Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної магістерської роботи

рівень вищої освіти__другий (магістерський) рівень_____

на тему «Особливості безперервного двостороннього горизонтального розливання при постійному тиску на ливарно-прокатних агрегатах»

Виконав: студент _2_курсу, гр. *8.1364-омт*
___Загорій І.С._____
(ПІБ) (підпис)
спеціальності
____*136 Металургія*_____
(шифр і назва)
спеціалізація
_____
(шифр і назва)
освітньо-професійна програма
*Обробка металів тиском*__
(шифр і назва)

Керівник _Скачков В.О._____
(прізвище та ініціали) (підпис)
Рецензент Нестеренко Т.М.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя - 2025 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра *металургійних технологій, екології та техногенної безпеки*

Рівень вищої освіти *другий (магістерський) рівень*

Спеціальність *136 металургія*
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма *обробка металів тиском*
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри *МТЕТБ*
Ю.О. Бєлоконь

"____" _____2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Загорій І. С.
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Особливості безперервного двостороннього горизонтального розливання при постійному тиску на ливарно-прокатних агрегатах
керівник роботи: *Скачков Віктор Олексійович, д.т.н., професор*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від "27" лютого 2025 року № 319-с
2. Строк подання студентом роботи (проєкта) *19.12.2025 р.*
3. Вихідні дані до роботи (проєкта) *науково-технічна література, періодичні видання за фахом, патентний пошук*
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити: *1 Структура, властивості, способи одержання та розливання сталі; 1.1 Структура та властивості сталі; 1.2 Способи отримання сталей; 1.3 Розливання сталі; 1.4 Прогресивні розливно-прокатні комплекси; 2 Основне обладнання безперервного розливання сталі; 2.1 Типи машин безперервного розливання; 2.2 Структура та призначення основних вузлів МБЛЗ; 2.3 Процеси кристалізації у зоні вторинного охолодження. 3 Особливості технології розливання сталі на МБЛЗ горизонтального типу; 3.1 Машина безперервного двостороннього горизонтального лиття заготовок – МБДГЛЗ; 3.2 Підготовка МБДГЛЗ до розливання; 3.3 Характеристика основного технологічного устаткування;*

3.4 Технологічний процес безперервної двосторонньої горизонтального розливання; 3.5 Оцінка функціональних параметрів безперервнолитого зливка; 3.6 Удосконалення структури та організації підприємств звипуску продукції на основі сталей; 4 Охорона праці та техногенна безпека; 4.1 Основні шкідливі і небезпечні фактори на майданчику непрерывной розливки стали; 4.2 Заходи щодо усунення шкідливих і небезпечних факторів.

5. *Презентаційний матеріал 13 слайдах (на 13 сторінках)*

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
1 Структура, властивості, способи одержання та розливання сталі	*Скачков В.О., професор кафедри*	
2 Основне обладнання безперервного розливання сталі	*Скачков В.О., професор кафедри*	
3 Особливості технології розливання сталі на МБЛЗ горизонтального типу	*Скачков В.О., професор кафедри*	
4 Охорона праці та техногенна безпека	*Скачков В.О., професор кафедри*	
Нормоконтроль	*Бєлоконь Ю.О., зав. кафедри*	

7. Дата видачі завдання: *01.03.2025 р.*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	*Структура, властивості, способи одержання та розливання сталі*		
2	*Основне обладнання безперервного розливання сталі*		
3	*Особливості технології розливання сталі на МБЛЗ горизонтального типу*		
4	*Охорона праці та техногенна безпека*		

Студент *І. С. Загорій*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) *В.О. Скачков*
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота складається з 98 сторінок, 4 розділи, 18 рисунків, 7 таблиць, 17 літературних джерел.

СТАЛЬ, БЕЗПЕРЕРВНЕ РОЗЛИВАННЯ СТАЛІ, ПРОКАТКА, ЗЛИТОК, ОБЛАДНАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, ГОРИЗОНТАЛЬНЕ ЛИТТЯ.

Мета роботи: надати аналіз конструктивно – технологічних схем та розробити технологію безперервного двостороннього горизонтального розливання-прокатки сталі.

Об'єкт дослідження: фізико-хімічні процеси та закономірності при реалізації безперервного розливання – прокатки сталі.

В роботі проведено вибір варіанта безперервного двостороннього горизонтального розливання сталі та запропоновано варіанти практичного процесу виробництва безперервного розливання – прокатки сталі.

Проаналізовані методів розливання сталі у виливниці, у сифони, машинами безперервної заливання: вертикальними, криволінійними, горизонтальними, розливно-прокатними комплексами, показано їх переваги та технологічні недоліки.

Наведено аналіз основного обладнання для безперервного розливання сталі, показано технологічні особливості їх застосування, конструктивні відмінності, порівняльні функціональні характеристики.

Розглянуто принципи роботи у машині безперервного двостороннього горизонтального лиття заготовок – МБДГЛС. Розроблено технологічний процес безперервного двостороннього горизонтального розливання сталі. Запропоновано технологічні підходи та методи підвищення функціональних параметрів безперервнолитого зливка.

ЗМІСТ

ВСТУП 7
1 СТРУКТУРА, ВЛАСТИВОСТІ, СПОСОБИ ОДЕРЖАННЯ ТА РОЗЛИВАННЯ СТАЛІ 9
1.1 Структура та властивості сталі 9
1.2 Способи отримання сталей 12
1.2.1 Киснево-конверторний спосіб одержання сталі 13
1.2.2 Мартенівський спосіб 15
1.2.3 Електрометалургійний спосіб 17
1.2.4 Метод прямого відновлення 18
1.2.5 Електрошлаковий переплав 18
1.3 Розливання сталі 19
1.3.1 Розливання сталі у виливниці 19
1.3.2 Методи безперервного розливання сталі 21
1.4 Прогресивні розливно-прокатні комплекси 30
Висновки до розділу 1 34
2 ОСНОВНЕ ОБЛАДНАННЯ БЕЗПЕРЕРВНОГО РОЗЛИВАННЯ СТАЛІ 35
2.1 Типи машин безперервного розливання 35
2.1.1 Машини безперервного лиття заготовок вертикального типу 35
2.1.2 Машини безперервного лиття заготовок радіального типу 40
2.1.3 Машини безперервного лиття заготовок горизонтального типу 41
2.1.4 МНЛЗ для відлиття заготовок спеціального призначення 44
2.2 Структура та призначення основних вузлів МБЛЗ 50
2.3 Процеси кристалізації у зоні вторинного охолодження 59
Висновки до розділу 2 64
3 ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗЛИВАННЯ СТАЛІ НА МБЛЗ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ТИПУ 65
3.1 Машина безперервного двостороннього горизонтального лиття заготовок – МБДГЛЗ 65

3.2 Підготовка МБДГЛЗ до розливання 67
3.3 Характеристика основного технологічного устаткування 70
3.4 Технологічний процес безперервної двосторонньої горизонтального розливання 76
3.5 Оцінка функціональних параметрів безперервнолитого зливка 81
3.6 Удосконалення структури та організації підприємств з випуску продукції на основі сталей 83
Висновки до розділу 3 88
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 89
4.1 Основні шкідливі і небезпечні фактори на майданчику безперервного розливання сталі 89
4.2 Заходи щодо усунення шкідливих і небезпечних факторів 93
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 96
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ 97

ВСТУП

Порівняно з відомим методом розливання сталі у виливницю при безперервному розливанні можна скоротити не тільки час за рахунок виключення деяких операцій, а й капіталовкладення (на спорудження обтискних станів). Безперервне розливання забезпечує значну економію металу внаслідок зменшення обрізу та енергії, яка витрачалася на підігрів зливка в нагрівальних колодязях. Виняток нагрівальних колодязів дозволило значною мірою позбутися забруднення атмосфери. По ряду інших показників: якості металопродукції, можливості механізації та автоматизації, поліпшенню умов праці безперервне розливання також ефективніше за традиційні способи. Але безперервне розливання має і негативні сторони. Стали деяких марок, наприклад киплячі, не можна розливати за цим методом, малі обсяги розливання сталей різних марок підвищують їх собівартість, несподівані поломки дуже впливають зниження загальної продуктивності.

Мета роботи: надати аналіз конструктивно – технологічних схем та розробити технологію безперервного двостороннього горизонтального розливання-прокатки сталі.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз схем та методів отримання сталі.

2. Розробити технологічні варіанти розливання-прокатки сталі в умовах машин безперервного двостороннього горизонтального розливання.

3. Запропонувати технологію та режими двостороннього розливання.

4. Оцінити можливість організації процесу розливання-прокатки за умов малого підприємства.

Об'єкт дослідження: фізико-хімічні процеси та закономірності при реалізації безперервного розливання – прокатки сталі.

Предмет дослідження: технологія процесу отримання блюмів методом двостороннього горизонтального розливання-прокатки сталі.

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

Наукова новизна:

1. Встановлено залежність функціональних властивостей сталі від фазової структури та хімічного складу.

2. Встановлено вплив двостороннього горизонтального розливу економічну ефективність стали.

3. Визначено умови та варіанти ефективного виробництва процесів розливання-прокатки сталі.

Практичне значення:

1. Проведено вибір варіанта безперервного двостороннього горизонтального розливання сталі.

2. Запропоновано варіанти практичного процесу виробництва безперервного розливання – прокатки сталі.

Апробація результатів роботи: результати досліджень, які включено до кваліфікаційної магістерської роботи, доповіли на конференції кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки.

Структура і об'єм роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 17 найменувань, викладена на 98 сторінках машинописного тексту, включаючи 18 рисунків та 7 таблиць.

1 СТРУКТУРА, ВЛАСТИВОСТІ, СПОСОБИ ОДЕРЖАННЯ ТА РОЗЛИВАННЯ СТАЛІ

1.1 Структура та властивості сталі

З таллю називається сплав заліза з вуглецем і легуючими елементами (легована, високолегована сталь) . Вуглець надає сплавам заліза міцність та твердість, знижуючи пластичність та в'язкість.

Сталі з високими пружними властивостями знаходять широке застосування в машино- та приладобудуванні.

Фазовий склад залізовуглецевих сплавів:

- ферит - твердий розчин впровадження вуглецю в α-залізі з об'ємно-центрованими кубічними гратами;
- α устеніт - твердий розчин впровадження вуглецю в γ-залізі з гранецентрованими кубічними гратами;
- цементит - карбід заліза Fe_3C , метастабільна високовуглецева фаза;
- γ рафіт - стабільна високовуглецева фаза.

Структури залізовуглецевих сплавів:

- ледебурит (евтектична суміш кристалів цементиту та аустеніту, перетворюється при охолодженні в перліт);

- мартенсит (пересичений твердий розчин вуглецю в α-залізі з об'ємно-центрованими тетрагональними гратами);

- перліт (евтектоїдна суміш, що складається з тонких чергуються пластинок фериту і цементиту);

- зорбіт (дисперсний перліт);

- троостит (високодисперсний перліт).

Класифікація сталей. Існує кілька способів класифікації сталей: за призначенням, за хімічним складом, за якістю, структурою, по застосуванню.

За призначенням сталі діляться на конструкційні сталі, корозійно-стійкі (нержавіючі) сталі, інструментальні сталі, жароміцні сталі, кріогенні сталі.

За хімічним складом сталі діляться на низьковуглецеві (до 0,25% С), середньовуглецеві (0,3-0,55% С) і високовуглецеві (0,6-2% С) . Леговані сталі діляться на низьколеговані - до 4% легуючих елементів, середньолеговані - до 11% легуючих елементів і високолеговані - понад 11% легуючих елементів.

Стали, залежно від способу їхнього одержання, містять різну кількість неметалевих включень. Зміст домішок лежить в основі класифікації сталей за якістю: звичайної якості, якісні, високоякісні та особливо високоякісні.

За структурою сталь поділяється на аустенітну, феритну, мартенситну, бейнітну та перлітну. Якщо структурі переважають дві і більше фаз, то сталь поділяють на двофазну і багатофазну.

По застосуванню сталі поділяються: - конструкційні (до 0,8% С);
- інструментальні (до ~2% с);
- нержавіючі (леговані хромом);
- жаростійкі і стали;
- жароміцні сталі;
- високоміцні сталі.

Узагальнені характеристики сталей:
- щільність: 7700-7900 кг/м³ ;
- питома вага: 75500—77500 Н/м³ ;
- питома теплоємність при 20 °С: 462 Дж/(кг·°С) (110 кал/(кг·°С)),
- температура плавлення: 1450-1520 ° С ;
- питома теплота плавлення: 84 кДж/ кг (20 ккал/кг, 23 Вт·ч/кг) ;
- коефіцієнт теплопровідності при температурі 100 °С[5] :
- хромонікельвольфрамова сталь 15,5 Вт/(м·К)
- хромиста сталь 22,4 Вт/(м·К)
- молібденова сталь 41,9 Вт/(м·К)

- вуглецева сталь (марка 30) 50,2 Вт/(м·К)

- вуглецевасталь (марка 15) 54,4 Вт/(м·К)

- розподіл міцності сталі при розтягуванні:

сталь для конструкцій 373-412 МПа

сталь кремнехромомарганцовиста 1,52 ДПа

сталь машинобудівна (вуглецева) 314-785 МПа

сталь рейкова 690-785 МПа

Властивості сталей залежать від їх складу та структури, які формуються присутністю та процентним змістом наступних складових.

Вуглець — елемент, зі збільшенням вмісту якого сталі збільшується її твердість і міцність, у своїй зменшується пластичність.

Кремній і марганець (не більше 0,5 … 0,7 %) істотного впливу властивості стали не надають. Ці елементи вводяться в більшість вуглецевих і низьколегованих марок сталей під час операції розкислення (спочатку - феромарганець, потім - феросиліцій, як дешеві феросплави, що розкислюють).

Сірка є шкідливою домішкою, утворює із залізом хімічну сполуку FeS (сірчисте залізо). Сірчисте залізо у сталях утворює із залізом евтектику з температурою плавлення 1258 К, яка обумовлює ламкість матеріалу при обробці тиском з підігрівом. Зазначена евтектика при термічній обробці розплавляється, внаслідок чого між зернами втрачається зв'язок із утворенням тріщин. Крім цього, сірка зменшує пластичність та міцність сталі, зносостійкість та корозійну стійкість.

Фосфор також є шкідливою домішкою - надає сталі холоднокламкість (крихкість при знижених температурах) [7]. Це тим, що фосфор викликає сильну внутрішньокристалічну ликвацию. Однак існує група сталей з підвищеним вмістом фосфору, так звані - "автоматні сталі", металовироби з яких легко піддаються обробці різанням (наприклад, болти, гайки та ін. на револьверних токарних верстатах-напівавтоматах).

Феррит — залізо з об'ємноцентрованими кристалічними ґратами. Сплави на його основі мають м'яку і пластичну мікроструктуру.

Цементит - карбід заліза, хімічна сполука з формулою Fe3C, навпаки, надає сталі твердість і крихкість. При появі в структурі заевтектоїдної сталі вільного цементиту (при більше 0,8 %) пропадає чіткий зв'язок між вмістом вуглецю і комплексом механічних властивостей: твердістю, ударною в'язкістю і міцністю.

Перліт - евтектоїдна (дрібнодисперсна механічна суміш) суміш двох фаз - фериту і цементиту, містить 1/8 цементиту (точніше - згідно з правилом "важеля", якщо знехтувати розчинністю вуглецю в ферриті при кімнатній температурі - 0,8/6,67) і тому має підвищену міцність і міцність. Тому доевтектоїдні стали набагато пластичніші, ніж заевтектоїдні.

Для покращення механічних та інших характеристик сталей застосовують легування. Головна мета легування переважної більшості сталей - підвищення міцності за рахунок розчинення легуючих елементів у фериті та аустеніті, утворення карбідів та збільшення прожарюваності. Крім того, легуючі елементи можуть підвищувати стійкість до корозії, термостійкість, жароміцність та ін. Крім того, легуючі елементи зменшують критичну швидкість охолодження при загартуванні, що необхідно враховувати при призначенні режимів загартування (температури нагрівання та середовища для охолодження). При значній кількості легуючих елементів може суттєво змінитись структура, що призводить до утворення нових структурних класів порівняно з вуглецевими сталями.

1.2 Способи отримання сталей

Суть процесу переробки чавуну на сталь полягає у зменшенні до потрібної концентрації вмісту вуглецю та шкідливих домішок – фосфору та сірки, які роблять сталь крихкою та ламкою. Залежно від способу окислення

вуглецю існують різні способи переробки чавуну на сталь: конверторний, мартенівський та електрометалургійний.

1.2.1 Киснево-конверторний спосіб одержання сталі

За цим способом окислення надлишок вуглецю та інших домішок чавуну окислюють киснем, який продувають крізь розплавлений чавун під тиском у спеціальних печах конверторах. Конвертер є грушоподібною сталевою пічю, футерованою всередині вогнетривкою цеглою. Він може повертатися довкола своєї осі. Місткість конвертора 50-60 т.

Матеріалом його футерування служить або динас (до складу якого входять головним чином SiO 2 ; має кислотні властивості), або доломітна маса (суміш CaO і MgO), які отримують з доломіту MgCO 3 ; CaCO 3 . Ця маса має основні властивості. Залежно від матеріалу футерування печі конверторний спосіб поділяють на два види: безсемерівський і томасовський.

Безсемерівський спосіб

Безсемерівським способом переробляють чавуни, що містять мало фосфору та сірки та багаті на кремній - не менше 2 %. Під час продування кисню спочатку окислюється кремній з виділенням значної кількості тепла. Внаслідок цього початкова температура чавуну з 1600 К швидко піднімається до 1800-1900 К . З температури 1 8 00 До починається інтенсивне вигоряння вуглецю. Разом з ним інтенсивно окислюється і залізо, особливо до кінця вигоряння кремнію та вуглецю:

$$Si + O\,2\,; = SiO\,2\;\; ; 2C + O\,2\,; = 2CO\uparrow ; 2Fe + O\,2 = 2FeO.$$

Монооксид заліза FeO, що утворюється, добре розчиняється в розплавленому чавуні і частково переходить у сталь, а частково реагує з SiO_2 і у вигляді силікату заліза FeSiO3 переходить у шлак:

$$FeO + SiO_2\,; = FeSiO_3\,.$$

Фосфор повністю переходить із чавуну в сталь. Оксид фосфору P_2O_5 при надлишку SiO_2 не реагує з основними оксидами. Тому фосфористі чавуни переробляти в сталь безсемерівським способом неможливо.

Фізико-хіімічні процеси в конверторі протікають швидко - протягом 10-20 хвилин за рахунок взаємодії кисню повітря, що продувається через чавун, з відповідними речовинами відразу по всьому обсягу розплаву. Під час продування повітрям, збагаченим киснем, процеси прискорюються.

Монооксид вуглецю CO, що утворюється при вигорянні вуглецю, піднімається вгору і згоряє, утворюючи над горловиною конвертора смолоскип світлого полум'я, який у міру вигоряння вуглецю зменшується і зникає після закінчення процесу.

Отримувана сталь містить значні кількості розчиненого монооксиду заліза FeO, який значно знижує якість сталі. Цей факт зумовлює обов'язкове розкислення стали різними способами - введенням феросиліцію, феромарганцю або алюмінію:

$2FeO + Si = 2Fe + SiO_2$; $FeO + Mn = Fe + MnO$; $3FeO + 2Al = 3Fe + Al_2O_3$.

Монооксид марганцю MnO (основний оксид) реагує з SiO 2 і утворює силікат марганцю MnSiO 3 який переходить в шлак. Оксид алюмінію, як нерозчинна за цих умов речовина, теж спливає і перетворюється на шлак. Незважаючи на простоту та високу продуктивність, безсемерівський спосіб не поширений, оскільки він має низку істотних недоліків.

Чавун для безсемерівського способу має бути з найменшим вмістом фосфору та сірки, що далеко не завжди можливо. При цьому способі відбувається значне вигоряння металу. При цьому вихід сталі становить до 90% від маси чавунку та витрачається багато розкислювачів. Значним недоліком є відсутність можливостей та регулювання хімічного складу сталі.

Безсемерівська сталь містить зазвичай менше 0,2% вуглецю і використовується як технічне залізо для дроту, болтів, покрівельного заліза і т.п.

Томасівський спосіб

Томасівським способом переробляється чавун з великим вмістом фосфору (до 2% і більше). Основна відмінність томасівського способу від безсемерівського полягає в тому, що футерування конвертера виконують з оксидів магнію і кальцію. При цьому до чавуну додають ще 15% CaO.

У цьому випадку шлакоутворюючі речовини містять значний надлишок оксидів з основними властивостями. У цих умовах фосфатний ангідрид P 2 O 5 який виникає при згорянні фосфору, взаємодіє з надлишком CaO з утворенням фосфату кальцію, переходить в шлак:

$$4P + 5O_2 \; ; = 2P_2O_5 \; ; \; P_2O_5 + 3CaO = Ca_2(PO_4)_2 \; .$$

У цьому способі реакція горіння фосфору є головним джерелом тепла. При згорянні 1% фосфору температура конвертора піднімається на 150 °C. Сірка виділяється в шлак у вигляді нерозчинного в розплавленій сталі сульфіду кальцію CaS, який утворюється в результаті взаємодії розчинного FeS з CaO за реакцією: FeS + CaO = FeO + CaS. Всі останні процеси відбуваються так само, як і за безсемерівського способу. Недоліки томосівського способу такі ж, як і безсемерівського. Томасівська сталь також маловуглецева і використовується як технічне залізо для виробництва дроту, покрівельного заліза тощо.

1.2.2 Мартенівський спосіб

Мартенівський спосіб відрізняється від конверторного тим, що випалювання надлишку вуглецю в чавуні відбувається не тільки за рахунок кисню повітря, а й кисню оксидів заліза, які додаються у вигляді залізної руди та залізного іржавого брухту.

