити якість металу поковок і

значно спростити технологію кування і термічної обробки.

Розливка сталі у вакуумі переслідує дві мети:

- оберегти сталь від вторинного окислення, яке відбувається при звичайній розливці на повітрі;
- забезпечити додаткову дегазацію сталі безпосередньо в процесі розливки.



- 1 – сталерозливний ківш; 2 – проміжний ківш; 3 – виливниця; 4 – надставка;
5 – піддон; 6 – вакуумна камера; 7 – кран для зняття вакууму;
8 – металокерамічна втулка; 9 – кришка; 10 – гумові ущільнювачі;
11 – вікно спостереження

Рис. 9.4. Схема розливки сталі у вакуумі

При розливці сталі у вакуумі виливницю поміщають в спеціальну герметичну камеру (кесон). На цю камеру, перекриту листом алюмінію, герметично щільно встановлюють проміжний ківш. Розмір зливків, що відливаються, визначається тільки розмірами вакуумних камер і ковшів. Нижня частина корпусу вакуумної камери водоохолоджуєма. Розрідження в системі створюється чотирьох ступінчастим пароежекторним насосом, що забезпечує тиск в камері до початку розливки $0,17\text{--}0,34$ кПа. Установка забезпечена телевізійними камерами, що дозволяють спостерігати за процесом розливки.

Разливка на вакуумній установці проводиться таким чином. Розливний ківш встановлюють над проміжним ковшем і починають заповнювати його рідким металом. Після того як в проміжному ковші накопичиться необхідна кількість металу для здійснення безперервної заливки злитка, відкривають стопор проміжного ковша і струмінь металу, пропалюючи виготовленню алюмінію пластину, потрапляє в вакуумну камеру.

Тиск в камері різко підвищується при попаданні перших порцій рідкого

металу. Після цього воно знову знижується і підтримується майже постійним до заповнення всієї виливниці. Після досягнення металом рівня низу прибутковою надставкою розливка переривається. Заливку прибутку виробляють кількома порціями рідкого металу.

Потрапляючи в вакуум, струмінь дегазуючої сталі розпадається на дрібні краплі. Бульбашки газів, що виділяються зі сталі, як би підривають струмінь рідкого металу, і цим сприяють досягненню високого ступеня дегазації. Іноді для кращого дроблення струменя в неї вдувають інертний газ. При падінні у виливницю струмінь стає конусоподібною. Кут розкриття струменя досягає 90–120° і бризки потрапляють на стінки виливниці. Розбрикування металу на стінки виливниці веде до утворення настилу на поверхні злитка, що відшаровується при куванні у вигляді луски, а іноді утворює сітку дрібних тріщин, що ускладнюють ковку.

З метою обмеження надмірного розкриття струменя в вакуумі використовують направляючу трубу, яка складається з зварного металевого кожуха товщиною 10 мм і двох вогнетривких кілець, що вставляються в кожух. Труба має довжину 600 мм і діаметр 280–300 мм.

Суттєва перевага розливки злитків у вакуумі – це повна відсутність в них флокенов, що пояснюється низьким вмістом водню в зливках. За різними даними під час розливки у вакуумі видаляється 60–70% водню в порівнянні з вмістом його в металі проміжного ковша. Кисень і азот видаляються в набагато меншому ступені, ніж водень. При литті в вакуумі зливків масою 60–150 т з електросталі вміст азоту, наприклад, знижується в середньому на 10–15% від вихідного змісту, а кисню – на 25–30%. Вміст неметалевих включень у великих зливках, розлитих в вакуумних камерах, зменшується, як правило, в 2,5–5,5 рази і більше.

Результати дослідження поглинання та виділення газів струменем металу при литті великих зливків показали, що при розливці на повітрі кількість кисню в сталі в середньому подвоюється, а при литті в захисній атмосфері – зменшується на 10%.

Питання для самоконтролю

1. Охарактеризувати технологію розливки сталі методом «плавка на плавку».
2. Розкрити суть технології захисту металу від вторинного окислення.
3. Охарактеризувати технологію розливки сталі під тиском.
4. Розкрити суть технології поєднання безперервної розливки з обробкою тиском.
5. Зазначити можливості, переваги та недоліки технології поєднання процесу безперервної розливки та прокатки.
6. Охарактеризувати технологію розливки сталі у вакуумі.

Тема 10. КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ПРИЗНАЧЕННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ МОДИФІКАТОРІВ ТА ЛІГАТУР

Мета лекції – ознайомлення з основними уявленнями про модифікування класифікацією модифікаторів та ефективністю застосування різних типів добавок-модифікаторів.

План

- 10.1. Загальні уявлення про модифікування
- 10.2 Класифікація модифікаторів
- 10.3 Типи добавок-модифікаторів та їх ефективність
- 10.4 Вплив модифікування на властивості виливків та зливків

Перелік ключових термінів і понять: модифікатор, модифікування металів, модифікатор кристалізації, модифікована сталь, модифікований чавун, де модифікатор, модифікатор 1-го роду, модифікатор 2-го, активовані домішки, модифікатор 3-го роду, інокулятор, комплексний модифікатор, наномодифікатор.

10.1. Загальні уявлення про модифікування

Модифікування металів – це введення в розплавлені метали (сплави) модифікаторів (зазвичай не більше від десятих часток відсотку), які, майже не змінюючи хімічного складу, впливають на структуру литих металів, поліпшуючи їх фізико-механічні властивості.

Модифікатор кристалізації – це речовина, яку вводять у розплавлений метал перед кристалізацією для одержання дрібнозернистої структури виливків. Така структура за інших рівних умов має кращі механічні та технологічні властивості, зокрема меншу крихкість порівняно з грубозернистою. Існує два типи модифікаторів: тугоплавкі та поверхнево-активні.

Тугоплавкі модифікатори або модифікатори інокулюючої дії утворюють з хімічними елементами розплав тугоплавкі нерозчинні в ньому тверді частинки, які сприяють гетерогенному зародкоутворенню, виконуючи роль підкладок.

Ефективними тугоплавкими модифікаторами для сталей є титан, ванадій, ніобій, які утворюють тугоплавкі карбіди TiC , VC , NbC ; для алюмінієвих сплавів – титан, цирконій, які утворюють з алюмінієм сполуки Al_3Ti , Al_3Zr ; для магнієвих сплавів з алюмінієм – крейда, магнезит, які містять карбон.

Поверхнево-активні модифікатори осаджуються у вигляді тонкого шару на поверхні зародків та кристалів, які ростуть у розплаві, зменшуючи тим поверхневу енергію міжфазної границі розплав-тверда фаза. Це зумовлює зменшення лінійної швидкості росту кристалів та збільшення швидкості утворення центрів кристалізації, оскільки зменшується критичний радіус зародка. Така подвійна дія поверхнево-активних модифікаторів ефективно

зменшує розміри зерен закристалізованої структури. Наприклад, таким чином подрібнює структуру литих сталей бор, а алюмінієвих сплавів натрій та калій.

Модифікована сталь – це сталь, яку піддають модифікуванню. До модифікованих належать головним чином конструкційні, інструментальні, жароміцні та неіржавіючі сталі.

Модифіковані сталі характеризуються високою рідкоплинністю, малою усадкою, підвищеною густиною, поліпшеною макро- і мікроструктурою та механічними властивостями, вони містять малу кількість шкідливих домішок. З модифікованих сталей виготовляють важливі деталі машин і механізмів, штампові й різальні інструменти та інші.

Модифікований чавун – це чавун, структура і властивості якого змінені спеціальною (модифікуючою) обробкою в рідкому та (або) твердому стані звичайно з використанням хімічних реагентів (модифікаторів) та рідко з використанням вібрацій, вакууму, високого тиску, електромагнітних полів та інших зовнішніх впливів.

До модифікованих належать високоміцні чавуни, ковкі чавуни (їх обробляють, щоб скоротити тривалість відпалу), деякі жаростійкі чавуни, сірі чавуни і чавуни антифрикційні. Відливками з модифікованого чавуну іноді замінюють сталеві відливки і поковки. При одержанні модифікованого чавуну, поряд з модифікуванням, застосовують легування, додають в шихту сталевий брухт та інші. З модифікованих чавунів виготовляють вироби підвищеної міцності, а також вироби, що зазнають значних навантажень: колінчасті вали, деталі турбін тощо.

Модифікування направлено на вирішення низки завдань:

- подрібнення макрозерна;
- подрібнення мікрозерна (дендритних осередків);
- подрібнення фазових складових евтектики, перітектик, в т.ч. крихких і легкоплавких фаз (зі зміною їх складу шляхом введення присадок, що утворюють з цими фазами хімічні сполуки);
- подрібнення первинних кристалів, що випадають при кристалізації, в до- або заевтектичних сплавах;
- подрібнення форми і зміна розміру і розподілу неметалевих включень (інтерметалідів, карбідів, графіту, оксидів, сульфідів, оксисульфиду, нітридів, фосфідів).

Одночасне вирішення всіх цих завдань часто виявляється неможливим. Так, подрібнення макроструктури часто супроводжується огрубіння мікрозерен. Разом з тим, іноді вдається одночасно домагатися досягнення кількох з перерахованих цілей.

Модифікування відрізняється від легування:

- меншим вмістом добавок (соті або десяті частки відсотка);
- меншою тривалістю дії модифікаторів (зазвичай 10–15 хв.), однак деякі модифікатори відрізняються тривалою дією.

Для модифікування сталей і чавунів застосовується дуже широкий спектр модифікаторів відповідно до конкретного ливарним сплавом, виробничими

умовами і поставленими технічними завданнями.

Традиційними матеріалами для обробки залізовуглецевих розплавів в чорній металургії (сталей і чавунів) є: всілякі феросплави, модифікатори на основі кремнію (силікокальцій, сілікобарій, феросиліцій), сумішеві модифікатори (наприклад, на основі карбіду кремнію, графіту, вуглецю, природних барій-стронцієвих карбонатів) та інші види модифікаторів і феросплавів. Вимоги до якості та ефективності модифікаторів для обробки як сталі, так і чавуну постійно зростають. На ливарних виробництвах все частіше доводиться вирішувати складні специфічні завдання з гарантованим отриманням високої якості виливків. Згідно з цими вимогами нашим підприємством виробляються або поставляються унікальні вузькоспеціалізовані і комплексні модифікатори для пічного, ковшового і внутріформенного способу обробки з метою легування, мікролегування, десульфуратія, розкислення і інокулювання чавуну або сталі. Модифікатори для чавуну та сталі приведені на рис. 10.1.

Поряд з поняттям «модифікатори» існує зворотне поняття «демодифікатори» – добавки, що підвищує розмір зерна. Вони збільшують роботу освіти зародка, утримують його утворення і знижують ймовірність виникнення центру кристалізації. До демодифікаторів відносяться: вісмут, свинець, сурма – для чавуну; сірка і вуглець – для магнітних сплавів системи Fe-Ni-Co-Al-Cu-Ti (збільшують розміри стовпчастих кристалів).

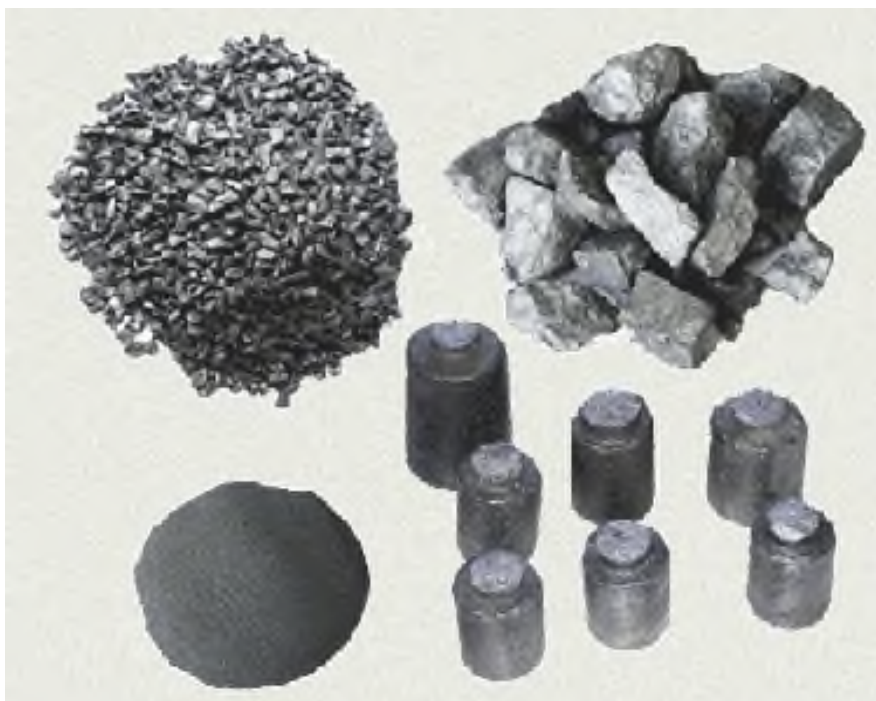


Рис. 10.1. Модифікатори для чавуну та сталі

Зазвичай без модифікування величина переохолодження кольорових металів і сплавів доходить до 7–10 °С. Як правило, при модифікуванні в розплаві з'являється велика кількість центрів кристалізації. В результаті виділяється теплота кристалізації і переохолодження майже зникає. Подальше

зростання центрів кристалізації залежить від характеру впливу домішок або фізичних впливів на обстановку в прикордонній зоні кристал-розплав. У більшості випадків розчинні або нерозчинні домішки надають гальмівну дію на ріст кристалів, при цьому конкретний механізм гальмування зростання залежить від природи домішки і механізму її модифікуючої дії.

10.2 Класифікація модифікаторів

Сьогодні існує понад десяток теорій модифікування залізовуглецевих розплавів і понад 500 діючих типів різних модифікаторів, що містять від 2–3-х компонентів до півтора десятка. З урахуванням запатентованих складів їх кількість перевищує за 1000. Слід зазначити, що є просто віртуальні модифікатори, що існують тільки на папері (патент). Розібратися в цьому калейдоскопі модифікаторів, їх властивості, досить складно. В результаті виникає серйозна проблема – економічно оптимально і правильно підібрати потрібний тип модифікатора для заводської технології.

До традиційних модифікаторів в області модифікування залізовуглецевих розплавів (сталей та чавунів), відносяться графіт, феросплави різного типу (ферохром, ферованадій, феромарганець), а також модифікатори, основним компонентом яких є кремній - феросиліцій, силікокальцій, сілікокобарій та інші види.

Істотним недоліком будь-якого типу модифікування є вимога досить високих температур розплаву перед початком модифікування: для чавуну > 1360 °С, для сталі > 1420 °С. При більш низьких температурах розплаву модифікатор погано розчиняється в розплаві та переходить в шлак («зашлаковуватися») й ефект модифікування швидко згасає. В цьому випадку потрібна значна перевитрата модифікатора.

Модифікатори за їх дією можна класифікувати на три групи:

1. Модифікатори, що підвищують змочуваність однієї складової сплаву іншій, тобто знижують поверхневий натяг на межі між ними і тим самим полегшують утворення твердої фази, що контактує з рідкою;

2. Модифікатори, що є безпосередніми зародками кристалізації;

3. Інокулятори - модифікатори, що змінюють литу структуру за рахунок зменшення перегріву кристалізується металевого розплаву.

За природою впливу модифікатори можна розділити на три види:

– модифікатори 1-го роду (впливають на структуру за рахунок зміни енергетичних характеристик (енергія активації і поверхневий натяг) зародження нової фази);

– модифікатори 2-го роду (змінюють структуру впливаючи на неї, як зародки твердої фази);

– модифікатори 3-го роду або інокулятори (знижують температуру металу і підвищують швидкість кристалізації, гальмуючи тим самим розвиток ліквідації елементів).

10.3 Типи добавок-модифікаторів та їх ефективність

10.3.1 Модифікатори 1-го роду

Модифікатори 1-го роду (розчинені) безпосередньо утворюють в металі центри кристалізації у вигляді дрібнодисперсного суспензії. Вони повинні або самі володіти високою температурою плавлення і створювати тверді частинки, що викликають гетерогенні утворення зародків, або утворювати з компонентами сталі тугоплавкі сполуки, які відіграють таку ж роль. Наприклад, для отримання дрібнозернистої кристалічної структури в рідкий метал вводять тугоплавкі сполуки, що містять такі хімічні елементи: титан, ванадій, бор, алюміній, цирконій, ніобій, які служать додатковими центрами кристалізації.

Тим часом, при підборі модифікаторів 1-го роду необхідно керуватися такими міркуваннями: добавка повинна утворювати стійке тугоплавке з'єднання з одним з компонентів сплаву або ж сам модифікатор повинен мати вищу температуру плавлення, ніж основа сплаву.

Таким чином, введення модифікаторів першого роду супроводжується зміною поверхневого натягу і енергії активації в протилежних напрямках. Зазначене ускладнює їх спільний вплив на кристалізацію і розмір литого зерна. Найбільш характерний для модифікаторів першого роду ефект подрібнення макрозерна. Оскільки підвищення енергії активації через адсорбції домішки на гранях кристалів сприяє зниженню швидкості росту кристалів, то це викликає огрублення дендритної будови зерна. Таким чином, під дією модифікаторів 1-го роду одночасно подрібнюється макрозерно і укрупнюється мікрозерно, тобто виявляється комплексне взаємодії на макро- і мікроструктуру.

Приклади модифікаторів 1-го роду наведені в табл. 10.1 та 10.2.

Таблиця 10.1 – Модифікатори для сталей різних марок

Марка сталі	Модифікатори	Кількість добавки, %
20Л	Титан	0,75
У12	Церій	0,50
У12	Титан	0,25
40ХЛ	Титан	0,50
30ХН3М	Бор	0,50
1Х1 8Н9	Титан	0,50
1Х1 8Н9	Цирконій	0,25

10.3.2 Модифікатори 2-го роду

Модифікатори 2-го роду (нерозчинені) є поверхнево активними речовинами. При кристалізації вони адсорбуються на поверхні зростаючих кристалів і гальмують їх зростання. Це призводить до збільшення величини переохолодження рідкої сталі перед фронтом кристалізації і створює

сприятливі умови для виникнення нових центрів зародження кристалів, що в результаті сприяє подрібненню зерна.

Таблиця 10.2 – Модифікатори 1-го роду для сталі та сплавів

Метал (сплав)	Модифікатор	Примітка
Сталь	Бор, РЗМ, церій кальцій, магній, лантан, цирконій, літій, барій, уран	
Алюміній та сплави алюмінію з кремнієм (силуміни) (АЛ2, АЛ4, АЛ9, АК9 та інші)	Натрій (0,006–0,012%), калій, літій, вісмут, сурма 0,1–0,3%, стронцій 0,01–0,05% (сурма і стронцій - модифікатори тривалої дії), суміш солей (0,1% натрію і 2% суміші фтористого і хлористого натрію)	Переохолодження 6–15 °С. Подрібнення евтектики в системі Al-Si натрієм, стронцієм. Пластинчаста форма кристалів кремнію переходить в компактну розміром 2– 5 мкм
Мідь, мідні сплави без заліза. Мідні сплави з залізом	Олово, сурма, ванадій, цирконій, молібден, титан, бор, вольфрам	
Чавун	Скандій, лантан	
Чавун високоміцний з шароподібним графітом	Первинне модифікування сотими долями магнію або церію плюс вторинне (графітизуюче) модифікування феросиліцієм ФС75 для запобігання появи в чавуні структурно-вільних карбідів	Переведення пластинчастих виділень графіту евтектики залізо-графіт в кулясті частки
Ковкий чавун, що підлягає термообробці	Тисячні частки відсотка вісмуту, сурми або олова	
Магнієві сплави, які містять алюміній	Вуглецьвміщуючі речовини (0,3–0,6%), хлорне залізо, крейда, мармур, магнезит, гексахлоретан, вуглекислий газ, ацетилен. Перегрів розплаву-витримка-охолодження	
Магнієві сплави, які не містять алюміній	Цирконій 0,5–0,7% або кальцій 0,1– 0,2%	

При виборі модифікаторів 2-го роду враховують такі міркування: добавка повинна мати низький коефіцієнт розподілу в залізі, що викликає збільшення її

концентрації поблизу поверхні кристала. Розчинність добавки у твердій фазі повинна бути невеликою, при цьому бажано утворення з основою сплаву (залізом) тугоплавкої евтектики. Модифікатори другого роду не тільки подрібнюють розміри кристалічного зерна, а і змінюють форми росту кристалів.

Вони перешкоджають розвитку голчастих або пластинчастих кристалів, надаючи їм округлі форми. Експериментально встановлено, що в якості модифікаторів другого роду доцільно використовувати лужні і лужноземельні метали.

Приклади модифікаторів 2-го роду наведені в табл. 10.3.

