

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА МЕТАЛУРГІЇ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ І ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до випускної магістерської роботи

зі спеціальності 136 – Металургія
за освітньо-професійною програмою – Металургія чорних металів

Тема роботи: «РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ПРИСКОРЕННЯ ШВИДКОСТІ
КРИСТАЛІЗАЦІЇ РІДКОЇ СТАЛІ В МАШИНИ БЕЗПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ
ЗАГОТОВОК ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ТОВСТОЛИСТОВОЇ СТАЛІ»

Виконав:
магістрант групи МЧМ-23-1м _____ Денис ПЛАХОТНИЙ

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Сергій САВЕЛЬЄВ

Нормоконтролер _____ Сергій САВЕЛЬЄВ

Завідувач кафедри _____ Сергій САВЕЛЬЄВ

Кривий Ріг
2024 р.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: гірничо-металургійний

Кафедра металургії чорних металів і ливарного виробництва

Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр

Спеціальність: 136 Металургія

Затверджую

Зав. кафедрою _____

« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на випускню магістерську роботу здобувача

Плахотний Денис Віталійович

1. Тема роботи: Розробка заходів з прискорення швидкості кристалізації рідкої сталі в машині безперервного лиття заготовок при виготовленні товстолистової сталі

керівник роботи: д.т.н., професор Савельєв Сергій Геннадійович

затверджено наказом по КНУ від « 28 » 06 2024 р. № 545с

2. Строк подання роботи студентом « 01 » 12 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: товстий лист – товщина 4 мм і ширина 500 мм.; хімічний склад легованої сталі; кристалізатор; слябова машина безперервної розливки сталі; ливарно-прокатний модуль; прокатна кліть кварто.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз процесів безперервної розливки рідкої сталі при виготовленні товстолистової сталі. 2. Заходи з прискорення швидкості кристалізації рідкої сталі в машині безперервного лиття заготовок при виготовленні товстолистової сталі. 3. Техніко-економічна оцінка результатів досліджень. 4. Санітарно-екологічна оцінка результатів науково-дослідної роботи.

5. Перелік графічного матеріалу

Загальний вигляд машини безперервної розливки сталі. Типи машин безперервного лиття заготовок. Будова радіальної машини безперервної розливки сталі. Елементи МБЛЗ. Радіальна багаторівчачова машина безперервної розливки сталі. Структура безперервно-литого матеріалу. Калібрування квадрату. Річний фонд роботи машини. Техніко-економічні показники прийнятих рішень.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Розділ 1	проф. Савельєв С.Г.		
Розділ 2	проф. Савельєв С.Г.		
Розділ 3	доц. Бондарчук О.М.		
Розділ 4	доц. Шаповалов В.А.		

7. Календарний план

№ з/п	Етапи роботи	Термін виконання
1	Збір необхідного матеріалу для виконання випускової роботи	12.08-31.08.2024 р.
2	Аналіз процесів безперервної розливки рідкої сталі при виготовленні товстолистової сталі	01.09-15.09.2024 р.
3	Заходи з прискорення швидкості кристалізація рідкої сталі в машині безперервного лиття заготовок при виготовленні товстолистової сталі	16.09-30.09.2024 р.
4	Техніко-економічна оцінка результатів досліджень	01.10-15.10.2024 р.
5	Санітарно-екологічна оцінка результатів науково-дослідної роботи	16.10-31.10.2024 р.
6	Виконання графічної частини	01.11-30.11.2024 р.
7	Захист магістерської роботи	18.12.2024 р.

Дата видачі завдання: « 12 » 08 2024 р.

Здобувач _____ Денис ПЛАХОТНІЙ

Керівник випускної роботи _____ Сергій САВЕЛЬЄВ

РЕФЕРАТ

до випускної кваліфікаційної роботи на тему:

«Розробка заходів з прискорення швидкості кристалізація рідкої сталі в машині безперервного лиття заготовок при виготовленні товстолистової сталі »

Обсяг роботи: пояснювальна записка – 82 стор., 9 табл., 19 рис., 31 джерело.

Мета роботи: розробити заходи зі збільшення швидкості кристалізації рідкої сталі в машині безперервного лиття заготовок

Об'єкт дослідження: процес розливки рідкої сталі в машину безперервного лиття заготовок.