Мартенівська піч складається з плавильної ванни, перекритої склепінням з вогнетривкої цегли, і спеціальних камер - регенераторів для попереднього підігріву повітря та пального газу. Регенератори заповнені насадкою з вогнетривкої цегли. Коли перші два регенератори нагріваються пічними газами, горючий газ і повітря вдуваються в піч через розпечені третій та четвертий регенератори. Через деякий час, коли перші два регенератори нагріваються, потік газів направляють у протилежному напрямку і т. д.

Плавильні ванни потужних мартенівських печей мають довжину до 16 м, ширину до 6 м і висоту більше 1 м. Місткість таких ванн досягає 500 т сталі. У плавильну ванну завантажують залізний брухт та залізну руду. До шихти додають також вапняк як флюс. Температура печі підтримується в межах 1600-1700 ° С і вище. Вигоряння вуглецю та домішок чавуну в перший період плавки відбувається головним чином за рахунок надлишку кисню в горючій суміші. Після утворення над розплавленим чавуном шару шлаку тепло утворюється за рахунок оксидів заліза:

$$4Fe_2O_3 + 6Si = 8Fe + 6SiO_2;\quad 2Fe_2O_3 + 6Mn = 4Fe + 6MnO;$$

$$Fe_2O_3 + 3C = 2Fe + 3CO\uparrow;\quad 5Fe_2O_3 + 2P = 10FeO + P_2O_5;$$

$$FeO + C = Fe + CO\uparrow.$$

Внаслідок взаємодії основних та кислотних оксидів утворюються силікати та фосфати, які переходять у шлак. Сірка теж перетворюється на шлак як сульфіду кальцію:

$$MnO + SiO_2 = MnSiO_3;\quad 3CaO + P_2O_5 = Ca_3(PO_4)_2;$$

$$FeS + CaO = FeO + CaS.$$

Мартенівські печі працюють періодично. Після відбору сталі пекти знову завантажують шихтою і т.д. Процес переробки чавуну в сталь у мартенах відбувається відносно повільно - протягом 6-7 годин, а для якісних сталей відповідального призначення до 12-14 годин. На відміну від конвертора, в мартенах можна легко регулювати хімічний склад сталі, додаючи до чавуну залізний брухт і руду .

Перед закінченням плавки нагрів печі припиняють, зливають шлак, а потім вводять розкислювачі. У мартенах можна отримувати і леговану сталь. Для цього наприкінці плавки додають до сталі відповідні легуючі сплави. Нині мартенівський метод більшості металургійних виробництв замінюють більш прогресивні методи отримання стали.

1.2.3 Електрометалургійний спосіб

Електрометалуричний спосіб має перед мартенівським і особливо конверторним цілу низку переваг. Цей спосіб дозволяє отримувати сталь дуже високої якості та точно регулювати її хімічний склад. Доступ повітря в електропіч незначний, тому значно менше утворюється монооксид заліза FeO, що забруднює сталь і знижує її властивості.

Температура в електропечі – не нижче 1650 °С. Це дозволяє проводити плавку сталі на сильно основних важко плавляться шлаках при якій найбільш повно видаляється фосфор і сірка. Крім того, завдяки дуже високій температурі в електропечах можна легувати сталь тугоплавкими металами – молібденом та вольфрамом. Проте в електропечах витрачається значна кількість електроенергії – до 800 кВт· год на 1 т сталі. Тому цей спосіб застосовують лише отримання високоякісної спецсталі.

Розмір робочої ємності електропечі становить від 0,5 до 180 т. Футерування печі виконують зазвичай з периклазо-вуглецевого вогнетриву, а зведення печі з магнезито-хромітового вогнетриву. Склад шихти варіюється в широких межах. Іноді шихта складається на 90 % із залізного брухту та на 10 % із чавуну, іноді в ній переважає чавун із добавками у певній пропорції залізної руди та залізного брухту. До шихти додають також вапняк або вапно як флюс. Хімічні процеси при виплавці сталі в електропечах подібні до мартенівських.

1.2.4 Метод прямого відновлення

Останні десятиліття спостерігається стійка тенденція отримання стал і методом прямого відновлення заліза, минаючи аглодоменний металургійний переділ. Пов'язано це з цілим комплексом факторів: технологічність, екологічність, скорочення витрат та циклу виробництва.

Передільний або ливарний чавун у розплавленому або твердому вигляді та залізовмісні компоненти, отримані прямим відновленням (губчасте залізо), складають разом з металевими відходами та брухтом вихідні матеріали для прямого виробництва сталі.

До цих матеріалів додаються деякі шлакоутворюючі добавки, такі як вапно, плавиковий шпат, розкислювачі (наприклад, феромарганець, феросиліцій, алюміній) та різні легуючі елементи.

1.2.5 Електрошлаковий переплав

Виникло багато нових процесів виробництва сталей спеціального складу чи зі спеціальними властивостями. Ці процеси включають дуговий переплав у вакуумі, електронно-променеву плавку та електрошлаковий переплав. У всіх цих процесах сталь виходить з електрода, що переплавляється, який при плавленні починає капати в кристалізатор. Кристалізатор може бути виготовлений цілісним або його днище може бути відокремленим для того, щоб затверділа виливок можна було вийняти знизу. Рідка сталь, отримана вищеописаними процесами, з подальшим рафінуванням або без нього, зливається в ківш.

На цьому етапі до неї можуть бути додані легуючі елементи або розкислювачі. Процес також можна провести у вакуумі, що забезпечує зниження вмісту газоподібних домішок сталі. Сталі, отримані цими процесами, поділяються відповідно до вмісту в них легуючих елементів на "нелеговані сталі" та "леговані сталі" (корозійностійкі сталі або інші види). Далі вони поділяються відповідно до їх індивідуальних властивостей,

наприклад, на автоматну сталь, крем'янисту електротехнічну сталь, швидкорізальну сталь або кремнемарганцевисту сталь.

1.3 Розливання сталі

1.3.1 Розливання сталі у виливниці

Традиційним довгий час вважався так званий сифонний спосіб розливу з використанням шиберного розливного ковша, сифона, виливниць з литниковими системами (рис.1.1.).



Рисунок ок 1.1 – Розливання сталі у виливниць

Напівспокійну сталь розливають як сифоном, так і зверху в наскрізні зливи, що розширюються донизу або в пляшкові. Хороші результати дає застосування швидкісного розливання зверху з лінійною швидкістю підйому металу не менше ніж 1,5 м/хв. У цьому випадку за рахунок швидкого зростання феростатичного тиску можна придушити процес утворення підкіркових бульбашок. Якщо глибина їх залягання вбирається у 3—4 мм, вони видаляються разом із шаром окалини, що утворюється при нагріванні злитків, і погіршують поверхні прокату.

Киплячу сталь розливають як сифоном, так і зверху в наскрізні виливниці, що поширюються донизу. В обох випадках для запобігання заплесканням металу на стінки виливниці та утворення полон на нижній поверхні злитків нижню частину виливниці заповнюють повільно. Надалі швидкість ¬наповнення виливниці при розливі зверху визначається

діаметром склянки сталерозливного ковша, а при розливанні сифоном - перерізом каналів сифонної цегли. При сифонному розливанні перегрітої сталі і за надмірної її окислення можуть відбуватися виплески металу з центрової. У цьому випадку центрову для додаткового розкислення вводять невеликі кількості алюмінію. При розливанні окропу важливим фактором є швидкість підйому металу у виливниці, що визначає товщину здорової кірки в злитку. Швидкість розливу зверху без інтенсифікаторів кипіння зазвичай становить 0,5-1,0 м/хв і за швидкості близько 1,0 м/хв отримують здорову скоринку мінімально допустимої товщини (8-10 мм). Тривалість виливки злитків масою 5-20 т при розливанні сифоном становить 5-12, при розливанні зверху 2-4 хв.

Спокійну сталь розливають і сифоном, і зверху у виливниці, що розширюються вгору з прибутковими надставками. При розливанні зверху струмінь металу прямує строго по центру виливниці. Щоб уникнути розбризкування ¬металу при ударі об дно виливниці розливку починають повільно при неповністю відкритому стопорі. Після утворення подушки з рідкого металу розлив ведуть повним струменем. Швидкість розливу визначається діаметром склянки розливу (40-55мм). Прибуткова ¬частина зливка заповнюється повільно , це сприяє виведенню усадкової раковини в прибуток.

Для сталей, не схильних до утворення поздовжніх тріщин, використовується швидкісна розливка до 4,5 м / хв зі склянкою діаметром 80мм . Тривалість заливання злитків масою від 2 до 20 т становить 0,5-8 хв.

При сифонному розливанні низ виливниці також заповнюють повільно. Надалі швидкість розливання регулюють залежно від виду поверхні металу у виливниці. Зазвичай на поверхні металу утворюється окислена кірка, завороти якої у стінок виливниці формують серйозний дефект зливка. Утворення та зростання кірки інтенсифікуються при малій швидкості розливання, недостатній температурі металу і за наявності в сталі елементів, що легко окислюються (алюмінію, титану, хрому).

Розмір швидкості розливання стали сифоном зазвичай перебуває у межах 0,15—0,7 м/мин. Прибуткова частина зливка, як і при розливанні зверху, наповнюється з уповільненням . Тривалість заливки злитків масою від 1 до 13 т реалізується не більше від 1,5 до 9 хв.

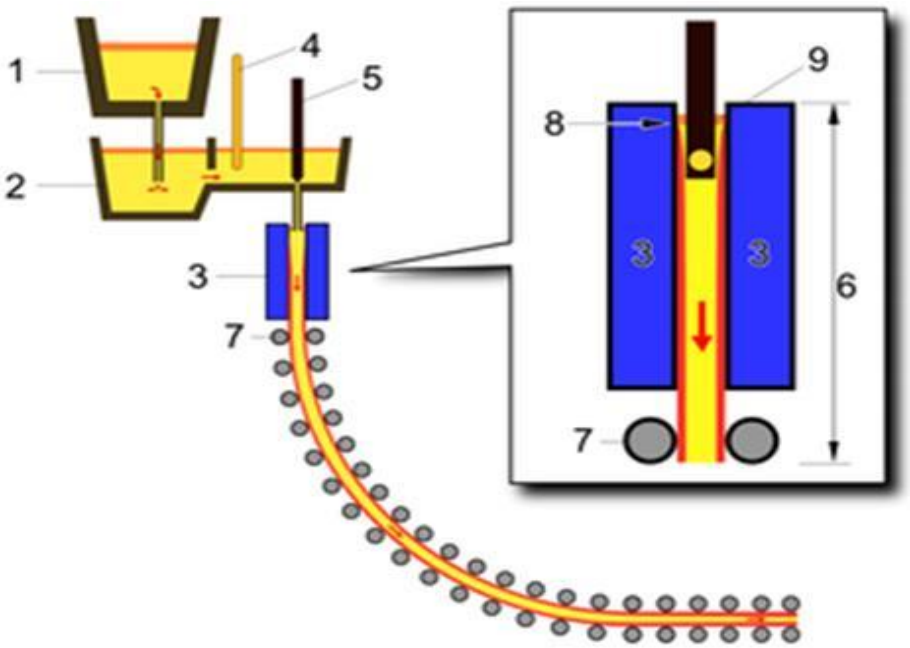
Після закінчення розливу зливка спокійної сталі поверхню металу в прибутковій надставці засипають екзотермічним або теплоізолюючими сумішами. Склад виливниць із затвердіваючими в них зливками витримується в розливному прольоті без руху в межах від 30 хв до 2 год . Необхідність тривалої витримки до транспортування обумовлюється утворенням зональної ліквації , що виникає при струсі кристалізується зливка.

1.3.2 Методи безперервного розливання сталі

Під безперервним розливом стали зазвичай прийнято мати на увазі систему технологій і операцій, які забезпечують квазінеперервний переведення рідкої сталі, що знаходиться в сталерозливному ковші , у твердий стан у вигляді заготовок певної геометричної форми.

Процес безперервного розливання металу забезпечує послідовне (без зупинок) розливання певної кількості ковшів, що подаються від сталеплавильних агрегатів, а заготовка, що отримується, при цьому розрізається на мірні довжини відповідно до вимог споживачів і потім відправляється на перекат у відповідні прокатні цехи. При цьому вихід придатної заготівлі становить 98,5-99,5% маси розлитої рідкої сталі.

Розливання стали безперервним способом здійснюють на спеціальних машинах, званих машинами безперервного лиття заготовок (МНЛЗ) , які мають певну конструкційну архітектуру , що включає поворотний стенд для заміни сталерозливних ковшів, проміжний ківш , кристалізатор , зону вторинного охолодження заготовки (рис.1.2).



1 - ківш подачі рідкого металу, 2 - проміжний ківш, 3 – кристализатор, 4 – заслонка, 5 – стопор, 6 - зона кристалізації, 7 - ролики, що тягнуть, 8 - зона початку кристалізації, 9 - подача води, що охолоджує

Рисунок 1.2 – Загальна схема безперервного розливання сталі

До основних недоліків існуючих технологій безперервного розливання стали можна віднести такі [1, 2], пов'язані безпосередньо зі станом рідкого металу:

1) нестабільність температурних режимів розливання сталі, що викликано відносно тривалим часом перебування розплаву в проміжному ковші і коливаннями температури рідкої сталі, що надходить у промківш, особливо при зміні сталерозливного ковша, і призводить до дефектів поверхні і структури безперервнолитої заготовки [3];

2) керування видачею розплаву в кристалізатор машини безперервного лиття заготовок (МНЛЗ) за допомогою недостатньо надійних механічних пристроїв – стопорних або шиберних затворів, що контактують з рідкою сталлю і потребують наявності системи їх захисту інертним газом для недопущення вторинного окиснення металу;

3) розливання сталі з промківшу під високим металостатичним напором (рівень розплаву в проміжному ковші - 0,7-1,1 м), що обумовлює надходження сталі в кристалізатор МНЛЗ з високою лінійною швидкістю, сприяє великій глибині рідкометалевої лунки, призводить до захоплення газів і неметалічних включень в тіло кристалізованого зливка і вимагає застосування складних і дорогостоящих [4];

4) підведення рідкої сталі в кристалізатор МНЛЗ вузьким струменем по його осі, що при виробництві тонкого широкого слябу вимагає застосування спеціальних конструкцій занурювальної сталерозливної склянки (конструкція типу «бобровий хвіст») та кристалізатора (у верхній частині – сочевицеподібна порожнина) [5].

Зазначені недоліки можуть бути усунені на стадії проміжного ковша у разі використання в якості такого агрегату магнітодинамічного міксера-дозатора рідкого чавуну та сталі конструкції Фізико-технологічного інституту металів та сплавів Національної академії наук України (ФТІМС НАН України) [6]. Такі багатофункціональні електротехнологічні пристрої для ливарного виробництва та металургії не мають прямих аналогів у світі. Магнітодинамічний міксер-дозатор є індукційною канальною піччю, додатково оснащеною електромагнітом. Нині майже всі сталеплавильні комплекси оснащуються машинами безперервного лиття заготовок.

Процес безперервного розливання полягає в тому, що рідка сталь зі сталерозливного ковша надходить у проміжний ківш, а далі в інтенсивно охолоджувану наскрізну форму прямокутного, квадратного, круглого або спеціального фасонного перерізу - кристалізатор, де відбувається часткове затвердіння безперервно. рідкою сталлю за формою та перерізом, що відповідає готовій заготівлі. Частково затверділа заготівля за допомогою транспортуючої системи (кліті, що тягне) надходить у зону вторинного охолодження, де відбувається її повне затвердіння. Отриманий злиток ріжеться на мірні довжини, охолоджується і з допомогою рольгангу чи інших транспортних засобів іде у відповідний прокатний цех чи склад.

При підготовці МНЛЗ до розливання в кожному кристалізаторі за допомогою спеціального пристрою – затравки влаштовується суцільне рухливе дно. Верхній кінець затравки, що має пази, вводиться в кристалізатор, її протилежний кінець знаходиться в зачепленні з пристроєм, що тягне.

МНЛЗ включає в себе в тому числі сталерозливний 1 і проміжний ковші 2, водоохолоджуваний кристалізатор 3, систему вторинного охолодження, пристрої для витягування заготовки з криталізатора, обладнання для різання і переміщення зливка.

Після випуску металу із сталеплавильного агрегату, доведення сплаву за хімічним складом та температурою на агрегаті ківш-піч (АКП), сталерозливний ківш переміщається ливарним краном на поворотний стенд МНЛЗ. Поворотний стенд — конструкція, що обертається, з двома позиціями для установки ковшів. Після спустошення сталерозливного ковша в проміжний ківш у процесі розливання, стенд повертається на 180° і повний, раніше встановлений ківш переводиться в позицію розливу в проміжний ківш. Одночасно спустошений ківш замінюється на повний. Таким чином забезпечується наявність розплавленого металу у проміжному ковші.

Після відкриття шибера ковша 1 рідкий метал починає надходити в проміжний ківш 2. Проміжний ківш є свого роду буфером між сталерозливним ківшем і кристалізатором 3. Рівень металу перед стопором розливу регулюється заслінкою 4. Після відкриття стопора 5 з проміжного ковша метал надходить у кристалізатор. Кристалізатор є водоохолоджуваною конструкцією, яка за допомогою сервоклапану здійснює вертикальні коливання, для запобігання застигання металу на стінках кристалізатора і запобігання утворенню тріщин.

Залежно від конструкції МНЛЗ розміри кристалізатора можуть змінюватись. У кристалізаторі відбувається застигання стінок злитка, що формується (наприклад, квадрата або кола). Далі, під впливом роликів, що

тягнуть 7 сляб потрапляє в зону вторинного охолодження (криволинійний ділянку струмка), де на метал через форсунки розбризкується вода.

Після виходу безперервної заготівлі на горизонтальну ділянку роликового струмка її розрізають на шматки (різання кисневим газовим різаком, дисковою пилкою або ножицями). Газовий різак і пилка працюють за «літаючим» принципом, у процесі різання переміщується зі швидкістю, що дорівнює швидкості руху заготовки, після завершення різання – швидко переміщається у вихідну позицію початку різання для виконання наступної фази циклу різання.

Деякі установки безперервного розливання не мають ріжучих пристроїв, що безперервно діють, в таких установках подальша обробка безперервної заготовки поєднується з подальшою обробкою, наприклад, установками волочіння дроту, або, при невеликих розмірах перерізу (10-30 мм), згортається в бухти для подальшої переробки.

У міру наповнення кристалізатора метал затікає в пази і, швидко твердне, утворює міцне зчеплення із затравкою. Потім включається пристрій, що тягне, і тверда оболонка з рідкою серцевиною витягується в зону вторинного охолодження.

Для утворення міцної твердої оболонки (кірочки металу) стінки кристалізатора виготовляються з матеріалу, що має високу теплопровідність, і інтенсивно охолоджуються водою. Для зменшення тертя між кіркою (оболонкою) твердого металу і стінками кристалізатора, запобігання змочування стінок кристалізатора рідкою сталлю і створення нейтральної або відновлювальної атмосфери на поверхню металу в кристалізаторі подають рідке або тверде мастило у вигляді різних масел, вуглеводнів, а також екзотерм. Поряд з цим для запобігання розриву оболонки та прилипання скоринки металу до стінок кристалізатора останній здійснює зворотно-поступальний рух (качання) за допомогою спеціальних механізмів.

З кристалізатора, як зазначалося, частково затверділий злиток потрапляє в зону вторинного охолодження, що складається з опорних елементів (роликів) і пристроїв, що забезпечують охолодження зливка. Опорні елементи повинні, перш за все, запобігати деформації оболонки злитка та спотворенню її форми під дією феростатичного тиску. Охолодження здійснюється зазвичай зрошенням поверхні зливка водою, витрата якої залежить від марки сталі, що розливається, і швидкості витягування злитка.

Після того, як повністю затверділий злиток у місці з'єднання із затравкою виходить з пристрою, що тягне, затравка від'єднується від зливка і прибирається спеціальним механізмом, а злиток надходить у пристрій для різання.

Після закінчення розливання залишки зливка виводяться з машини, забирається проміжний ківш, проводиться контроль та налаштування дії механізмів та системи охолодження, потім знову вводиться затравка.

Перші напівпромислові (пілотні) установки з'явилися у світі відразу після закінчення Другої світової війни у кількох провідних індустріальних країнах.

Дослідні машини вертикального типу були випробувані в 1946 р. на заводі в місті Лоу Мур (Великобританія), в 1948 р. - на фірмі "Бабкок і Вілкокс" (м.Б івер Фоле, США), в 1950 р. - на фірмі Маннесман АГ (м.Ду. Перша дослідна МНЛЗ вертикального типу ПН-1-2 була випробувана в 1945 р. в інституті ЦНДІчермет і призначалася для відливання заготовок круглого та квадратного перерізів (розмір сторони квадрата та діаметр до 200 мм). Досвід роботи на цій установці дозволив визначити деякі основні особливості технологічного процесу розливання та пов'язані з ними вимоги до конструкції окремих вузлів машини.

Перша горизонтальна МНЛЗ була побудована наприкінці 1949 р. (машина М.Ф.Голдобіна), де протягом п'яти було відлито приблизно 9500 т стали. У 1952 р в мартенівському цеху Бежецького машинобудівного заводу

була запущена дослідно-промислова машина безперервного розливання похилого типу для квадратних заготовок.

У становлення горизонтального і похилого типів набули набагато менше поширення в промисловості, ніж вертикальні, через низку істотних конструктивних проблем і недоліків. Протягом першого десятиліття після початку експериментальних робіт промислове використання процесу безперервного розливання розвивалося відносно повільно . Перші промислові МНЛЗ були запущені в експлуатацію наприкінці 50-х – на початку 60-х років XX століття. Одну з перших промислових слябових МНЛЗ було запущено 30 червня 1960 р. у мартенівському цеху Донецького металургійного заводу. Примітно, що ця машина продовжує працювати і зараз.