Таблиця 10.3 – Модифікатори 2-го роду для сталі та сплавів

Метал (сплав)	Модифікатор	Примітка
Алюмінієві сплави	Хлористий натрій, титан – до 0,1 5%, ванадій – до 0,15%, скандій, цирконій, бор	Утворюються тугоплавкі сполуки, ізоморфні алюмінію: $TiAl_3$, $ScAl_3$, VAl_6 , $ZrAl_3$, TiB_2
Заевтектичні силуміни	Фосфор 0,05–0,1% або сірка	Введення центрів кристалізації (фосфід алюмінію AlP), подрібнення первинного кремнію
Сталі	Алюміній, титан	Утворюються тугоплавкі з'єднання Al_2O_3 , TiN
Сірий чавун з пластинчастим графітом	Графітізуючий модифікатор – кремній; стабілізуючі модифікатори – марганець, хром, олово, мідь, сурма та інші	Введення силікокальцію СК30 (0,3–0,6%) або феросиліцію ФС75 (0,5–0,8% від ваги чавуну). Мета – подрібнення графіту і зменшення схильності чавуну до відбілити

Серед основних умов для вибору нерозчинних добавок (часток) з найбільшою модифікуючою здатністю слід виділити:

- необхідно використовувати тугоплавкі нерозчинні речовини, що утворюють в розплаві самостійну фазу;
- частки твердої фази повинні в максимальній мірі підкорятися принципом структурної та розмірної відповідності;
- більш ефективні дисперсні частинки з великою сумарною поверхнею розділу фаз і зіставні за розмірами з кластерами близько 1–10 нм;
- бажано, щоб частинки володіли металевими властивостями (по типу хімічного зв'язку);
- найбільш ефективні частки стійких хімічних сполук ендogenous походження, тобто утворилися в розплаві в результаті взаємодії добавки з одним з компонентів або основою сплаву;
- в більшості випадків ефективні добавки утворюють з основою сплаву

інтерметаліди і евтектики (або перітектику) з евтектичною точкою, сильно зміщеною до базового компоненту.

При модифікуванні сірого чавуну кремнієм з метою отримання чавуну з пластинчастим графітом в розплаві утворюється «силікатна муть» (кремній, який є графітізатором, сприяє появі центрів графітизації). При цьому усувається відбіл, подрібнюється структура (формується дрібні пластинки графіту). Одночасно зменшується кількість графітових включень і підвищуються механічні властивості, їх однорідність, забезпечується висока зносостійкість, оброблюваність литих виробів. Найкращі результати модифікування досягаються при зниженому вмісті кремнію і вуглецю в вихідному сірому чавуні.

Модифікування добавками, що сприяють появі центрів кристалізації, супроводжується зменшенням переохладження (на відміну від модифікування поверхнево-активними добавками, адсорбує на поверхні кристалів, що ростуть).

10.3.3 Активовані домішки

Активовані (активні) домішки (нерозчинні) відрізняється тим, що вони потрапляють в розплав з шихтою, яка піддавалася попередньої кристалізації (наприклад, чушки). Ці домішки не володіють структурною подібністю з речовиною, що кристалізується, але за попередньої кристалізації набувають властивість становитися твердою підкладкою для зародження зародків кристалів. Зазначене обумовлено тим, що в попередньої кристалізації між частинками цієї домішки і твердою фазою речовини, що закристалізувалася, виникає внаслідок молекулярного контакту прикордонний шар, що має структурну схожість з кристалами речовини. Якщо температура плавлення цього шару вища за температуру плавлення кристалів, то після їх розплавлення на поверхні частинок домішки збережеться відмічений прикордонний (перехідний) шар. Це забезпечить перетворення зазначених частинок домішки в активні. Вважається, що в технічних металах і сплавах завжди є активні домішки, які суттєво впливають на характер кристалізації і формування макроструктури виливків і зливків.

З проявом ролі активних домішок зазвичай пов'язують вплив перегріву розплаву на макроструктуру. Підвищення температури перегріву розплаву, як правило, веде до укрупнення макроструктури. Зазначене пояснюють дезактивацією активних домішок, під якою розуміють зникнення при підвищеній температурі розплаву активованого шару на поверхні частинок домішки. Температура дезактивації залежить від виду (природи) домішок і складу розплаву.

Зокрема, повна дезактивація домішок відбувається при перегріві: сталі Х27 – на 100 °С, сталі 12Х18Н9Т – на 5–10 °С, сталі Х23Н18 – на 2–3 °С, алюмінію – на 50–60 °С. При досить низьких перегрівках розплаву спостерігали ефект наслідування структури, також пов'язаний з дією активних домішок.

Однак зазначений ефект спадковості зникає при більш високому перегрів розплаву, наприклад для алюмінію – вище 8–10 °С, а для сталі 15Х28 – вище 30–40 °С.

10.3.4 Комплексні модифікатори

Розрізняють *комплексні модифікатори* трьох типів:

– рафінуючі, що містять активні елементи Mn, Si, Ca, Mg, Al, PЗМ та інші;

– зміцнюючі, що містять карбіди, боріди, нітриди, які утворюються в сплаві в результаті взаємодії відповідних елементів і сприяють дисперсионному зміцненню основи;

– рафінуюче-зміцнюючі, які містять активні елементи і з'єднання.

До *вузькоспеціалізованих модифікаторів*, які виконують вузькоспеціальну функцію модифікування, відносяться так звані **нано-модифікатори**.

Застосування комплексних модифікаторів (табл. 10.4) продиктовано кількома причинами:

– спільна дія двох і більше модифікаторів підсилює ефект, одержуваний при використанні одиночного модифікатора. Це пов'язано з зазначеним вище зародженням центрів кристалізації на нерозчинних домішках в шарі рідкої фази з дифузійним переохолодженням, обумовленим введенням розчинної домішки (особливо поверхнево-активною);

– при використанні комплексного модифікатора створюється можливість мінімізувати вміст кожного з його компонентів, що полегшує виконання умов обмеження складу сплаву по домішках;

– поєднання модифікаторів з фізичними впливами підсилює ефект від дії модифікаторів і створює можливість одержання особливо-дрібних і спеціальних структур.

Модифікатори, які містять такі активні елементи, як PЗМ, Ва, Са, є ефективним засобом зміни природи і форми неметалевих включень, отримання найкращого типу оксидних включень в оболонці сульфідів.

Набуло застосування модифікування сталі нітридами ванадію, титану, цирконію, алюмінію шляхом введення в сталь спеціальних лігатур або азотованих феросплавів.

При модифікуванні конструкційних сталей нітридами ванадію відбувається подрібнення аустенітного зерна на 3–4 бали, підвищення пластичності, ударної в'язкості та міцності.

Особливістю модифікування сталі комплексними сплавами є те, що паралельно з подрібненням структури змінюються природа і форма неметалевих включень, знижується в 1,5–2,0 рази забрудненість кордонів аустенітних зерен оксидними, сульфідними і нітридними включеннями, підвищується рівномірність розподілу структурних складових, забезпечується збільшення пластичності та ударної в'язкості сталі.

При виробництві чавуну з кулястим графітом поряд з роздільними модифікаторами (магній або церій) застосовують комплексний модифікатор (магній + церій). Додаток церію до магнію нейтралізує дію шкідливих домішок (титан, алюміній, свинець, сурма, миш'як, вісмут, олово), вкрай шкідливо впливають на якість чавуну, модифікованого магнієм.

Таблиця 10.4 – Комплексні модифікатори для сталі та сплавів

Метал (сплав)	Модифікатор	Примітка
Сірий чавун	Fe-Si-Ca + Al, Ti, Ce, La	
Сірий чавун зі зниженим вуглецевим еквівалентом C + 0,3 Si (3,5–3,7)	Si-Mn-Zr	Мета – отримання чавуну з пластинчастим графітом
Сталь	РЗМ з силікокальцієм, феромарганцем, феросиліцидом	Мета – видалення сульфідів церію
Сталь	Ti-B-Ca, Ti-Ce-B, Mg-Zr-Ce, Ti-V-Ca	
Алюмінієві сплави	Ti+V суміші хлористих та фтористих солей (хлористий натрій, фтористий натрій, хлористий калій та кріоліт)	Мета – отримання більш дисперсних та стабільних інтерметалідів
Ковкий чавун	Al + Bi + B	Мета – скорочення тривалості випалу
Високоміцний чавун з вермікулярним графітом	Mg + Ti, Y, Ce, Ca	Мета – отримання роз'єднаних, потовщених включень з округлими кінцями (компактніше пластинчастого графіту)

10.3.5 Модифікатори 3-го роду (інокулятори)

Введення в розплав, що кристалізується, інокуляторів забезпечує підвищення однорідності та дисперсності литої структури, оптимізацію форми і розподілу неметалевих включень, зменшення деяких ливарних дефектів (пористості, пухкості, осьової та позаосьової ліквідації), що істотно підвищує рівень та ізотропність властивостей литого металу:

- при приблизно рівній міцності на 30–50% і більше (до 2,5–3,0 раз) підвищуються пластичні властивості металу і на 25–30% його ударна в'язкість;
- максимальний ефект підвищення пластичних властивостей в серединній (на половині радіуса) і осьовій зонах свідчить про суттєве

підвищення фізико-хімічної однорідності та ізотропності властивостей металу по перетину зливків;

– зниження анізотропії властивостей суспензійного металу в поздовжньому напрямку в поверхневій зоні пов'язано з усуненням структури стовпчастих кристалітів, яка зазвичай характерна для цієї області.

– підвищення рівня і ізотропності характеристик пластичності та ударної в'язкості сталі, обумовлене введенням порошків, зберігається і після кування (до 5–10-кратного укова);

– за пластичністю зливки, відлиті з введенням екзогенних інокуляторів, наближаються до цього показника кованого металу або досягають максимальних значень вже при невеликих 1,5- і 3-кратному уковах, ударна в'язкість не знижується після 5–10-кратного укова, як це має місце в звичайних зливках .

Потрапляючи в метал інокулятори призводять до локального охолодження металевого розплаву, при цьому спочатку на них відбувається наморажування скоринки твердої фази, яка в подальшому внаслідок нагрівання від навколишнього розплаву розплавляється, а пізніше розплавляється і сам інокулятор. Таким чином інокулятори в розплаві відбирають тепло на власний нагрів і розплавлення, в результаті чого знижується температура розплаву.

Ефект охолодження внесений ним призводить в результаті до зростання швидкості кристалізації, що в свою чергу відображається на зниженні ліквідаційної неоднорідності в заготівлі та підвищенні однорідності механічних властивостей в великих кованих виробках відповідального призначення. З збільшення маси інокуляторів, що вводяться, швидкість кристалізації зростає.

Питання для самоконтролю

1. Надати визначення поняття «модифікування металів», «модифікатор кристалізації», «модифікована сталь», «модифікований чавун» та «демодифікатор».

2. Які модифікатори відносяться до тугоплавких та поверхнево-активних модифікаторів?

3. Привести класифікацію модифікаторів.

4. Надати характеристику модифікаторам 1-го роду.

5. Привести приклади модифікаторів 1-го роду для сталі та сплавів.

6. Надати характеристику модифікаторам 2-го роду.

7. Привести приклади модифікаторів 2-го роду для сталі та сплавів.

8. Надати характеристику модифікаторам 3-го роду.

9. Для чого використовуються активовані домішки?

10. Які є типи комплексних модифікаторів?

Тема 11. МОДИФІКАТОРИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЧАВУННОГО ТА СТАЛЕВОГО ЛИТТЯ

Мета лекції – ознайомлення з сучасними видами модифікаторів чавуну та сталі.

План

11.1. Модифікатори чавуну

11.2 Модифікатори сталі

Перелік ключових термінів і понять: модифікатори сірого чавуну, «пізні» модифікування, комплексний сфероїдизуючий модифікатор для високоміцного чавуну, сфероїдизуюче модифікування, «чіпс» -модифікатори, модифікатори сталі.

11.1 Модифікатори чавуну

11.1.1 Модифікатори сірого чавуну

Для деталей з сірого чавуну характерні мала чутливість до впливу зовнішніх концентратів напруги при циклічних навантаженнях, високий коефіцієнт поглинання коливань при вібраціях (в 2–4 рази вище, ніж у сталі), високі антифрикційні властивості (завдяки наявності графіту). Але, щоб забезпечити ці властивості, чавун повинен мати певну ливарну структуру.

У порівнянні зі звичайним чавуном модифікований чавун такого ж хімічного складу в меншій мірі схильний до утворення тріщин (відбілу). Саме на цьому ґрунтується використання модифікаторів для отримання чавунів з високими механічними властивостями.

Феросиліцій – це традиційний, найбільш широко застосовуваний модифікатор на основі кремнію, не тільки для чавунів, а і для сталей (табл. 11.1). Основним модифікатором сірого чавуну є феросиліцій ФС75. Для посилення модифікуючої дії на склад феросиліцію, як правило, додатково входять розкислювачі та десульфурізатори – барій, алюміній і кальцій.

Таблиця 11.1 – Хімічний склад та марки феросиліцію

Марка	Масова частка, %								
	Si	Ba	Al	Sr	Ca	PЗМ	Mn	Cr	Fe
ФС75	74–80	–	–	–	–	–	0,4	0,4	інше
ФС65Ба7	60–70	7,0	3,0	–	–	–	0,4		
ФС75СтК	72–80	–	0,5	1,5	1,0	–	–	–	
ФС30PЗМ20	30–35	–	6,0	–	–	20-30	–	–	

Примітка: вміст S < 0,02% та P < 0,05%

Для модифікування феросиліцій в розмолотому вигляді (фракції 2–10 мм) вводять в розливний або роздатковий ківш під струмінь металу при температурі

1340–1400 °С в кількості 0,1–0,5% маси рідкого металу. Також його можна додавати в форму або подавати безпосередньо в момент роздачі чавуну по ковшів. Крім того, модифікатор можна розмістити в одному з елементів ливникової системи форми або використовувати дріт з пресованого порошкового модифікатора, яка із заданою швидкістю вводиться в струмінь металу у літниковій чаші форми.

Але, який би спосіб не застосовувався, завжди необхідно упевнитися в тому, що модифікатор повністю розчинився і ретельно перемішався з розплавом чавуну.

Ефект феросиліцію як модифікатору зберігається не більше 15 хв. Феросиліцій ФС75 доцільно застосовувати для модифікування чавунів з низьким вуглецевим еквівалентом, а також при литті тонкостінних виливків.

Найпростіший традиційний модифікатор – це *графіт*. Застосовується в якості компонента в модифікують сумішах, рідше, як самостійний модифікатор. Використовують зазвичай марка графіту ГЛЗ-1, ГЛЗ-2, ГЛЗ-3.

Сумішеві графітізуючі модифікатори для сірих чавунів – це найбільш прості графітізуючі модифікатори, які складаються, як правило, з модифікаторів на основі феросиліцію, графіту, карбїду кремнію та інших компонентів (табл. 11.2).

Таблиця 11.2 – Склад сумішевих модифікаторів

Марка	Масова частка, %				
	Si (сумарно)	C (графіт)	SiC	Ca	Fe
ФС30У60	20–40	55–65	–	3,0	інше
ФС50У35	45–55	30–40	30–40	6,0	

Силікокальцій (табл. 11.3) – це сплав кальцію, кремнію та заліза, активний комплексний розкислювач і дегазатор сталі та чавуну для виливків, ефективний десульфатор. Успішно застосовується як для пічної, так і для позапічної обробки сталі, забезпечує при високому ступені розкислення мінімальну кількість і оптимальну форму неметалевих включень. На основі силікокальцію на вимогу замовника виплавляють комплексні сплави з ванадієм, алюмінієм, титаном, барієм, магнієм. Аналогом силікокальцію є силікобарій.

Оптимальна температура модифікування чавуну *силікокальцієм* дорівнює 1400–1450 °С. При цьому кількість присадки становить 0,3–0,5% маси рідкого металу. Для поліпшення засвоєння силікокальцію доцільно вводити в суміші з плавиковий шпат в співвідношенні 1:1. Додаток плавикового шпату перешкоджає відшлакуванню модифікатора, підвищує активність взаємодії кальцію з киснем і сіркою і сприяє видаленню утворюються при цьому неметалевих включень з розплаву в шлак.

Високу графітуючи здатність мають *барійвмісні модифікатори* на кремнієвій основі. Барій активно реагує з киснем, сіркою і вуглецем в складі чавуну, утворюючи з'єднання, які переходять в шлак. Комплексні модифікатори на основі кремнію з вмістом в них барію або стронцію краще

усувають відбіл і забезпечують більш високий приріст міцності, ніж феросиліцій ФС75.

Таблиця 11.3 – Склад силікокальцію

Марка	Масова частка, %						
	Ca	Fe	Al	C		P	Si
				клас А	клас Б		
СК 10	10–15	>25	н.б. 1,0	0,2	0,5	0,02	-
СК 15	15–20	20	н.б. 1,0	0,2	0,5	0,02	-
СК 20	20–25	-	-	-	-	-	-
СК 25	25–30	до 10	н.б. 2,0	0,5	1,5	1,5	-

Найкращі результати досягаються при введенні добавок в кількості 0,2–0,4% маси рідкого металу. При подальшому збільшенні кількості присадки міцність чавуну зменшується внаслідок появи в структурі фериту.

При виготовленні великих чавунних виливків в серійному і дрібносерійному виробництві, а також при заливці чавуну на автоматичних формувальних лініях необхідно застосування присадок з тривалим (до 30 хв.) періодом дії модифікуючого ефекту. З цієї точки зору являє інтерес сілікобарій з високою масовою часткою (30–35%) барію СБ30. Використання СБ30 дозволяє різко знизити схильність чавуну до відбілити і зберегти модифікуючий ефект протягом 15–25 хв.

Оптимальна температура модифікування чавуну *сілікобарієм* знаходиться в межах 1360–1380 °С. Сілікобарій підвищує однорідність структури і властивостей чавуну в різних перетинах виливка (в тонких перетинах виливка зникає точковий графіт, міцність чавуну зростає).

Ще одним поширеним модифікатором є церій, який вводять в метал у вигляді металевого церію, сплаву мишметалу, Фероцерій та інші ФЦМ-5.

Металевий церій містить 97% церію при загальному змісті рідкоземельних елементів 98,5%. Церій має порівняно низьку температуру плавлення (725 °С). При низьких температурах добре розчиняє газу і легко окислюється на повітрі, тому церій можна зберегти тільки в повітронепроникних судинах.

Мишметал – це сплав елементів церієвої групи, отриманий методом електролізу з розплаву хлоридів, містить 40–60% Се (церій), 13–25% La (лантан), 15–17% Nd (НІОД), 8–10% інших рідкоземельних елементів і до 2% Fe.

Фероцерій – це сплав рідкоземельних елементів церієвої групи з залізом. Його отримують як і мишметал методом електролізу з розплаву хлоридів. У Фероцерій міститься 15% Fe, 40–55% Се, решта - рідкоземельні елементи.

Сплав ФЦМ-5 – це сплав РЗМ з магнієм, одержуваний електролізом. У ньому міститься 40–50% Се, до 1% Fe, 3,6–7,5% Mg, решта – елементи церієвої групи.

Церій, володіючи великим хімічним спорідненістю до кисню та сірки, активно розкислює рідкий чавун, утворюючи тугоплавкі сполуки. Слід зазначити, що застосування Фероцерій як модифікатора ефективно при його введенні в розплав при температурі вище 1450 °С. Присадка фероцерію в кількості до 0,1% ефективно усувають відбіл чавуну (0,08–0,12% S).

Вуглевмісні модифікатори застосовується спільно з феросиліцію в кількості 0,01–0,05% з метою поліпшення розподілу графіту, але, внаслідок порівняно невеликій щільності, вони погано засвоюються рідким чавуном. Найбільш ефективні результати отримані при використанні вуглевмістких присадок для модифікування чавуну, виплавленого в електропечах і піддається тривалій витримці. При тривалій витримці розплав має підвищену схильність до відбілити і в даному випадку модифікування є необхідною технологічною операцією. Графіт, як присадка, вимагає більш тривалого періоду для активізації, тому його доцільно вводити в розплав за кілька 5–10 хв. до введення інших модифікаторів.

11.1.2 Ефективність модифікування чавуну

Ефективність модифікування сірого чавуну (табл. 11.4) пов'язана з рядом технологічних факторів: температурою введення присадок, їх гранулометричним складом, часом і місцем введення модифікаторів. Всі ці параметри підбираються залежно від завдань, які необхідно вирішити за допомогою модифікування.

В цілому, при використанні феросиліцію, фероцерію і його суміші з феросиліцію, підвищення температури введення присадок від 1420 до 1450 °С сприяє посиленню модифікуючого ефекту, хоча тривалість дії модифікатора скорочується.

Модифікування чавуну при температурі 1380–1420 °С забезпечує, як правило, найбільш стабільні результати і високі показники якості чавунних виливків. Доречно додати, що температура плавлення найбільш поширених модифікують присадок, таких як феросиліцій, мішметал, не перевищує 1350 °С. Ефективність модифікування чавуну істотно залежить також і від розміру часток феросплавів.

У виробничій практиці зустрічається спосіб «пізнього» модифікування, який використовують з метою усунення впливу фактора часу на ефективність обробки чавуну. Цей спосіб набув широкого поширення для автоматизованих установок з індукційним обігрівом для заливки чавуну на конвеєрах і формувальних лініях. В даному випадку максимальний ефект досягається застосуванням дрібнозернистих фракцій модифікатора (0,3–2 мм). При цьому використовуються різні сорти феросиліцію ФС75, причому масова частка фракцій 0,3–0,5 мм в присадці повинна становити не менше 15–20%.