Предмет дослідження: кристалізація рідкої сталі в машині безперервної розливки та заходи х її прискорення.

Методи дослідження: теоретичний аналіз процесів безперервної розливки рідкої сталі, кристалізації матеріалів, визначення обладнання та швидкісних режимів, розрахункові методи визначення ефективності процесу.

Результати роботи: виконано аналіз безперервної розливки рідкої сталі в машині безперервного лиття заготовок, проаналізовано способи отримання товстолистової сталі, визначено обладнання, що це забезпечує, запропоновано заходи зі збільшення швидкості кристалізації сталевих виробів, розраховано режими м'якого обтиснення, визначено техніко-економічні показники, виконано санітарно-екологічну оцінку щодо запропонованих заходів.

ТОВСТІЙ ЛИСТ, БЕЗПЕРЕРВНА РОЗЛИВКА РІДКОЇ СТАЛІ,
ШВИДКІСТЬ КРИСТАЛІЗАЦІЇ

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.Р					
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	РЕФЕРАТ					
Розробив	Плахотний							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Савельєв								1	1
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МЧМ-23-1м		
Н. контр.	Савельєв									
Затвердив	Савельєв									

ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ

ЗМІСТ

	Стор.
РЕФЕРАТ.....	4
ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ.....	5
ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ БЕЗПЕРЕРВНОЇ РОЗЛИВКИ РІДКОЇ СТАЛІ ПРИБИ ВИГОТОВЛЕННІ ТОВСТОЛИСТОВОЇ СТАЛІ.....	9
1.1 Призначення, матеріал та способи виготовлення товстого листа....	9
1.2 Суть процесу безперервної розливки сталі та кристалізації матеріалу.....	12
1.3 Класифікація машин безперервного лиття заготовок та їх основні елементи.....	14
1.4 Прокатування листової сталі.....	21
1.5 Компонування обладнання для отримання товстих листів з використанням МБЛЗ.....	26
1.6 Задачі роботи.....	32
2 ЗАХОДИ З ПРИСКОРЕННЯ ШВИДКОСТІ КРИСТАЛІЗАЦІЇ РІДКОЇ СТАЛІ В МАШИНІ БЕЗПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ ЗАГОТОВОК ПРИБИ ВИГОТОВЛЕННІ ТОВСТОЛИСТОВОЇ СТАЛІ.....	33
2.1 Визначення обладнання для дослідження процесу.....	33
2.2 Температурно-швидкісний режим.....	35
2.3 Особливості структури безперервно-ливої заготовки.....	37
2.4 Поєднання безперервної розливки і прокатки.....	38
2.5 Введення модифікаторів.....	40
2.6 Технологія отримання листового матеріалу безперервною розливкою.....	44
2.7 Визначення режимів обтиснення при прокатуванні товстолистової сталі, що має товщину 8 мм.....	48
2.8 Висновки до розділу.....	52
3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	53
4 СОЦІАЛЬНО-ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	68
ВИСНОВКИ.....	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	79

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.3					
					ЗМІСТ					
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата						
Розробив	Плахотний							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Савельєв								1	1
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МЧМ-23-1м		
Н. контр.	Савельєв									
Затвердив	Савельєв									

ВСТУП

Останнім часом на підприємствах відбувається перехід з дискретної розливки сталі на безперервну, через те, що така технологія має ряд переваг: зростає якість готової продукції, поліпшуються її фізичні та хімічні характеристики, геометричні параметри, якість поверхні металовиробів та їх внутрішня структура, збільшується вихід придатного матеріалу, зменшуються витрати енергії, зменшується собівартість готових виробів. Через такі переваги способи безперервної розливки сталі стали найпопулярнішими у світовому металургійному виробництві. В Україні безперервним способом розливають близько 50 % сталі, що виплавляється на металургійних підприємствах. Такі процеси постійно удосконалюються.

На сьогоднішній день процеси безперервної розливки сталі широко використовують в якості сполученої ланки між процесами безперервної розливки сталі та прокатуваннями, що дозволяє забезпечити якісні металовироби та добрі показники виробництва.

Суть процесу полягає в кристалізації рідкого металу в кристалізаторі машини безперервного лиття заготовок, вихід з машини безперервного лиття і спрямування затверділого матеріалу до прокатних клітей, де і відбувається м'яке обтиснення суть якого полягає в обтисненні металу при м'якій серцевині.