Бурхливе поширення та широке використання безперервного розливання стали відбувалося з початку 70-х р.р. у країнах Західної Європи, Японії та США. Так, ще 1970 р. лише 4,5% стали розливалося на МНЛЗ, а 1987 р. цей показник перевищив 50% .

Цьому процесу сприяло економічне зростання, яке спостерігалося у більшості промислово розвинених країн світу, що зумовило швидке впровадження багатьох високоефективних технологічних процесів та стимулювало розвиток нових технологічних підходів у чорній металургії.

На практиці в цей час було реалізовано багато високоефективних рішень щодо конструкції кристалізатора, використання нових витрат , оптимізації роботи зони вторинного охолодження та ін. До кінця 80-х років процес безперервного розливання стали отримав всесвітнє визнання і став визначальним у сталеливарному виробництві. В даний час МНЛЗ успішно працюють більш ніж у 90 державах світу, а їхня загальна кількість перевищує 2000 одиниць.

У більшості країн світу частка сталі, що розливається на МНЛЗ, перевищує 95-97%, а в технологічно прогресивних країнах становить 100%.

В даний час провідними виробниками МНЛЗ у світі, що визначають напрямок розвитку обладнання та технології безперервного розливання, є фірми Siemens-VAI (Австрія, Німеччина), SMS-Demag (Німеччина), Danieli (Італія), Sumitomo (Японія) та ін. В Україні єдиним виробником МНЛЗ є ВАТ «Новрам».

Основними видами безперервнолитої заготовки, які відрізняються геометричною формою, є: сляби – заготовки прямокутного перерізу з великим значенням відношення ширини до товщини; профілі, наприклад, типу "собача кістка". У світовій металургійній практиці промислово виготовляються безперервнолиті заготовки наступних максимальних перерізів: блюм 600х670 мм, коло діаметром 600 мм, сляб завтовшки до 400 мм і сляб завширшки до 3300 мм.

Основні напрями розвитку техніки та технології безперервного розливання стали продовжують фокусуватися на вдосконаленні процесів лиття заготовок традиційних перерізів (сляб, блюм) і на створенні нових МНЛЗ для отримання сортових заготовок квадратного та круглого перерізу, тонких слябів, листа та фасонних профілів, які максимально наближені .

Переваги такого підходу легко встановити шляхом порівняння системи технологій виробництва квадратної заготовки з використанням сортових МНЛЗ з консервативною системою виробництва квадратної заготовки з розливом у виливниці і прокаткою на блюмінгу і великосортному стані.

Помітне збільшення питомої продуктивності сталеплавильних агрегатів (особливо дугових сталеплавильних печей), що спостерігається останнім часом, сприяє розвитку тенденції прискореної модернізації існуючих МНЛЗ з метою підвищення їх продуктивності при одночасному підвищенні якості заготівлі.

Переваги машин безперервного лиття сталі порівняно з розливанням сталі у виливниці обумовлені такими основними факторами:

- підвищення виходу придатного металу із заготівлі за рахунок зменшення головного та донного обрізу на 15-25%;
- зниження рівня капіталовкладень (за рахунок скорочення площ під обладнання на 30-35%, а в деяких випадках до 50%): відпадає необхідність у великому парку виливниць і сталерозливних візків, у застосуванні стриперних кранів і стаціонарних машин для вилучення злитків з виливниць, установок для охолодження та підготовки складів;
- усунення необхідності оснащення заводу обтискним цехом та виконання низки додаткових операцій з обробки металу;
- забезпечення на 20-35% економії сировинних та енергетичних ресурсів (використання МНЛЗ з виведенням з експлуатації обтискних цехів дозволяє зменшити енергоємність продукції на 600-620 МДж/т заготівлі при частці гарячого посаду злитків 90% і на 1550-1600 М0ж/а);
- підвищення продуктивності сталеплавильного цеху за рахунок підвищення виходу придатного та збільшення ритмічності виробництва;
- оптимальне поєднання роботи МНЛЗ з роботою прокатних станів щодо отримання оптимальних геометричних форматів продукції;
- висока якість продукції (підвищення фізичної однорідності зливка, зниження рівня ліквації тощо);
- скорочення на 20-30% чисельності обслуговуючого персоналу;
- високий рівень автоматизації технологічного процесу безперервного розливання сталі, що дозволяє контролювати якість заготівлі у процесі лиття;
- покращення екологічної обстановки за рахунок зниження запиленості виробничого простору, зменшення забрудненості води (вода, що використовується для кристалізатора та механізмів МНЛЗ, циркулює по замкнутих оборотних системах водопостачання) та ін.;
- покращення умов праці (усуваються такі важкі роботи, як прибирання скрапу та бою вогнетривів, укладання сифонних проводок, встановлення виливниць та ін.).

1.4 Прогресивні розливно-прокатні комплекси

Існують дві основні схеми одержання готового прокату з безперервнолитих заготовок: МНЛЗ – чистовий стан; МНЛЗ – заготовочний стан – чистовий стан. Перша схема більшою мірою скорочує цикл металургійного виробництва, проте їй притаманні наступні недоліки: технологічні труднощі отримання заготовок дрібного перерізу (неможливість розливання через занурювальні склянки, використання шлакоутворювальних сумішей і т.д.); обмеження сортаменту прокату в міру зменшення перерізу безперервнолитих заготовок та місткості сталеплавильного агрегату; збільшення числа струмків і, отже, ускладнення конструкції МНЛЗ; зменшення продуктивності МНЛЗ; зниження якості готового прокату внаслідок зменшення сумарного обтиснення.

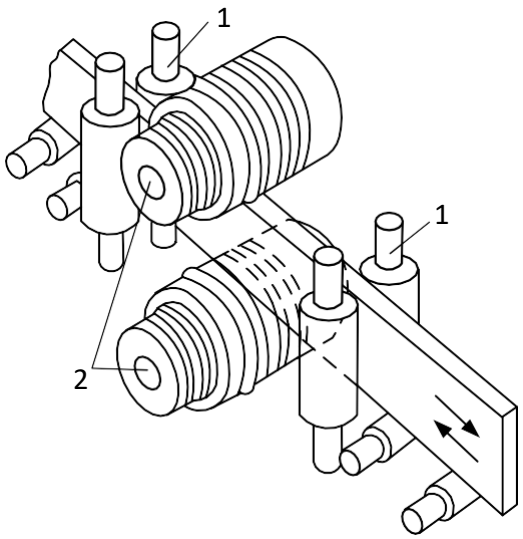
Поєднання безперервного розливання з прокаткою дозволяє усунути перелічені вище недоліки та забезпечити отримання готового прокату по схемою ливарно-прокатний агрегат (ЛПА) - чистовий табір. На ЛПА можна отримувати заготівлі різних розмірів без зниження продуктивності МНЛЗ, так як сталь розливають в кристалізатор одного перерізу, а отримання заготовок замовного розміру забезпечується обтисканням в кліті прокатної. Це створює сприятливі умови для механізації та автоматизації процесу виробництва прокату з рідкої сталі. В результаті обтиснення ущільнюється осьова зона безперервнолитої заготовки, підвищуються її механічні властивості. Однією з причин використання суміщеного процесу в металургії є можливість зменшення ліквації хімічних елементів у готовому прокаті, оскільки в безперервнолитих заготовках не вдається повністю усунути осьову ліквацію. Особливої гостроти ця проблема набуває при відливанні квадратних заготовок зі сталей, схильних до карбідної ліквації (наприклад, підшипникових, рейкових тощо). При суміщенні розливу з прокаткою внутрішня температура заготовки висока, внаслідок чого зменшується опір деформації. У разі обтиснення заготовки після її повного

затвердіння при температурі поверхні 1273 До середній тиск металу на валки становить приблизно 7,8 МПа, а у разі обтиснення з рідкою серцевиною – всього 3,5 МПа. Таким чином, при поєднанні процесів потрібно значно менша потужність обтискного стану при скороченні проходів. Це дозволяє зменшити габарити та масу прокатного обладнання.

Однією з основних проблем, що виникають під час експлуатації ЛПА, є узгодження швидкостей розливання та прокатки. Для отримання на ЛПА якісних заготовок необхідно враховувати низку особливостей, властивих процесу поєднання. Якщо температура осьової зони близька до температури солідуса, то при обтисненні безперервнолитої заготовки, внаслідок малої пластичності металу можуть утворюватися внутрішні тріщини. Невеликий температурний перепад (200 К) залежно від марки сталі, перерізу злитка і т.д. може сприяти збільшенню ступеня деформацій осьової зони.

Обладнання, що застосовується для обтиснення безперервнолитої з р-тової заготівлі при суміщенні, можна розділити на дві групи: з високим ступенем обтиснення (60 %) за один прохід; з мінімальним ступенем обтискання (20 – 40 %) за один прохід. Вартість агрегатів з високим ступенем обтискання значна, тому вони не набули широкого застосування. В даний час в обтискній групі ЛПА застосовують двовалкові кліті з ящиковими калібрами і кліті з послідовно розташованими вертикальними та горизонтальними валками, що мають гладку бочку. Варіантом поєднання МНЛЗ із прокатним станом є метод редукування литих слябів (зменшення їх ширини при прокатці з винесенням клітей за лінію розливу), який дає можливість отримувати практично необмежений сортамент листової та сортової продукції з литих слябів із співвідношенням сторін до 1:8 і більше. Реверсивний редукуючий агрегат найпростішої конструкції включає одну пару валків, що редукують, з калібрами і одну пару гладких валків. Редукувальний стан, що використовується, складається з трьох клітей: двох вертикальних (1) і однієї горизонтальної (2) (рис. 1.2). При проектуванні нового комплексу з МНЛЗ, коли виникає питання про вибір оптимального

перерізу безперервнолитої заготовки, застосування редукуючого стану полегшує це завдання.



1 – вертикальна кліть; 2 – горизонтальна кліть

Рисунок 1.3 – Схема редукуючого стана

Поєднання процесів горизонтального лиття з деформаційною обробкою цілком можливо вважати перспективним напрямом розвитку техніки та технології самої горизонтальної безперервного розливання металургійних та машинобудівних заготовок, оскільки пластична обробка, що виконується без проміжної розрізки злитків і максимально можливим використанням тепла плавильно - ливарного переділу, дозволяє вирішити деякі з перерахованих тут проблем горизонтального лиття.

У порівнянні з вертикальними, радіальними та криволінійними багаторучковими МНЛЗ горизонтальні машини низькопродуктивні і тому нерентабельно їх застосування у малотоннажному виробництві.

Вони можуть стати економічнішими, якщо деформаційну обробку здійснювати без додаткового підігріву зливка перед подачею в деформаційний агрегат. Таким чином, якщо усунути проміжну розрізку, то суміщення безперервного лиття заготовок з деформаційною обробкою вимагає не тільки швидкісного узгодження роботи агрегатів, а також ефективної стабілізації температурного режиму. З кристалізатора МНЛЗ

заготівля виходить із значним градієнтом температури за перерізом і високим рівнем запасеної при плавці енергії. При оперативному контролі та управлінні зоною вторинного охолодження досягається необхідна температура поверхні зливка $П\ t$. У момент завершення кристалізації металу в осьовій зоні зливка фіксується Початковий тепловий стан заготівлі. При цьому температура в центрі перерізу $С\ t$ постійна та дорівнює температурі солідуса; на поверхні температура встановлюється на визначеному рівні охолодження. Якщо відома оптимальна температура деформаційної обробки та допустимий градієнт температури за перерізом, то можна встановити значення температури $П\ t$, при якій на момент входу розглянутого перерізу в зону обтиснення заготівля виявиться рівномірно нагріта до температури гарячої пластичної обробки

Передача литої заготовки на деформаційну обробку, крім економії енергоресурсів, дає можливість позбавитися від значної частини поверхневих дефектів зливка. Досвідчені розливання сталей та сплавів з великим кроком витягування на горизонтальній машині показали, що спаї кроків витягування, неминучі при горизонтальному лиття, перетворюються на окислені тріщини при охолодження литих заготовок повітря.

Нерозкриті і, отже, не окислені спаї не породжують додаткових дефектів при наступної пластичної деформації практично будь-яким способом.

Можливо також кметь на увазі, що при конструюванні ливарно-деформаційного агрегату цілком можливо вирішення проблеми герметизації траси передачі зливка від МНЛЗ до зони пластичної обробки.

Якщо герметизація можлива, то вирішується завдання застосування захисних атмосфер, що знижують або що запобігають окисленню литої заготовки.

Аналіз усіх допустимих за умовами неруйнівного деформування литого металу, прийнятого з горизонтальних МНЛЗ та, отже, ураженого поверхневими дефектами типу спаїв кроків, способів обробки тиском

показав, що найбільш придатним для прямого поєднання є напівбезперервне пресування, бажано зі зворотним закінченням металу.

Висновки до розділу 1

1. Представлено аналіз структури та функціональних властивостей сталі, описані фазові перетворення та вплив фаз на основні параметри сталі.

2. Розглянуто методи розливання сталі, наводяться переваги та недоліки способів одержання сталі: конверторні, мартенівські, електрометалургійні, методи прямого відновлення та електрошлакової плавки.

3. Проведено аналіз методів розливання сталі у виливниці, у сифони, машинами безперервної заливки: вертикальними, криволінійними, горизонтальними, розливно-прокатними комплексами, показано їх переваги та технологічні недоліки.

2 ОСНОВНЕ ОБЛАДНАННЯ БЕЗПЕРЕРВНОГО РОЗЛИВАННЯ СТАЛІ

2.1 Типи машин безперервного розливання

2.1.1 Машини безперервного лиття заготовок вертикального типу

Безперервне розливання сталі здійснюється на машинах безперервного лиття заготовок (МНЛЗ) і може застосовуватися у всіх сталеплавильнихвиробництвах. Найбільшого поширення безперервне розливання набуло в конвертерних цехах.

За конструкцією МНЛЗ для розливання сталі діляться на вертикальні, радіальні та криволінійні та горизонтальні. Більш сучасну конструкцію мають радіальні та криволінійні МНЛЗ. Особливістю таких машин є вигин з певним радіусом кристалізатора, що формує відповідно вигнутий злиток. Після виходу з кристалізатора злиток потрапляє в жорсткий напрямний канал вторинного охолодження, що складається з роликових секцій, і проходить в кристалізації 1/4 кола. Радіус кола вибираєтьсятаким, щоб злиток при переході в горизонтальне положення не містив рідкої фази. Особливістю криволінійних МНЛЗ є вигин зливка зі змінним радіусом. Після переходу в горизонтальне положення безперервно литий злиток випрямляється в правильно тягнуть клітях і розрізається на мірні заготовки.

Машини безперервного лиття заготовок (МНЛЗ) є складними багатомашинними агрегатами з великою кількістю автоматизованих електроприводів, вузлів та систем автоматичного контролю та регулювання. Схема вертикальної МНЛЗ та система автоматики показана на рис. 2.1. Сталь подається зі сталеплавильного відділення в ковші, з якого виливається в проміжний ківш і далі кристалізатор. Злиток із затверділими стінками витягується вниз кліть, що тягне, проходячи зону вторинного охолодження водою. Розрізання зливка на мірні довжини здійснюється автоматичним газорізанням.

Автоматизовані електроприводи приводять в дію кліть, що тягне, механізм гойдання кристалізатора, механізми газорізання, видачі злитків, правильної машини і т.д. Для зручності спостереження та управління механізмами МНЛЗ на щиті автоматики передбачається мнемосхемасигналізацією про стан механізмів та панель аварійної сигналізації. Аварійна і попереджувальна сигналізації сповіщають про відключення механізму гойдання кристалізатора, зупинку клітки, що тягне, затягненому різанні злитка, відсутності приймального візка підйомника під злитком і т.п.

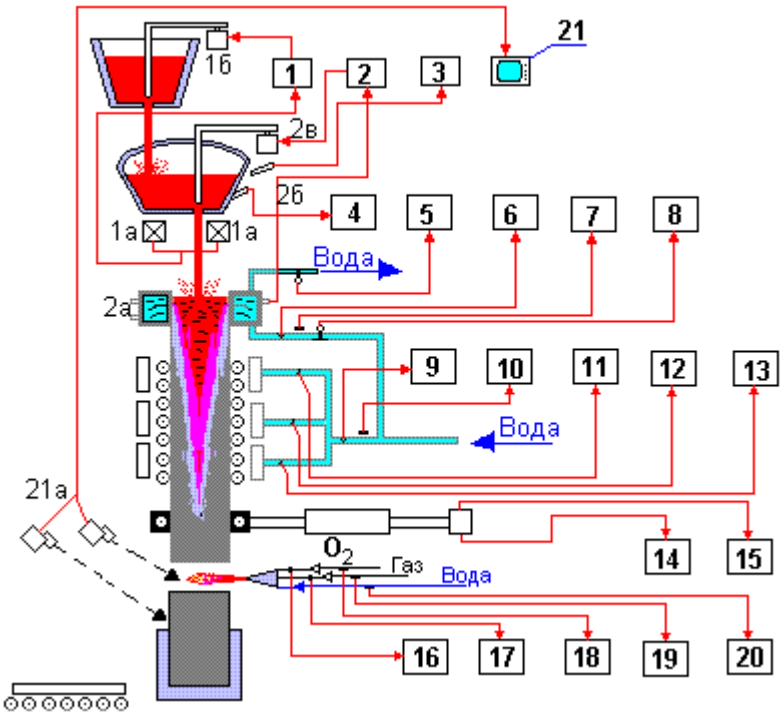


Рисунок 2.1- Схема структури та автоматизації МНЛЗ вертикального типу

Автоматизовані електроприводи приводять в дію кліть, що тягне, механізм гойдання кристалізатора, механізми газорізання, видачі злитків, правильної машини і т.д. Для зручності спостереження та управління механізмами МНЛЗ на щиті автоматики передбачається мнемосхемасигналізацією про стан механізмів та панель аварійної сигналізації. Аварійна і попереджувальна сигналізації сповіщають про відключення механізму гойдання кристалізатора, зупинку клітки, що тягне,

затягненому різанні злитка, відсутності приймального візка підйомника під злитком і т.п.

Установки безперервного розливання стали працюють у стаціонарному режимі та вимагають для підтримки такого режиму досконалої системи автоматичного контролю та регулювання. Відхилення від оптимального режиму розливання, що викликаються технологічними збуреннями, можуть призводити до зменшення продуктивності, погіршення якості сталі та виникнення аварійних ситуацій. Системи автоматичного контролю та регулювання МНЛЗ знижують вплив технологічних збурень, забезпечуютьнайбільш раціональний режим розливання та безпечну роботу агрегату.

Основними функціями системи контролю та регулювання безпосередньо процесу розливання є:

а) контроль та автоматичне регулювання рівнів рідкого металу в проміжному ковші та кристалізаторі;

б) контроль та регулювання витрати води в секціях зони вторинного охолодження;

в) контроль температурного стану конструктивних елементів агрегату з метою усунення аварійних режимів;

г) автоматичне різання зливка на мірні довжини, тобто. на заготівлі заданої довжини.

Контроль та управління технологічними параметрами в процесі розливання забезпечуєрівномірний злив металу та стаціонарний режим його кристалізації, рівномірне відведення тепла зі злитка. Таке управління процесами безперервного розливання забезпечує умови для одержання гарної якості сталі різних марок.

Рівень металу в проміжному ковші (рис.2.1) стабілізується комплектом апаратури, що складається з тензометричних датчиків маси 1а і регулюючого пристрою 1, що управляє приводом стопора ковша 16. При цьому рівень розплаву сталі в проміжному ковші регулюється побічно шляхом стабілізації.

Стабілізація рівня розплаву сталі в кристалізаторі забезпечує стаціонарні умови затвердіння зливка, його гарну якість та безпечну роботу установки. Перевищення рівня металу в кристалізаторі може призвести до переливу сталі на робочий майданчик, а неприпустиме зниження - до прориву рідкого металу із внутрішніх об'ємів зливка через недостатньоскоринку, що оформилася після виходу з кристалізатора. Обидва випадкися аварійними.

Апаратура контуру регулювання рівня складається з радіоактивного рівня, має джерело гамма-випромінювання 2а і приймач 26, регулюючого комплекту 2 і приводу стопора проміжного ковша 2в. Привідхилення рівня металу від заданого значення регулятор опускає або піднімає стопор, тим самим зменшуючи або збільшуючи прохідний переріз зливного отвору днище ковша.

Температура сталі у проміжному ковші періодично контролюється термопарою занурення з реєстрацією на потенціометрі 3. Для спостереження за ступенем прогріву кладки ковша перед наповненням металом у нійвстановлюють термопару з реєструючим потенціометром 4.

При розливанні злитків невеликого перерізу перекриття струменя металу стопором може призвести до його деформації, розбризкування металу по стінках. кристалізатора та погіршення умови утворення якісного зливка. Тому застосовується спосіб регулювання рівня металу в кристалізаторі шляхом зміни швидкості витяжки зливка при постійній подачі рідкого металу з проміжного ковша. В цьому випадку регулятор 2 впливає на привід кліті, що тягне.

Регулювання витрати води по секціях системи вторинного охолодження необхідне організації правильного режиму кристалізації і охолодження металу за висотою зливка та його периметру. Рівномірне охолодження граней зливка усуває можливу його деформацію через температурну напругу. Витрати води по секціях вторинного охолодження контролюються стандартними комплектами 11, 12, 13 з

вимірювальними діафрагмами або ротаметрами як первинні прилади. Зміна витрати води здійснюється дистанційним ручним керуванням регулювальними клапанами на водопроводах.

Тиск і витрати води на кристалізатор і вторинне охолодження контролюються приладами 6, 7 і 9, 10, причому манометри 7 і 10 мають сигнальні контакти для сигналізації про неприпустиме падіння тиску води.