Наявність великих фракцій (понад 2,0 мм) при «пізньому» модифікуванні не допускається, так як в виливках можливе утворення твердих часток модифікатора. Оптимальна масова частка присадки феросиліцію ФС75 при

введенні його в форму або в літникову чашу становить 0,05–0,1% металоємності форми, для інших способів «пізнього» модифікування вона дорівнює 0,1–0,2%. При «пізньому» модифікування доцільно використовувати феросиліцій ФС75, що містять активні присадки стронцію і РЗМ.

Модифікування – це визнаний спосіб підвищення якості чавунних виливків, який надає вам можливості повністю запобігти утворенню відбілу, газової або усадочною пористості, або звести їх до мінімуму. Але, слід пам'ятати, що гарантом отримання якісного лиття та поліпшення структури чавуну є правильний підбір модифікаторів і режимів модифікування.

Таблиця 11.4 – Ефективність модифікаторів сірого чавуну (в порядку зменшення впливу)

Зменшення відбілу	Підвищення міцності	Підвищення твердості	Тривалість ефекту модифікування	Технологічність
Силікобарій	Фероцерій	Фероцерій	Графіт, силікобарій	Феросиліцій
ФС (РЗМ)	Силікокальцій	Мішметал	Фероцерій	ФС (Sr)
ФС (Sr)	Мішметал	ФС (Sr)	Силікокальцій	Фероцерій
Мішметал	ФС (Sr)	ФС(РЗМ)	Мішметал	ФС (РЗМ)
Фероцерій	ФС(РЗМ)	Силікобарій	ФС (Sr)	Силікобарій
Силікокальцій	Силікобарій	Феросиліцій	–	Графіт
Феросиліцій	Феросиліцій	Силікокальцій	ФС (РЗМ)	Мішметал
Графіт	Графітова стружка	Графіт	Феросиліцій	Силікокальцій

11.1.3 Комплексний сфероїдизуючий модифікатор для високоміцного чавуну

Призначення комплексного сфероїдизуючого модифікатору для високоміцного чавуну (ВЧ) – це модифікатор на основі феросиліцію з магнієм для сфероїдизуючого модифікування високоміцного чавуну в ливарному ковші або формі.

Ефективний і економічний комплексний сфероїдизуючий модифікатор на основі високоякісної лігатури феросилікомагнію з Mg і РЗМ (покращений аналог феросиліцію з магнієм ФСМг) для стабільного отримання високоміцного чавуну (марок ВЧ та ЧВГ). Сфероїдизатор застосовується для виробництва високоякісного чавуну з кулястим графітом методом ковшевої (модифікування в ливарній ковші) або внутріформеної (у формі) обробки розплаву чавуну магнієм.

Сфероїдизатор для виробництва ВЧ – це фракційний модифікатор на основі феросиліцію з магнієм ФСМг з ретельно підібраним вмістом кремнію, заліза, магнію, кальцію, алюмінію, лантану, церію, інших рідкоземельних металів і стабілізуючих добавок. Застосовується у виробництві стабільно

якісного високоміцного чавуну з кулястим і компактним графітом.

Застосування матеріалів високої чистоти і спеціальних присадок, що нейтралізують шкідливі домішки у вихідному розплаві чавуну і стабілізуючих сферичну форму графіту, гарантує високу засвоєння магнію, мінімізує піроефект і кількість що утворюється шлаку, знижує схильність чавуну до відбілити. При меншій навішуванні модифікатора і невеликому вмісті в ньому магнію досягається високий ступінь сфероїдизації глобул графіту, поліпшення механічних показників, подрібнення і усереднення структури високоміцного чавуну. Модифікатор сприяє появі великої кількості центрів кристалізації графіту в розплаві і довгому часу збереження модифікуючого ефекту. Завдяки цьому, даний модифікатор відмінно підходить як для модифікування методом переливу в великих ковшах, коли розливання чавуну за формами вимагає тривалого часу так і для модифікування чавуну в реакційних камерах всередині ливарної форми. Даний сфероїдизатор графіту добре сумісний з іншими технологічними операціями обробки чавунів (легування, графітизація, рафінування та інші).

Фізико-хімічні характеристики комплексного сфероїдизуючого модифікатора для високоміцного чавуну:

1. Фракція: 1–5 мм (>1 мм не більше 10%, 5–8 мм не більше 5%, > 10 мм не більше 2%) (можливі поставки фракції: 0,2–1; 0,3–2 або 1–10мм та інші).
2. Температура плавлення – 1200 °С.
3. Температура повного засвоєння розплавом – 1280 °С.
4. Вологість: не більше 1%;
5. Насипна щільність: 1,7 г/см³.
6. Зовнішній вигляд: сріблясто-сірі кристали;

Можливе коректування хімічного складу залежно від конкретних технологічних умов або вимог що пред'являються до чавунних відливок.

Сфероїдизуючий модифікатор з магнієм для виробництва ВЧ є екологічно нешкідливим матеріалом і безпечний при транспортуванні.

Властивості комплексного сфероїдизуючого модифікатора для високоміцного чавуну:

- високе засвоєння магнію і надзвичайно висока ефективність сфероїдизуючого модифікатора чавуну в різних технологічних умовах при меншій навішуванні модифікатора;
- спеціальні присадки сприяють вирівнюванню мікроструктури і сфероїдизації глобул графіту, їх подрібнення, і збереженню правильної сферичної форми тривалий час;
- наявність в модифікаторі кальцію, церію і лантану сприяє нейтралізації та рафінування чавуну від сірки (десульфурації), кисню (розкисленню) та інших небажаних дестабілізуючих домішок (свинець, олово, берилій та інші);
- висока чистота компонентів і унікальний склад виключає піроефект, виділення пилу, запаху, газів, диму, шлаку та інших побічних продуктів в процесі модифікування магнієм;

– сфероїдизатор володіє незмінним хімічним та гранулометричним складом;

– за ефективністю сфероїдизатор перевершує феросплави, феросилікомагній типу ФСМг (феросиліцій з магнієм Mg, Ce, Ca, Al - ФСМг5, ФСМг6, ФСМг7, ФСМг9), важкі лігатури з нікелем, міддю, РЗМ і магнієм, порошковий дріт та інші.

Переваги комплексного сфероїдизуючого модифікатора для високоміцного чавуну перед аналогами:

– дуже ефективний, економічний і універсальний магнієвмісний модифікатор, що забезпечує стабільні і високі результати незалежно від флуктуацій хімічного складу базового чавуну (зміст сірки) та інших факторів;

– зміна дозволяє отримувати високі марки ВЧ з високими механічними та експлуатаційними характеристиками чавунних виливків;

– немає необхідності в витримці чавуну в ковші перед заливанням, застосування ковшів спеціальної конструкції і ливарних фільтрів для уловлювання неметалічних включень;

– зменшення витрат на зміну і зменшення собівартості лиття.

Технологія використання комплексного сфероїдизуючого модифікатора для високоміцного чавуну наступна. У розплавах насиченими газами і сіркою витрата Сфероїдизуючий модифікатора істотно збільшується, засвоєння магнію проходить неефективно. Тому рекомендується використовувати якомога більше чистий шихтовий матеріал, сучасні печі і відповідний метод рафінуючі обробки. При наявності великої кількості сірки, виникає небезпека появи в виливках включень MgS і падіння ступеня кулеподібності графіту. Кількість сірки, перед обробкою феросилікомагнієм, має бути не більше 0,04%. Сфероїдизатор може вводиться методом ковшевої обробки по «сандвіч-процесу» або прямо в струмінь при заповненні ковша розплавленим чавуном. Малий розмір навішування, необхідної для отримання якісного чавуну з кулястим графітом, робить модифікатор ідеальним матеріалом для модифікування в струмені металу (введення безпосередньо на струмінь розливається по формах металу) або у формі (у спеціальній реакційній камері ливарної форми). Витрата 0,8–1,8% в залежності від ступеня очищення розплав і методу введення в розплав. Час збереження ефекту сфероїдизуючого модифікування не менше 20 хв.

Можливе коректування хімічного складу модифікатора та класу крупності, з урахуванням способу модифікування, маси і перетину виливків, хімічного складу чавуну і необхідних вимог до якості чавунних виливків. За ефективністю модифікатор перевершує відомі зарубіжні модифікатори, забезпечує стабільні та надійні результати при ковшового і внутріформеному модифікуванні.

Для гарантованого отримання якісного чавуну з чудовими механічними властивостями без відбілу і ділянок тендітних і твердих високовуглецевих фаз важко піддаються різанню, рекомендується в якості вторинного графітуючого модифікатора використовувати порошкові та таблетовані графітізуючі

модифікатори.

11.1.4 Сфероїдизуюче модифікування для отримання чавуну з шароподібним графітом

Формування кулястого графіту (КГ) в чавуні в промислових умовах зазвичай досягається за допомогою застосування малих добавок магнію або магнію спільно з РЗМ. Хоча формуванню кулястого графіту сприяють багато елементів (церій, кальцій, літій, ітрій, натрій та інші), магній та його сплави залишаються найбільш економічними та доступними сфероїдизаторами графіту в виробництві чавуну з шароподібним графітом.

Більше половини світового виробництва виливків з чавуну з шароподібним графітом отримують за допомогою магнійвмісних лігатур, при цьому їх частка продовжує збільшуватися. На відміну від металевого магнію багатоконпонентні сплави дозволяють істотно спростити та здешевити процес модифікування, цілеспрямовано керувати структуроутворенням та властивостями чавуну з шароподібним графітом, а також знизити ураженість виливків ливарними дефектами.

Графітізуюча обробка – це важлива стадія процесу виробництва виливків з чавуну з шароподібним графітом полягає у введенні в розплав чавуну активних хімічних елементів, що сприяють утворенню додаткових центрів кристалізації графіту. Така обробка дозволяє вирішувати наступні завдання:

- запобігати появі відбілу в тонких перетинах виливків;
- вирівнювати механічні властивості за перетином виливку;
- продовжувати сфероїдизуючий ефект;
- усувати ливарні дефекти газо-усадкового характеру.

11.1.5 «Чіпс» – модифікатори

Переваги «чіпс»–модифікатора (рис. 11.1) в порівнянні з кусковими модифікаторами відповідних марок:

- питома витрата менше на 10–15%;
- засвоюваність кускового модифікатора становить $\approx 40\%$, засвоюваність «чіпс»–модифікатора становить $\approx 60\text{--}70\%$;
- можливість ковшового модифікування чавуну при порівняно низьких температурах (1380–1400 °С);
- можливість застосування як для ковшового, так і внутріформного модифікування.

Габаритні розміри «чіпс»–модифікатори: наприклад, 0,5–1,5мм x 10–25мм, але можуть бути й інші.

Головна перевага «чіпс»–модифікатора полягає в кінетиці розчинення в чавуні в порівнянні з розчиненням сферичних частинок традиційних модифікаторів. При введенні в чавун сферичної частинки модифікатора (дробленого із зливка) на її поверхні наростає скоринка розплаву, через що

процес розчинення сповільнюється, і тільки після прогріву (протікання, так званого, «інкубаційного періоду») частинка модифікатора починає розчинятися через що утворюється плівку шлакових з'єднань, а значить з меншою ефективністю. Чим нижче температура чавуну, тим нижче ефективність дії модифікатора. «Чіпс»–модифікатор, потрапляючи в метал, через малу товщини і природно-напруженого стану, піддається мимовільного дроблення від термічного удару на частинки порівнянні за розмірами кластерним з'єднанням. Тим самим, практично відсутня «інкубаційний період» засвоєння модифікатора і різко скорочується час розчинення, а значить, зростає і ефективний вплив на чавун.



Рис. 11.1. «Чіпс»–модифікатор для отримання висоміцного чавуну

Застосування дрібнокристалічних «чіпс»–модифікаторів дозволяє модифікувати чавун практично при будь-якій температурі розплаву вище 1200 °С. Причому, метод виробництва «чіпс»–модифікаторів дозволяє створювати унікальних-ні хімічні і компонентні поєднання ефективних елементів в складі модифікатора при їх рівномірному розподілі.

Створення технології виробництва дрібнокристалічних модифікаторів дозволило освоїти отримання цілого ряду ефективних унікальних модифікаторів для виробництва виливків з сірого чавуну, високоміцного чавуну з кулястим графітом і чавуну з вермікулярним графітом. Що в свою чергу, зробило можливим виробляти виливки високої якості без корінного переозброєння плавильного обладнання існуючих ливарних цехів.

Застосування «чіпс»–модифікаторів дозволяє реально знижувати собівартість лиття за рахунок:

- зменшення енерговитрат і збільшення продуктивності по виплавці, завдяки можливості виробляти зм'якувач розплаву при більш низькій температурі (1200 °С);

- зменшення шлюбу через збільшення стабільності технологічних процесів, а саме результатів модифікування;

- поліпшення екологічної ситуації на ділянці модифікування.

Найбільш повно позитивні сторони «чіпс»–модифікатора розкриваються при ковшовому модифікуванні чавуну. Наприклад, при застосуванні дрібнокристалічного «чіпс»–модифікатора замість звичайного для ковшевої

обробки чавуну, при однаковому вмісті магнію, значно знижується піроефект, поліпшуються санітарні умови на робочому місці, підвищується стабільність процесу.

11.2 Модифікування сталей

На сьогодні необхідно знати механізми дії модифікаторів за різними видами модифікування. Наприклад, подрібнення структури за першим видом модифікування досягається за рахунок утворення у рідкій сталі додаткових центрів кристалізації шляхом введення у розплав готових тугоплавких зародків або шляхом їх утворення у самому розплаві, наприклад TiN, ZrN, TiCN та інших. Модифікування за другим видом здійснюється застосуванням таких елементів як В, Mg, Ca, Ba, Y, La, Ce, які вводять у вигляді феросплавів та лігатур, наприклад: феробор, фероцерій, силікокальцій, алюмосилікобарій та інші. Найліпші результати при модифікуванні за третім видом досягаються при обробці розплаву модифікувальними комплексами, наприклад, Ti-B-Ca, Ti-Ce-B, Mg-Zr-Ce, Ti-V-Ca та інші.

Можна використовувати будь-який зі способів введення модифікаторів у розплав сталі:

- перед її випуском з плавильного агрегату;
- під час випуску під струм металу або у ківш при заливанні сталі у форму.

Необхідно також знати і фізичні методи модифікування (ультразвуком, вібрацією, електромагнітним полем).

Позапічна обробки сталі модифікаторами проводиться з метою поліпшення її якісних показників та дозволяє вирішувати наступні завдання:

- підвищення рідкорухливості;
- подрібнення литої структури;
- зменшення неметалевих включень у сталі;
- зниження схильності до утворення тріщин,
- підвищення морозостійкості, корозійної стійкості та інших службових характеристик.

Застосування модифікаторів викликає зв'язування сірки, фосфору, газів і домішок шкідливих кольорових металів, зменшення розмірів, сфероїдизацією і зниження кількості залишаються в металі неметалічних включень, очищення кордонів зерен кристалізується розплавом. Неметалеві включення набувають сприятливу морфологію.

Відомо, що механічні та спеціальні властивості сталей є структурно-чутливими. Вони визначаються наявністю структурних недосконалостей: вакансій, границь зерен, неметалевих включень та інших. Основними методами підвищення властивостей у теперішній час є легування та рафінування, модифікування ж не знайшло широкого застосування. Можливо це пов'язано з тим, що при введенні модифікаторів у кількості понад оптимальної властивості дуже погіршуються. Причому оптимальна кількість одного й того ж

модифікатора може бути різною залежно від структурного класу сталі та визначається, як правило, експериментальним шляхом. Тому необхідно знати з чим пов'язано зниження властивостей при введенні, наприклад, бору, або титану, або церію та інших.

Одним з прикладів модифікування є модифікування неметалевих включень в розкисленій алюмінієм сталі кальцієм. Зазвичай в розкисленій алюмінієм сталі оксидні неметалеві включення представлені глиноземом, а сульфідні – сульфідами марганцю II і III типів за класифікацією Сімса. Осідання включень глинозему на стінках сталерозливних стаканів призводить до їх зтягування, що ускладнює розливу металу на машинах безперервного лиття заготовок (МБЛЗ). При гарячій прокатці крихке руйнування включень глинозему і деформація сульфідів марганцю призводить до появи дефекту, званого анізотропією механічних властивостей сталі. Якщо після введення алюмінію сталь додатково обробляють кальцієм, він частково заміняє алюміній в складі неметалевих включень. В результаті утворюються алюмінати кальцію, які мають низькі температури плавлення і присутні в металі у вигляді дрібних включень, форма яких близька до сферичної. На поверхні алюмінатів кальцію можуть спостерігатися сульфідні оболонки. Включення такого складу не зтягують сталерозливні стакани. При гарячій прокатці алюмінати кальцію практично не деформуються, що сприяє отриманню ізотропного металу.

Питання для самоконтролю

1. Які марки феросплавів використовуються у якості модифікаторів сірого чавуну?
2. У чому полягає ефективність модифікування чавуну?
3. Надати характеристику сумішевим графітізуючим модифікаторам для сірих чавунів.
4. Надати характеристику комплексному сфероїдізуючому модифікатору для високоміцного чавуну.
5. Визначити властивості комплексного сфероїдізуючого модифікатору для високоміцного чавуну.
6. Визначити переваги комплексного сфероїдізуючого модифікатору для високоміцного чавуну.
7. Надати характеристику сфероїдізуючому модифікуванню для отримання чавуну з шароподібним графітом.
8. Охарактеризувати процес удосконалення технології модифікування чавунів з кулястим графітом Mg-Ni-Fe лігатурою.
9. Визначити переваги використання «чіпс»–модифікаторів.
10. Охарактеризувати процес модифікування сталі.
11. Які завдання вирішує модифікування сталі при позапічній обробці?

Тема №12. СУЧАСНІ МЕТОДИ ВВЕДЕННЯ МОДИФІКАТОРІВ У РОЗПЛАВ ЧАВУНУ ТА СТАЛІ

Мета лекції – ознайомлення з сучасними методами та схемами введення модифікаторів у розплав чавуну та сталі.

План

- 12.1 Основні напрямки по вдосконаленню методів введення модифікаторів
- 12.2 Метод блоків, що втоплюються
- 12.3 Обробка кусковими феросплавами
- 12.4 Обробка порошковим дротом
- 12.5 Продувка порошкоподібними феросплавами

Перелік ключових термінів і понять: основні напрямки по вдосконаленню методів введення модифікаторів, метод блоків, що втоплюються, обробка кусковими феросплавами, обробка порошковим дротом, продувка порошкоподібними феросплавами.

12.1 Основні напрямки по вдосконаленню методів введення модифікаторів

На сьогодні основними напрямками робіт по вдосконаленню **методів введення модифікаторів** є:

- прискорення процесу плавки модифікаторів за рахунок попереднього підігріву (розплавлення), застосування екзотермічних брикетів;
- інтенсифікація теплообмінних процесів шляхом зміни гідродинамічних умов, посилення руху розплаву (пневматичне, механічне, електромагнітне переміщення, використання енергії падаючого струменя при зливі металу в ківш);
- створення модифікаторів з оптимальними фізико-хімічними властивостями, в першу чергу, щільністю і температурою плавлення;
- вдосконалення способів введення модифікаторів (вистрілювання спеціальними кулями, занурення штангами, вдування порошкоподібних феросплавів, введення порошкового дроту та інші).

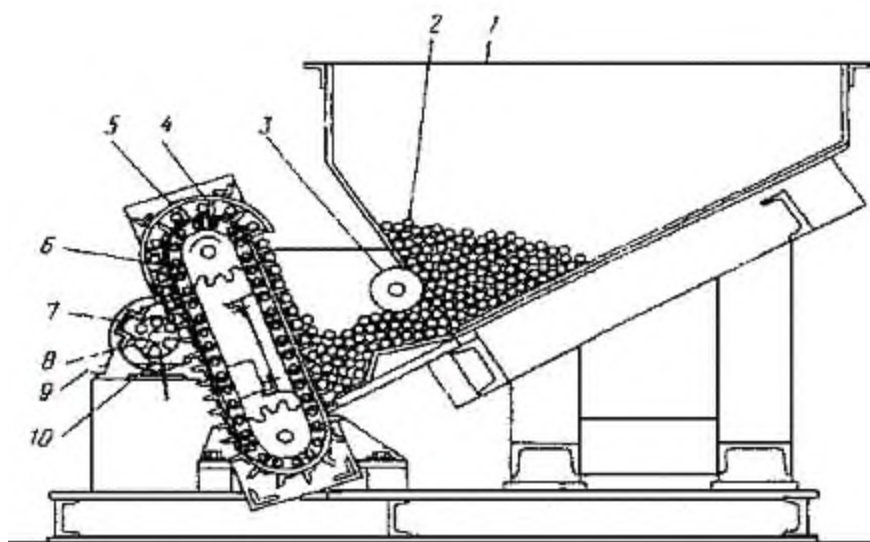
12.1 Метод вистрілювання куль

Серед методів, що дозволяють збільшити ступінь засвоєння елементів, які входять до складу модифікаторів можна відзначити, по-перше, метод вистрілювання куль, який один з розробників цього способу Японська фірма «Sumitomo» спочатку передбачала використовувати для введення алюмінію. Метод був названий ABS (Aluminium Bullet Shooting) – метод вистрілювання алюмінієвими кулями.