Останнім часом підприємства працюють над способами удосконалення процесу кристалізації і підвищення швидкості кристалізації в машині безперервного лиття заготовок. З цією метою пропонують все нові конструкції кристалізаторів, що дозволяють це забезпечити. Також пропонують нові способи зовнішньої дії на процес кристалізації та обладнання, що дозволяє це забезпечити.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.ВС			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Плахотний				ВСТУП	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Савельєв						1	2
Рецензент						Кафедра МЧМЛВ гр. МЧМ-23-1м		
Н. контр.	Савельєв							
Затвердив	Савельєв							

На базі безперервної розливки сталі створюються ливарно-прокатні модулі, де в одному комплексі з'єднано машину безперервної розливки сталі і прокатний стан, що дозволяє забезпечити випуск продукції заданої якості при високій продуктивності процесу та мінімальних витратах енергії.

Але розвиток таких модулів стримується через низьку швидкість кристалізації рідкої сталі в машині безперервного лиття заготовок, що не узгоджується з високою швидкістю прокатування. Тому, збільшити швидкість кристалізації рідкої сталі в машині безперервного лиття заготовок для отримання товстих листів є задача актуальна, що дозволить випускати товсті лити потрібної якості при мінімальних витратах енергії.

Для цього потрібно в роботі дослідити процес отримання товстих листів з безперервно-ливої заготовки та знайти заходи, що дозволять збільшити швидкість кристалізації рідкої сталі в машині безперервного лиття заготовок і розробити удосконалену технологію.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.ВС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

1 АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ БЕЗПЕРЕРВНОЇ РОЗЛИВКИ РІДКОЇ САЛІ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ТОВСТОЛИСТОВОЇ СТАЛІ

1.1 Призначення, матеріал та способи виготовлення товстого листа

Листовий прокат – це один з найзатребуваніших видів металовиробів. За товщиною листову сталь поділяють на товстолистову та тонколистову.

Товстий лист – це плоский виріб, що має товщину понад 4 мм і ширину понад 500 мм (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Горячекатаний товстий лист

Такий лист може використовуватися у різних галузях промисловості. Переважна частка товстолистого прокату використовується в будівництві для спорудження будівель, мостів та суднобудуванні, в машинобудування; з товстолистової сталі виготовляють котли та посудини, що здатні працювати під тиском; виготовляють вежі вітрогенераторів.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.01.АПБРРС			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Плахотний				АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ БЕЗПЕРЕРВНОЇ РОЗЛИВКИ РІДКОЇ СТАЛІ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Савельєв						1.1	24
Рецензент						Кафедра МЧМЛВ гр. МЧМ-23-1м		
Н. контр.	Савельєв							
Затвердив	Савельєв							

В залежності від призначення товстий лист поділяється на 4 групи:

- для виготовлення судів та котлів, які здатні працювати під тиском; з цією метою використовують листову сталь, що має товщину від 4 до 160 мм з вуглецевих та легованих сталей; використовують сталі марок 09Г2С, 10Г2С1;
- для отримання зварних конструкцій та елементів у судобудівництві; використовують сталі марок СтЗсп, Ст 3 пс, 09Г2;
- в містобудівництві використовують товстолистову вуглецеву сталь мартенситну киплячу та спокійну;
- малоперлитну сталь марки 09Г2СФБ використовують для виготовлення зварних труб, які здатні працювати при низьких температурах.

За стандартом ГОСТ 19903 до листів пред'являють наступні вимоги:

- точність виготовлення – підвищена (А) або звичайна (Б);
- площинність – нормальна (ПН), покращена (ПП), висока (ПВ), особливо висока (ПО);
- характер кромки – обрізна (О) або необрізна (НО).

Гарячекатаний лист виготовляється з вуглецевих та легованих сталей і сплавів.

В залежності від умов експлуатації потрібно виготовляти листову сталі с наступними властивостями:

- прокат з підвищеною пластичністю для холодного штампування та профілювання;
- прокат нормальної міцності з вуглецевих та низьколегованих сталей;
- прокат підвищеної міцності з низьколегованих та легованих сталей;
- високоміцний прокат та лист з особливими властивостями для спеціального застосування.