Контроль теплової роботи та температурного стану кристалізатора здійснюється вимірюванням температури води на його виході термометром опору з електронним автоматичним мостом 5. Аналогічним комплектом 8 контролюється температура води на вході кристалізатор. Відлік загальної довжини зливка і мірних довжин здійснюється за допомогою датчиків імпульсів, встановлених на валу редуктора клітки, що тягне, і приладу 14, що включає в себе лічильники імпульсів і показують індикатори. Тахогенератором та приладом 15 визначається швидкість руху металу.

Робота автоматичного газорізання потребує відповідних кількостей газу, кисню та охолоджувальної води. Тиск в лініях, що підводять, контролюється манометричними комплектами зсигнальними контактами 18, 19, 20, а витрати газу та кисню - вимірювальними діафрагмами з приладами 16 та 17.

Для спостереження за роботою окремих вузлів агрегату, наприклад, за роботою газорізання та механізму прийому та видачі відрізаних злитків, застосовується промислова телевізійна установка, що складається з камер та приймача зображення 27. При дослідженні та налагодженні контролюється температура злитка на різних ділянках за допомогою пірометрів випромінювання.

Управління роботою всієї МНЛЗ ведеться з центрального операторського пульта центрального операторського пульта, розташованого на розливному майданчику, пульта газорізання та пульта

управління видачею злитків. З центрального пульта здійснюється дистанційний пуск та зупинка машини, регулюється швидкість витягування зливка, включаються та вимикаються водяне охолодження, механізм гойдання кристалізатора, подача мастила. За відсутності автоматичного регулювання рівнів металу в проміжному ковші та кристалізаторі з центрального пульта оператор дистанційно керує стопорами ковшів. Для оперативного зв'язку між пультами управління МНЛЗ та між установкою та іншими ділянками цеху служить гучномовний зв'язок.

2.1.2 Машини безперервного лиття заготовок радіального типу

Загальна схема структури та автоматизації МНЛЗ радіального типу наведена на рис.2.2.

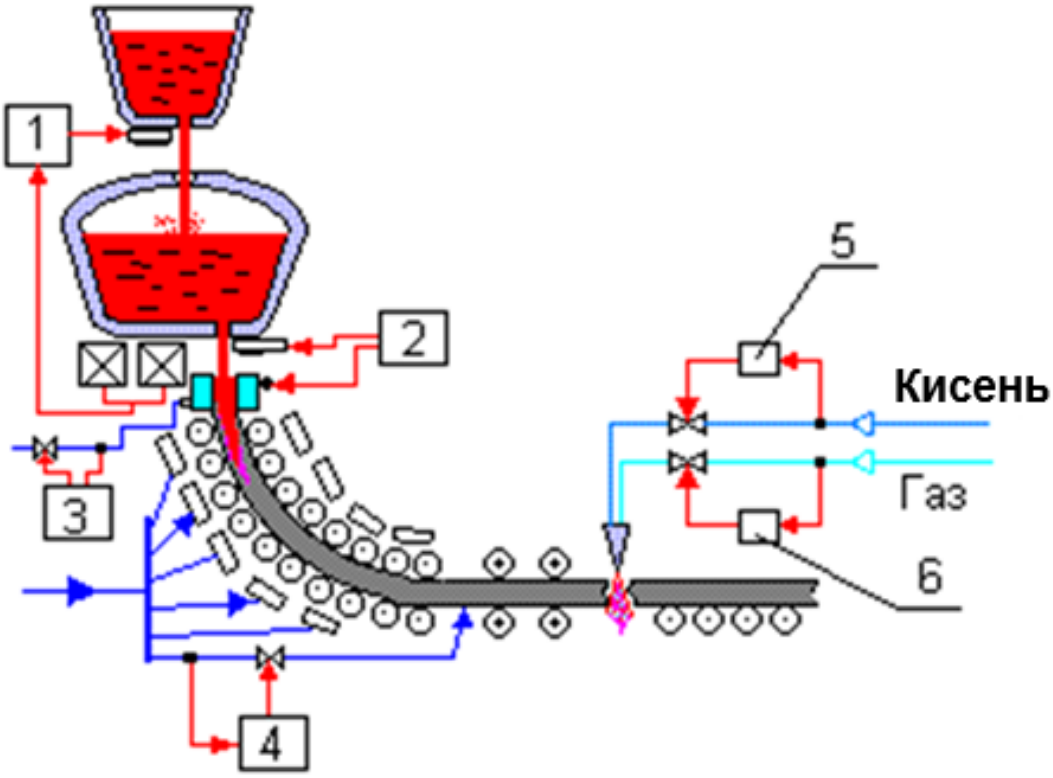


Рисунок 2.2 – Схема структури та автоматизації МНЛЗ радіального типу

Перевагою установок такого типу є менший вертикальний розмір, для цих установок потрібні цехи меншої висоти, знижуються загальні капітальні витрати на спорудження цехів. Основні функції управління, засоби контролю та вузли регулювання для радіальних МНЛЗ подібні до систем, що застосовуються для вертикальних установок.

Рівень металу в проміжному ковші і кристалізаторі регулюється блоками 1 і 2, блоки 3 і 4 призначені для регулювання охолодження кристалізатора і металу, блоки 5 і 6 регулюють витрату газу та кисню на газорізання. Відмінність радіальних МНЛЗ полягає також у тому, для управління зливом металу з розливного ковша в проміжний і з останнього кристалізатор застосовуються не стопорні пристрої, а шиберне. До локальних систем належать:

-САР міксерного відділення сталеплавильного цеху;

-система регулювання рівня металу у проміжному ковші;

-система регулювання рівня металу у кристалізаторі;

-САР теплового режиму кристалізатора;

-САР теплового режиму вторинного охолодження та ін.

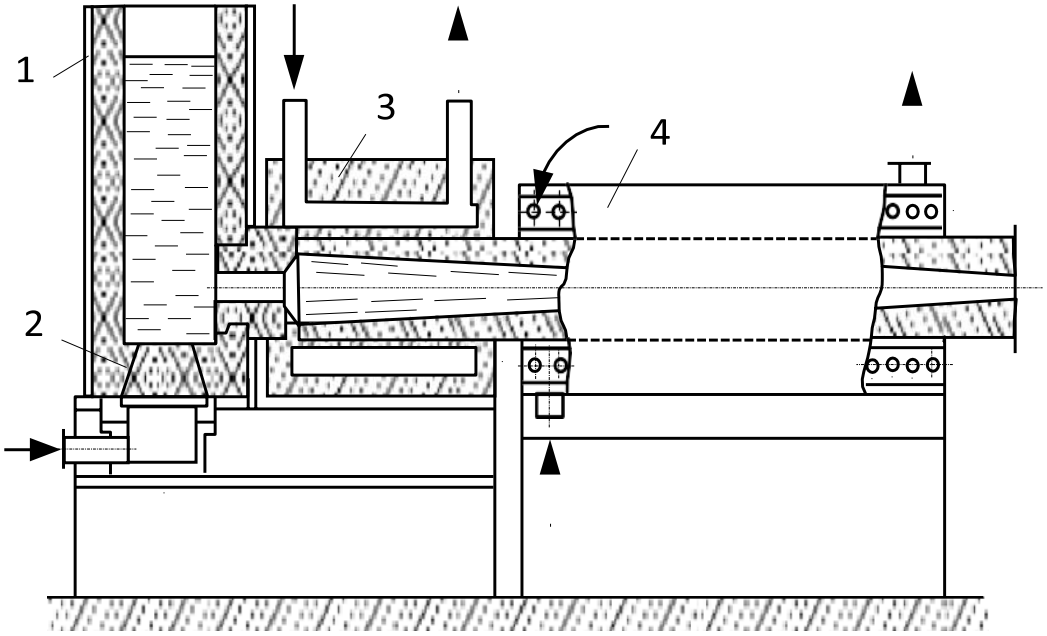
2.1.3 Машини безперервного лиття заготовок горизонтального типу

Установки розглянутих вище типів важко, а часто й неможливо розмістити у існуючих будівлях сталеплавильних цехів. Для відливання безперервних сортових заготовок малого перерізу та широкого сортаменту в цехах з агрегатами малої та середньої ємності розроблені та впроваджуються горизонтальні МБЛЗ. Створення установок горизонтального типу дозволяє вирішувати низку як економічних, і організаційних проблем: 1) зниження капітальних витрат; 2) можливість розміщення установок у діючих цехах, оскільки для цього не потрібне будівництво колодязів та веж; 3) зменшення експлуатаційних витрат завдяки зручності обслуговування, оскільки все обладнання розташоване на

рівні підлоги цеху; 4) можливість поєднання установки безперервного розливання з прокатним станом.

Горизонтальні МБЛЗ краще виконувати похилими. Деякий нахил покращує умови видалення газів із кристалізатора при заливці першої порції металу, а також покращує процес закінчення розливання. При строго горизонтальному положенні кристалізатора і опусканні в кінці розливання рівня меніска в металоприймачі до верхньої кристалізатора, що утворює, необхідний етап припинення розливання і очікування повного затвердіння зливка.

Нині у світі працюють десятки горизонтальних МБЛЗ різних конструкцій. Найбільш поширені конструкції, у яких процес одержання заготовки заснований на принципі періодичного її витягування з нерухомого кристалізатора (рис. 2.3), жорстко з'єднаного через торцеву стінку з металоприймачем. Організація управління циклом витягування



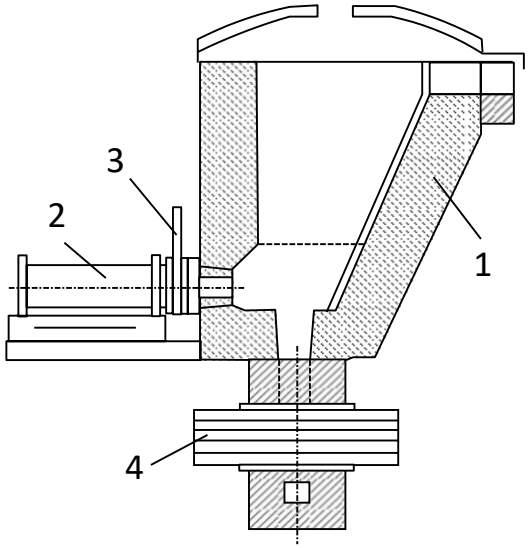
1 – металоприймач; 2 – пориста пробка для продування металу інертним газом; 3 – кристалізатор; 4 – індуктор

Рисунок 2.3. Схема горизонтальної МНЛЗ конструкції УкрНДІмету

– зворотний хід на окремих установках відрізняється. Частота циклу досягає 200 цикл/хв (іноді до 300 цикл/хв, що потребує особливої уваги до якості виготовлення обладнання).

Відповідальними вузлами горизонтальної МБЛЗ є металоприймач, кристалізатор та з'єднання металоприймача з кристалізатором. Місткість та конструкція металоприймача повинні забезпечити: 1) стабільну подачу металу в кристалізатор; 2) умови для спливання неметалевих включень; 3) запобігання вторинному окисленню металу; 4) можливість припинення подачі металу в кристалізатор у будь-який момент розливання (припинення розливання, аварійна ситуація тощо).

На рис. 2.4 показано схему металоприймача МБЛЗ, забезпеченого шиберним затвором, індуктором та кришкою. Однією з найбільш відповідальних деталей МБЛЗ є так зване кільце розділення, що з'єднує металоприймач з кристалізатором. До матеріалу цієї деталі пред'являють особливо високі вимоги, оскільки крім високої точності розмірів ця деталь повинна мати високу термічну стійкість, стійкість до руйнувань, налипання металу та включень, низький температурний коефіцієнт лінійного розширення та інші властивості.



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

Рисунок 2.4. Схема металоприймача горизонтальної МБЛЗ

Зазвичай для виготовлення розділових кілець використовують такі дорогі та дефіцитні матеріали, як порошки нітриду бору (BN), іноді нітриду кремнію (Si3N4), випробовують нові матеріали типу SIALON (SixAIyONz). Витрати на виготовлення та експлуатацію розділових кілець суттєво впливають на економічність роботи МБЛЗ. Більш дорогим, ніж звичайних МБЛЗ, є і кристалізатор МБЛЗ. Типи та конструкції кристалізаторів різні. На деяких МБЛЗ використовують стабілізатори із кількома (наприклад, трьома) зонами тепловідведення.

Перша зона – кільце з нітриду бору, друга (утворення скоринки заготовки) – з мідно-берилієвого сплаву з високою твердістю та зносостійкістю, третя – графітова вставка. Оскільки теплопровідність графіту нижча, ніж міді, забезпечується рівномірний розподіл температур перерізу заготовки. Графіт зменшує також сили тертя між заготовкою та кристалізатором.

Схема утворення скоринки при кристалізації в горизонтальній МНЛЗ відрізняється від схеми, характерної для вертикальних кристалізаторів. Вищий, ніж у вертикальних кристалізаторах, феростатичний тиск забезпечує кращий контакт із металом горизонтального кристалізатора. У зв'язку з цим інтенсивність відведення тепла від металу у горизонтальному кристалізаторі вища (приблизно в 1,5 раза); відповідно довжина горизонтальних кристалізаторів зазвичай менша, ніж вертикальних (коефіцієнт затвердіння сталі в горизонтальних кристалізаторах досягає 26 – 30 мм/хв).

2.1.4 МНЛЗ для відлиття заготовок спеціального призначення

В даний час є МБЛЗ для вплавлення заготовок спеціального призначення. У зв'язку зі складним перерізом заготовки ускладнюється конфігурація кристалізаторів (рис. 2.5). При дотриманні оптимального режиму вторинного охолодження та ефективного утримання всіх елементів профілю балкової заготовки виливок таких заготовок має переваги перед

традиційною технологією: покращення якості поверхні заготовки; скорочення центральної пористості та серпорідності заготовок; підвищення прямолінійності торців порізаних заготовок; скорочення обсягу зачистки готових балок; підвищення виходу придатних балок на 3%. Недоліки процесу такі: кількість змінних кристалізаторів залежить від кількості типорозмірів заготовок; під час виробництва понад 1 млн. т/р число МБЛЗ зростає; заготовки обмеженого сортаменту складуються; балкові заготовки придатні для отримання балок завширшки понад 0,30 м.

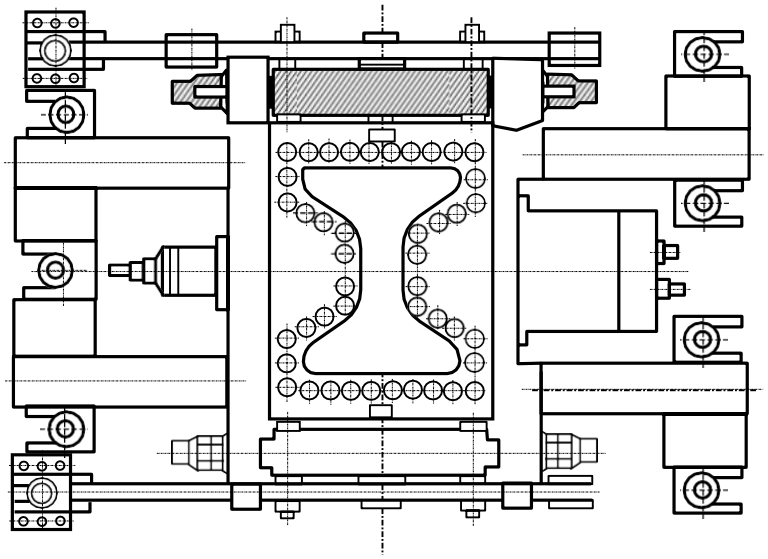


Рисунок 2.5 - Схематичне уявлення кристалізатора для балочної заготівлі

*Відцентрове безперервне розливання*характеризується тим, що заготівля, що має рідку серцевину, в процесі розливання обертається під дією валків, що тягнуть, синхронно з кристалізатором. Таке розливання має ряд переваг: рідка сталь притискається під дією відцентрової сили до стінок кристалізаторів по всьому їх периметру, що забезпечує формування заготовки, що має гладку поверхню і рівномірну товщину затверділої оболонки; шлак, що утворюється в процесі розливання під дією відцентрової сили, накопичується в центрі увігнутого дзеркала металу, що

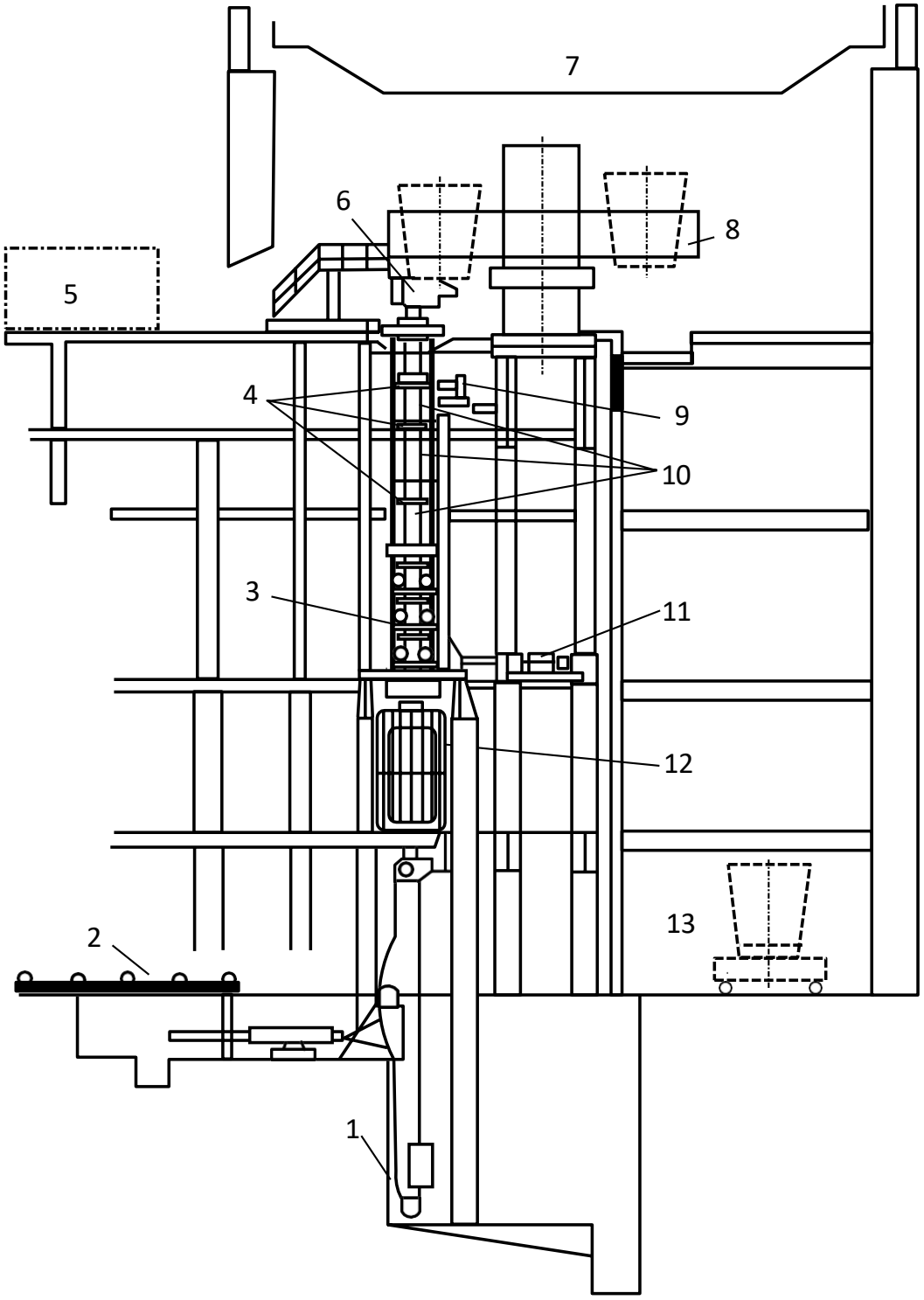
полегшує його видалення, внаслідок чого усуваються поверхневі дефекти заготівлі у вигляді шлакових включень; завдяки обертанню заготовки для її рівномірного вторинного охолодження достатньо мати кілька рядів водяних форсунок, розташованих по висоті вздовж однієї заготівлі, що утворює поверхні. Це забезпечує відсутність дефектів, пов'язаних з нерівномірним охолодженням, та одержання щільної структури заготівлі.

Установка (рис. 2.6) має такі особливості. Метал із проміжного ковша подається в кристалізатор за дотичним до напрямку його обертання. Для подачі металу можна використовувати два способи: за допомогою шаботу або зігнутої труби (рис. 4.12). Причини, що зумовили застосування шабота: під час використання шабота забезпечується серійне розливання, оскільки шабот можна швидко замінити у разі розмивання розливної склянки; забезпечується роздільне регулювання подачі металу в кожен кристалізатор; забезпечується одночасне розливання заготовок різних розмірів (діам. 0,120 – 0,240 м).

1) Кристалізатор через щільне прилягання заготовки до його стінок забезпечує високу інтенсивність тепловідведення, тому має незначну довжину (0,455 м). Гойдання кристалізатора здійснюється механізмом зворотно-поступального руху.

2) Система вторинного охолодження включає водяні форсунки та опорну систему, що складається з трьох рядів вертикальних роликів.

Характерною особливістю структури заготовок, відлитих на відцентровій МБЛЗ, є розвинена зона рівноосних кристалів. Утворення розвиненої зони рівноосних кристалів можна пояснити не стільки обертанням злитка, скільки дробленням і поділом стовпчастих кристалів під дією струменя металу, що надходить у кристалізатор під кутом до затвердіючої оболонки злитка. Оскільки виходить розвинена зона рівноосних кристалів, осьова пористість не набуває значного розвитку.