У разі розкислення алюмінієм металу в великовантажних ковшах (1200 т і більше), коли потрібна велика витрата алюмінію, використовується пневматичний «кулемет», що стріляє кулями (рис. 12.1). Кулі вводяться в донну частину ковша. Маса кулі – 0,5 – 1,2 кг; діаметр – 10 – 50 мм; довжина – до 550 мм. Для забезпечення оптимальних гідродинамічних умов при русі кулі вниз, а також при подальшому підйомі в обсязі металу рекомендується відношення довжини кулі до її діаметра більше 11,5.

Первісна швидкість кулі залежить від тиску газу (азоту або повітря) і становить 50–70 м /с. Пневматичний «кулемет» може мати один або два ствола. Скорострільність кулемета – 400–800 куль/хв. Застосування цього способу введення дозволило скоротити витрату алюмінію на 20–25% при кращій якості металу.

Найбільш широке застосування метод вистрілювання куль отримав для введення кальцію. Метод названий SCAT (System of Calcium Adding Technique) – спосіб введення кальцію.



- 1 – бункер; 2 – кулі; 3 – ролик; 4 – конвеєр; 5 – напрямна; 6 – конвеєрний ланцюг; 7 – ущільнюючі пристрої; 8 – ротор (барабан); 9 – корпус;
10 – отвір для виходу кулі

Рис. 12.1. Схема установки (пневматичного кулемета) для введення в метал «кулемет» з кальцій-або алюмінійвмісних матеріалів

Порошок кальцію з кремнієм щільно заповнює алюмінієву капсулу, формуючи кулю. Вводиться зазвичай 180–200 г чистого кальцію на 1 т сталі. Технологія SCAT – процесу комплексна і включає в себе послідовно етапи: розплавлення, легування металу одночасно з вакуум-шлакової обробкою і продувкою інертними газами, «вистрілювання куль» в ківш і перемішування рідкої сталі, розливання з ізоляцією струменя металу і продувки склянки газом щоб уникнути його затягування.

Таким чином, сталь, що обробляється, призначена для виготовлення труб великого діаметру, що працюють в умовах низької температури або морських бурових платформ. Поліпшення властивостей металу при обробці кальцієм

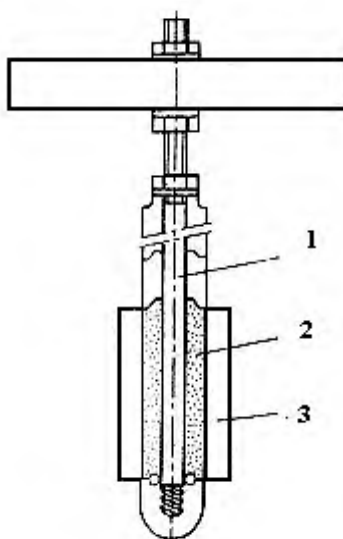
пов'язано зі зміною форми, топографії і складу неметалевих включень, зниженням сегрегації домішок. Така сталь має кращі механічні властивості. Однак через складного обладнання і наявності інших прогресивних методів введення сплавів даний спосіб не отримав широкого розповсюдження.

12.2 Метод блоків, що втоплюються

Метод блоків, що втоплюються, застосовується на окремих підприємствах для зниження чаду і підвищення ефективності використання легкоплавких і легкоиспаряючихся елементів, таких як алюміній, кальцій, вуглець, магній та інші.

Блок може бути монолітний (алюміній, вуглець) або мати сталевий кожух. Ця якість блоку можна застосовувати сталеві оболонки, наприклад, бочки для транспортування феросплавів, в які поміщаються насипні матеріали. Кальцій, наприклад, вводять у вигляді укладеного в тонкий, сталевий кожух блоку циліндричної форми, що складається з заліза і кальцію (рис. 12.2). До блоку кріпляться спеціальні сталеві або футеровані штанги, за допомогою яких феросплав вводиться в ківш.

Співвідношення між вмістом феросплаву (кальцію) і заліза в блоці підбирається таким чином, щоб забезпечити поступове реагування кальцію, знизити його втрати, а також димо – і пилоутворення. Тривалість і глибина занурення блоків визначаються експериментально. Метод введення простий та не вимагає складного обладнання.



1 – штанга; 2 – вогнетривкий матеріал; 3 – блок Ca-Fe

Рис. 12.2. Блок введення в метал кальцію

Для зменшення втрат елементів з низькою температурою кипіння (Mg, Ca, Ba та інші) застосовується метод, при якому над поверхнею металу створюється підвищений тиск, близький до пружності пара елемента при температурі обробки. У промислових умовах спосіб реалізується шляхом

установки ковша з металом в автоклав, в якому підвищується тиск внаслідок подачі ззовні стисненого повітря або інертного газу, після чого вглиб вводиться дзвін, під яким знаходяться кускові метали або сплави. У практичних умовах цей спосіб застосовують найчастіше для введення в чавун магнію з використанням ковшів невеликого обсягу (до 5 т). Застосування методу для великих мас металу викличе значні труднощі, як з обладнанням, так і з технологією обробки розплаву.

Існує метод введення в метал магнію і кальцію спільно з неактивними наповнювачами. Суть методу полягає в гальмуванні процесу випаровування вводяться елементів при їх поділі на дрібні обсяги, простір між якими заповнюється неактивним наповнювачем з низькою теплопровідністю. В якості наповнювача використовують доломіт, кокс, мартенівський шлак, спресовану сталеву або чавунну стружку. Для забезпечення низької швидкості випаровування магнію (0,12–0,15 кг/с), при якій не спостерігається викидів металу з ковша, необхідно, щоб частка наповнювача становила не менше 0,52–0,57 від сумарної маси реагенту з наповнювачем.

Промислове застосування спосіб отримав при десульфурації магнієм чавуну. Його переваги – простота введення в розплав, високий ступінь засвоєння магнію, спокійне перебіг процесу засвоєння; а недоліки – низький рівень механізації, витрати на виготовлення реагенту.

12.3 Обробка кусковими феросплавами

На сьогодні більше 95% всіх феросплавів, що вводиться в рідку сталь, вводять у кусковому вигляді. Простота і дешевизна цього методу введення феросплавів залишить його основним ще на довгі роки. У зв'язку з цією обставиною слід приділяти особливу увагу на розробку заходів щодо збільшення ступеня засвоєння сталлю кускових феросплавів.

Для підвищення ефективності цього методу необхідно створювати нові композиції сплавів, що дозволяють покращувати їх фізико-хімічні характеристики – змінювати щільність до оптимальних значень, знижувати температуру плавлення, час розчинення, ступінь окислення та інші.

Зазвичай феросплави подаються в ківш або на жолоб під час випуску металу з сталеплавильних агрегатів. Енергія струменя сталі використовується для примусового занурення шматка феросплаву і інтенсивного перемішування. При такому способі введення спостерігається найбільший чад елементів при низькій стабільності їх засвоєння. Як правило, щільність феросплавів менше щільності рідкої сталі. Плаваючи на її поверхні, частина сплаву контактує з рідким розплавом, інша частина, перебуваючи в контакті з атмосферою, частково окислюється, що призводить до втрати корисних елементів, що мають високу спорідненість до кисню. В першу чергу це відноситься до рідко-і лужноземельних елементів.

Найбільш простим способом зниження чаду елементів є приведення щільності феросплаву до оптимальних значень, що підвищує його кінетичну

енергію при падінні та ступінь занурення в розплав.

Крім того, для зниження чаду елементів використовують різні технологічні прийоми:

- зміна місця введення феросплавів в плавильний агрегат, в ківш (в струмінь металу, що витікає із плавильного агрегату або з ковша; на дно ковша; в ківш, поміщений у вакуумну камеру);

- підбір оптимального гранулометричного складу, тому що відомо, що дрібні, пилоподібні фракції сплаву мають значний вигар через винесення і швидкого окислення дрібниці, а великі шматки гірше засвоюються через більш тривалого плавлення, зниженою ступеня залучення в глиб обсягу металу, для чого потрібне проведення фракціонування феросплавів перед їх введенням в сталь.

- відносно новий напрямок – це зміна структури вводяться в розплав модифікаторів.

12.4 Обробка порошковим дротом

Такий спосіб введення обмежує тепловий потік на реагент на початку обробки, запобігає його взаємодію з розплавом в верхніх шарах металу, сприяючи плавлення реагенту в нижніх горизонтах рідкого металу, що збільшує час контакту і дозволяє більш ефективно використовувати елементи, які мають низькі температури плавлення, кипіння і малу розчинність в металі. Спосіб знаходить все більше застосування при позапічної обробці стали.

Сталева оболонка дроту виконує кілька функцій:

- захищає порошкоподібні реагенти від взаємодії з атмосферою і вологою під час зберігання і транспортування;

- оберігає від окислення при проходженні через шар шлаку на поверхні металу;

- забезпечує відповідну жорсткість, необхідну для проходження металевого і шлакового шарів;

- затримує швидкий безпосередній контакт реагентів з рідкою сталлю, що дозволяє шляхом зміни швидкості введення дроту і товщини її оболонки регулювати глибину занурення легуючих добавок.

Для забезпечення рівномірного розподілу легуючих добавок в стали метал в ковші, як правило, продувають інертним газом через пористу пробку. Місце введення дроту в ванну металу повинно знаходитися над цією пробкою.

У якості наповнювача порошкового дроту можуть використовуватися модифікатори – магній, кальцій, барій та інші; легуючі метали і сплави – ванадій, ніобій, бор, хром; спеціальні легуючі елементи – сірка, свинець, селен; елементи, зазвичай містяться в сталі, і вводяться в ківш для коригування хімічного складу, – вуглець, марганець, кремній.

Японська фірма «Хитати денсен» розробила свій варіант порошкового дроту круглого перетину – Ferrokal, серцевина якої складається з кальцію з алюмінієм і є майже монолітною з оболонкою товщиною 0,2 мм. Цим вона

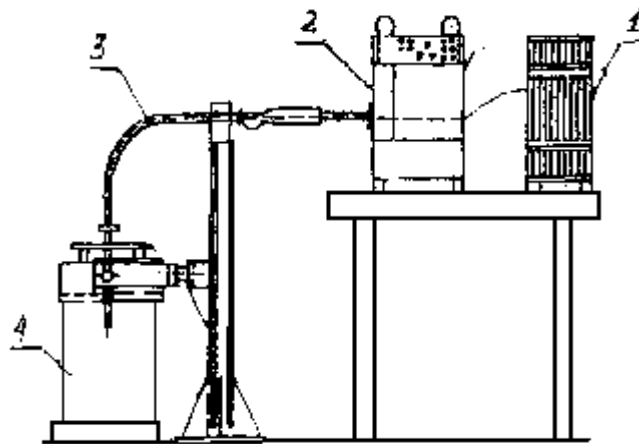
відрізняється від інших видів порошкового дроту. Додавання алюмінію до металевого кальцію дає наступні переваги:

– при збільшенні вмісту алюмінію в сплавах системи Ca-Al знижується парціальний тиск парів кальцію, що сприяє зменшенню інтенсивності кипіння сталі під час обробки;

– збільшення вмісту алюмінію в рідкій сталі прискорює розчинення кальцію і збільшує засвоєння цього елемента.

Найбільш широко дріт використовують для введення алюмінію при раскисленні вуглецевої сталі, для введення феротитану при виробництві корозійностійких сталей (0,3–0,4% Ti в сталі) та для модифікування неметалевих включень – дріт з силікокальцієм.

Набули поширення такі види приводів: електричний (двигун постійного струму); електрогідравлічний; пневматичний. У першому випадку зміна швидкості подачі відбувається за рахунок зміни параметрів живильного струму. У другому і третьому – за рахунок зміни потоку масла і повітря відповідно. Схема подачі дроту в ківш трайб-апаратом показана на рис. 12.3.



1 – бунт дроту; 2 – апарат для подачі дроту в розплав; 3 – напрямна труба;
4 – ківш з рідкою сталлю

Рис. 12.3. Схема подачі порошкового дроту в ківш

За способом притиску дроту трайб-апарати виконані в 2-х варіантах – ручний і пневматичний притиск. За системою управління трайб-апарати виконані в 3-х варіантах – основа системи управління керуючий лічильник – індикатор, IBM – сумісний контролер з інтерфейсом послідовної зв'язку RS-232C і контролер SIEMENS PROFIBUS-DP.

Фірма «Pfizer» (США) розробила обладнання, яке дозволило вводити ПП в рідку сталь через фурму, яка занурюється в рідку сталь на глибину близько 1,8 м. Під час обробки через цю ж фурму вдувають аргон. Завдяки застосуванню фурми можна вводити дріт практично на будь-яку глибину ванни металу, аж до дна ковша при широкому діапазоні швидкостей (рис. 12.4).

Фірма «Ніппон Кока» (Японія), розробила оригінальний спосіб

одночасного виробництва і введення порошкового дроту в розплав. Розроблено пристрій, призначений для безперервного формування та подальшої подачі дроту в ківш зі сталлю. Формування дроту здійснюється за схемою, коли на що формуються валки подається сталева смуга, якою надається форма, зручна для насипання силікокальцію.

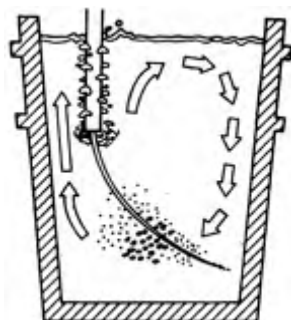
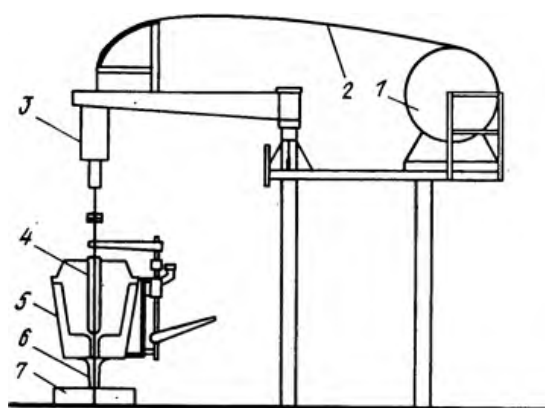


Рис. 12.4. Схема циркуляції сталі в ковші при глибинному введенні порошкового дроту через фурму за способом фірми «Pfizer» (США)

Порошкову дрiт можна вводити не тільки в кiвш, але i в промiжний кiвш МБЛЗ i навіть в кристалiзатор МБЛЗ. Iталiйський металургiйний науково-дослiдний центр розробив технологiю FAST (forced acceleration of solidification technology – процес прискореної кристалiзацiї), яка дозволяє полiпшити якість металу i поверхнi безперервнолитих заготовок. Грунтуючись на цих дослiдженнях, фiрма «Terni Acciai Speciali» (Iталiя) на заводi в м. Тернi змонтувала оригiнальну установку по введенню порошкової дроту через стопор промiжного ковша МБЛЗ в струмiнь металу мiж промiжним ковшем i кристалiзатора МБЛЗ (рис. 12.5) .



1 – котушка з порошковим дротом; 2 – порошковий дрiт; 3 – машина введення дроту; 4 – стопор; 5 – промiжний кiвш МБЛЗ; 6 – захисний стакан для зарушення; 7 – кристалiзатор

Рис. 12.5. Установка для введення порошкового дроту через стопор промiжного ковша МБЛЗ фірми «Terni Acciai Speciali» (Італія)

Введення в кристалiзатор алюмiнiю при розливанні електротехнiчних сталей з високим вiстом алюмiнiю i кремнiю дозволяє зменшити заростання

зануреного стакану глиноземистими включеннями. Введення титану при розливці корозійностійких сталей в кристалізатор сприяє максимальному засвоєнню та зменшенню утворення оксидів і нітридів титану. Процес FAST можна застосовувати також при литві заготовок з автоматної сталі, легованої алюмінієм, свинцем, бором та іншими елементами.

На заводі фірми «Italsider» (Італія), в м. Таранто розроблена і впроваджена у виробництво технологія обробки сталі в проміжному ковші МБЛЗ порошковим дротом. Фахівцями цієї фірми розроблена конструкція направляючої труби, за допомогою якої порошковий дрот вводиться у вигляді витків в проміжний ківш (рис. 12.6). Відстань між витками і їх діаметр вибирається залежно від глибини ванни металу та температури сталі.

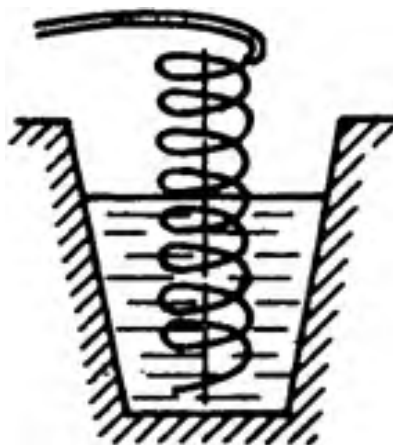


Рис. 12.6. Схема введення порошкового дроту в проміжний ковш фірми «Italsider»

12.5 Продувка порошкоподібними феросплавами

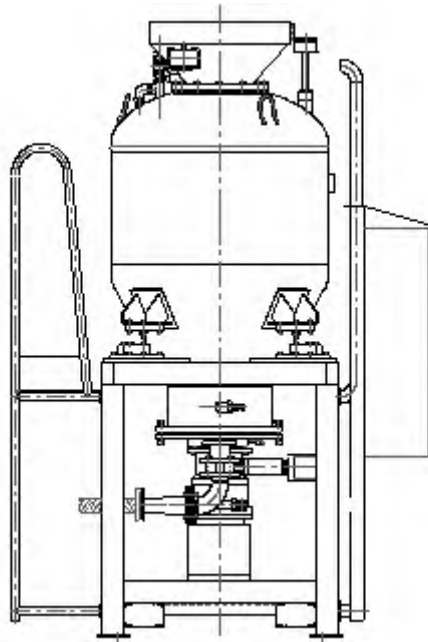
Продувка металу порошками в сталеплавильному агрегаті або ковші є логічним використанням умов оптимального масопереносу, при якому забезпечується максимальний контакт вдихається твердих реагентів з рідким розплавом, висока швидкість їх взаємодії і ступінь використання вдихається матеріалів

В процесі експлуатації інжекційного обладнання, що випускається ТОВ «НТМ» (РФ), відзначено, що воно перевершує деякі зарубіжні аналоги по надійності, діапазону застосування, найбільш відповідає умовам металургійного виробництва та разом з тим значно дешевше. Подальше вдосконалення конструкцій інжекційних установок, яке повинно відбитися на якісних характеристиках і зниженні собівартості сталі, пов'язане з автоматизацією та розширенням функціональних можливостей устаткування.

На сьогодні для інжекційних технологій використовуються два типи камерних нагнітачів: аераційний і пневмомеханічний.

Камерні нагнітачі аераційного типу використовуються для заглибленою інжекції порошкоподібних матеріалів і частково для торкретування. В останні роки в світі широкого поширення набули камерні нагнітачі пневмомеханічного

типу (далі – пневмомеханічний нагнітач), що застосовуються як для торкретування футерованих поверхонь, так і для незаглибленого інжекції порошкоподібних матеріалів в розплав металу. Такі нагнітачі є найбільш придатною конструкцією, що відповідає умовам металургійного виробництва, відрізняються простотою і надійністю в експлуатації, широким діапазоном застосування.



- 1 – робоча камера; 2 – привід дозатора; 3 – завантажувальна воронка;
 4 – пристрій завантажувальний з шиберною заслінкою; 5 – шафа управління;
 6 – тензодатчики; 7 – сигналізатор максимального рівня матеріалу; 8 – рама
 установча; 9 – тарільчастий дозатор

Рис. 12.7. Схема інжекційної установки пневмомеханічного типу

Питання для самоконтролю

1. Визначити основні напрямки по вдосконаленню методів введення модифікаторів.
2. Охарактеризувати метод блоків, що втоплюються.
3. Надати характеристику процесу обробки кусковими феросплавами.
4. Охарактеризувати процес обробки порошковим дротом.
5. Розкрити суть процесу продувки порошкоподібними феросплавами.

Тема №13. ЛІГАТУРИ НА ОСНОВІ АЛЮМІНІЮ, МІДІ ТА НІКЕЛЮ

Мета лекції – ознайомлення з основними видами лігатур, зокрема на основі алюмінію, міді та нікелю.

План

- 13.1 Основні уявлення про лігатури
- 13.2 Легуючі таблетки (брикетована лігатура)
- 13.3 Лігатури на основі алюмінію
- 13.4 Лігатури на основі міді
- 13.5 Лігатури на основі нікелю

Перелік ключових термінів і понять: лігатури, легуючі таблетки, лігатури на основі алюмінію, лігатури на основі міді, лігатури на основі нікелю.