1 – кантувальник; 2 - відвідний рольганг; 3 - кліть, що тягне; 4 – напрямні ролики; 5 – пост управління; 6 – проміжний ківш; 7 – розливний кран; 8 – поворотний стенд; 9 – механізм гойдання кристалізатора; 10 – ЗВО; 11 - привід клітки, що тягне; 12 - пила гарячого різання; 13 – сталевозний візок

Рисунок 2.6. Схема відцентрової МБЛЗ

Варіант таких установок – МБЛЗ конвеєрного або «гусеничного» типу. Однією з перших установок конвеєрного типу була установка інженера М.Ф. Голдобіна (рис. 2.7), спроектована 1946 р. і побудована 1950 р.

На установках стрічкового типу метал із ковша через металоприймач безперервно надходить у простір між нескінченною стрічкою та колесом. Внутрішня поверхня стрічки і зовнішній обід колеса являють собою кристалізатор, в якому сталь, що безперервно заливається, повинна встигнути закристалізуватися. Установки такого типу використовують для отримання профілів невеликого перерізу (наприклад, дроту чи тонкої стрічки).

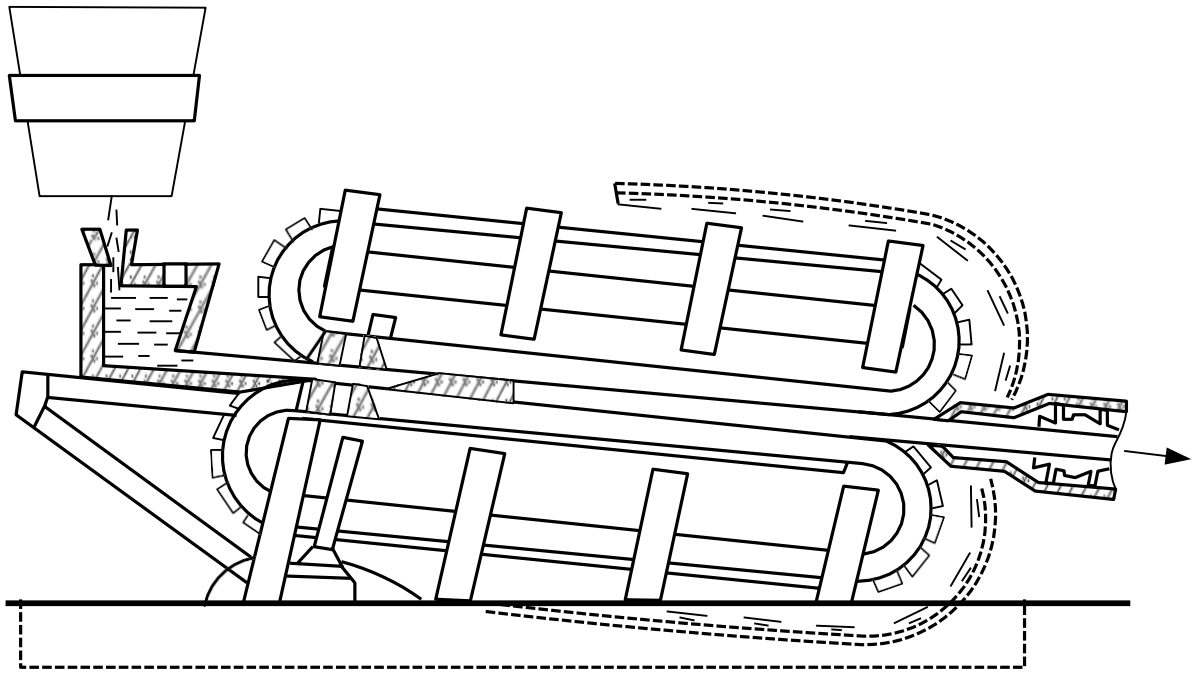


Рисунок 2.7- Схема розливальної машини конвеєрного типу

Технологія виливка порожнистих заготовок дозволяє отримувати безперервним способом заготівлі великого діаметру. Спосіб безперервного розливання порожнистих заготовок дозволяє істотно скоротити витрати по переділу при виготовленні труб, у порівнянні з відомим способом прошивки

трубних заготовок на автоматичних та пілігримних станах. При прошивці заготовок на пресі обмежується їх маса, а, отже, і маса труби, оскільки існує максимальне співвідношення між довжиною заготовки і діаметром пуансона, що дорівнює 7:1, яке не можна перевищувати через появу ексцентриситету між внутрішнім і зовнішнім діаметрами заготовки. Безперервнолиті порожнисті заготовки можуть мати практично будь-яку довжину за будь-якого поперечного перерізу, що дозволяє прокатувати дуже довгі труби, що мають значну товщину стінки. Збільшення довжини труби дає можливість скоротити відходи на головний та хвостовий обріз, що збільшує вихід придатного.

Тонкослябові установки безперервного розливання сталі

При спорудженні цих установок використовується принцип поєднаних процесів виливки та прокатки листових заготовок великої довжини, тобто. двох технологій – безперервного лиття заготовки, поперечний переріз якої наближається за параметрами до розмірів готового виробу, та безпосереднього поєднання процес розливання з прокаткою тонкої смуги. Схематично це можна уявити таку: безперервне лиття тонких заготовок → поділ смуги → підігрів, вирівнювання температури, → гаряча прокатка, → охолодженняня, → смотка.

Відомі різновиди суміщених процесів лиття та прокатки листових заготовок містяться в таблиці 2.1.

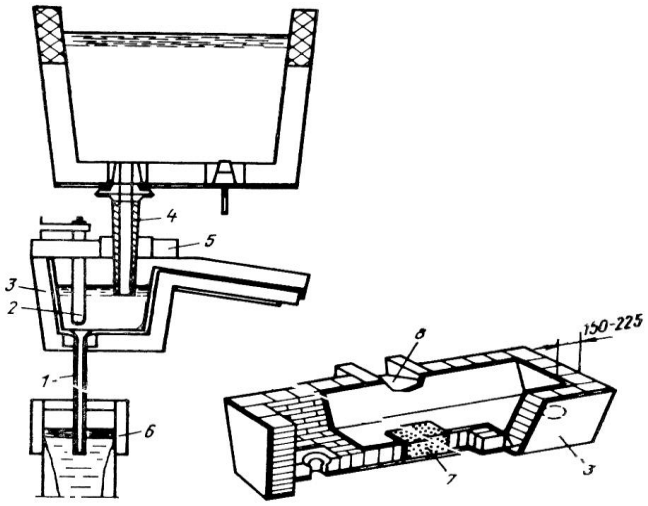
Виробничу схему з литтям тонких слябів, вперше застосовану на міні-заводі з орієнтацією на продукцію класу В, і вихід на ринок гарячекатаної листової сталі тут розглядають як процес першого покоління. Розроблена пізніше схема лиття слябів середньої товщини, орієнтована продукції класу А і вище, розглядається як процес другого покоління.

Таблиця 2.1 - Поєднані процеси лиття та прокатки листових заготовок

Процес	Фірми, які беруть участь у розробці процесу
Compact Strip Production (CSP)	Schloemann-Siemag, AG (SMS)
Inline Strip Production (ISP)	Mannesmann Demag, Huttentechnik (MDH)
Thin SlabCast Rolling (TSCR)	Acciaeria Tubificio, Arvedi SpA
Continuous Thin SlabCasting and Rolling (CONROLL)	Voest-Alpine Industrieanlagenbau (VAI)
Casting Pressing Rolling (CPR)	Thyssen Stahl AG, Schloemann-Siemag AG (SMS), Usinor Sacilor
Flexible Thin Slab Conticaster (FTSC)	Danieli & CSpA

2.2 Структура та призначення основних вузлів МБЛЗ

Сучасна МБЛЗ складається з наступних елементів і вузлів: сталерозливного стенду; проміжного ковша; візки або стенда для проміжного ковша; кристалізатора; механізму зворотно-поступального руху кристалізатора; опорних елементів та пристроїв зони вторинного охолодження; пристрої для транспортування зливка; затравки; механізму для введення та збирання затравки; пристроїв для різання безперервнолитого зливка на заготівлі мірної довжини; пристрої для збирання та транспортування заготовок до прокатного цеху та у відділення обробки заготовок; пристрої для подачі твердого або рідкого мастила; обладнання для подачі води у кристалізатор; зону вторинного охолодження та на охолодження елементів МБЛЗ; електроустаткування; засобів контролю та автоматизації.



1 – занурювальна склянка; 2 – стопор; 3 – проміжний ківш; 4 – захисна труба; 5 – кришка; 6 – кристалізатор; 7 – ділянка струменя (бійне місце); 8 – аварійний злив

Рисунок 2.8 – Схема влаштування проміжного ковша

Проміжний ківш, з однією (або декількома) склянкою зі стопором, забезпечує постійний по ходу розливу і невеликий напір струменя металу, що надходить в кристалізатор (за рахунок підтримки в ковші постійного рівня металу заввишки 0,6-1,2 м), регулювання стопором швидкості подачі металу в кристалізатор, подачу розливання за методом «плавка на плавку». Проміжний ківш виконується звареним (див. малюнок 29) із сталевих листів, футерованим вогнетривкими матеріалами. Для зменшення теплових втрат він має кришку, футеровану цеглою або набивну вогнетривку масу.

Для захисту металу від вторинного окиснення використовуються занурювальні склянки та захисні трубки (див. малюнок 2.4). Занурювальні склянки призначені для захисту металу на ділянці проміжний ківш - кристалізатор. Захисні труби використовуються для захисту металу від контакту з повітрям на ділянці сталерозливний ківш – проміжний ківш та виготовляються із шамотографіту або плавленого кварцу.

*Кристалізатор – мідна порожня водоохолоджувана форма, в якій формується профіль БЛЗ. Д*олжен забезпечити швидке формування досить

товстої та міцної кірки зливка без дефектів. Для забезпечення інтенсивного тепловідведення стінки кристалізаторів роблять водоохолоджуваними, а внутрішню частину, що стикається з рідким металом, виконують з високотеплопровідної міді.

Внутрішня стінка кристалізатора працює у важких умовах (контакт з високотемпературним розплавом, стирання, що стирає дію, вплив феростатичного тиску і т. д.). З метою підвищення температури розміцнення мідь іноді легують хромом або сріблом, а підвищення зносостійкості на робочу поверхню наносять тонкий шар стійких до стирання матеріалів. Щоб уникнути випадання в каналах нерозчинного осаду, вода не повинна нагріватися вище 40 °С, а щоб забезпечити інтенсивне тепловідведення, швидкість потоку води повинна дорівнювати 5—10 м/с. Витрата води становить близько 90 м3/год. на 1 м периметра порожнини кристалізатора.

На МБЛЗ застосовують кристалізатори трьох типів: збірні, блокові та гільзові. Всі вони в залежності від форми технологічної осі МБЛЗ можуть бути прямолінійними та радіальними. Найбільшого поширення набули збірні кристалізатори, що складаються з чотирьох мідних робочих стінок, кожна з яких кріпиться шпильками до жорсткої сталевої плити (див. рис. 2.9). Робочі стінки виконують з товстих (50-70 мм) мідних пластин (при малій товщині 10-20 мм відбувається їх жолоблення, що призводить до утворення поздовжніх тріщин у кірці злитка). Стійкість кристалізаторів (без зносостійких покриттів) становить 100-150 великовантажних плавок.

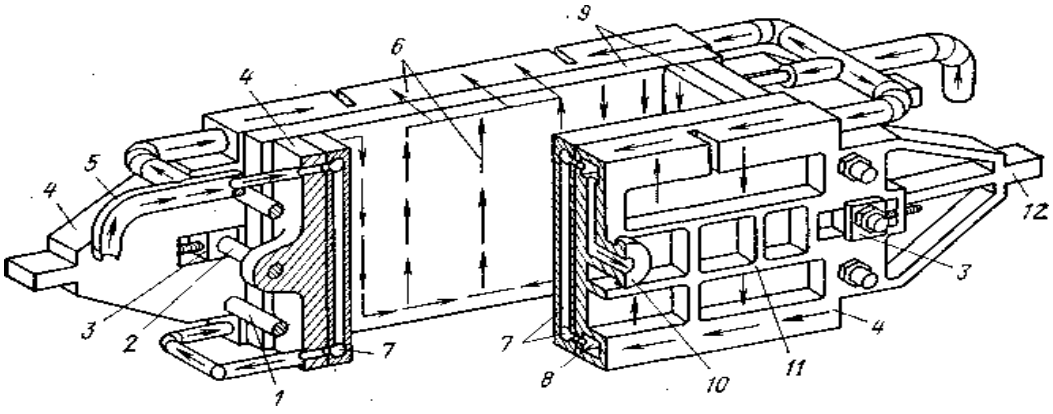


Рисунок 2.9 - Схема збірного кристалізатора МБЛЗ

Характерною особливістю збірного кристалізатора є можливість зміни ширини заготівлі, що відливається. Це досягається переміщенням вузьких стін, вставлених між широкими за допомогою різних механічних або електромеханічних приводів.

Блокові кристалізатори виготовляють із суцільної мідної заготовки, гільзові — із мідних цільнотягнутих труб. Ті та інші використовують при виливку злитків невеликого перерізу та прямолінійної форми.

Якість зливка значною мірою визначається міцністю первинної скоринки. При слабкій скоринці можливий її розрив у результаті тертя стінки кристалізатора при витягуванні зливка або випукування в зоні вторинного охолодження. Зазвичай її товщина на виході із кристалізатора становить 15-25 мм. Збільшення товщини скоринки може бути досягнуто зменшенням швидкості витягування або збільшенням висоти кристалізатора. Однак у першому випадку знижується продуктивність установки, а в другому збільшується тертя між зливком і стінками кристалізатора, а також зростає небезпека жолоблення кристалізатора. Залежно від перерізу заготовки довжина кристалізатора становить 700-1100 мм. Щоб злиток більш тривалий час стикався зі стінками кристалізатора, внутрішній профіль кристалізатора іноді виконують із зворотною конусністю (тобто нижній переріз дещо менший за верхній).

Для зменшення тертя зливка зі стінками кристалізатора між ними подається мастило у вигляді різноманітних олій, парафіну або шлакових сумішей.

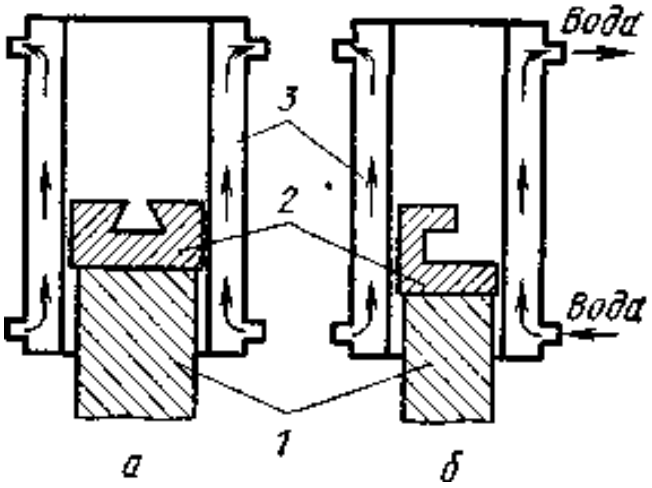
Досвід експлуатації МБЛЗ показали, що в результаті прилипання скоринки зливка до стінки кристалізатора, а також внаслідок короблення можливе зависання злитка кристалізатора. При цьому утворюються розриви скоринки, що не тільки погіршує поверхню злитка, а може бути причиною аварії. Для запобігання зависанню зливка, полегшення введення мастила між зливком і стінкою кристалізатора та забезпечення зварювання розривів скоринки, кристалізатору повідомляється зворотно-поступальний рух за допомогою механізму гойдання кристалізатора.

*Механізм хитання кристалізатора*повідомляє йому зворотно-поступальний рух з метою запобігання розривам та зависання кірки зливка на стінках кристалізатора. Ексцентрики або кулачки, що обертаються електродвигунами, через систему важелів забезпечують гойдання рами, на яку встановлюють кристалізатор.

Швидкість переміщення кристалізатора вгору і вниз змінюється в наступній послідовності: вниз він опускається зі швидкістю руху злитка, а вгору - утричі більшою швидкістю. Амплітуда гойдання змінюється в межах від 1 до 40 мм, частота - від 10 до 600 циклів за хвилину.

Затравка призначена для витягування перших метрів зливка, що відливається. На вертикальних і горизонтальних машинах затравка є металевою штангою, а на машинах з криволінійною віссю вона виконана з шарнірно з'єднаних ланок. Затравка має голівку, в якій є поглиблення у вигляді «ластівчиного хвоста» або Г-подібної форми (див. малюнок 2.10); переріз головки затравки відповідає перерізу зливка, що відливається. Перед початком розливу затравку вводять в кристалізатор і її головка утворює тимчасове дно, а низ затравки знаходиться в валках, що тягнуть. Метал, що заливається в кристалізатор, застигає в поглибленні головки, забезпечуючи зчеплення затравки зі злитком. При включенні валків, що тягнуть, затравка

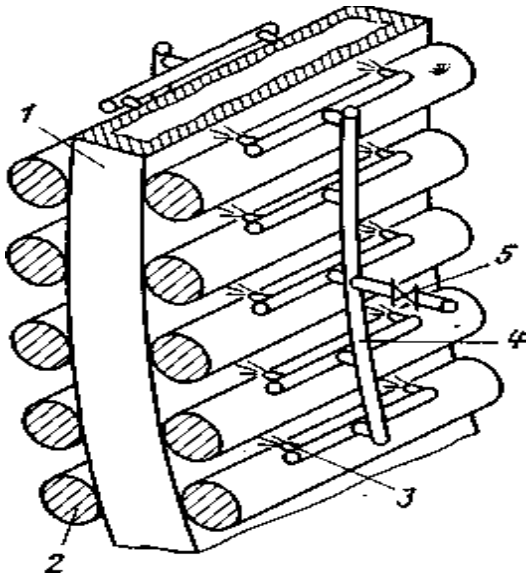
починає рухатися вниз і тягне за собою злиток. Після виходу затравки з валків, що тягнуть, її відокремлюють від зливка.



1 - затравка; 2 - головка затравки; *3* -кристалізатор

Рисунок 2.10 - Затравка в кристалізаторі перед початком розливу: а - з головкою типу «хвост ластівки»; б - з Г-подібною головкою

Вторинне охолодження. Основною технологічною функцією зони вторинного охолодження є створення оптимальних умов для повного затвердіння зливка, що відливається, що забезпечують необхідної якості сталі. Протяжність рідкої фази в злитку на сучасних машинах безперервного розливання в залежності від перерізу заготовки та швидкості лиття становить 15...40 м. На всій цій ділянці одночасно із затвердінням металу відбувається вплив на нього численних силових факторів: термічна напруга, що залежить від умов охолодження; розтягувальні напруги, що визначаються тертям та зусиллями витягування; напруги, що виникають під дією феростатичного тиску рідкого розплаву, які викликають витріщання кірки зливка. Зону вторинного охолодження найчастіше виконують у вигляді роликів, що підтримують, і системи форсунок, що подають на поверхню зливка розпилену воду.



1 - злиток; 2 - опорний ролик; 3 - форсунка; 4 - трубчастий колектор; 5 - засувка

Рисунок 2.11 – Схема секції вторинного охолодження криволінійної МБЛЗ

Форсунки розташовуються між опорними роликами (див. малюнок 2.11) або брусами в один, два або три ряди вздовж напрямку руху злитка в залежності від його ширини. При виливку плоских злитків охолоджуються широкі грані; у вузьких граней форсунки встановлюються лише під кристалізатором. Інтенсивність охолодження має зменшуватись у міру видалення зливка від кристалізатора. Для того, щоб забезпечити поступове зниження витрати води, зону вторинного охолодження ділять по довжині на кілька (до восьми) секцій, що об'єднують групу форсунок і мають самостійне підведення води.

Інтенсивність вторинного охолодження залежить від властивостей сталі, що розливається, і швидкості розливу, при зростанні якої інтенсивність подачі води збільшують. Загальна витрата води на вторинне охолодження при розливанні спокійної сталі становить 04-10 м3/т при швидкості витягування великих злитків 10-14 м/хв. Протяжність зони безпосереднього охолодження водою на злиток може становити до 10-12 м.

*Охолодження зливка у зоні вторинного охолодження МБЛЗ.*Режим охолодження зливка в ЗВО повинен забезпечити мінімальну тривалість повного затвердіння безперервного зливка та відсутність поверхневих та внутрішніх дефектів. Експериментальні та теоретичні дослідження щодо впливу режимів охолодження на якість безперервного зливка дозволили визначити такі вимоги до системи вторинного охолодження та охолодження безперервнолитого зливка:

- монотонне зниження температури поверхні заготовки до повного затвердіння зливка;

- на всьому протязі ЗВО температура поверхні зливка повинна знаходитися в області температур пластичної деформації цієї сталі;

- рівномірне розподілення температури по поверхні зливка;

- можливість регулювання інтенсивності охолодження і протяжності зони вторинного водяного охолодження в залежності від марок сталі, що розливається, швидкості розливання і глибини рідкої фази;

- надійність роботи системи протягом тривалого часу.

Підтримуючі пристрої. У зоні вторинного охолодження на скоринку зливка діє феростатіческій тиск стовпа рідкого металу, в результаті чого можливе роздуття (випукування) по гранях злитка. Для запобігання цьому в зоні вторинного охолодження встановлюють рами з роликами, що підтримують (рисунок 32).

У машинах для виливка злитків квадратного або близького до квадрата прямокутного перерізу опорні пристрої розташовані з усіх чотирьох сторін злитка; при виливку плоских злитків - вздовж двох широких граней зливка. Для зручності заміни при ремонтах групи сусідніх верхніх та нижніх роликів об'єднані в окремі секції, де у загальному каркасі змонтовано від 2 до 7 пар роликів. У зв'язку з тим, що в міру збільшення товщини твердки кірки жорсткість зливка зростає, діаметр роликів у міру віддалення від кристалізатора збільшується. Так при виливку злитків

товщиною 300 мм діаметр роликів від 150-200 мм у кристалізатора зростає до 480-600 мм на горизонтальній ділянці.

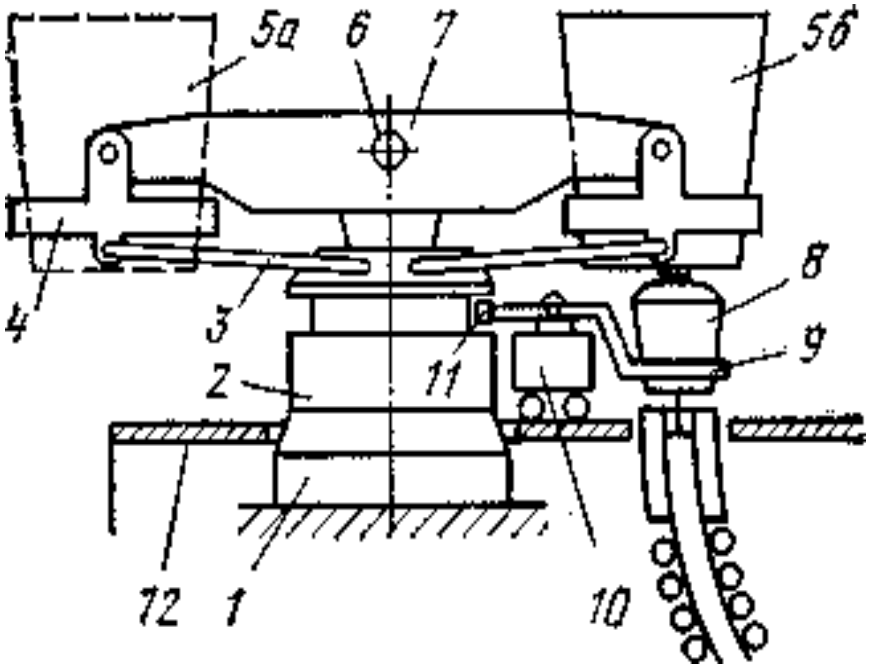


Рисунок 2.12 – Схема підйомно-поворотного стенду

*Пристрій для різання зливка на шматки*певної довжини (заготівлі) встановлюються наприкінці технологічної лінії МБЛЗ її горизонтальному (вертикальному) ділянці. Зазвичай застосовуються газокисневі різаки або гідравлічні ножиці. Незалежно від способу різання, пристрій має механізм пересування, що дозволяє здійснювати різання в процесі руху зливка.

Проборудування для швидкої зміни ковшів. Сучасні МБЛЗ обладнають поворотними та іноді пересувними стендами, які забезпечують подачу ковшів з металом до машини, зважування та встановлення ковша зі швидкостями, що дозволяють вести розлив методом «плавка на плавку». За конструкцією та принципом роботи сталерозливні стенди діляться на два типи – мостові та поворотні. Усі вони розраховані на встановлення двох ковшів. Найбільш сучасний підйомно-поворотний стенд (див. малюнок 2.12) має розташовувану на підставі поворотну платформу 2, на яку через

вісь 6 спирається консоль 7. У підвісках 4 консолі можна встановити два ковша (5а і б); вертикальне переміщення ковша досягають хитання консолі, при цьому тяга 3 забезпечує плоскопаралельний рух підвісок і ковшів.

2.3 Процеси кристалізації у зоні вторинного охолодження

Зона вторинного охолодження знаходиться у зоні між кристалізатором і роликами, що тягнуть. У цій зоні забезпечується затвердіння зливка по всьому поперечному перерізі. Цей процес забезпечується швидкістю розливання та інтенсивністю зовнішнього охолодження заготівлі. Характер теплообміну на поверхні зливка в зоні залежить від її конструктивних особливостей. За відсутності між кристалізатором і тягнутими роликами опорних пристроїв і процес охолодження реалізується на повітрі, то в цих умовах теплообмін на поверхні зливка визначається законами Стефана-Больцмана і природної конвекції Ньютона:

$$g_n = C\left[\left(\frac{T_n}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_B}{100}\right)^4\right] + \alpha_{\text{В}}(T_n - T_{\text{В}}) \qquad (2.1)$$

де $C = \epsilon C_0$ - коефіцієнт теплообміну випромінюванням;

ϵ – ступінь чорноти поверхні зливка (0,7 – 0,8);

α - коефіцієнт тепловіддачі, конвекцією;

Тв - температура навколишнього повітря;

g_n - щільність теплового потоку на поверхні зливка.

Якщо представити коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням у вигляді

$\alpha_i = C \times \theta$, де $\theta = [(T_п/100)^4 – (T_в/100)^4]/(Тп – Тв)$, тоді співвідношення (2.1) матиме вигляд:

$$g_n = \alpha(T_n - T_{\text{В}}) \qquad (2.2)$$

де $\alpha = \alpha_i + \alpha$ - сумарний коефіцієнт тепловіддачі.

При швидкості повітря, що подається на поверхню зливка, не більше 2 - 3 м/с $\alpha_в$ = 20 - 23 Вт/(м^2 К). Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням α_i можна підрахувати, використовуючи значення параметра θ з таблиці 2.2.

Задаючи $T_п$ = 1373 К і С = 4Вт/(м^2 – К^4) і приймаючи $T_в$ = 273 К, вийде, що θ = 32,2 і α_i = 4 32,2 ≈ 129 Вт/(м^2 К) , а сумарний коефіцієнт тепловіддачі α = 21 + 129 = 150 Вт/(м^2 К).

Здійснення охолодження сталевого зливка можливе при порівняно малих швидкостях розливу для зливків невеликого поперечного перерізу . Зі збільшенням швидкості розливання підвищується температура поверхні зливка і зменшується товщина твердої оболонки злитка на виході з кристалізатора. В результаті феростатичного тиску рідкої сталі оболонка зливка роздмухується, що призводить до спотворення форми злитка і може призвести до прориву рідкої сталі. Для виключення витріщання зливка застосовують опорні пристрої (ролики, бруси, балки) і збільшують інтенсивність охолодження зливка.

Таблиця 2.2 - Залежність параметра θ від температури Тп і Тв

$T_п$, К	θ за $T_В$, К			
	273	373	473	573
1173	20,97	23,42	26,33	29,76
1273	26,21	28,96	32,20	35,98
1373	32,25	35,34	38,92	43,09
1473	39,18	42,60	46,58	51,20
1573	47,02	50,80	55,20	60,10
1673	56,00	60,90	64,90	70,30
1773	65,80	70,40	75,60	81,40

При струменевому охолодженні поверхні заготовки ($T_п$ = 1323 К) відносна кількість води, що випаровується складовою 8 - 10% при зміні витрати води від 2 до 7 м^3 /(м^{2}год). При цьому щільність теплового потоку, що витрачається на випаровування води, що охолоджує, складе (Вт/м^2):

$$g_{вип} = X \cdot r \cdot \rho_B \cdot g_B \qquad (2.3)$$

де g_B - питома витрата води , м^3/(м^2 год);

ρ_B – густина води, кг/м 3 ;

X - частка води, перетворилася в пар.

При значеннях g_B= 5 м^3/м^2 год і X = 0,1, вийде $g_{вип}$ = 0,1·540·1,16·10^3·5 = 313,2 кВт/м^2 та умовний коефіцієнт тепловіддачі випаровуванням:

$$g_{вип} = g_{вип}(T_п - T_в) \qquad (2.4)$$

Задаючи $g_{вип}$ = 313,2 кВт/м^2; $T_п$ - $T_в$ = 1030 К, вийде значення $\alpha_{вип}$ = 304 Вт/(м^{2}К).

Значно більші значення коефіцієнта тепловіддачі можуть бути досягнуті під час руху води вздовж поверхні зливка при його струминному охолодженні. Рівняння конвективного теплообміну має вигляд:

$$Nu = C_0 Re \qquad (2.5)$$

де Nu = α_k/λ_B - критерій Нуссельта;

Re = vL/υ - критерій Рейнольдса;

L – характерний розмір, λв і v – значення коефіцієнтів теплопровідності та кінематичної в'язкості для охолоджувальної води;

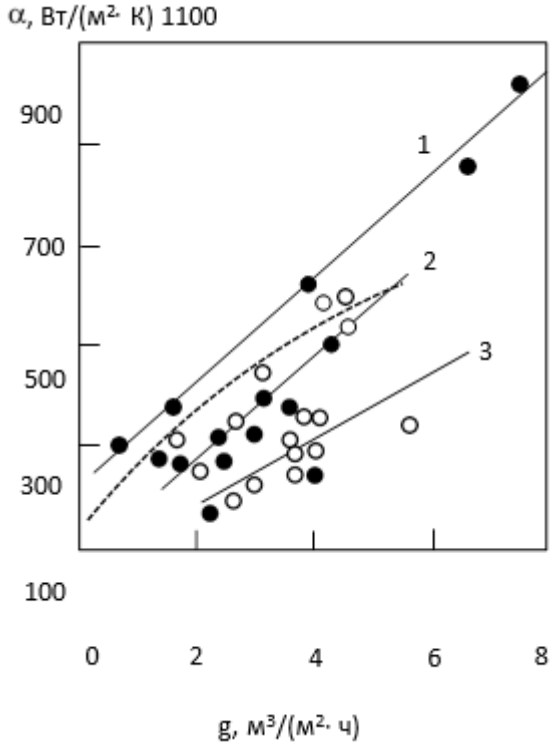
C_0, n_0 - емпіричні коефіцієнти.

У разі турбулентного режиму течії в прикордонному шарі $C_0 = 0{,}032$, $n_0 = 0{,}8$, можна записати:

$$\alpha_к = 0{,}032 \left(\frac{\lambda_в}{L} - \frac{vL}{\nu}\right)^{0{,}8}, \qquad (2.6)$$

Приймаючи при розрахунку значення v = 2,5 м/с; L = 1 м; ν = 10^{-6} м^2/с; $\lambda_в$ = 0,6 Вт/(м К), вийде величина $\alpha_к$ = 2530 Вт/(м^{2}К). Отже, коефіцієнти тепловіддачі в умовах турбулентного режиму при перебігу вздовж поверхні злитка перевищують на порядок значення коефіцієнтів тепловіддачі, зумовлених випромінюванням і випаром.

Якщо конвективний потік утворює з обтічною поверхнею деякий кут, у цьому випадку коефіцієнт тепловіддачі може зрости до 8 разів із зменшенням товщини прикордонного шару. Прикордонний шар на поверхні зливка руйнується внаслідок закипання води та утворення парової «сорочки», причому значною мірою знижується інтенсивність тепловіддачі. При цьому виявляється істотна залежність коефіцієнта тепловіддачі від щільності зрошення, розташування поверхні, що охолоджується, і форсунки, температури охолоджуваної поверхні. Похиле розташування форсунки по відношенню до охолоджуваної поверхні сприяє пробиванню парової плівки струменями води та збільшення коефіцієнта тепловіддачі. На рис. 2.13 представлена залежність коефіцієнта тепловіддачі від питомої витрати води, отримана двома способами: теплового балансу зони охолодження і температури поверхні зливка на виході з цієї зони.



1 – струменеве охолодження; 2 – брусьеве охолодження; 3 – ролико-форсуночне охолодження

Рисунок 2.13 - Залежність коефіцієнта тепловіддачі від витрати води в зоні охолодження

Розрахункові дані рис. 2.13 показують, що при ролико-форсуночному або брусовому охолодженні коефіцієнт тепловіддачі знаходиться в межах 140 – 540 м^{2}К. Такі значення коефіцієнта тепловіддачі відповідають щільності теплового потоку при частковому випаровуванні води до величини 5 – 15 %. З цього випливає, що потік випромінювання з поверхні злитка, нагрітої до 1173 - 1373 К майже повністю поглинається в паровій сорочці і в тонкому шарі води, що покривають поверхню злитка при форсунковому водяному охолодженні.

Висновки до розділу 2

1. Наведено аналіз основного обладнання для безперервного розливання сталі, показано технологічні особливості їх застосування, конструктивні відмінності, порівняльні функціональні характеристики.

2. Показано низку установок безперервного розливання спеціального призначення: установки для розливання балкових заготовок; МБЛЗ відцентрового типу; МБЛЗ конвейєрного типу; тонкослябові установки безперервного лиття; комплексні установки лиття та прокатки.

3 ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗЛИВАННЯ СТАЛІ НА МБЛЗ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ТИПУ

3.1 Машина безперервного двостороннього горизонтального лиття заготовок – МБДГЛЗ

Дослідження, проведені в останні роки, показали, що можливий безперервний метод лиття сталі, коли кристалізатор розташовується горизонтально. З одного боку цього кристалізатора є проміжна ємність, з якої надходить рідкий метал. Заготівля, що виходить з кристалізатора, потрапляє в зону вторинного охолодження, де піддається додатковому охолодженню водою і після затвердіння розрізається на мірні довжини. Такий метод не вимагає застосування високих будівель та значно знижує капіталовкладення.

У цій галузі проведеновсебічні дослідні та конструкторські роботи, що призвели до дуже важливих результатів. Спочатку потрібно усунути дефекти у вигляді кільцевих спаїв на поверхні злитка, що з'являються при його періодичному витягуванні. З цією метою був застосований оригінальний метод, що полягає в тому, що підведення металу було зроблено в середині горизонтального кристалізатора, з якого витягування злитків може здійснюватися безперервно в обидві сторони (рис.3.1). Сталь, потрапляючи в такий кристалізатор, отримує два фронти кристалізації.

В результаті вдалося усунути дефекти поверхні та внутрішньої структури зливка, що мали місце при односторонньому витягуванні злитків. Крім того, цей принципово новий процес безперервного лиття вдвічі підвищує продуктивність одного кристалізатора.

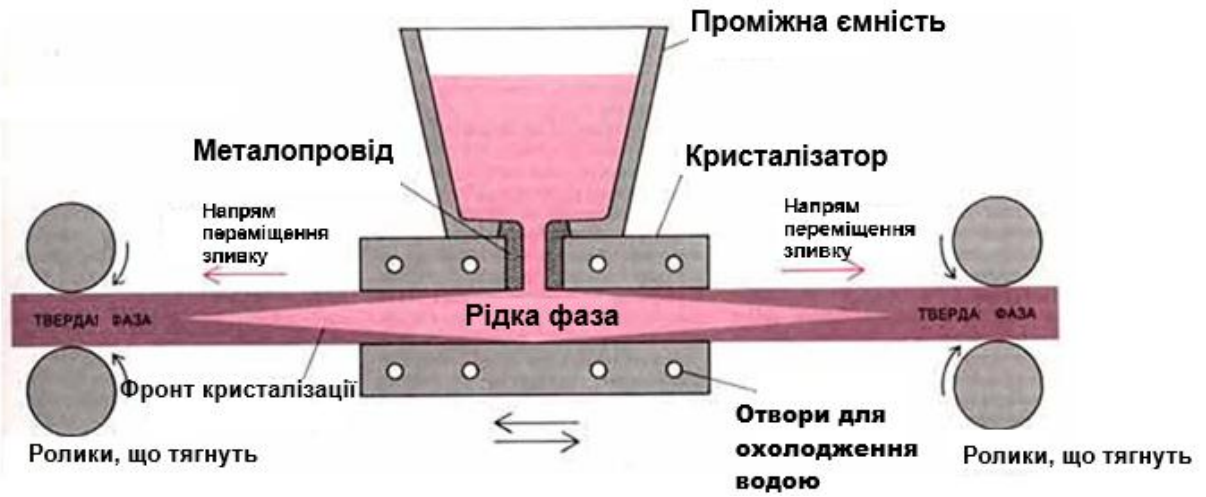


Рисунок 3.1 – Схемамашини безперервного двостороннього горизонтального лиття заготовок(МБДГЛЗ)

Двостороннє витягування злитків із горизонтально розташованого кристалізатора є принципово новим способом безперервного лиття сталі. Цей спосіб схематично представлений малюнку. Сталь, потрапляючи по металопроводу з вогнетривкого матеріалу в мідний кристалізатор, що охолоджується водою, отримує два протилежні фронти кристалізації. Початок цих фронтів автоматично утримується точно центром металопроводу. Кристалізатор здійснює зворотно-поступальний рух (рис. 3.1 - показано чорними стрілками), що запобігає прилипанню металу до його стінок. Такий спосіб дозволив усунути дефекти поверхні та внутрішньої структури злитка, що мали місце при горизонтальному литті з одностороннім витягуванням злитків, а також підвищити в 2 рази продуктивність одного кристалізатора. Перша машина для лиття цим способом блумів перетином до 250 х 250 мм побудована та успішно експлуатується на дослідному заводі.

Результати експериментальних досліджень дозволили стабілізувати цей процес. Була створена система автоматичного утримання початку обох фронтів кристалізації точно по центру металопроводу, яким рідка сталь надходить у кристалізатор. Перша машина для лиття цим методом блумів

перетином до 250 х 250 мм побудована та успішно експлуатується. Створення методу безперервного лиття з двостороннім витягуванням злитків, безперечно, є великим винаходом, і в найближчі роки воно має знайти широке застосування. Зважаючи на простоту пристрою безперервноливарної машини, що не вимагає спеціальних високих будівель, вона може бути з успіхом застосована не тільки на металургійних підприємствах, а й на машинобудівних. Це відкриває широкі можливості поєднання процесів безперервного лиття з прокаткою, а також безперервними процесами виготовлення деталей тиском машин.

3.2 Підготовка МБДГЛЗ до розливання

Повнота і точність виконання операцій з підготовки розливальної машини дуже важливі, від цієї операції залежить процес розливання сталі і якість заготовок, що відливаються.

Характерною особливістю горизонтальної машини із закритим кристалізатором є постійне поперечний переріз рідкого металу протягом усього процесу розливання. Це досягається при розливанні в кристалізатор із закритим дном при його безперервному видаленні від проміжного ковша.

При переміщенні кристалізатора з його стінках формується затверділа оболонка зливка. Ця оболонка служить живильником, через який до кристалізатора безперервно надходить рідкий метал. У процесі розливання забезпечується теплова та гідродинамічна рівновага в осьовій зоні заготівлі. Для усунення витріщання заготовки установка забезпечена опорними елементами вторинного охолодження. Розливання припиняється при повному випорожненні сталерозливного ковша. МНДГЛЗ закритим кристалізатором можна застосовувати при розливанні легованих сталей з широким інтервалом кристалізації з ковшів порівняно невеликої місткості.

Підготовка проміжного ковша

Першою операцією з підготовки МБДГЛЗ до розливу чергової серії плавок є заміна відпрацьованого промківшу на ківш з новим футеруванням.

Рекомендований рівень залишку металу в промківші після розливання серії плавок близько 250 мм. При необхідності пропалюється канал одного з дозаторів промківша, і залишки металу зливаються в аварійну ємність. У випадку, коли рівень металу, що залишився, в промківші більш рекомендованого, перед транспортуванням ковша метал охолоджується до утворення на поверхні щільної кірки.

Промківш знімається з розливного візка і передається на ділянку підготовки ковшів.

Відсічні жолоби очищаються від скрапу, проводиться їх ремонт та сушіння. Очищення аварійних ємностей від залишків металу.

Підготовлений промківш з новим футеруванням встановлюється на розливний візок і проводиться його центрування щодо кристалізаторів. Вихідні отвори дозаторів промківша затикаються знизу спеціальними пробками. Ківш накривається вогнетривкою кришкою і встановлюється режим розігріву футерування.

Підготовка кристалізаторів

Після прибирання відпрацьованого промківша плитні настили та кришки кристалізаторів очищаються від скрапін, шлаку та сміття.

Внутрішні порожнини кристалізаторів обдуваються стисненим повітрям до відсутності твердих частинок (вогнетривкої маси, окалини).

Робочі стінки кристалізатора, за допомогою шомпола, змочуються спеціальною рідиною, що очищає, і ретельно протираються ганчіркою.

Проводиться оцінка стану робочої поверхні кристалізаторів.

При необхідності дефекти робочої поверхні та нагар від зачищаються дрібним наждачним папером (вручну або за допомогою пневматичної шліфувальної машинки).

Перевірка налаштування механізму гойдання кристалізаторів:

Перевіряється робота механізму гойдання кристалізатора – частота гойдання та плавність ходу столу механізму.

Перевірка роботи механізму гойдання проводиться після заміни кристалізаторів, планово-попереджувальні ремонти (ППР) та профілактики МНЛЗ.

Перевірка виставки кристалізаторів з технологічної осі МБДГЛЗ виконується за допомогою спеціальних шаблонів під час ППР.

Підготовка елементів ЗВО

Перевіряється робота елементів зони вторинного охолодження:

– виконується очищення засмічених та заміна форсунок, що вийшли з ладу;

– за потреби, проводиться очищення або заміна колекторів;

– перевіряється виставка секцій ЗВО щодо технологічної осі МБДГЛЗ.

Підготовка затравок МБДГЛЗ до розливання

Виконується перевірка стану головок затравок та їх головних ланок. Затравки на робочій швидкості (до 5 м/хв.) підводяться до кристалізатора на відстань близько 800 мм від торця кристалізаторів.

На головки затравок одягаються захисні пластмасові ковпаки.

У головки затравок вставляються елементи, що «заморожуються».

Головки затравок центруються по осі кристалізаторів і на зниженій швидкості (0,5 м/хв) заводяться кристалізатори до рівня близько 150 мм від торця. Втикання затравки у фланець кристалізатора не допускається.

Перевірка готовності робочих місць

Розливники перевіряють наявність на робочих місцях допоміжного інструменту та пристосувань ("заморозок" для закриття каналів дозаторів промківшу, кисневих трубок, дроту для збирання шлаку), готують засипку для утеплення дзеркала металу в промківші, пробовідбірники,термопари для вимірювання температури металу в промківші.