17.1 Основні уявлення про лігатури

Лігатури – це проміжні сплави, що містять у великій кількості легуючі метали, що додаються в розплав для отримання необхідного хімічного складу, поліпшення структурних і технологічних властивостей виливків та зливків.

Лігатури, що застосовуються в чорній металургії, відрізняються від феросплавів тим, що не містять в своєму складі Fe.

Найбільш поширеним є застосування лігатурних композицій кольорових металів, наприклад: Cu-Ni (16–35% Ni), Cu-Al (до 52% Al), Cu-Sn (до 55% Sn), Al-Mg (до 12% Mg).

Отримання лігатур здійснюється двома основними способами:

- сплавленням окремих складових в єдину композицію;
- шляхом відновлення з рудних концентратів.

За рахунок вмісту в лігатурі не тільки власне легуючих компонентів, але і основного металу ливарного сплаву, їх засвоєння розплавом відбувається в більш повному обсязі, ніж при легуванні чистими елементами. А завдяки тому, що будь-якій лігатурі властива менша температура плавлення в порівнянні з кожним з вхідних в неї металів, то досить висока і швидкість її розчинення в основному сплаві. Використання лігатур особливо затребуване в випадках, коли основний ливарний сплав і легуючий елемент значно розрізняються за температурою плавлення.

Необхідність застосування лігатур, перш за все, обумовлена нормативними вимогами до складу ливарного сплаву щодо ретельного дотримання кількісного співвідношення компонентів.

Крім того, застосування лігатур дозволяє надати металу цілий ряд певних допоміжних властивостей (наприклад, текучість в фазі розплаву або підвищену механічну міцність і гнучкість у твердій фазі). Вигода їх використання обумовлена також незначною концентрацією в загальній масі сплаву, якнайшвидшим розчиненням і зниженням ступеня чаду. Якісно поліпшити

одночасно кілька властивостей основного сплаву (тугоплавкі, зносостійкість, стійкість до корозії та інші) вдається при використанні комплексних лігатур.

Лігатури діляться по сплавах. Бувають добавки для сталей та інших сплавів на основі заліза. Бувають лігатури для титанових, бронзових, латунних, мідних сплавів. Окрема категорія – «присадки» для дорогоцінних металів.

Для них існують проби, що вказують на обов'язковий вміст в сплаві цінного елемента. Виробництво лігатури розраховується на залишкову процентовку. Добавки впливають на колір вихідної продукції, її міцність.

Загалом, існують десятки лігатур. Іноді, їх ділять на «присадки» для дорогоцінних і недорогоцінних сплавів. Іноді, добавки підрозділяють по ведучому в них елементу. Для отримання чавуну використовують 1,5% ітрію, 0,2% кобальту, 3% хрому, 3–7% кремнію і 11–27% міді, значить, вона і ведуча.

Тобто, для чавуну йде мідна добавка. Лігатура для золота 750-ої проби, зазвичай, срібна. Білого металу в ній 15%, а міді всього 10%. Лігатури бувають готовими.

Зазвичай, їх випускають в брикетах або концентрованих таблетках. Бувають складові «присадки», коли кожен елемент лігатури додають в сплав окремо, в чистому вигляді.

Сплави і лігатури зв'язуються на етапі виробництва. «Присадки» додають в розплавлений метал-основу. Мета – не тільки поліпшити структуру і якісні характеристики кінцевого продукту. Лігатури допомагають і в процесі варіння сплавів, наприклад, роблять їх більш-менш тугоплавкими.

При додаванні лігатур враховується поняття «чад». Це втрата (випаровування) дорогоцінного металу при термічній обробці (переплавки). Тобто, розрахунки, скільки буде потрібно «присадок» ведуть виходячи з обсягу благородного елемента після чаду.

Якщо застосовуються лігатури в чистому вигляді, їх коефіцієнт засвоєння дорівнює 93–95%. Готові добавки у вигляді брикетів засвоюються на 98%, тому, найчастіше і вибираються серйозними підприємствами.

Грунтуючись на багаторічному металургійному досвіді основних споживачів лігатур, можна виділити наступні основні переваги їх застосування:

- фізична форма і хімічний склад лігатури дозволяють їх додавати до складу шихти ще в «холодному» стані, одночасно дозволяючи швидше досягти необхідного складу з першого разу, при більш низьких температурах, зі значно меншими втратами по «чаду»;

- використання лігатур, в порівнянні з застосуванням концентрування легуючих добавок, значно скорочує час плавки і збільшує термін служби футеровки

- коефіцієнт засвоєння легуючого елемента, доданого в плавку у вигляді лігатури, значно вище коефіцієнта засвоєння легуючого елемента, доданого в чистому вигляді або в концентрованому таблетковому вигляді (близько 98–99% проти 93–95%);

- в порівнянні з таблетуванні легуючими добавками, застосування лігатур не вимагає супутнього використання різних солей і флюсів,

використання яких часом обмежена природоохоронними нормами і вимогами з безпеки персоналу.

13.2 Легуючі таблетки (брикетована лігатура)

Легуючі таблетки (брикетована лігатура) (рис. 13.1) поряд з лігатурами і непресованими порошками застосовуються з метою введення в розплав певних хімічних елементів. Як правило, брикетована лігатура застосовується у виробництві різних алюмінієвих сплавів і не поширюється на сплави міді, нікелю та деяких інших металів.

Легируючі таблетки виробляються пресуванням відповідних металевих порошків з додаванням спеціального негігроскопічних легкоплавкого флюсу і / або алюмінієвого порошку в різних пропорціях (від 75 до 100%). Вони мають циліндричну форму, можуть відрізнятися за вагою та діаметром.

Брикетована лігатура забезпечує швидке розчинення в розплаві легуючого елемента і дуже зручна в застосуванні. Найбільшого поширення набули таблетки на основі Fe, Mn, Cr, Ti, Cu, Zn, Ni.

Традиційно пресовані брикети лігатур упаковуються в вигляді обгорнутих алюмінієвою фольгою пачок, що містять кілька одиниць продукції, з подальшим укладанням в картонні коробки на палетах. Таблетки малої ваги / діаметра упаковуються в паперові мішки або біг-беги. Для зручності в користуванні даними сировиною на виробництві та щоб уникнути випадкових помилок при дозуванні в визначенні приналежності щодо схожих один на одного таблеток до того чи іншого легуючих матеріалу, кожної з них присвоєна відповідна колірна маркування (для таблеток на основі Fe – зелений колір, на основі Ti – червоний колір, на основі Cr – синій та інші).



Рис. 13.1. Вид брикетованої лігатури

Грунтуючись на багаторічному досвіді споживачів, можна виділити наступні основні переваги застосування легуючих таблеток:

- в порівнянні з лігатурами низькій концентрації, вартість основного компонента в легуючих таблетках, як правило, нижче;
- зручна форма і упаковка сприяють точної дозуванні легуючого елемента;

- введення легуючих таблеток не призводить до зниження температури розплаву;
- більш висока концентрація легуючого елемента знижує витрати по зберіганню та транспортуванню.

13.3 Лігатури на основі алюмінію

Висока якість лігатур на основі алюмінію забезпечується:

- сучасним обладнанням;
- чітким контролем вхідної сировини;
- тестовими випробуваннями в спеціально оснащених лабораторіях;
- постійним вдосконаленням використовуваних методів виготовлення і впровадженням ноу-хау.

Лігатура на основі алюмінію являє собою суміш алюмінію та інших хімічних елементів. Вона виходить з первинного чи вторинного сировини, наприклад, стружки. Приготування здійснюється шляхом введення в розплавлений Al невеликих порцій домішок, які також підігріваються до певної температури. У технологічному процесі задіяні спеціальні високотемпературні печі. В якості додаткових компонентів використовують Si, Fe, Cu, Mn, Mg, Cr, Ni, Li, Sc, Zr, Sr та інші.

Залежно від специфіки використання лігатури з алюмінію поділяють на кілька груп:

- модифікатори структури (використовуються для поліпшення міцності та інших технічних характеристик);
- сплави для легування і коригування хімічного складу (надають основній масі потрібні властивості, затребувані в певних виробничих сферах, включаючи вузькоспеціалізовані);
- перетворювачі зернистості структури (змінюють обсяг внутрішньої пористості металу відповідно до поставлених завдань).

Для виготовлення фасонних виливків в промисловості широко застосовується алюмінієвий ливарний сплав АМгбл (ГОСТ 1583-93). До складу цього сплаву на алюмінієвій основі входять магній, а також добавки цирконію, берилію, титану. Сплав АМгбл призначений для виробництва деталей, що сприймають невеликі ударні та середні статичні навантаження.

Гігієнічність, пластичність і доступна вартість роблять сплав АК7 широко затребуваним в сучасному виробництві. Ливарний сплав АК7 виготовляється відповідно до ГОСТ 1583-93. До складу цього силуміну входить до 93,6% алюмінію і 6–8% кремнію, 0,2–0,5% – магнія. Сплав відрізняється невеликою лінійною усадкою та гарною зварюваністю, міцністю і відмінною пластичністю, гарною оброблюваністю і опірністю корозії. Силумін АК7 орієнтований на використання в машинобудуванні і може служити для виготовлення деталей складної форми. Так само ми виготовляємо сплави АК7ч і АК7пч.

Сплав АК8 характеризується високими технологічними властивостями при литті, а також кування, штампування і пресуванні. Завдяки правильно

підбраному добавкам, сплав АК8 має хорошу здатність до армування як в холодному, так і в гарячому стані. Завдяки підвищеній міцності сплав АК8 широко застосовується при створенні елементів складної форми, які відчувають підвищені навантаження. З матеріалу виготовляються вузли авіаційної і ракетно-космічної техніки, змушена працювати в умовах інтенсивних температурних перепадів – крильчаток для компресорів і вентиляторів реактивних двигунів, різних корпусних деталей і штамповок. Поряд з нагріванням АК8 також демонструє високу стійкість до інтенсивного охолодження, що дозволяє застосовувати сплав при виробництві компонентів криогенного обладнання.

Ливарний алюмінієвий сплав АК9 і його чистіші модифікації АК9ч, АК9пч застосовують для виготовлення найбільш відповідальних виливків, складних і великогабаритних деталей, що працюють при великих навантаженнях (картер двигуна внутрішнього згорання), для лиття мало- і средненагружених деталей приладів, агрегатів і двигунів, а також для побутових виробів.

Сплав АК9П придатний для виготовлення виробів, що контактують з харчовими продуктами. Сплави виготовляються відповідно до ГОСТ 1583-93.

Сплави АК12 є алюміній з додаванням 10–13% кремнію, що виконує легируючі функції. Залежно від марки, дані сплави мають чіткі обмеження щодо вмісту заліза, марганцю, кальцію, титану, міді та цинку.

Знижена температура лиття сприяє зменшенню виробничих витрат при виробництві деталей. Завдяки вмісту в складі кремнієвих добавок, сплави серії АК12 має малу щільність, підвищену плинність, мінімальну лінійну усадку. Сплави не схильні до утворення тріщин при литті і добре піддаються зварюванню.

Силуміни АК12, АК12Ч, АК12ПЧ, АК12ОЧ широко затребувані в машинобудуванні (теплообмінники, насосне обладнання, перехідники, елементи трубопровідної арматури), при виготовленні герметичних виливків складної форми, при виготовленні виробів для харчової промисловості та інших цілей.

Алюмінієві ливарні сплави ВАЛ8 (АК8М3ч), ВАЛ10 (АМ4.5Кд), ВАЛ10М, ВАЛ11, ВАЛ12, ВАЛ14, ВАЛ16, що випускаються нашим підприємством по ГОСТ 1583-93 і ТУ замовників, широко застосовуються при виробництві жароміцних високоміцних виробів.

Сплав ВАЛ8 використовується для виготовлення силових і герметичних деталей, виготовлених литтям під тиском, здатних працювати при температурах до 250⁰.

Сплав ВАЛ 11 застосовується для виготовлення фасонних виливків, корозійностійкий.

Високоміцний сплав ВАЛ12 застосовується при виготовленні деталей, до яких пред'являються підвищені вимоги по міцності і втомі. Завдяки високим механічним властивостям, ливарний сплав ВАЛ12 здатний конкурувати з алюмінієвими деформуються сплавами, деякими марками латуні, бронзи і

маловуглецевих сталей.

Високоміцний жароміцний сплав ВАЛ14, завдяки видатним фізичним характеристикам, використовується при виробництві деталей, що працюють під серйозними динамічними і вібраційними навантаженнями. Деталі, виготовлені з цього сплаву, можуть працювати тривалий час при температурі до 300⁰, кратковременно – до 350⁰.

Сплав ВАЛ16 відрізняється гарною зварюваністю і високою стійкістю до корозії.

13.4 Лігатури на основі міді

Лігатури на основі міді виплавляється в високотемпературних індукційних печах шляхом додавання в розплавлену мідь різних компонентів. При литві строго дотримуються певні технології і процентні співвідношення домішок. В результаті утворюється матеріал, характеристики якого відповідають чинним стандартам.

При виготовленні мідних лігатур в якості добавок використовують Al, Fe, Co, Cr, Mn, Mg, Ni, Si та інші.

За способом впливу на основний сплав лігатури з міді можна розділити на три категорії:

- коригувальні хімічний склад (легуєчі);
- змінюють (подрібнюєчі) зернистість структури шляхом зниження обсягу внутрішньої пористості;
- модифікують сплав з метою поліпшення конкретних фізичних і механічних властивостей.

Виробництво лігатур може здійснюватися як з первинного, так і з вторинної сировини (мідного брухту, стружки).

Мідні лігатури застосовуються не менш широко, ніж алюмінієві. Це обумовлено тим, що в процесі легування сплавів вони досить швидко розчиняються навіть при відносно низьких температурах. В результаті підприємство отримує можливість заощадити час і енергоресурси.

Крім того, лігатури на основі міді знижують норми витрати легуєчих матеріалів і мають малу здатність до окислення і випаровування; хорошою і передбачуваною засвоюваністю в розплаві; загальна ефективність використання перевищує результати, отримані за допомогою чистих легуєчих добавок.

Конкретне застосування залежить від складу і завдань, поставлених споживачем. Наприклад, додавання такого компонента, як кобальт (Cu + Co), дозволяє створювати дисперсно-тверднуть сплави, що поєднують в собі відмінну тепло- і електропровідність (потрібні для виробництва зварювальних електродів).

Також за допомогою мідних лігатур виготовляють: кабель, дріт, підвісні контактні лінії для тролейбусів; високоміцні латунні й бронзові деталі; труби для теплообмінників; резистори та інші компоненти електротехніки.

13.5 Лігатури на основі нікелю

Проміжні сплави на нікелевій основі (включаючи лігатуру групи «нікель-магній») успішно вирішують завдання:

- по легуванню;
- раскисленню та десульфуризації;
- поліпшення внутрішньої структури і механічних характеристик металу;
- підвищення стійкості до зношування та корозії;
- нейтралізації шкідливих домішок;
- поліпшення оброблюваності сплавів.

Лігатура нікель-магній широко застосовується в ливарному виробництві та порошкової металургії. Зокрема, вона служить модифікатором чавуну і додається в сплав, підвищуючи якість засвоєння Mg. При цьому зводяться до мінімуму піроефект і випаровування MgO, що стабілізує результат модифікування. Лігатури групи нікель-магній (рис. 13.2) застосовуються в якості модифікаторів при литві чавунів різних марок. Також вони використовуються для десульфуризації і розкислення спеціальних сталей і жароміцних сплавів. Можлива добавка в лігатуру нікель-магній редкоземельного елемента церію. Це дозволяє нейтралізувати вплив шкідливих домішок. Крім того, церій підсилює вплив Mg на мікроструктуру, збільшуючи тим самим ефективність процесу модифікування.



Рис. 13.2. Лігатура нікель-магній

Продукт вводиться в основний метал під час його плавлення. В результаті значно підвищується ефективність засвоєння Mg в рідкому чавуні (в порівнянні з додаванням чистого Mg). Висока щільність лігатури нікель-магній дозволяє додавати її в розплав найбільш простим способом, забезпечуючи стабільний і надійний результат модифікування. При цьому випаровування MgO і піроефект зводяться до мінімуму.

Лігатура групи нікель-вольфрам використовується в ливарному виробництві для отримання важких сплавів спеціального призначення. Останні характеризуються високою щільністю і здатні поглинати гамма-промені. Продукція даного типу широко використовується в авіакосмічній,

машинобудівної та військової промисловості. За допомогою лігатур нікель-вольфрам створюють сплави для виготовлення: електродів (в тому числі і для контактного зварювання); противаг для літаків; маховиків; центрифуг і балансирів; екранів і контейнерів, призначених для захисту від негативного впливу радіоактивних компонентів; сердечників снарядів та інших виробів, пов'язаних з ВПК і не тільки. Лігатури групи нікель-вольфрам застосовуються для отримання важких сплавів. Вони затребувані в авіакосмічній, машинобудівній, військово-промислової та інших областях. Головне призначення – поліпшення структурних характеристик металу і надання йому потрібних технологічних властивостей. Сплави, отримані за допомогою нікель-вольфрамового модифікатора, використовуються при виробництві електродів, снарядів, центрифуг, балансирів, маховиків і інших деталей. Сплави з вмістом нікелю і вольфраму застосовуються для легування сталей, при виробництві ємностей для зберігання радіоактивних речовин, техніки неруйнівного контролю, дозиметричного обладнання, коллиматоров, захисних екранів і інших відповідальних елементів і механізмів. В основі лігатури нікель-вольфрам знаходиться Ni високого ступеня чистоти, як правило, марки Н1У. Додавання до складу вольфрамового порошку підвищує загальну щільність модифікатора. Лігатура нікель-вольфрам (рис. 13.3) вводиться в метал в процесі його плавлення. Це дозволяє отримати необхідний хімічний склад з рівномірним розподілом добавок по всій масі. В результаті застосування продукту збільшуються жароміцність, зносостійкість, твердість і корозійна стійкість основного металу.



Рис. 13.3. Лігатура нікель-вольфрам

Питання для самоконтролю

1. Надати визначення поняття «лігатури».
2. Розкрити основні уявлення про лігатури.
3. Що таке легуючі таблетки (брикетована лігатура)?
4. Охарактеризувати лігатури на основі алюмінію.
5. Надати характеристику лігатурам на основі міді.
6. Які ви знаєте лігатури на основі нікелю?

Тема 14. ЛІГАТУРИ НА ОСНОВІ КОБАЛЬТУ, СВИНЦЮ, ЦИНКУ ТА МАГНІЮ

Мета лекції – ознайомлення з основними видами лігатур, зокрема на основі кобальту, свинцю, цинку та магнію.

План

- 14.1 Лігатури на основі кобальту
- 14.2 Лігатури на основі свинцю
- 14.3 Лігатури на основі цинку
- 14.4 Лігатури на основі магнію

Перелік ключових термінів і понять: лігатури на основі кобальту, лігатури на основі свинцю, лігатури на основі цинку, лігатури на основі магнію.

14.1 Лігатури на основі кобальту

Лігатури на основі кобальту (рис. 14.1) використовуються з метою:

- підвищення міцності сплавів при високих температурах;
- легування бором;
- легування кобальтом;
- дисперсійного твердіння, формування складних карбідів;
- легування ніобієм;
- формування карбідів, підвищення міцності сплавів при високих температурах;
- легування ванадієм;
- формування складних карбідів.



Рис. 14.1. Лігатури на основі кобальту

Лігатури на основі кобальту використовуються в різних сферах металургії, таких як: деталі літаків, камери згоряння, лопаті турбін; трансформатори високої напруги; хірургічні та стоматологічні інструменти; зносостійкі інструменти, наконечники свердел та інші.

Найбільшого застосування знайшли наступні лігатури на основі кобальту:

- лігатури кобальт-хром-вольфрам: CoCrW ;
- лігатури кобальт-молібден: CoMo50 (50% Mo , Co – інше);
- лігатури кобальт-ванадій: CoV65 (65% V , Co – інше).

14.2 Лігатури на основі свинцю

Лігатури на основі свинцю (рис. 14.2) використовуються з метою зменшення зернистості, підвищення міцності та плинності, поліпшення механічних властивостей. Використовуються в різних сферах металургії, таких як: акумуляторні аноди та решітки, свинцеві кулі, обшивка та муфти електрокабелів; підшипники; припої та інші.

Основна маса лігатур для сплавів свинцю орієнтована на виробництво акумуляторних батарей. Так, наприклад, лігатури свинець-селен і свинець-кальцій сприяють поліпшенню певних властивостей свинцевих сплавів для пластин і решіток, зокрема зменшення ефекту старіння в повторюваних циклах розрядки / зарядки акумуляторних батарей. Лігатура свинець-магній і свинець-миш'як використовуються у виробництві електротехнічних деталей (пластин акумуляторів, анодів, кабельної продукції).