Паралельно з виконанням даних операцій операторами проводиться остаточна оцінка готовності вузлів та механізмів МНДГЛЗ до розливання.

Дії обслуговуючого персоналу технічних служб.

У процесі підготовки МБДГЛЗ до розливання персонал технічних служб проводить огляд та перевірку механічного та електричного обладнання, систем водопостачання та енергопостачання, гідравліки, контрольно-вимірювальних приладів, автоматизованих систем управління.

У спеціальному журналі виконуються позначки про готовність обладнання до розливання сталі.

3.3 Характеристика основного технологічного устаткування

Основні технічні дані представлені у таблиці 3.1

Таблиця 3.1 - Основні технічні дані МНДГЛЗ

Тип	*Блюмова*
Маса рідкого металу в стальковші, т	100,0
Перетин заготовок, що відливаються, мм	250/250
Довжина заготовки, мм	12000
Швидкість розливання, м/хв	2,24
Металургійна довжина, м	12,0
Спосіб розливання	Досвідчений
Кількість плавок, шт.	10÷14
Вторинне охолодження	Водяне
Тип пристрою різання	Газокисневе різання

Візок промківша

Візок служить для транспортування проміжних ковшів у різні положення на розливному майданчику. Один ківш встановлюється на сідлову опору візка промківша, який забезпечує переміщення в позицію розливу та позицію нагріву та назад. Передбачається можливість підйому та опускання проміжного ковша на візку для полегшення встановлення занурювального розливного стакана в кристалізаторположенні розливання.

Для позиціонування занурювальної склянки в кристалізаторі на кожному візку передбачається по одному регулювальному пристрою.

Подача проміжного ковша здійснюється мостовим краном.

Промківш

Проміжний ківш служить як проміжна ємність між сталерозливним ківшем і кристалізатором для забезпечення можливості дослідного розливання. Конструкціяпромківша виконана з урахуванням створення сприятливих умов для випливання неметалевих включень на поверхню рідкого металу. Потік металу з промківша кристалізатор регулюється системою регулювання потоку.

Кристалізатор

Кристалізатор забезпечує необхідну геометрію безперервнолитого зливка та первинне відведення тепла під час початкового утворення скоринки. Вода первинного охолодження, що проходить по внутрішній поверхні мідних плит, забезпечує ефективний конвективний теплообмін.

Технічні дані:

Тип конструкції	прямолінійний пластичний
Матеріал мідних плит	CuAg
Довжина мідних плит	900 мм
Товщина мідних плит:	
Широка та вузька стінки	40 мм
Мінімальна товщина після кількох операцій механічної обробки	25 мм
Подача охолоджувальної води у мідні плити:	пази
Підключення охолоджувальної води	Автоматично (при встановленні кристалізатора)
Нижні ролики для кожної широкої стінки:	
-тип роликів	ролики

-Тип підшипників	роликопідшипники
-кількість проміжних опор	2 (трьохсекційний ролик)
-діаметр ролика	100 мм
Нижні ролики для кожної вузької стінки:	по 4 на кожній стороні
-тип роликів	вісь, що центрально спираєтьсярозташовані з боків
-тип підшипників	роликопідшипники
-діаметр ролика	100 мм
Матеріал корпусу роликів	Ст.52-3 або еквівалентний
Поверхня роликів	наплавлення - зменшення зносу
Кріплення опорних роликів широкої стінки	розширювальними болтами накристалізатор
Розташування нижніх роликів на вузькій стінці	кожен ролик регулюється індивідуально за допомогою пружин
Тип переміщення	Гідравлічне з автоматично регулюванням
Кількість циліндрів	чотири
Місце встановлення циліндрів	на кристалізаторі
Розсування широкої стінки	гідравлічний
Тип стиску	дисковими пружинами
Охолодження роликів	зовнішнє системою вторинного охолодження
Мастило опорних роликів	централізованою системою мастила

Механізм зворотно-поступального руху

Механізм руху кристалізатора забезпечує необхідне усунення кристалізатора для виключення прилипання сорочки злитка до мідних плит. Гідравлічний привід забезпечує можливість вибору схеми синусоїдального або несинусоїдального хитання разом із регулюванням кроку та частоти під час роботи.

Технічні дані:

Тип конструкції	з гідравлічним приводом
Кількість встановлених пристроїв	два
Крок усунення	0 - 12мм(±6мм)
Діапазон частоти усунення:	
Розрахунковий діапазон:	
мінімальна	0 ходів/хв.
максимальна	400 ходів/хв
Робочий діапазон:	
мінімальна	40 ходів/хв.
максимальна	300 ходів/хв.
Тип системи напряму кристалізатора	гнучкі попередньо напружені пластинчасті пружини для забезпечення напряму руху кристалізатора
Підключення охолоджувальної води	автоматичне під часвстановлення механізму гойдання нерухомої осі з проміжними опорами
Тип підшипника	роликопідшипники
Матеріал корпусу роликів	Зт. 52-3 або еквівалентний
Поверхня роликів	наплавлення для зменшення зносу
Охолодження роликів	охолодження корпусу системою струминного охолодження

Змащення через центральну систему мастила

Матеріал трубної обв'язки н/ж сталь

машини

Системи вторинного охолодження: мідь/латунь

Переваги конструкції:

- Низька напруга на скоринку злитка при безперервному згинанні;
- Мале витріщання внаслідок оптимізованого діаметра

ролика та кроку роликів з проміжними опиранням;

- Зручно та швидко замінювані компоненти;
- Автоматичне підключення до системи подачі води;
- Жорстка конструкція;
- Усі роликові підшипники у стандартному виконанні;
- Тривалий термін служби роликів завдяки наплавленню;

Сегмент горизонтальної ділянки

Горизонтальний сегмент призначений для спрямування та спирання гарячого зливка та затравки.

Крок роликів визначається шляхом автоматичного позиціонування чотирьох гідравлічних регулювальних пристроїв.

Крок роликів вимірюється в процесі безконтактним датчиком положення, встановленим у кожному з чотирьох регулюючих пристроїв.

Технічні дані:

Тип конструкції	поперечна балка з гідравлічним затискним пристроєм
Дані про ролики на сегменті:	Діаметр Кількість
-внутрішні / зовнішні непривідні	300 мм 6/6
-внутрішні / зовнішні	300 мм 1/1приводні
Довжина бочки	бл. 600 мм
Кількість проміжних опор	1 для непривідних роликів 2 для приводних роликів

Кількість підшипників на ролик	чотири
Тип підшипника	роликопідшипники
Матеріал корпусу роликів	42CrMo4 або еквівалентний
Поверхня роликів	наплавлення для зменшення зносу
Кількість гідравлічних циліндрів (Затискач сегмента)	4 на сегмент
Регулювання приводного ролика	1 на сегмент
Тип приводу	електродвигун, редуктор
Охолодження:	
корпуси ролика	зовнішнє охолодження
осі ролика	замкнуте охолодження машини
корпуси підшипника	замкнуте охолодження машини
Змащення	центральна системамастила
Матеріали трубної обв'язки машини	
-Системи охолодження	н/ж сталь
-Гідравлічні системи	вуглецева сталь
-Змащення	мідь/латунь

Затравки

Затравлення і головка затравки служать для ущільнення кристалізатора на початку розливу і для витягування гарячого зливка на стадії початкового розливання. Шарнірна конструкція дозволяє лише односпрямоване згинання, що полегшує зберігання поза технологічною лінією.

Основні компоненти:

- Ланцюг затравки
- Головка затравки із шайбами
- Перехідна частина

Машина газокисневого різання

Машина газокисневого різання служить для розрізання зливка на остаточні заданідовжини блюмів. Після вимірювання заданої довжини блюму, що здійснюється кодовим датчиком та вимірювальним роликом, машина газового різання захоплює гарячий злиток і починається процес різання.

Після закінчення різання машина газового різання автоматично повертається у вихідне положення та готова до прийому наступної необхідної мірної довжини.

Для розрізання н/ж сталі використовують залізний порошок. Подання цього порошкупроводиться автоматично. Дозаправка бункерів порошку проводиться вручну відповідно до сигналізації рівня.

3.4 Технологічний процес безперервної двосторонньої горизонтального розливання

Подача стальківша з металом на МБДГЛЗ.

Після обробки плавки на установці ківш-піч, сталерозливний ківш з рідким металом, ливарним краном, встановлюється на поворотний стенд МНЛЗ.

З метою зниження втрат тепла металом у процесі розливання ківш накривається кришкою, футерованою вогнетривким матеріалом.

Висувається майданчик для обслуговування шиберного затвора сталерозливного ковша і встановлюється гідроциліндр для керування шибером.

Стенд із ковшем розгортається в позицію розливання.

Проводиться відключення та переведення в резервну позицію встановлення розігріву проміжного ковша (і пристроїв розігріву склянок – дозаторів).

Візок із проміжним ковшем переміщається в позицію розливу. Виконується підцентрування проміжного ковша щодо кристалізаторів.

Виконується остаточне позиціонування сталерозливного ковша щодо промківша.

Розливання із захистом струменів металу від вторинного окислення:

При розливанні металу із захистом струменя від вторинного окиснення на ділянці стальків - промків, за допомогою маніпулятора, встановлюється захисна труба і здійснюється підключення системи подачі аргону.

Витрата аргону захисної труби, що подається в порожнину, – до 5 м^3/год.

При безстопорному розливанні металу, із захистом струменів металу від вторинного окислення, між ківшем та кристалізаторами встановлюються спеціальні кожуха з термостійкої тканини – сильфони. Здійснюється підключення системи подачі аргону до порожнини сильфонів.

Наповнення проміжного ковша

Відкривається шиберний затвор сталерозливного ковша і проводиться наповнення проміжного ковша рідким металом.

У разі потреби, канал розливної склянки стальковша пропалюється за допомогою кисню.

Наповнення промківша металом здійснюється при повністю відкритому шиберному затворі сталерозливного ковша.

При наповненні промківша до рівня металу близько 400 мм у ківш сідає теплоізолююча засипка (зола рисового лушпиння). Засипка рівномірно розподіляється поверхнею металу в ковші. Питома витрата теплоізолюючого засипанняу промківш –0,30кг/т сталі.

При наповненні промківша металом до рівня 400÷500 мм, стопорним механізмом проводиться підйом стопора і починається надходження рідкого металу в порожнину кристалізатора. Робочий рівень металу у проміжному ковші -1000 мм.

Контроль рівня металу в кристалізаторі під час роботи в автоматичному режимі забезпечується радіоізотопними датчиками. Допустимі коливання рівня металу в кристалізаторах +/- 5 мм.

Подача мастила в кристалізатор

Одночасно з початком витягування заготовки автоматично вмикається система подачі технологічного мастила. Мастило, що подається, повинно виключити підвисання заготовки на стінках кристалізаторів, утворення заворотів скоринки зливка. Витрата мастила регулюється в залежності від швидкості розливання.

При розливанні металу з промківша, без захисту струменів або із захистом струменів за допомогою сильфонів, як технологічне мастило використовується ріпакова олія.

Рекомендована витрата ріпакової олії для змащування стінок гільз кристалізаторів - 0,8÷0,1 кг/т сталі.

Автоматична витрата олії задається та контролюється оператором ЦПУ.

При розливанні металу з промківшу із захистом струменів за допомогою занурювальних склянок використовується шлакоутворююча суміш.

Рекомендована питома витрата ШОС – 0,5÷1,2 кг/т сталі. Подача шлакоутворюючої суміші кристалізатори здійснюється вручну.

Витягування заготовок

На початковому етапі витягування зливка використовується затравка. Затравка, а потім і заготівля, рухаються по підтримуючим роликам. Після виходу із ТПМ затравка відокремлюється від заготівлі за допомогою спеціального механізму. Затравка знімається з транспортного рольгангу пристроєм прибирання та укладається у позицію зберігання.

ТПМ МБЛЗ працює у двох режимах:

– режим закладу – виведення затравки;

– робочий режим витягування заготовки.

Дані режими характеризуються різним зусиллям тиску валків ТПМ на затравку та заготівлю.

Порізка заготовки в процесі розливання проводиться автоматично. Можливе подання команди на різ заготовок у ручному режимі від кнопки з ЦПУ.

Залежно від необхідної мірної довжини заготовок оператор МБДГЛЗ вводить завдання клавіатурі операторської станції ЦПУ.

Стальковш з черговою плавкою повинен бути подано в резервну позицію на стенд розливу не пізніше, ніж за 5 - 10 хвилин до закінчення розливу попередньої плавки.

Безпосередньо перед перековшуванням плавок, з урахуванням допустимої швидкості розливання сталі, рівень металу в промковші піднімають до максимально можливого.

Не допускається падіння рівня металу в промківші, за час перековшування, менше 400 мм.

При перековшуванні плавок не допускається попадання значної кількості шлаку зі стальківша в промківш.

При розливанні із захистом струменя металу зі стальковша, при перековщjвке плавок, вогнетривка труба від'єднується від колектора стальковша. Здійснюється оцінка стану труби і, при необхідності, її очищення або заміна.

У разі пропалювання каналу дозуючого вузла стальковша киснем допускається встановлення захисної труби при короткочасному перекритті струменя металу шиберним затвором.

Відбір проб, вимірювання температури металу:

Маркувальні проби металу відбираються з проміжного ковша, на початку, середині та наприкінці розливання кожної плавки. Відбір проб металу здійснюється за допомогою вакуумних пробовідбірників та спеціального насоса.

Проби маркуються (номером плавки та порядковим номером проби) та відправляються до лабораторії для проведення хімічного аналізу.

Вимірювання температури металу в проміжному ковші проводиться по ходу розливу кожної плавки, одночасно з відбором проб. Замір температури металу здійснюється за допомогою термоперетворювачів та термопар разового застосування.

Термопара занурюється в метал на глибину не менше 100 мм у районі між 4-м та 5-м дозуючими вузлами промківша.

Після проведення вимірювання температури оголена ділянка металу в ковші покривається теплоізолюючою сумішшю.

У процесі розливання оператор центрального пульта управління за приладами здійснює контроль за швидкістю витягування заготовок, температурою металу в промківші, витратами води на охолодження кристалізаторів та ЗВО, роботою ТПМ та гідравлічних ножиць.

На етапі запуску МБДГЛЗ в експлуатацію основні параметри процесу розливання сталі повинні фіксуватися оператором ЦПУ в технологічній документації (журналі розливу плавок).

Фіксовані параметри:

– номер та марка сталі плавки, поданої на ділянку розливання;

– час початку та закінчення розливання, плавки;

– номери використовуваних сталерозливних та проміжних ковшів, номери плавок у серії;

– тривалість та режим розігріву футерування промківша;

– характер відкриття дозуючих вузлів промків;

– центрування струменів металу з промківшу щодо центрів кристалізаторів;

– номери кристалізаторів по струмках, стійкість гільз;

– швидкість витягування заготовок по струмках мблз;

– результат та час вимірювання температури металу в промковші;

– витрати води на охолодження кристалізаторів;

– витрати води по секціях зон вторинного охолодження заготовок;

–номери гідравлічних ножиць, стійкість ножів;

– кількість придатних заготовок кожної плавки;

– можливі відхилення у процесі розливання сталі;

– зауваження щодо роботи механізмів МБДГЛЗ

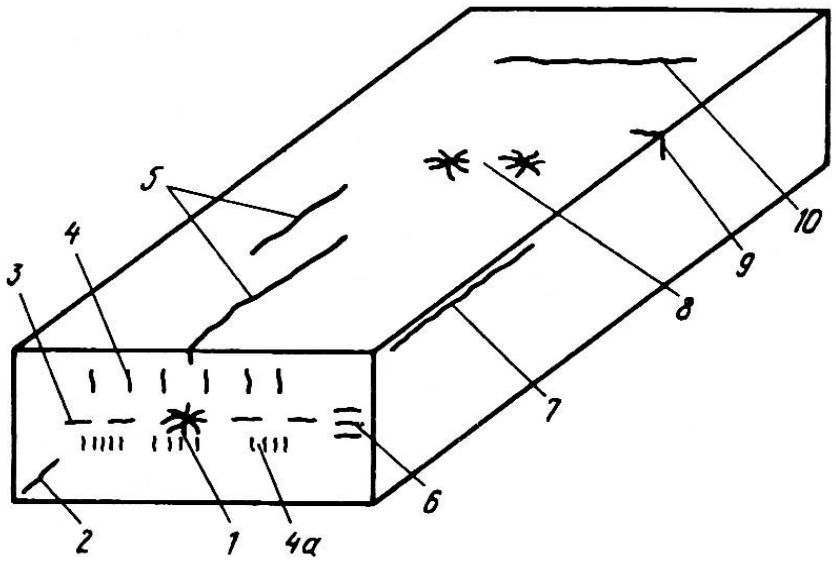
3.5 Оцінка функціональних параметрів безперервнолитого зливка

Безперервно відлитий злиток при малій товщині та високій швидкості кристалізації відрізняється меншим ступенем хімічної неоднорідності, більш рівномірним розподілом неметалевих включень. На відміну від злитків, що розливаються у виливниці, він має більш чисту та гладку поверхню. Зливки, які отримують безперервне розливання, можуть мати ряд специфічних дефектів.

Для таких злитків характерна осьова пористість. Осьова пористість посилюється при значному перегріві металу та підвищеній швидкості розливання. При цьому в безперервних зливках спостерігається осьова ліквація. У зливках, отриманих на горизонтальних установках, можливе утворення несиметричності структури, нерівномірного розподілу компонентів сталі та формування усадкової пористості за рахунок переміщення у верхню частину зливка. Зрідка формується спотворення форми зливка. У злитках квадратного перерізу утворюється ромбічність шляхом спотворення профілю зливка в кристалізаторі. В результаті нерівномірного охолодження різних граней злитка формується роздуття злитка - опуклість його поперечного перерізу. Роздуття зливка збільшується за рахунок феростатичного тиску стовпа рідкої сталі, підвищення швидкості розливання та температури металу. Досить поширеним дефектом є тріщини, як поверхневі, і внутрішні. Поздовжні поверхневі тріщини на гранях злитка мають довжину до 1-1,5 м та глибину до 10-15 мм. Ці тріщини виникають

під впливом усадкової напруги. Реальним засобом боротьби з цими дефектами є метод розливання із захисним покриттям шлаку. Поздовжні тріщини по ребрах утворюються у квадратних зливках при спотворенні профілю.

Поперечні поверхневі тріщини виникають у кристалізаторі внаслідок посиленого тертя при недостатньому змащуванні стінок та внаслідок зависання кірки за наявності на стінках кристалізатора подряпин, вм'ятин (рис.3.2). Різноманітні внутрішні тріщини утворюються під спільним впливом термічних напруг і механічних зусиль від опорних, тягнучих і згинальних роликів.



1 – центральна тріщина; 2 – діагональні тріщини; 3 – осьові; 4 – внутрішні тріщини перпендикулярні широким граням злитка; 5 – поздовжні поверхневі тріщини на гранях злитка; 6 – тріщини, перпендикулярні вузьким граням злитка; 7 - поздовжні тріщини по ребрах (кутах); 8 – павукоподібні та сітчасті тріщини; 9 – поперечні тріщини в кутах злитка; 10 – поперечні поверхневі тріщини

Рисунок 3.2 – Характерні види тріщин у сплавах, безперервно розлитих на горизонтальних установках

Гніздоподібні тріщини представляються у вигляді скупчення дрібних тріщин, що розташовуються ближче до центру злитка і утворюються при розгинанні злитка з рідкою серцевиною.

Осьові тріщиниу слябах розташовуються з їхньої великої осі у зоні змикання фронтів кристалізації. Вважаються, що ці тріщини утворюються в результаті усадки сталі, якщо вона не компенсується зусиллям, що стискають опорних роликів; особливо вони виявляються при витріщенні широких граней злитка, коли стискаючі зусилля явно недостатні. У блюмах, де усадка сконцентрована в центрі злитка, форма осьових тріщин дещо інша.

Тріщини перпендикулярні вузьким гранямі розташовані поблизу них, виникають при витріщенні широких граней зливка, тобто при недостатній підтримці оболонки злитка опорними роликами.

Діагональні тріщинина стику кристалів, що ростуть від двох суміжних граней, зустрічаються в злитках квадратного перерізу в умовах спотворення профілю в тупих кутах.

Газові бульбашкиу кірковому шарі злитка виникають при високому вмісті водню, підвищеному вмісті вологи у захисній шлаковій суміші.

Шлакові включенняна поверхні злитків виникають при заливанні рідким металом кристалізатора з прилиплими до стінок частинок шлаку або розмитих вогнетривів.

3.6 Удосконалення структури та організації підприємств звипуску продукції на основі сталей

Модернізація морально застарілих виробничих потужностей не вирішує основних проблем діючих великих виробництв, але в створення нових підприємств знадобляться десятиліття. Відповідно до тенденцій розвитку металургії у структурі світового металовиробництва формуються нові типи підприємств, що відрізняються розміром капітальних та

енерговитрат, структурою продукції, що випускається. Характеристики даних типів підприємств (табл. 3.1) відбивають основні тенденції сучасної металургії [14].

Альтернативою великому металургійному виробництву поступово стає створення компактних та гнучких технологічних модулів – міні-заводів. Такі заводи відрізняються новими сучасними технологіями із високим рівнем рентабельності виробництва та якості продукції. Потужність таких підприємств нижча за потужність класичних металургійних комбінатів. При цьому сучасні технологічні процеси дозволяють досягти максимальних показників продуктивності, обсягів продажу та рівня рентабельності в умовах невеликих витрат на виробництво, мінімальних викидів технологічних відходів та мінімальних простоїв обладнання.

У передових промислових країнах частка міні-міллів сягає 25%-45% від загального обсягу виробничих можливостей. Малі виробництва демпфують негативний вплив зупинок старих великих металургійних заводів, не даючи іноземним виробникам металопрокату захопити внутрішній ринок.