Рис. 14.2. Лігатури на основі свинцю

Найбільшого застосування знайшли наступні лігатури на основі свинцю:

- лігатури свинець-галюміній: PbAs10 (10% As , Pb – інше); PbAs15 (15% As , Pb – інше); PbAs20 (20% As , Pb – інше);
- лігатури свинець-алюміній-сурьма: PbAsSb ;
- лігатури свинець-висмут: PbBi50 (50% Bi , Pb – інше);
- лігатури свинець-кальцій: PbCa2 (2% Ca , Pb – інше.);
- лігатури свинець-мідь: PbCu5 (5% Cu , Pb – інше);
- лігатури свинець-селен: PbSe4 (4% Se , Pb – інше);
- лігатури свинець-теллур: PbTe5 (5% Te , Pb – інше).

14.3 Лігатури на основі цинку

Лігатури на основі цинку використовуються з метою:

- зменшення зношення виливниць рідким цинком;

- легування залізом;
- підвищення твердості;
- легування магнієм;
- нейтралізує шкідливий вплив залишків кремнію на гальванічні поверхні;
- підвищення границі текучості.

Лігатури на основі цинку використовуються в різних сферах металургії, таких як: деталі вироблені литтям під тиском; будівельна продукція (покриття дахів і плакування); оцинкована сталева продукція та інші.



Рис. 14.3. Лігатури на основі цинку

Найбільшого застосування знайшли наступні лігатури на основі цинку: ZnAlMg, ZnAlSi, ZnAlCe (MM), ZnSb, ZnSb, ZnCo, ZnCuTi, ZnNi, ZnMn, ZnMg, ZnV, ZnSnPb, ZnSnAl, ZnCuTi, ZnFe та інші.

14.4 Лігатури на основі магнію

Особливий інтерес представляють сплави на основі магнію, які містять в якості легуючих і модифікуючих добавок цирконій та рідкоземельні метали. Ливарні сплави марок МЛ-11, МЛ-12, МЛ-15, МЛ-17, МЛ-18, МЛ-19 і сплави, що деформуються МА-12, МА-14, МА-15, МА-17, МА-19, МА-20, МДЗ-3, ПМД-10, мають високу механічну міцність, пластичність і жароміцність.

На сьогодні магнієві сплави виготовляють за двома методиками: одноступінчатої та комбінованої. У першому випадку розливка металу в форми здійснюють безпосередньо зі спеціальної печі. Процес проводять з використанням ковша або плавильного тигля. Комбінована технологія виготовлення магнієвого сплаву на увазі застосування відбивних або індукційних печей, що мають велику ємність.

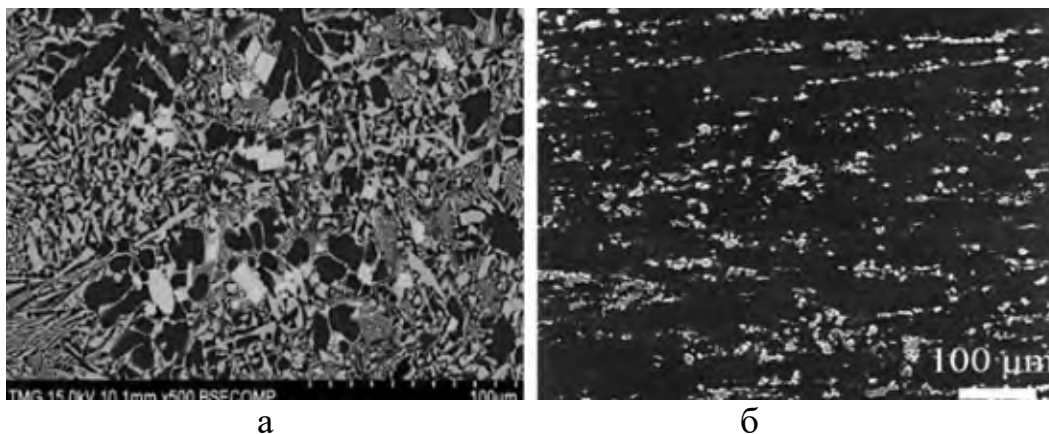
Зливки на основі сплавів магнію з іншими металами використовуються в якості шихтової складової при виробництві ливарних сплавів, що деформуються. Сьогодні на ринку представлений великий вибір магнієвих чушок, що розрізняються відсотковим вмістом різних добавок. До найбільш затребуваних сплавів на основі магнію можна віднести марки MM2, MA8Ц,

МА10Ц, МЦр1НЗ.

У порівнянні з чистими металами, з'єднання, до складу яких доданий магній, мають більшу міцність і опірність корозії. Також чушки магнієві успішно використовуються в якості розкислювача при виробництві кольорового лиття та сталі. Магній також застосовується при виробництві анодів для систем катодного захисту, служить для запобігання корозії елементів сталевих конструкцій. Можливе використання чушок магнієвих для відновлення титаново-цирконієвих з'єднань, необхідних при виготовленні анодів для акумуляторних батарей.



Рис. 14.4. Лігатура магній-ніодим



а – мікроструктура сплаву Mg-Zn-Zr; б – мікроструктура сплаву Mg-Zn-Zr-Ce
Рис. 14.5. Мікроструктура магній-цирконієвих лігатур

Питання для самоконтролю

1. Охарактеризувати лігатури на основі кобальту.
2. Надати характеристику лігатурам на основі свинцю.
3. Які ви знаєте лігатури на основі цинку?
4. Охарактеризувати лігатури на основі магнію.

Тема 15. ЛІГАТУРИ З ВАНАДІЄМ, МОЛІБДЕНОМ ТА НІОБІЄМ

Мета лекції – ознайомлення з основними видами лігатур, зокрема на основі ванадія, молібдена та ніобія.

План

- 15.1 Лігатури з ванадієм
- 15.2 Лігатури з молібденом
- 15.3 Лігатури з ніобієм

Перелік ключових термінів і понять: лігатури з ванадієм, лігатури з молібденом, лігатури з ніобієм.

15.1 Лігатури з ванадієм

Ванадійвмісні лігатури – це альтернатива традиційному ферованадію для отримання зносостійких і високоміцних чавунів та сталей. Пропоновані сплави дозволяють одночасно з підвищенням засвоєння ванадію при легуванні ефективно вирішувати завдання розкислення, модифікування та десульфатації.

Ванадійвмісна лігатура (рис. 15.1) дозволяє, не змінюючи технологічний процес виплавки, без підвищення трудомісткості, знизити вартість легованої сталі, за рахунок ціни ванадію в лігатурі. Ванадійвмісна лігатура з присутністю Si, Mn, Al зменшує чад ванадію до 10% з 20% при легуванні сталі.



Рис. 15.1. Ванадійвмісна лігатура

Для виробництва легких і спеціальних сплавів, легування титанових сплавів, використовується лігатура алюміній-ванадій: лігатура ВнАл-1 (V: 70–76%, Al: 24–30%), ванадієва лігатура ВнАЛ-Ж (V: 68–72%, Fe: 10–13%), лігатура ванадій-алюміній V65AL35 (V: 60–65%, Al: 34–39%). Ванадієва лігатура зі знизеним вмістом ванадію (30–45%) і з додаванням титану, алюмінію (14–50%), молібдену (10–20%) і вуглецю (2,3–4,5%) – марка АМВТ, покращує зварюваність титанового сплаву, наприклад, зберігаючи його механічні властивості.

Для підвищення зносостійкості та зміцнення сталі при виплавці використовується молибдено-ванадієва лігатура, яка, в свою чергу виготовляється з додаванням до молибдену і ванадію хрому та алюмінію (марка К-4-1); хрому, алюмінію, цирконію (К-4-2); хрому і заліза (К-5-1,2).

Ванадієва лігатура проводиться методом металотермічного відновлення оксидів металу, коли виплавка відбувається з плавкою на «блок» в інертному атмосфері та на повітрі, і методом позапічної алюмотермічної плавки.

В якості сильного десульфатора і для розкислення, дегазації сплавів, сталі та чавуну застосовується силіко-кальцій-ванадієва лігатура типу СкВд4, СК15Вд2 або ванадієва лігатура ФВд12С12.

Залежно від марки, ванадієва лігатура поставляється у вигляді: порошку, пластівців, зливків, шматків, різної розмірності.

Силіко-кальцій-ванадієва лігатура приведена на рис. 15.2.

Згідно ТУ 14-22-89-96, ТУ 14-141-09-91 випускають силіко-кальцій-ванадієву лігатуру марок ФВд7СК9 та СКВд4.



Рис. 15.2. Силіко-кальцій-ванадієва лігатура

15.2 Лігатури з молибденом

Лігатура на основі молибдену має сріблясто-сірий колір з блиском, дуже високу температуру кипіння і плавлення. Вона відноситься до перехідних лігатур з високим ступенем тугоплавкості.

Лігатура на основі молибдену володіє високою пружністю, термостійкістю та жароміцними характеристиками. Вона значно покращує експлуатаційні властивості сталей при легуванні молибденом, підвищує міцність, в'язкість і корозійну стійкість сталі.

Лігатура на основі молибдену використовується в порошкової металургії, а також спеціальній металургії для виробництва жароміцних сталей.

Лігатура нікель-молибден NiMo (ТУ 1732-0003-16993829-2015) застосовуються для легування, розкислення і десульфуризації, поліпшення внутрішньої структури і механічних характеристик металу, підвищення стійкості до зношування і корозії, нейтралізації шкідливих домішок,

поліпшення оброблюваності сплавів. Лігатура нікель-молібден NiMo (ТУ 1732-0003-16993829-2015) призводить до наступних позитивних змін властивостей металу: підвищує твердість і міцність, подрібнює зерно; збільшує щільність сталі; підвищення червоностійкості, пружності, границі міцності на розтягання, антикорозійних властивостей та опору окисленню при високих температурах; збільшує корозійну стійкість.

Лігатура нікель-молібден NiMo використовується для легування; для розкислення металів. Засвоєння легуючого елемента з лігатури стійкіше і вище, ніж при введенні його в чистому вигляді. Використання лігатури допомагає істотно підвищити жаростійкість і окалиностійкість.



Рис. 15.1. Молібденвмісна лігатура

15.3 Лігатури з ніобієм

Для виробництва ніобійвмісних сталей з марганцем використовують марганецьніобієву лігатуру (30-50% Nb + Ta; 20–30% Mn; <10% Si; <5% Al; <5% Ti; <0,3% P; <0,2 % C і <0,05% S). Такий сплав має більш низьку температуру плавлення, ніж фероніобій, і швидко розчиняється в сталі.

Встановлено можливість отримання ніобіймарганцевої лігатури заданого складу при спільному відновленні оксидів пірохлорового концентрату і марганцевої руди позапічним алюмінотермічним способом. Отриманий сплав містив 30–46% Nb; 19–29% Mn; 6–8% Si; 3–5% Al та 4–5% Ti. Однак метал дослідних плавок погано відділяється від шлаку, тому витяг в зливки ніобію не перевищувало 87%, а марганцю 64%.

Кращі результати як по виходу металу, так і з точки зору його якості можна отримати при використанні технічної п'ятиокиси ніобію (96% Nb₂O₅) і марганцевої руди (79% MnO₂) або металевого марганцю (95,5% Mn). Застосування марганцевої руди призводить до підвищення вмісту фосфору в сплаві, що досягає 0,38%; при використанні металевого марганцю вміст фосфору не перевищує 0,11%.

Поряд з залізомолібденовою лігатурою для беззалізистих сплавів проводиться аналогічна нікельхромніобієва лігатура; поряд з ніобіймарганцевою лігатурою на металургійних підприємствах використовують марганецхромніобієву.

Алюмінійніобієва лігатура марки АНБ відповідно до ТУ 14-5-66-76 повинна мати наступний склад: 17–25% (Nb + Ta); 28–40% Al; <10% Si; <0,8% P; <7% Ti; <5% Cu.

Алюмінійніобієву е лігатуру виплавляють в електропечі з попередніми розплавленням алюмінію, призначеного для насичення металу.



Рис. 15.1. Ніобійвмісна лігатура

Питання для самоконтролю

1. Охарактеризувати лігатури з ванадієм.
2. Надати характеристику лігатурам з молібденом.
3. Які ви знаєте лігатури з ніобієм?

Тема 16. КОМПЛЕКСНІ ЛІГАТУРИ З КРЕМНІЄМ, ХРОМОМ ТА МАРГАНЦЕМ

Мета лекції – ознайомлення з комплексними лігатурами на основі кремнію, хрому та марганцю.

План

- 16.1. Комплексні лігатури з кремнієм
- 16.2. Комплексні лігатури з хромом
- 16.3. Комплексні лігатури з марганцем

Перелік ключових термінів і понять: комплексні лігатури з кремнієм, комплексні лігатури з хромом, комплексні лігатури з марганцем.

16.1. Комплексні лігатури з кремнієм

Кремній – це важливий легуючий елемент в більшості міцних і деяких високоміцних деформованих алюмінієвих сплавах груп АА 6000 та АА 2000 за міжнародними стандартами. Також він є одним з базових елементів в ливарних сплавах і твердих припоях.

Присутність кремнію в алюмінієвих сплавах:

- надає хорошу термооброблюваність в рівноважній пропорції з магнієм;
- покращує плинність ливарних сплавів;
- знижує температуру плавлення припоїв;

У порівнянні з використанням чистого кремнію використання лігатур з кремнієм має явні переваги, серед яких є:

- коротший час розплавлення;
- легування при більш низьких температурах;
- більш висока точність для задоволення жорстких вимог щодо складу сплаву;
- збільшення продуктивності.

16.2. Комплексні лігатури з хромом

Лігатура алюміній-хром вводиться на будь-якому етапі циклу завантаження або плавлення. Її додавання покращує міцність, викликає обмеження зростання зерна, покращує в'язкість і запобігає утворенню тріщин в сплаві. У даній лігатурі хром присутній у вигляді інтерметалідного з'єднання Al_7Cr , рівномірно розподіленого в матриці алюмінію.

Найбільш затребувані марки алюміній-хромової лігатури (рис. 16.1), включаючи $AlCr_3$, $AlCr_5$, $AlCr_{10}$, $AlCr_{15}$, $AlCr_{20}$.

Хромомолібденова лігатура застосовується замість металевих молібдену і хрому при виплавці високолегованих сталей і сплавів. Отримують хромомолібденові лігатури алюмінотермічним способом з верхнім запалом з

шихти, що складається з окису хрому, алюмінієвого первинного порошку і молібденового концентрату гідрометалургійного виробництва. У якості флюсу використовують плавиковий шпат і свіжеобпалене вапно. З метою зниження вмісту домішок кольорових металів молібденовий концентрат перед випалюванням обробляють розчином аміаку і хлористого магнію.



Рис. 16.1. Алюміній-хромова лігатура

16.3. Комплексні лігатури з марганцем

Добавки марганцю сприяють збільшенню твердості та міцності, а також зниження пластичності сплавів алюмінію. Внутрішня напруга пластинок цієї легируючої добавки забезпечує їх швидке розплавлення і засвоєння при зіткненні з рідким металом. При вмісті марганцю близько 0,5% відбувається пригнічення росту зерна в середньо- і високоміцних сплавах, при вмісті марганцю близько 1,3% відбувається зміцнення чистого алюмінію.



Рис. 16.2. Алюміній-марганцева лігатура

16.3.1 Отримання комплексних лігатур на основі марганцю методом розпилення розплаву водою

Аналіз сучасних методів отримання порошкових лігатур показав, що найбільш перспективними за продуктивністю та ефективністю використання в

промисловості є процеси розпилення розплавлених металів стисненими газами, водою високого тиску і відцентровим методом. Методи розпилення рідких металів дозволяють регулювати технологічні, механічні та інші властивості в залежності від їх подальшого застосування.

Так в умовах ДП «УкрНДІспецсталь» широко використовується метод розпилення струму розплаву водою високого тиску з наступним зневодненням та сушінням. Кожна частинка комплексної лігатури у своєму обсязі вміщує легуючі елементи, розкислювачі та модифікатори. Виготовляють порошки наступних систем: Mn-Si-Mo-Al-Fe, Mn-Si-Mo-Fe, Mn-Mo-Ni-Ti-Fe, Mn-Ni-Si-Cr-Mo-Fe, Cr-Si-Ti-Mn-Mo-Fe, Mn-Mo-Ni-Ti-Al-Fe, Mn-Mo-Ni-Fe, Mn-Si-Mo-Ni-Ti-Fe, Mn-Si-Cr-Ti-V-Fe та Cr-Mn-Ni-Si-Fe. Використання порошків, розпилених водою, для зварної техніки усуває спучування електродної маси, не утруднює опресовування та термообробку електродів та екструзію дроту, покращує екологічний стан, знижує пожежо-та вибухонебезпечність за рахунок пасивування порошку при розпиленні.

Мікроструктурний аналіз зразків лігатури Mn-Mo-Ni (табл. 16.1) показав, що наряду з частинками дендритно-коміркової структури спостерігаються точкові та пластинчасті утворення (рис. 16.3, а). У порошку, що вміщує титан (лігатури системи Mn-Mo-Ni-Ti та Mn-Si-Mo-Ni-Ti), мікроструктура в основному коміркова, при цьому зустрічаються окремі дрібні дендрити (рис. 16.3, б, в). У порошку, що вміщує кремній (лігатура Mn-Si-Mo-Ni) при відсутності титану спостерігається коміркова мікроструктура зі слабо виявленими границями комірок (рис. 16.3, г).

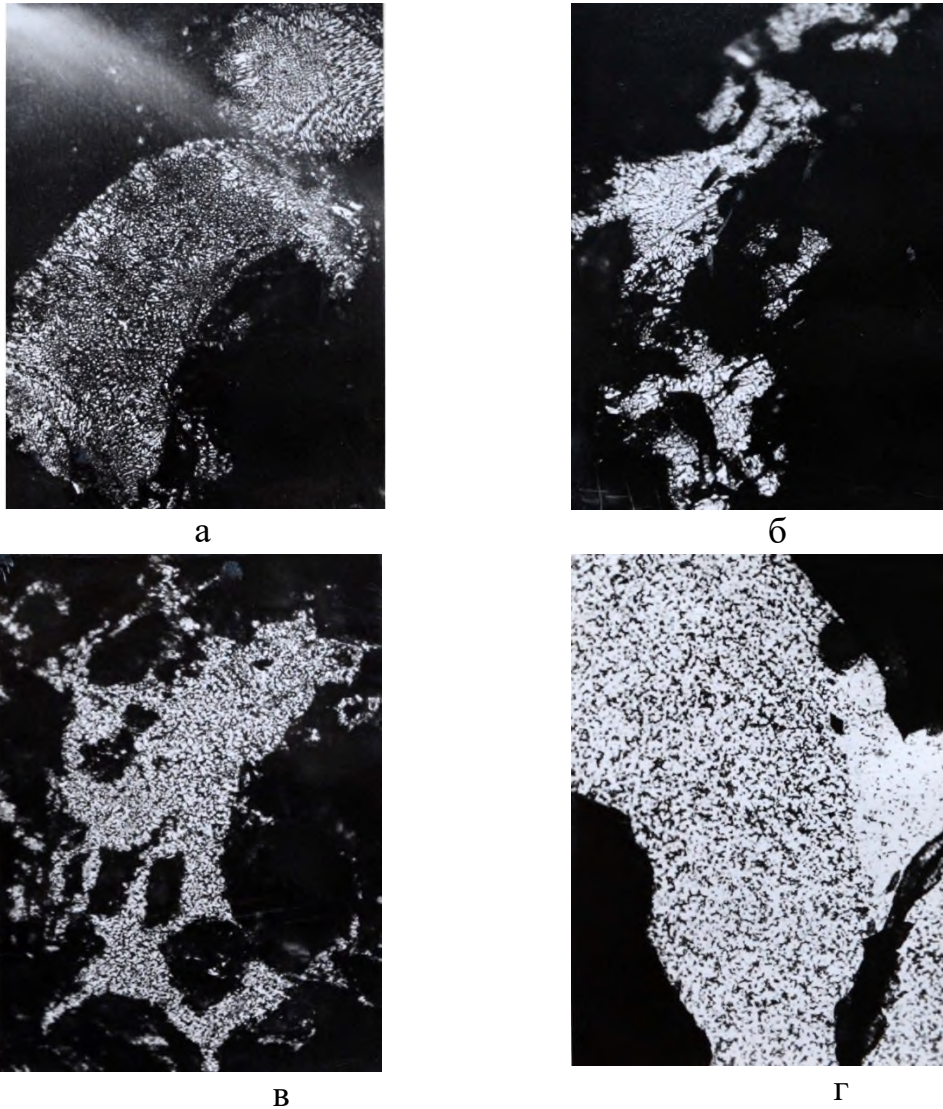
Таблиця 16.1. Хімічний склад комплексних лігатур на основі марганцю

Склад лігатури	Масова доля елементів, %					
	Mn	Si	Mo	Ni	Ti	Fe
Mn-Si-Mo-Ni	53,2	11,63	9,63	17,4	-	інше
Mn-Mo-Ni	62,4	-	8,35	9,9	-	інше
Mn-Mo-Ni-Ti	55,4	-	7,87	9,9	3,54	інше
Mn-Si-Mo-Ni-Ti	48,7	9,22	7,24	11,5	7,00	інше
Mn-Si-Mo-Ni	53,3	12,85	8,00	18,2	-	інше

При дослідженні проби порошку знайдені шлакові частинки, при цьому найбільша їхня кількість спостерігається у порошках системи Mn-Mo-Ni та Mn-Si-Mo-Ni. Використання порошкової комплексної лігатури системи Mn-Si-Ni-Cr-Mo при виготовленні самозахисного порошкового дроту карбонатно-флюоритного типу ПП-АН30с для зварювання трубних марок сталей типу Х70 дозволяє досягнути високого рівня механічних властивостей зварювального з'єднання, особливо при знижених температурах.

Випробування зварювально-технологічних властивостей комплексних лігатур системи Mn-Si-Mo-Ni, Mn-Mo-Ni, Mn-Mo-Ni-Ti, Mn-Si-Mo-Ni-Ti, Mn-Si-Mo-Ni та Mn-Si-Ni-Cr-Mo показали на зниження газовиділення при виготовленні обмазувальної маси в 10–30 разів, що виключає її спучування при

виготовленні електродів, підвищення ударної в'язкості зварного шву в 1,3–2 рази при негативній температурі за рахунок введення розпиленого феромарганцю, можливість використання добавки в електродний дріт однієї комплексної лігатури замість трьох простих компонентів лігатури, що раніше використовувалися.



а – лігатура Mn-Mo-Ni; б – лігатура Mn-Mo-Ni-Ti;
 в – лігатура Mn-Si-Mo-Ni-Ti; г – лігатура Mn-Si-Mo-Ni
 Рисунок 16.3. Мікроструктура порошкових частинок, х 500

Питання для самоконтролю

1. Охарактеризувати комплексні лігатури з кремнієм.
2. Надати характеристику комплексним лігатурам з хромом.
3. Охарактеризувати комплексні лігатури з марганцем.
4. Розкрити суть процесу отримання комплексних лігатур на основі марганцю методом розпилення розплаву водою.

Тема №17. МОДИФІКАТОРИ ТА ЛІГАТУРИ З ЛУЖНОЗЕМЕЛЬНИХ МЕТАЛІВ

Мета лекції – ознайомлення з найбільш поширеними видами модифікаторами та лігатурами з ЛЗМ.

План

17.1 Вплив природи модифікаторів на основі ЛЗМ на фізико-механічні властивості сталі

17.2 Види модифікаторів на основі ЛЗМ

Перелік ключових термінів і понять: рафінуюче та гомогенізуюче модифікування; модифікатори типу СфероЛіт-П, ФС65Ба₄, ФСМг₇, ФСМг₉, СКБ-2М, СКБ-20У, L-CAST[®] 5–L-CAST[®] 20; суміш БАРС.

17.1 Вплив природи модифікаторів на основі ЛЗМ на фізико-механічні властивості сталі

Рафінуюче та гомогенізуюче модифікування – це один з інструментів створення економічних технологій модифікування, що забезпечують отримання оптимальної структури литого металу і належного комплексу механічних і спеціальних властивостей без технічного переозброєння ливарних цехів при збереженні існуючих технологій виплавки розплавів і формоутворення виливків.

Слід нагадати, що до **лужноземельних металів** відносять елементи головної підгрупи другої групи періодичної системи хімічних елементів (Be, Mg, Ca, Sr, Ba та Ra).

Низькі температури кипіння ЛЗМ і висока пружність пара при температурі рідкої сталі ускладнюють їх ефективне використання. Значна частина кальцію та інших ЛЗМ при введенні в сталь випаровується і окислюється, віддаляючись з металу. Посилення дії кальцію забезпечується шляхом спільної присадки з ним барію, а також стронцію. При їх комплексному введенні в рідку сталь пружність парів буде нижче пружності пари кожного окремо взятого елемента, що веде до більш повільного випаровування і збільшення тривалості взаємодії з киснем і сіркою і, як наслідок, до більш ефективного результату модифікування.

Так як лужноземельні метали, особливо кальцій, є сильними раскислителями, для більш ефективного процесу модифікування необхідно проводити повне розкислення сталі.

17.2 Види модифікаторів на основі РЗМ

Модифікатор сфероїдизуючий для чавуну СфероЛіт-П (рис. 18.1) випускається на основі феросиліцію з магнієм для модифікування

високоміцного чавуну в ливарному ковші або формі. Він є покращеним аналогом феросиліцію з магнієм (ФСМг) та використовується для стабільного отримання високоміцного чавуну (ВЧ та ЧВГ). Сфероїдизатор застосовується для виробництва високоякісного чавуну з кулястим графітом методом ковшевої (модифікування в ливарному ковші) або внутріформеної (у формі) обробки розплаву чавуну магнієм.



Рис. 18.1. Модифікатор сфероїдизуючий для чавуну СфероЛіт-П

Переваги СфероЛіт-П перед аналогами:

- дуже ефективний, економічний і універсальний магнієвмісний модифікатор, що забезпечує стабільні і високі результати незалежно від флуктуацій хімічного складу базового чавуну (вміст сірки) та інших факторів;
- модифікування дозволяє отримувати марки ВЧ з високими механічними та експлуатаційними характеристиками чавунних виливків;
- немає необхідності в витримці чавуну в ковші перед заливанням, застосування ковшів спеціальної конструкції і ливарних фільтрів для уловлювання неметалевих включень;
- зменшення витрат на зміну і зменшення собівартості лиття.

В склад комплексних модифікаторів можуть входити лужноземельні метали, такі як магній, кальцій, барій, стронцій.

Графітізуючі модифікатори (феросилікобарій FeSiBa) застосовуються для модифікування сірого і високоміцного чавуну і чавуну з вермікулярним графітом та значно ефективніше традиційно використовуваного феросиліцію марки ФС75.

Одним з найбільш поширених з графітуючих модифікаторів є феросиліцій з барієм **ФС65Ba₄**, що володіє високою графітуючою здатністю, що збільшує міцність чавуну на 20–25%. Сплави з барієм більш ефективні, ніж інші модифікатори для обробки чавуну в ковшах великої місткості, коли розливка за формами займає тривалий час.

Феросілікомагній ФСМг₇ (FeSiMg₇) застосовується для внутріформеного модифікування при виробництві виливків з високоміцного чавуну.

Практично всі високоміцні ливарні чавуни виробляються з добавкою

магнію, який сприяє формуванню графіту необхідної структури. Магній є хімічно активним, швидко випаровується металом, з обмеженою розчинністю в чавуні, чия температура кипіння набагато нижче, ніж у розплаву чавуну. Таким чином, металевий магній, практично неможливо використовувати при модифікуванні розплаву.

Застосування магнію спрощується, якщо він вводиться в складі недорогого матеріалу, який підходить для ливарних чавунів і який утворює сполуки з магнієм, тим самим, зменшуючи тиск його парів і, як наслідок, хімічну активність даного елемента. Кремній і висококремнієві сплави відповідають всім перерахованим вище вимогам.

Феросилікомагній ФСМг₉ (FeSiMg₉) є модифікатором для сфероїдизуючої обробки і отримання високоміцного чавуну. Всі марки високоміцного чавуну виробляються з добавкою невеликого навішування магнію, який сприяє формуванню графіту необхідної структури.

Модифікатори СКБ-2М і СКБ-20У призначені для рафінуючої позапічної обробки чавуну і сталі. Модифікатори являють собою суміш порошків карбонатів лужноземельних металів оптимізованого складу.

Матеріали серії СКБ застосовують для:

- поліпшення ливарних властивостей рідкого металу, його рідко текучості;
- підвищення механічних і експлуатаційних властивостей виливків;
- поліпшення пластичних властивостей злитків і виливків;
- зниження схильності виплавленого металу до утворення тріщин;
- поліпшення мікро- і макроструктури металу.

Для зручності введення модифікатора в розплав, модифікатор поставляється як в огрудкованому (фракція <40 мм), так і в порошкоподібному (фракція <3 мм) вигляді.

Суміш шлакоутворювальна розкисне-модифікуюча БАРС (рис. 18.2) – це комплексний модифікатор на основі складних з'єднань лужноземельних металів (барію, кальцію, стронцію) і алюмінію (до 35% в залежності від марки).

Співвідношення компонентів в суміші для підвищення реакційною здатністю підібрано з умов досягнення найбільшого технічного ефекту і достатньою асиміляційною здатністю шлаків. Має виражену розкислювальну і модифікуючу дію, дозволяє ефективно впливати на метал і шлак, оберігає метал від вторинного окислення, забезпечує очищення металу від неметалевих включень.

БАРС призначений для дифузійного розкислення якісних вуглецевих і високолегованих сталей, що виплавляються в основних дугових електропечах. Використовується він в якості розкислювально-модифікуючої суміші для підвищення розкислення сталі, зниження вмісту сірки і неметалевих включень, підвищення однорідності розплавів, зменшення ліквациї. При виплавці сталі в печах з кислотою футеровкою застосовується при ковшовому модифікуванні. У складі синтетичних шлаків сприяє ефективному знесірченню металів, що виплавляються.

Одержані під час обробки БАРС шлаки мають підвищену рідкорухливість, високу сульфідоемність і здатність акумулювати неметалеві включення. БАРС є приємним до укрупнення і більш повному видаленню неметалевих включень і шкідливих газів.



Рис. 18.2. Суміш шлакоутворювальна розкисне-модифікуюча БАРС

Ефект від застосування БАРС наступний:

- підвищення ударної в'язкості і пластичності сталей;
- підвищення і стабілізація механічних властивостей, отримання однорідної макро- і мікроструктури виливків та зливка;
- ефективне розкислення шлаку;
- дифузійне розкислення металу;
- підвищення засвоєння феросплавів;
- посилення спроможності шлаку до асиміляції неметалевих включень;
- зниження витрат алюмінію;
- зниження витрат, пов'язаних з попереднім та фінішним розкисленням сталі;
- зниження ізоляція легуючих матеріалів;
- зниження браку по недоливу та газової пористості й тріщинах;
- зниження трудовитрат пов'язаних з очищенням ковшів від шлакових наростів і «козлів»;
- підвищення технологічної пластичності сталей.

Хімічний склад модифікатора за бажанням замовника може бути адаптований до існуючого технологічного процесу.

Прикладами суміші шлакоутворювальної розкисне-модифікуючої БАРС є модифікатори L-CAST® 20, L-CAST® 10 та L-CAST® 5 (рис. 18.3).

Ефект від застосування модифікатора L-CAST® 20 для модифікування чавунів:

- сприяє підвищенню дисперсності структури матриці;
- збільшує кількість центрів кристалізації графіту, значно знижуючи схильність до «відбілу», особливо матеріалу кромки;
- покращує форму графітових включень;
- забезпечує однорідність розплаву і рівномірну мікроструктуру;
- забезпечує підвищення і стабілізацію механічних властивостей;
- знижує кількість газоусадкових дефектів;

- підвищує засвоюваність магнійвмісних модифікаторів;
- за рахунок вирівнювання твердості в різних перетинах виливків сприяє кращій оброблюваності різанням;
- покращує технологічні ливарні властивості чавунів та їх споживчі властивості, в тому числі довговічність;
- покращує стан футеровки печей і ковшів, знижуючи кількість шлакових наростів;
- знижує матеріальні та енергозврати за рахунок зменшення температури заливки.



Рис. 18.3. Модифікатори типу L-CAST® 20 (а), L-CAST® 10 (б) та L-CAST® 5 (в)

Ефект від застосування L-CAST® 20 для модифікування сталі:

- рафінує, гомогенізує і модифікує розплав;
- стабілізує структуру сплаву, що кристалізується, підвищуючи її однорідність;
- сприяє кращому засвоєнню феросплавів;
- дозволяє знизити температуру заливання за рахунок підвищення рідкорухливості розплаву;
- стабілізує і підвищує властивості міцності виливків, і особливо їх пластичні властивості.

Модифікатор **L-CAST® 10** за рахунок великого вмісту поверхнеко-активних речовин (ПАР), які адсорбуються на зародках, знижує швидкість росту зерна. В результаті з'являється велика кількість нових зародків. Структура, що утворюється, стає більш рівномірною і дрібнозернистою. За рахунок реакції дисоціації компонентів модифікатора з поглинанням тепла посилюється ефект переохолодження розплаву, що також веде до збільшення числа зародків.

Модифікатор L-CAST® 10 застосовується переважно на плавильних агрегатах і ковшах малої місткості як для пічного, так і позапічного модифікування чавунів і сталей. Рекомендується при виплавці чавунів для гомогенізуючого модифікування і поліпшення форми графіту, для отримання мікрооднорідної структури синтетичних чавунів в умовах індукційної плавки без додаткового високотемпературного перегріву. L-CAST® 10 призначений для усунення проблем, пов'язаних з істотним забрудненням залізовуглецевих

сплавів та їх хімічної неоднорідністю. Він сприяє отриманню оптимальної структури литого металу і при цьому виключає технічне переозброєння ливарних цехів при збереженні існуючих технологій виплавки розплавів і формоутворення виливків.

Як ковшова, так і пічна обробка розплавів чавунів не впливають на хімічний склад чавуну і призводять до:

- збільшення технологічної рідкотекучості;
- зменшує частку междендрітного графіту;
- підвищує однорідність морфометричних характеристик графіту і матриці чавуну;
- покращує форму графітових включень;
- збільшує дисперсність перліту;
- зменшує твердість при збереженні міцності;
- покращує засвоєння дорогих магнієвмісних модифікаторів, дозволяючи знизити їх витрата.

Модифікатор L-CAST® 10 використовується в процесі дифузійного розкислення високолегованої сталі в дугових печах спільно з раскислювальними сумішами для підвищення рідкорухливості шлаку і поліпшення їх здатності відновлювати легируючі компоненти з шлаку в метал.

При ковшовому застосуванні для модифікування сталі модифікатор L-CAST® 10 забезпечує наступний ефект:

- сприяє кращому засвоєнню феросплавів;
- дозволяє знизити температуру заливання за рахунок підвищення рідкорухливості;
- стабілізує механічні властивості;
- підвищує однорідність розплавів, що кристалізуються;
- знижує кількість неметалевих включень, очищає кордони зерен;
- знижує кількість дефектів газоусадкового характеру;
- підвищує оброблюваність деталей різанням;
- знижує матеріальні і енерговитрати за рахунок зниження температури заливки;
- підвищує пластичність і в'язкість металу.

Комплексний модифікатор L-CAST® 5 отримується за технологією багатоетапного збагачення основотвірний мінеральних сполук кальцій-барій-стронцієвих карбонатитів, містить активні елементи Ba, Ca, Sr, Mg та інші. Він надає розплаву виражене рафінуючого та гомогенізованого впливу.

Модифікатор дозволяє комплексно поліпшувати ливарні властивості розплавів чавунів і сталей, покращувати споживчі властивості готової литої продукції (зносостійкість, жароміцність, стійкість в агресивних середовищах, надійність та інші), стабілізувати і покращувати їх механічні властивості.

Модифікатори L-CAST® 5 використовується на різних переділах технологічного процесу виплавки як для пічного, так і для внепечного модифікування. Використання модифікатора L-CAST® 5 в окислювальному періоді плавки на дугових печах дозволяє ефективно знижувати вміст фосфору

на високолегованих сталях типу 10Г13Л.

Використання модифікаторів серії L-CAST® 5 вирішує широкий спектр завдань щодо поліпшення металу, що виплавляється:

- надає рафінуючий вплив на розплав;
- забезпечує подрібнення, гомогенізацію макро- і мікроструктури;
- підвищує хімічну однорідність розплаву, ліквідує зональну ліквідацію в виливках і зливках;
- збільшує рідко рухливість шлаків, забезпечуючи сприятливі умови для відновлення легуючих компонентів зі шлаку в метал;
- підвищує текучість розплавів, забезпечуючи кращу заповнюваність форм, знижуючи дефектність по недоливу, спаям і неслітін;
- покращує якість поверхні лиття;
- стабілізує механічні властивості сталей і чавунів;
- забезпечує поліпшення механічної оброблюваності продукції;
- підвищує технологічну пластичність сталей, забезпечуючи зниження дефектності при пластичній обробці тиском, підвищення виходу придатного на подальших переділах литих заготовок (поковка, прокат);
- очищає печі та ковші від шлакових наростів.

Питання для самоконтролю

1. Надати визначення поняття «рафінуюче та гомогенізує модифікування».
2. Який вплив природи модифікаторів на основі ЛЗМ на фізико-механічні властивості сталі?
3. Надати характеристику модифікатору сфероїдуєчому для чавуну СфероЛіт-П.
4. Надати характеристику модифікаторам ФС65Ба₄, ФСМг₇, ФСМг₉, СКБ-2М та СКБ-20У.
5. Охарактеризувати суміші шлакоутворювальної розкисне-модифікуючої БАРС.
6. Що таке комплексний модифікатор L-CAST® 20?
7. Надати характеристику комплексному модифікатору L-CAST® 10.
8. Яке призначення комплексного модифікатору L-CAST® 5?

Тема №18. МОДИФІКАТОРИ ТА ЛІГАТУРИ З РІДКОЗЕМЕЛЬНИХ МЕТАЛІВ

Мета лекції – ознайомлення з найбільш поширеними видами модифікаторів та лігатур з РЗМ.

План

18.1 Вплив природи модифікаторів на основі РЗМ на фізико-механічні властивості сталі та чавуну

18.2 Види модифікаторів та лігатур на основі РЗМ

Перелік ключових термінів і понять: рідкоземельні метали, модифікатори типу РУМ-1 лігатури на основі РЗМ, комплексні модифікатори серії INSTEEL®.

18.1 Вплив природи модифікаторів на основі РЗМ на фізико-механічні властивості сталі та чавуну

Поліпшення службових властивостей конструкційних сплавів вимагає ширшого використання рідкоземельних металів (РЗМ) в якості модифікаторів, що підвищують експлуатаційні властивості виробів. Відомо, що добавки рідкісноземельних елементів (РЗЕ) в інтервалі концентрацій до 0,3% покращують структуру, пластичність, міцність, ударну в'язкість сталей. Добавки церію, як раскислювачу чавуну, змінюють його властивості, підвищуючи в'язкість, щільність і вологотекучість. Широко відомо їх застосування в якості розкислювачів, десульфуранти, модифікаторів і зміцнювачів в сталях і сплавах.

Слід нагадати, що до **рідкісноземельних металів** відносять Sc, Y, La та 14 елементів сімейства лантаноїдів Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu.

Лігатури на основі рідкоземельних металів (РЗМ) виробляються методом плавки в індукційних печах. Застосовуються їх для легування різних сплавів, в основному для моторобудування.

При модифікуванні заліза введенням 0,1% церію (Ce) та лантану (La) переохолодження знижувалося з 320 до 40–50 °С, а при введенні і РЗМ в сталь – з 260 до 10–30 °С. Разом з тим при рафініруючій дії модифікаторів (очищення від неметалевих включень) спостерігали більше переохолодження в порівнянні з немодифікованим розплавом. Модифікуюча роль РЗМ проявляється тільки при невеликому перегріві сталі та в короткий період часу.

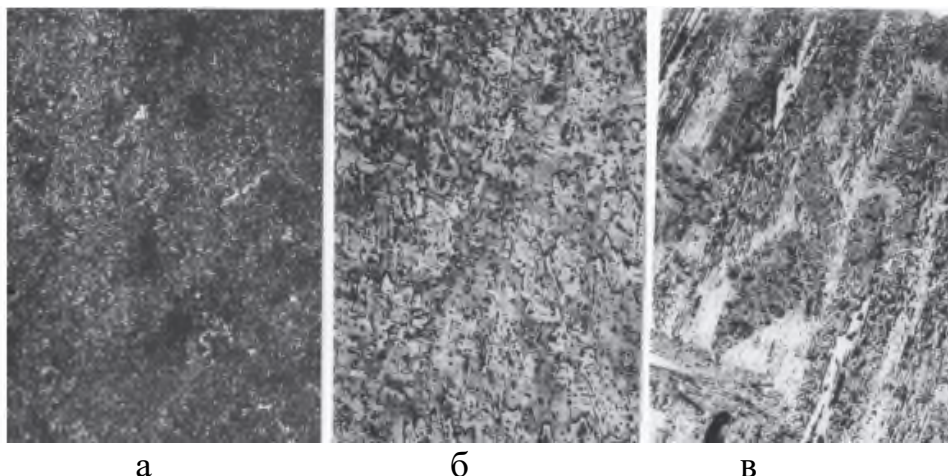
Так у розпорядженні металургів є безліч різних модифікаторів, які розрізняються за своєю структурою і технології виробництва, починаючи від великих кускових (30–60 мм в діаметрі) та закінчуючи ультродисперсними порошками. Середнє положення займають дрібнокристалічні модифікатори, які виробляються в водоохолоджуємих валках у вигляді «чіпсів» товщиною 2–

3 мм.

Для оцінки доцільності використання цих модифікаторів з метою розкислення були проведені дослідження на сталі марки 20Л по їх впливу на комплекс фізико-механічних властивостей і на склад неметалевих включень в порівнянні із застосуванням сумішей аналогічного складу, але з кускових модифікаторів. Присутність в сплаві дрібнокристалічного модифікатора рідкоземельних елементів (типу INSteel-3) призводить до збільшення загальної кількості неметалевих включень. При цьому забезпечується найвища в'язкість і пластичність сталі.