За даними компанії "Метал експерт консалтинг", на пострадянському просторі кількість міні-заводів становить до 40 підприємств із загальною потужністю не більше 35 млн. тонн сталі. В Україні працює чотири міні-заводи із сумарною потужністю близько 1,7 млн. тонн сталі – ПрАТ «Донецький електрометалургійний завод», ТОВ «Електросталь», ПАТ «Електрометалургійний завод «Дніпроспецсталь» ім. А. Н. Кузьміна» та електросталеплавильний комплекс ІНТЕРПАЙП СТАЛЬ [15].

Таблиця 3.1 - Структура підприємств у світовій металургії

№	Типи підприємств	Капітальні витрати, дол./т	Амортизаційні відрахування, дол./т	Енерго-витрати, ГДж/т
1	Традиційні заводи з повним циклом	1000	150	24-30
2	Міні-заводи на сировину прямого відновлення	450	70	14-17
3	Міні-заводи на металобрухті	300	45	11-14

Масовому виникненню компактних високотехнологічних металургійних комплексів сприяють умови затяжної економічної кризи з різкими ціновими коливаннями на сировину та готову продукцію. У умовах великі металургійні заводи відчувають великі труднощі, викликані невідповідністю мінімально можливого обсягу рентабельної партії продукції обсягу споживання. Це призводить до затоварювання складів готової продукції, вимушених зупинок та простою високопродуктивного обладнання [16].

Для малого металургійного підприємства такі проблеми мало актуальні. Для них не є проблемою невідповідність між мінімальною рентабельною партією та замовленням споживача. Короткий металургійний цикл вимагає значних сировинних запасів, а готова продукція відвантажується безпосередньо кінцевому споживачеві.

Нові технології дозволяють збільшити виробництво одного працюючого до 1,5 тис. т на рік проти 0,5 тис. т - на передових європейських заводах старої виробничої архітектури. Міні-заводи нового споживають електроенергії в 3-5 разів менше, розташовуються на площі в 8-15 разів

нижче за традиційні металургійні комбінати, знижують забруднення повітряного та водного середовища на 86% і 76% відповідно.

За даним таблиці 3.2 випливає, що тривалість виробничого циклу міні-заводу нижче діючих підприємств більш ніж 10 раз, а рентабельність виробництва – вищу більш ніж 2 разу. Вартість такого заводу на 1 т готової продукції нижча за будівництво традиційного заводу в 4 рази, а окупність вкладень не більше 2 років. Таке підприємство практично завжди відповідає кон'юнктурі ринку та специфічним вимогам замовника, а його інвестиційна привабливість значно вища за класичне металургійне підприємство [17].

Таблиця 2 - Порівняльні показники робочих параметрів металургійних міні-заводів та заводів повного циклу

Показники	Інтегр.завод	Міні-завод
Потужність, тис.т/рік	Від 3000 і вище	100-2000
Маса технологічного обладнання, т	До 1000000	1000-26800
Питомі капітальні вкладення, у.о./т	650-1000	150-300*
Окупність, рік	10-12	1,5-2
Тривалість будівництва, рік	8-10	1,5-2
Дальність перевезень брухту, км	1500	400
Дальність перевезень прокату, км	1800	400
Витрати транспортування у структурі собівартості, %	20	1-5
Кількість споживачів	20	>100
Чисельність працівників, тис.чол.	10-20	0,3-0,6
Вироблення товарної продукції на одного працівника основної діяльності	15,5-23,3	50,2-65,4
Тривалість циклу, доби	5-10	0,5-0,6
Рівень рентабельності, %	7-20	15-22
Вкладення обладнання, що забезпечує охорону навколишнього середовища, у.о./т	400-650	70-150
Випуск прокату, тис.т/рік на од.		
площі, тис.т/рік*га	69-400	18-20
обладнання тис.т/т*рік	120-160	26,1-100
потужності, тис.т/кВт×рік	6,4-5,8	3,41-5,3
Витрати праці, чол.-год/т	5,5-7,6	1,5-7,6

Будівництво міні-заводу не завжди відповідає виникненню нового самостійного підприємства, часто воно може бути результатом реконструкції вже існуючих металургійних підприємств. Сучасний розвиток міні-заводів обумовлюється вирішенням питань забезпечення якісною сировиною та доступністю до енергогенеруючих потужностей, необхідних для оптимального завантаження обладнання. Практика західних країн показує, що ці питання можуть бути вирішені шляхом створення компанії надбудови на базі декількох міні-заводів. Такий підхід реалізував найбільший європейський виробник сталі – іспанська компанія Acelaria або консолідації їх виробництв та створення великих транснаціональних корпорацій, таких як Nucor Corporation, Gerdau Ameristeel Corporation, Dynamic Steel Corporation.

Прикладом такого рішення в Україні є електросталеплавильний комплекс “Інтерпайп Сталь”, який є частиною міжнародної вертикально-інтегрованої трубно-колісної компанії (ТКК) “Інтерпайп”.

Враховуючи найжорстокіші умови виживання металургійної промисловості України, основний її подальший розвиток має стати виключно інноваційний шлях, що передбачає будівництво нових високотехнологічних виробництв, в основі яких лежить виробництво продукції з високою доданою вартістю.

Водночас саме інноваційний розвиток металургійної промисловості неможливий без створення малих виробництв, які завдяки великій кількості впроваджених інновацій у технологічні, структурні та організаційні процеси мають високу інвестиційну привабливість.

На сьогодні ступінь залучення малих заводів до металургійного виробництва України вкрай низький, але перспективність даного сектора не викликає сумнівів. Це підприємства нового покоління – екологічно чистіші, енергоефективні та технологічні, з високим рівнем адаптації до ринкових умов та потреб споживачів.

При цьому розвиток міні-заводів в Україні може відбуватися як самостійних суб'єктів ринкової економіки, так і створюватися на базі металургійних комбінатів повного циклу, одночасно вирішуючи проблеми застарілих технологій великого металургійного гіганта та власні проблеми забезпечення якісною сировиною.

Висновки до розділу 3

1. Розглянуто принципи роботи в машині безперервного двостороннього горизонтального лиття заготовок – МБДГЛЗ.

2. Розроблено технологічний процес безперервної двосторонньої горизонтальної розливання сталі.

3. Запропоновано технологічні підходи та методи підвищення функціональних параметрів неперервнолитого зливання.

4. Проведено аналіз та запропоновано варіант удосконалення структури та організації підприємств з випуску продукції на основі на основі сучасних сплавів та сталей.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Основні шкідливі і небезпечні фактори на майданчику безперевного розливання сталі

На плавильно- разливочному майданчику стали присутні такі небезпечні й шкідливі фактори:

- небезпека ураження електричним струмом;

- теплові випромінювання, електромагнітні випромінювання, сліпуча яскравість відкритого полум'я;

- загазованість і запиленість;

Електричний струм. Дія електричного струму на організм може викликати різні електричні травми (електричний опік, металізацію шкіри, електричний знак, електроофтальмія) і електричний удар. Електричний опік можуть заподіяти електрична дуга (дуговий опік) або контакт з струмоведучою частиною, струмовий опік); останній відбувається внаслідок протікання через тіло людини струму значною величиною або високої частоти або великого перехідного опору в місці контакту.

Металізація відбувається в результаті механічного і хімічного впливу струму, коли в глиб шкіри проникають пароподібні або розплавлені металеві частинки; уражена ділянка шкіри набуває жорсткої поверхні, і забарвлюється. Електричний знак - наслідок теплового впливу при протіканні щодо великого струму через малу поверхню з відносно великим опором при температурі 50 - 115° С і хорошому контакті; це - спечені або обвуглені ділянки шкіри або припухлість її, іноді виникає відбиток від дотику струмоведучої частини. Електричний знак не хворобливий і зазвичай благодійно проходить, але відомі випадки і важких наслідків (природна ампутація ураженого органу). Електричний удар - пошкодження організму при виникненні електричного кола через тіло людини. Це - біофізичне явище, викликане наявністю електричних полів великих

градієнтів, непритаманних організму (організму властиві електричні поля малих градієнтів, створювані біотоками). У фізіологічному відношенні електричний удар є обумовлене факторами зовнішнього середовища пошкодження , яке відбувається при виникненні електричних ланцюгів через живий організм. Реакція може виражатися по різному, починаючи з неприємного роздратування або локальними судомами, призводить до отдергивания контактної з джерелом напруги кінцівки, і завершаючи смертельним результатом. Електричний струм діє місцево, пошкоджуючи тканини, і рефлекторно - через нервову систему. Рефлекторна дія виражається дуже різко, тому що при проходженні через організм електричний струм вражає величезна кількість чутливих нервів. Вельми суттевий вплив надає і безпосередню дію електричного струму на кісткову мускулатуру, викликаючи судому, і особливо на серці, викликаючи фібриляцію його.

Джерелами електричного струму на плавильної майданчику є струмовідні частини, по яких електричний струм передається від пічних трансформаторів до електродотримача. Сила струму з високого боку досягає 1500А при напрузі 10000В, а з низькою боку - до 80000А при напрузі 190в

Теплове випромінювання. При нагріванні тіла і при фізичній роботі кровоносні судини шкірного покриву розширюються, і виробничність роботи серця збільшується, в результаті чого приплив крові і передача нею тепла шкірного покрову збільшуються. Внаслідок постійного теплообміну з навколишнім середовищем утворюється в організмі тепло віддається до зовні. Віддача тепла відбувається: 1) провідністю, 2) конвекцією 3) випромінюванням, 4) випаровуванням поту.

Вплив теплового випромінювання на організм людини призводить до інтенсивного випаровування вологи зі слизових оболонок, їх пересихання та ерозії, забруднення хвороботворними мікробами. Тривалий вплив високої температури може призвести до накопичення тепла в організмі і до

гіпертермії - стану, при якому температура тіла підвищується до 38 ... 40°С. при гіпертермії, і як наслідок, тепловому ударі, спостерігається головний біль, запаморочення, загальна слабкість, зміна колірного сприйняття, сухість у роті, нудота, блювання, потовиділення.

Джерелом теплового і світлового випромінювання є феросплавна піч. У цеху створюються потоки теплових випромінювань головним чином інфрачервоних променів з довжиною хвилі до 10 мк. Зовнішня поверхня печі випромінює температуру до 500 ° С при довжині хвилі 3,7 - 9,3 мк; розплавлений метал і полум'я - до 1800 ° С, довжина хвилі 1,4 - 1,9 мк.

Таблиця 4.1 - Залежність теплового відчуття від енергії опромінення і тривалості впливу

Енергія опромінення Ккал/м^{2}год	Характер впливу	Перенесення при безперервному опроміненні
240-480	Слабке	Не визн. довго
480-900	Помірне	3-5 хв.
900-1380	Середнє	40-60 сек.
1380-1800	Значне	20-30 сек.
1800-2400	Висока	12-24 сек.
2400-3000	Сильне	8-10 сек.
Більше 3000	Дуже сильне	2-5 сек.

Загазованість і запиленість. Виробничий пил досить поширений небезпечний і шкідливий виробничий фактор. Підвищена концентрація пилу характерна для плавильного майданчику феросплавної печі.

Таблиця 4.2 - Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин

Найменування речовини	ГДК мг/м^3
Окис вуглецю	20
Пил, що містить більше 70% вільної SiO2 в її кристалічної модифікації	1
Пил містить більше 10% і до 70% SiO_2	2
Марганець (у перерахунку на MnO_2) 20	0,3

Пил робить на людину фібро-генний вплив, при якому в легенях відбувається розростання сполучних тканин, що порушує нормальну будову та функцію органу. Шкідливість виробничого пилу обумовлена її здатністю викликати професійні захворювання легень, в першу чергу пнемоконіози, силікоз.

Вплив пилу на організм залежить від її складу і походження; і нетоксичний пил може надавати шкідливу дію, подразнюючи шкіру, очі, ясна, вуха. Чхання і кашель рефлекторно захищають від пилу. При запиленому повітрі встановлюється поверхневе дихання. Значний вплив на поведінку пилу надає її дисперсність. Чим дисперсніша речовина, тим легше, швидше і глибше проникає вона в організм. При розвиненій питомої поверхні пил є хорошим адсорбентом. Адсорбція пилу отруйних газів робить нетоксичну пил токсичною.

У процесі хімічних реакцій, які відбуваються феросплавної печі, виникає окис вуглецю (CO). Це газ без кольору і смаку зі слабким запахом часнику. Існує велика небезпека появи його на плавильному майданчику.

Наслідки впливу на організм цього хімічного задушливого газу дуже серйозні. Діючи задушливо, цей газ розчиняється в крові, витісняючи з неї

кисень (O_2), отже створюючи в крові карбоксигемоглобін (COH_0). Симптоми впливу цього газу - слабкість, сонливість, "туман" в очах; наслідки впливу окису вуглецю - втрата свідомості, отруєння, летальний результат.

4.2 Заходи щодо усунення шкідливих і небезпечних факторів

Електричний струм. Для запобігання попадання працівника на плавильному майданчику в зону ураження електричного струму всі електроустановки (трансформатори пічні) знаходяться у спеціальних приміщеннях (камерах), доступ до яких і дозволений лише навченому і проінструктованому персоналу. Струмовідні частини, що передають напругу від трансформаторів до електродів, повинні бути розташовані на недосяжній висоті з урахуванням можливості ненавмисного дотику до струмоведучих частин довгими металевими предметами. Всі труби зливних колекторів охолодження елементів печі, розташовані в робочій зоні на плавильному майданчику, за ізольовані азбестовим полотном, що дозволить уникнути попадання робочого під напругу від випадкового дотику до зливних труб, перебуваючи на зведенні печі.

Порядок проведення робіт на печі суворо регламентований інструкцією, і весь плавильний персонал один раз на три місяці зобов'язаний проходити інструктаж. Обов'язковим є використання засобів захисту від ураження електричним струмом - це гумові килимки, дерев'яні щити і помости, а також дотримання правил техніки безпеки при роботі на зводі печі і в близу струмоведучих частин. За плавильним майданчиком розвішені попереджувальні плакати.

Теплове випромінювання. Спеціальний одяг служить для запобігання роботи на плавильної майданчику від впливу теплового випромінювання і опіків.

Матеріал для спецодягу повинен бути вогнетривким, стійким до впливу теплового випромінювання, міцним, м'яким, повітропроникним як у сухому, так і у вологому стані (для поліпшення повітрообміну тіла працюючого з навколишнім середовищем), вологоємним, гігроскопічним і паро-проникним. Костюм для робітників, які працюють на плавильної майданчику феросплавної печі, складається з двобортною широкого крою куртки і штанів. Куртку не слід заправляти в брюки, а брюки - в чоботи. Типи спецодягу різні, в одних з них використовується захисна функція повітряного прошарку, для чого куртку роблять з двох шарів матерії з повітряним прошарком між ними. В іншому типі костюмів використовується відображення променів поверхнею костюма. Спецодяг робітників виготовляють з сукна. Застосовують також уплотнення тканини з синтетичного волокна, хімічно оброблені, з металевим покриттям та ін. При наявності небезпеки впливу полум'я та іскор застосовують спецодяг з металізованої або скляною тканиною з вогнестійким просоченням.

Для захисту голови від перегріву і опіків застосовують капелюхи з широкими крисами з повсті, фетру або грубошерстої сукна. Для захисту від перегріву, безпосередньо на плавильної майданчику, в робочу зону здійснюється подача припливного повітря (душірующая вентиляція).

Для захисту ніг застосовують спеціальне взуття. Матеріал взуття повинен бути стійким проти підвищеної температури, опромінення, іскор, мало теплопровідним і повітряно пронизним. Для захисту рук застосовують суконні з шкіряними нашивками рукавиці (вачагі).

Для захисту очей від впливу енергії випромінювання використовують окуляри зі світлофільтрами. Світлофільтр відбирають зі спектральною характеристикою, яка відповідає спектральному діапазону потоку випромінювання, для захисту від якого окуляри призначені. Для роботи у металургійних печах (крім доменних) при температурі до 1800°С використовують скла СС4, СС11. Окуляри кріплять до козирку або полях головного убору. Оправа окулярів повинна бути легкою; щоб вона не

нагрівалася, її обшивають м'якою тканиною. Застосовують також скла з тонкошаровим металевим відображаючим промені покриттям. Для захисту обличчя та очей використовують щитки з органного скла, металевої сітки і комбіновані (зі скла та сітки) маски із світлофільтром.

Забруднення повітря і запиленість. Захист органів дихання досягається застосуванням, що фільтрують із ізолюючих приладів. Як індивідуальні фільтруючі прилади на плавильної майданчику феросплавної печі використовуються респіратори. Респіратор складається з гумової (або з полімерів) напівмаски, клапанів з фільтрами для вдиху і видиху, оголов'я і обтюратора. Респіратори призначені для очищення, вдихуваного повітря від пилу (протипилові респіратори) типу РПК, РУ-71, РН-16, РПБ-5, ШБ-1 («Лепесток»), ШБ-2 або газів (протигазові респіратори) універсальні типу РУ-60М, Р-2 і Ф-46.Опір диханню цих приладів повинне бути не великим (приблизно до 50 Н/м^2)

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Представлено аналіз структури та функціональних властивостей сталі, описані фазові перетворення та вплив фаз на основні параметри сталі.

2. Розглянуто методи розливання сталі, наводяться переваги та недоліки способів одержання сталі: конверторні, мартенівські, електрометалургійні, методи прямого відновлення та електрошлакової плавки.

3. Проведено аналіз методів розливання сталі у виливниці, у сифони, машинами безперервної заливання: вертикальними, криволінійними, горизонтальними, розливно-прокатними комплексами, показано їх переваги та технологічні недоліки.

4. Наведено аналіз основного обладнання для безперервного розливання сталі, показано технологічні особливості їх застосування, конструктивні відмінності, порівняльні функціональні характеристики.

5. Розглянуто принципи роботи у машині безперервного двостороннього горизонтального лиття заготовок – МБДГЛС. Розроблено технологічний процес безперервного двостороннього горизонтального розливання сталі. Запропоновано технологічні підходи та методи підвищення функціональних параметрів безперервнолитого зливка.

6. Проведено аналіз та запропоновано варіант удосконалення структури та організації підприємств з випуску продукції на основі сучасних сплавів та сталей.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Журило А. Г., Журило Д. Ю., Мойсеєв Ю. В. Теоретичні та практичні основи проектування машин безперервного лиття : монографія. Харків: НТУ "ХПІ", 2013. 174 с.

2. Смирнов А. Н., Сафонов С. М., Дорохова Л. С., Цупрун А. Ю. Металургійні міні-заводи : монографія Дніпро: Норд-Прес, 2005. 469 с.

3. Українська металургія: сучасні виклики та перспективи розвитку: монографія / Амоша А.І., Большаков В.І., Мінаєв О.О., Залознова Ю.С., Збаразька Л.О., Макогон Ю.В. Дніпро: НАН України, Інститут економіки промисловості, 2013. – 114 с.

4. Дюдкін Д. А., Кисиленко В. В., Акулов В. В. та ін. Удосконалення технології безперервного розливання низькокремнистих марок сталі . *Бюл. наук.-техн. та економ. інформації*, 2007. Вип. 8. С. 35-37.

5. Литвин, О.В., Мазур, В.Л., Темошенко, В.Л. Розробка ливарно-прокатних комплексів для листової сталі, тонких слябів і стрічок за кордоном. *Чорна металургія*, 1990. №4. С.23-31.

6. Смирнов А. Н., Пілюшенко В. Л., Мінаєв А. А. та ін. Процеси безперервного розливання. Донецьк: ДонНТУ, 2002. С. 536

7. Бігєєв. А.М., Бігєєв В.А. Металургія стали. Теорія та технологія плавки сталі. Мінск: МДТУ, 2000. - С. 342-352.

8. Дюдкін Д.А., Кисиленко В.В. Сучасна розробка виробництва сталі. Теплотехніка, 2007. С. 528.

9. Makurov, S. L., & Silkin, D. V. Дослідження впливу низькочастотної гідроімпульсної обробки в процесі затвердіння сталі на макроструктуру та неоднорідність великого стального злитку. *Вісник Приазовського Державного Технічного Університету. Серія: Технічні науки*, 2014. №26. С. 40–45. https://doi.org/10.31498/2225-6733.26.2013.29711

10. Смирнов А.Н., Макуров С.Л., Сафонов В.М., Цупрун А.Ю. Крупный слиток : монографія. ДОННТУ. Донецк: Вебер, 2009. 278 с.

11. Еронько С.П., Быковских С.В. Физическое моделирование процессов внепечной обработки и разливки стали. Киев: Техніка, 1998. 36 с.

12. Смирнов А.Н., Пилюшенко В.Л., Момот С.В., Амитан В.Н. Затвердевание металлического расплава при внешних воздействиях. Донецк.: Изд-во «ВИК», 2002. 169 с.

13. Верховлюк А.М., Нарівський А.В., Могилатенко В.Г. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва : навч. посібник за ред. академіка НАН України В.Л. Найдека. Київ: Видавничий дім “Вініченко”, 2016. 224 с.

14. Чернега Д.Ф., Богушевський В.С., Готвянський Ю.Я., Грищенко С.Г., Шифрін В.М., Шурхал В.Я. Основи металургійного виробництва металів і сплавів : підручник. Київ: Вища школа, 2006. 503 с.

15. Мини-милльными шагами [Электронный ресурс] / Информационное агентство Минпром. http://minprom.ua/articles/155384.html .

16. Металлургические мини-заводы: Монография / Смирнов А. Н., Сафонов В. М., Дорохова Л. В., Цупрун А. Ю. Дніпро: Норд-Пресс, 2005. 469 с.

17. Украинская металлургия: современные вызовы и перспективы развития: монография / Амоша А.И., Большаков В.И., Минаев А.А., Залознова Ю.С., Збаразская Л.А., Макогон Ю.В. НАН Украины, Институт экономики промышленности, 2013. 114 с.