Відомий модифікатор РУМ-1 для чавунів на базі РЗМ, кремнію і барію, який має наступний склад: РЗМ – 30–40%; кальцій – 2–3%; барій – 1,0–1,5%; кремній – 20–35%, залізо – інше; алюміній 2–3%. Використання даного модифікатора забезпечує поліпшення структури чавуну, підвищення механічних властивостей та усунення відбілу. Витрата модифікатора складає 250–300 г/т рідкого металу.

Також рідкоземельні метали як модифікатори мають активний вплив на структуру та відповідно властивості литого залізобористого сплаву (рис. 18.1). При чому більш активно ведуть себе представники іттрієвої групи, що пов'язано з активним модифікуючим впливом за рахунок більш високої поверхневої активності даної групи в порівнянні з церією. Навіть в умовах жорстких випробувань на зношування (метал – абразив) зносостійкість сплаву знаходиться на досить високому рівні. Це відбувається внаслідок того, що матриця утримує боридні та борокарбідні включення, не дозволяючи їм виділятися із загальної структури. І в цьому випадку вони не можуть бути додатковими центрами абразивного зношування. Плавку залізобористого сплаву бажано проводити в індукційних пічних агрегатах, що дозволяє оптимально використовувати їх експлуатаційні характеристики і з більшою ефективністю.



а – ітрій; б – іттербій; в – церій. $\times 500$

Рис. 18.1. Вплив РЗМ, що вводиться в якості модифікатора, на зміну структури залізобористого сплаву

Істотне поліпшення структури і властивостей білих чавунів

забезпечується при модифікуванні їх рідкісноземельними металами, а сірих – рідкісноземельними металами і магнієм. Так модифікування РЗМ дозволяє в широких межах змінювати структуру, твердість і фізико-механічні властивості білих та половинчастих чавунів. Дослідним шляхом встановлено, що оптимальною кількістю комплексного модифікатора з вмістом не менше 40,6% рідкісноземельних металів при обробці чавунів є 1,5–2,0%, що відповідає засвоюваності 0,25–0,30% рідкісноземельних металів. У сірому чавуні при литві в кокіль кількість цементиту знаходиться в межах 25,3–27,2%. У вибілених чавунах кількість цементиту зростає від 29,0 до 31,4%, а графіту відсутня. У структурі вибілених чавунів, відлитих в піщано-глинисті форми, частка цементиту знаходиться в межах від 27,7 до 30,0%. Встановлено, що використання Ce і La при модифікуванні доевтектоїдного чавуну робочого шару при утриманні 0,064–0,105% рідкісноземельних металів сприяють формуванню графіту вермікулярної форми. При утриманні 0,122–0,315% рідкісноземельних металів формується компактний і вермікулярний графіт. Показано, що модифікування рідкісноземельними металами не забезпечує отримання графіту кулястої форми для сірого чавуну серцевини, як при модифікуванні магнієм.

18.2 Види модифікаторів та лігатур на основі РЗМ

У практиці ливарного виробництва знаходять застосування сплави РЗМ з добавками церію або ітрію. Це комплексні модифікатори Reseed® (Rd) Inoculant норвезької фірми і лігатури типу ФС30РЗМ30. Однак слід зазначити, що модифікатор Reseed® (Rd) Inoculant – дорогий та неоднозначно впливає на отримання високоміцного чавуну з регульованою часткою карбідної фази.

Комплексні модифікатори серії INSTEEL® (рис. 18.2) для позапічної обробки сталі містять активні елементи Ca, Sr, Ba, РЗМ, Ti, Zr, Ce, La та інші, комбінація і кількісний вміст яких в складі різних видів марок сталей обумовлено конкретними умовами застосування і завданнями, які вимагають рішення в області якості лиття на даному виробництві.

Вплив рідкісноземельних металів на сталь багатопланово і пов'язано не тільки с ефективною глобуляризації неметалевих включень, але і з можливістю змінювати умови затвердіння виливків.

Утворення гідридів РЗМ підвищує корозійну стійкість сталі, а здатність утворення тугоплавких і міцних інтерметалідів з кольоровими металами забезпечує усунення міжкристалічної низькотемпературної та високотемпературної крихкості та підвищує пластичні властивості.

Великий вплив рідкоземельні елементи надають на умови кристалізації металу, змінюючи макро- і мікроструктуру зливків і виливків. Оксиди, сульфіді і нітриди РЗМ, як і інтерметаліди, надають інокулюють вплив на структуру сталі, зміцнюючи її. Добавка РЗМ зменшує сегрегацію ліквіруючих елементів (вуглецю, сірки і фосфору), зменшує величину зони стовпчастих кристалів, розмір рівноосних зерен і відстань між гілками дендритів. Це більш

глибокий вплив на структуру металу, наприклад, істотно підвищує тріщиностійкість зливків, що піддаються подальшому куванню.

Серед **основних видів лігатур на основі РЗМ** слід виділити:

– лігатуру нікель-іттрієву ИтН-1 (ТУ 48-0531-464-93), що містить 8–15% Y, 0,1% Ca, 0,1% Cu, 0,15% Fe, 0,04% Si, 0,0005% Pb, 0,0005% Bi, 0,001% Sn, 0,001 Sb та основа – Ni;

– лігатуру нікель-церій НиЦе-1 (ТУ 1-92-200-2000), що містить 25–30% Ce, 0,1% C, 0,05% Cu, 0,4% Fe, 0,4% O та основа – Ni;

– лігатуру алюміній-іттрій Ал-Ит (ТУ 1712-029-25087982-99), що містить 30–10% Y, 70–90 % Al, 1,6% Ca, 0,2% Cu, 0,5% Fe, 0,25% Si, 0,5% W, 0,5% Ta;

– лігатуру магній-іттрій (ТУ 48-4-479-86), що містить 20–40% Y, 0,02–0,5% Ca, 0,0,1–0,05% Cu, 0,0025–0,05% Ni, 0,01–0,05% Si;

– лігатуру магній-неодим МН (ТУ 48-4-271-91), що містить 25–30% Nd, 0,1% Cu, 0,15% Fe, 0,05% Si, 0,01% Ni, 0,05% Al, 2% сума La+Ce +Pr та основа – Mg;

– лігатуру нікель-бор НБ-1 (ТУ 14-5-106-2004), що містить 10,5% B, 0,08% C, 0,006% S, 0,02% P, 7% Al, 1,5% Si та основа – Ni;

– лігатуру залізо-бор-хром ФХБ-1 (ТУ 14-5-106-2004), що містить 19% B, 43% Cr, 0,8% C, 3% Si, 5% Al та основа – Fe;

– лігатуру алюміній-титан-бор АlТi5В1 (ГОСТ Р 53777-2010), що містить 0,9–0,11В, 4,5–5,5 Ti, 0,15% V, 0,3% Fe, 0,2 %Si, 0,02% Sn, 0,0095% сума Pb+Cd та основа – Al.



Рис. 18.2. Комплексні модифікатори марки INSTEEL®3.2 та INSTEEL®3.3

Також широкого використання набули: лігатура залізо-бор-хром ФХБ-1, лігатура алюмо-берилієва, лігатура алюмо-стронцієва, лігатура алюмо-ванідієва, лігатура мідно-берилієва, лігатура нікель-ніобієва, лігатура тантал-нікель NITA, лігатура нікель-лантан NILA, лігатура нікель-церій NICE, лігатура нікель-ітрій NIY, лігатура гафній-нікель HFNI, лігатура реній-молібден REMB, лігатура тербій-алюміній TBAL, лігатура скандій-алюміній SCAL, лігатура неодим-залізо NDFE.

Розроблено технологію отримання нікелевих лігатур (нікель – 20–25% ітрій, нікель – 20–25% лантан) (рис. 18.3) для виробництва супержароміцних сплавів для літаків 5-го покоління. Технологія включає сплавлення компонентів в дуговій печі з невитратним вольфрамовим електродом і мідним водоохолоджуваним кристалізатором в атмосфері аргону. Технологія дозволяє отримувати сплави високої однорідності і з мінімальною ліквационною неоднорідністю, а також з мінімальним забрудненням в процесі плавки. Лігатура в жароміцний сплав вводиться з розрахунку 0,2% РЗМ. При використанні лігатури засвоюваність РЗМ підвищилася на 40%. Введення рідкісноземельних металів забезпечує в жароміцних сплавах низький вміст домішок (кисню, азоту та сірки) за рахунок повного і стабільного засвоєння РЗМ, які є ефективними раскислителями і десульфурізаторами. Результати випробувань монокристалів сплавів на тривалу міцність, виплавлених з введенням лігатур, показали високі значення часу до руйнування для нового покоління супержаропрочних сплавів.

В якості легуючої добавки до нікелю для підвищення робочої температури в камері згоряння авіаційних двигунів останнім часом використовується рутеній. Застосування лігатури замість чистого рутенію дозволяє підвищити засвоюваність останнього на 10%.



Рис. 18.3. Нікель-лантанова лігатура

Питання для самоконтролю

1. Охарактеризувати вплив природи модифікаторів на основі РЗМ на фізико-механічні властивості сталі та чавуну.
2. Надати характеристику комплексним модифікаторам серії INSTEEL®.
3. Визначити основні види лігатур на основі РЗМ.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Смирнов А. Н. 50 лет непрерывной разливке стали в Украине. *Металл и литьё Украины*. 2010. №7. С. 3–8.
2. Смирнов А.Н. Передовые технологии для непрерывной разливки стали: возможности и проблемы. *Металл и литьё Украины*. 2014. №9(256). С. 3–8.
3. Современные сортовые МНЛЗ: перспективы развития технологии и оборудования. URL: <https://uas.su/articles/continuouscasting/00001.php> (дата звернення: 01.03.2021).
4. ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Прес-релізи URL: <https://ukraine.arcelormittal.com/index.php?id=10&pr=340> (дата звернення: 01.03.2021).
5. Воденнікова О. С., Воденнікова Л. В. Сучасний стан та проблеми безперервної розливки сталі в Україні. Матеріали ХХІІ науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА. Том 1. Металургія та енергозбереження як основа сучасної промисловості. Запоріжжя: ЗДІА. 2017.С. 11.
6. Воденніков С. А., Падалка В. П., Воденникова О. С. Технологія розливання і кристалізації сталі: навч.-метод. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2011. 188 с.
7. Воденнікова О. С. Металургія чорних металів : конспект лекцій для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Металургія» освітньо-професійної програми «Металургія». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2021. 144 с.
8. Основные вопросы охраны труда и техники безопасности при разливке стали на МНЛЗ. URL: <https://uas.su/books/mnlz/7.4/razdel74.php> (дата звернення: 01.03.2021).
9. Сталевыпускной желоб. URL: <https://steeltimes.ru/allmet/casting/ingots/equipment/001.php> (дата звернення: 01.03.2021).
10. Еронько С. П., Быковских С. П. Разливка стали: технология, оборудование: монография. Киев : Техніка, 2003. 216 с.
11. Валуев Д. В. Разливка и кристаллизация стали и сплавов: учебн. пособие. Томск, ЮТИ ТПУ, 2009. 235 с.
12. Смирнов А. Н., Куберский С. В., Шпетан Е. В. Непрерывная разливка стали: учебн. Донецк: ДонНТУ, 2011. 482 с.
13. Огурцов А. П., Величко А. Г., Исаев А. В., Гресс А. В. Непрерывная разливка стали: учебн. пособие. Днепродзержинск: ДГТУ, 1999. 306 с.
14. Бровман М. Я. Непрерывная разливка металлов. Москва: Экомет, 2007. 484 с.
15. Дюдкин Д. А., Кисиленко В. В., Смирнов А. Н. Производство стали. Том 4. Непрерывная разливка металла. Москва : Теплотехник, 2009. 528с.
16. Афтанділянц Є. Г., Зазимко О. В., Лопатько К. Г., Поліщук А. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: конспект лекцій в

и2-х книгах. Київ: НУБіП України, 2016. 125 с.

17. Тимошпольский В. И., Стеблов А. Б., Андрианов Д. Н., Тищенко В. А. Непрерывная разливка подшипниковых сталей. *Металлургия* : республиканский межведомственный сборник научных трудов. Минск : Вышэйшая школа, 2004. Вып. 28. С. 60–67.

18. Современные сталелитейные цехи для производства крупных кузнечных слитков. URL: <https://uas.su/books/2011/kslitok/16/razdel16.php> (дата звернення: 01.03.2021).

19. Устаткування для розливання сталі. URL: <https://kema.at.ua/book9.html> (дата звернення: 01.03.2021).

20. Основи металургійного виробництва металів і сплавів: підручн. / Д. Ф. Чернега та ін.; за ред. Д. Ф. Чернеги, Ю. Я. Готвянського. Київ : Вища школа, 2006. 503 с.

21. Столяров А. М., Селиванов В. Н. Непрерывная разливка стали. Машины непрерывного литья заготовок: учебн. пособие. Москва; Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. 192 с.

22. Лякишев Н. П., Шалимов А. Г. Развитие технологии непрерывной разливки стали. Москва: ЭЛИЗ, 2002. 208 с.

23. Основные преимущества разливки стали на МНЛЗ. URL: <https://uas.su/books/metstali/207/razdel207.php> (дата звернення: 01.03.2021).

24. Пономар О. С., Огурцов А. П. Удосконалення технології безперервного розливання сталі на ВАТ «Дніпровський металургійний комбінат». *Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету*. Технічні науки. 2013. Вип. 1. С. 65–70.

25. Современные сортовые МНЛЗ: перспективы развития технологии и оборудования. URL: <https://uas.su/articles/continuouscasting/00001.php> (дата звернення: 01.03.2021).

26. МНЛЗ для производства круглой заготовки. URL: <https://steeltimes.ru/allmet/casting/continuouscasting/ccm/001.php> (дата звернення: 01.03.2021).

27. Машины непрерывного литья заготовки. URL: <http://epston.ru/lite/liteinye-mashiny/mnlz.html.html> (дата звернення: 01.03.2021).

28. Типы МНЛЗ и их применение. URL: <http://engineeringsystems.ru/proektirovanie-metallurgicheskikh-zavodov/tipi-mnlz-i-ih-preimushchestva.php> (дата звернення: 01.03.2021).

29. Перспективы применения горизонтальных машин непрерывного литья заготовок (ГМНЛЗ). URL: <http://www.nppsm.ru/106009.php> (дата звернення: 01.03.2021).

30. Вертикальная разливка – напрямую о прямых решениях. URL: <https://www.primetals.com/ru/portfolio/nepreryvnaja-razlivka/vertikalnaja-razlivka> (дата звернення: 01.03.2021).

31. Разливка стали в крупные слитки. Разливка в вакууме и защитной атмосфере. URL: <https://uas.su/books/2011/kslitok/54/razdel54.php> (дата звернення: 01.03.2021).

32. Организация работ при разливке стали на МНЛЗ. URL: <https://uas.su/books/metstali/204/razdel204.php> (дата звернення: 01.03.2021).
33. Кристаллизатор МНЛЗ. URL: <https://uas.su/books/mnlz/3.3/razdel33.php> (дата звернення: 01.03.2021).
34. Разливка металла на тонкие слябы и литейно-прокатные модули. URL: <https://uas.su/books/mnlz/6.4/razdel64.php> (дата звернення: 01.03.2021).
35. Процессы производства крупных слитков улучшенного качества. Полунепрерывная разливка слитков. URL: <https://uas.su/books/2011/kslitok/74/razdel74.php> (дата звернення: 01.03.2021).
36. Современные МНЛЗ для получения сляба. URL: <https://uas.su/books/mnlz/6.3/razdel63.php> (дата звернення: 01.03.2021).
37. Литейно-прокатные агрегаты. URL: <https://metallurgist.pro/metallworking/prokat/litejno-prokatnye-agregaty.html> (дата звернення: 01.03.2021).
38. Лекції. Розливка і кристалізація. URL: <https://uadoc.zavantag.com/text/26028/index-1.html?page=11> (дата звернення: 01.03.2021).
39. Вплив технологічних параметрів розливання і кристалізації сталі на якісні показники безперервнолитої заготовки / Е. В. Парусов та ін. *Наукові праці ВНТУ*. 2016, № 2. С. 1–8.
40. Казачков О. І., Мосейко Ю. В., Громак Г. А. Спеціальні феросплави лігатури і модифікатори: навч.-метод. посіб. для студ. спец. 6.05040101 «Металургія чорних металів» всіх форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2013. 112 с.
41. Полішко С. О., Кушнір М. А., Татарко Ю. В., Санін А. Ф. Вплив модифікування на характеристики маловуглецевої сталі Ст1кп та колісної КП-Т. *Наука та прогрес транспорту*. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. 2013. Вип. 3. С. 60–66.
42. Давыдов С. В. Основные типы современных модификаторов для чугуна и стали. *Научно-технические технологии в машиностроении*. 2016. №3. С. 3–11.
43. Модификатор сфероидизирующий для чугуна СфероЛит-П. URL: <https://sferolit.ru/catalog.php?p=32> (дата звернення: 01.03.2021).
44. Модификаторы марки INSTEEL®3.2 и INSTEEL®3.3. URL: <https://npp.ru/product/modifiers-for-steel/insteel-32-33/> (дата звернення: 01.03.2021).
45. Модификаторы. URL: http://www.modificator.ru/ad/2019_Mtp.pdf (дата звернення: 01.03.2021).
46. Смесь шлакообразующая раскислительно-модифицирующая БАРС. URL: <http://mtpg.ru/?page=produkcija&uid=29> (дата звернення: 01.03.2021).
47. Модификаторы для чугуна и стали. URL: <https://sferolit.ru/catalog.php?r=2> (дата звернення: 01.03.2021).
48. Свойства, состав и применение лигатуры. URL: https://pikabu.ru/story/svoystva_sostav_i_primenenie_ligaturyi_7399141 (дата

звернення: 01.03.2021).

49. Мухачев А. П., Харитонова Е. А. Физико-химические основы СВС-процесса получения сплавов на основе редкоземельных металлов. *Металлофизика и новейшие технологии*. 2017. Т. 39. № 10. С. 1395–1409.

50. Слынько Г. И. Влияние комплексных модификаторов на структуру серых и отбеленных чугунов. *Вісник Приазовського Державного Технічного Університету*. Серія: Технічні науки. 2018. № 36. С. 67–75.

51. Ерофеев А. В., Лунев В. В. Влияние природы модификаторов на базе РЗМ и ЦЗМ на неметаллические включения и физико-механические свойства стали 20Л. *Металл и литьё Украины*. 2011. №1(212). С. 24–25.

52. Невар Н. Ф. Роль редкоземельных металлов при модифицировании железобористых сплавов. *Литье и металлургия*. 2009. №(1). С. 155–159.

53. Кропівний В. М., Кузик О. В., Кропівна А. В., Засінець Г. М. Чавун з вермикулярним графітом: навч. посібн.: навч.-метод. комплекс для студентів денної і заочної форм навчання; заг. ред. В.М. Кропівного. Кропивницький : Видавець Лисенко В.Ф., 2019. 222 с.

54. Лигатуры на основе редкоземельных металлов. URL: <http://www.uralredmet.ru/redzem.html> (дата звернення: 01.03.2021).

55. Лигатуры на основе редкоземельных металлов. URL: <https://himbaz.ru/shop/ligatury-na-osnove-redkozemelnykh-metallov/> (дата звернення: 01.03.2021).

56. Hanus A., Hanusova P. Continuous Modification of Cast Iron by the FLOTRET Method. *Archives of Foundry Engineering*. 2012. Vol.12.Is.1. pp. 43–48.

57. Берчук Д. Н., Бубликов В. Б. Исследование особенностей процессов внутриформенного модифицирования чугуна магниевыми лигатурами Fe–Si–Mg (ФСМг–7) и Fe–Si–Mg–Ca (ЖКМК–4). *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії*. 2009. №1(15). С. 55–59.

58. Zych J., Żyrek A. Vermicular cast iron production in the «Inmold» technology (in the Metalpol casting house) and the assessment of its thermal fatigue resistance. *Archives of Foundry Engineering*. 2011. Vol.11, Is.3. pp.255–260.

59. Терновий Ю.Ф., Воденнікова О. С., Білан В. І. Отримання комплексних лігатур на основі марганцю методом розпилення розплаву водою. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. Вип. 1(20). Херсон: ХДМА, 2019. С. 162–167.

60. Алюминиевые лигатуры. URL: <http://orion-nm.ru/ligatura-aljuminij> (дата звернення: 01.03.2021).

Навчальне видання
(українською мовою)

Воденнікова Оксана Сергіївна

РОЗЛИВКА СТАЛІ ТА СПЕЦІАЛЬНІ МОДИФІКАТОРИ, ЛІГАТУРИ

Конспект лекцій
для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра
спеціальності «Металургія»
освітньо-професійної програми «Металургія»

Рецензент *В. О. Скачков*
Відповідальний за випуск *О. Г. Кириченко*
Коректор *О. С. Воденнікова*