С кожним роком все більше уваги приділяють високоміцній товстолистовій сталі, яка отримується з використанням зміцнюючої термічної обробки. Тека термічна обробка може виконуватися як в потоці прокатного стану, так і поза ним.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.01.АПБРРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.2

В роботі розроблено технологію виготовлення листової сталі з низьколегованої сталі підвищеної міцності. Для цього використовують наступні марки сталей: 10ХНДП, 09Г2, 09Г2С, 10ХСНД, 15ХСНД.

Такі сталі належать до низьколегованих конструкційних сталей, відносять їх до групи якісних залізобуглецевих сплавів.

У промисловості широко використовується плоский прокат зі сталі 09Г2С. Така сталь добре зварюється. Може використовуватися для отримання зварних та збірних металоконструкцій.

Склад цієї сталі наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад легованої сталі підвищеної міцності

Марка сталі	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	V	Fe
09Г2С	0,12	0,5-0,8	1,3-1,7	0,3	до 0,035	до 0,3	до 0,3	до 0,3	0,1	96-97
09Г2	0,12	0,17-0,35	1,4-1,8	0,3	до 0,035	до 0,3	до 0,3		-	96-98
10ХСНД	0,12	0,8-1,1	0,5-0,8	0,5-0,8	до 0,035	до 0,3	0,6-0,9	0,4-0,6	-	96-98
15ХСНД	0,12	0,4-0,7	0,4-0,7	0,3-0,6	до 0,045	до 0,035	0,6-0,9	0,2-0,4	-	96-98

Такі сталі мають відмінне поєднання міцності, пластичності та в'язкості. Характеризується матеріал підвищеними механічними властивостями. Такий лист дуже зазубований через високу температурну міцність. Металовироби зі сталі 09Г2С зберігають свої механічні властивості при температурах від -79 до +450⁰С. Через стійкість як до високих, так і низьких температур з такого листа здебільше виробляють різні ємності та котли, які працюють під тиском. Використовується він також у нафтовій та газовій промисловості. Питома вага таких матеріалів дорівнює 7,85 г/см³.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.01.АПБРРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.3

1.2 Суть процесу безперервної розливки сталі та кристалізації матеріалу

Безперервна розливка сталі уявляє собою процес отримання з рідкої сталі безперервно-литих злитків, що формуються безперервно по мірі надходження рідкого металу з проміжного ківшу до виливниці-кристалізатора, її затвердіння і видалення частково затверділої заготовки. Відбувається такий процес на установках безперервної розливки сталі, які мають назву машин безперервного лиття заготовок (рис. 1.2).

Твердіння матеріалу забезпечує кристалізатор, який виготовлено з високотеплопровідних матеріалів, таких як латунь та мідь, і охолоджується водою. З кристалізатора виходить затверділий матеріал, форма якого відповідає формі поперечного перерізу отвору в кристалізаторі. Зливоч виходить з кристалізатора, підтримується тягнучими роликми і спрямовується у зону вторинного охолодження матеріалу. Після повної кристалізації отриманий зливоч розрізається киснево-ацетиленовими різачками на вироби мірної довжини і додатково охолоджується водою.



Рисунок 1.2 – Розливка сталі на МБЛЗ конвертерного цеху в умовах ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.01.АПБРРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.4

Кристалізація – це перехід матеріалу з рідкого стану в твердий. Під час кристалізації утворюється кристалічна решітка в матеріалі і з'являється кристалічна решітка. Процес кристалізації пов'язаний з динамікою збільшення кількості твердої фази і зменшення рідкої фази. Такий процес має назву затвердіння.

В основі кристалізації металів та сплавів проложено прагнення системи до стійкого стану при даних умовах, який має мінімальну вільну енергію. При цьому потрібно мати на увазі, що зміна рівноважного стану багатоконпонентної системи визначається як зовнішніми, так і внутрішніми чинниками. До зовнішніх відносять температура, тиск, до внутрішніх – хімічний склад та концентрація.

Схема кристалізації була запропонована вченим – Д.К. Черновим (рис. 1.3), що уявляє собою кристалічне утворення, що має дендритні кристали (рис. 1.3, *a*). Такі дендритні кристали утворюють в зливках стовпчасті кристали, що пронизують зливку від периферії до серцевини (рис. 1.3, *б*).

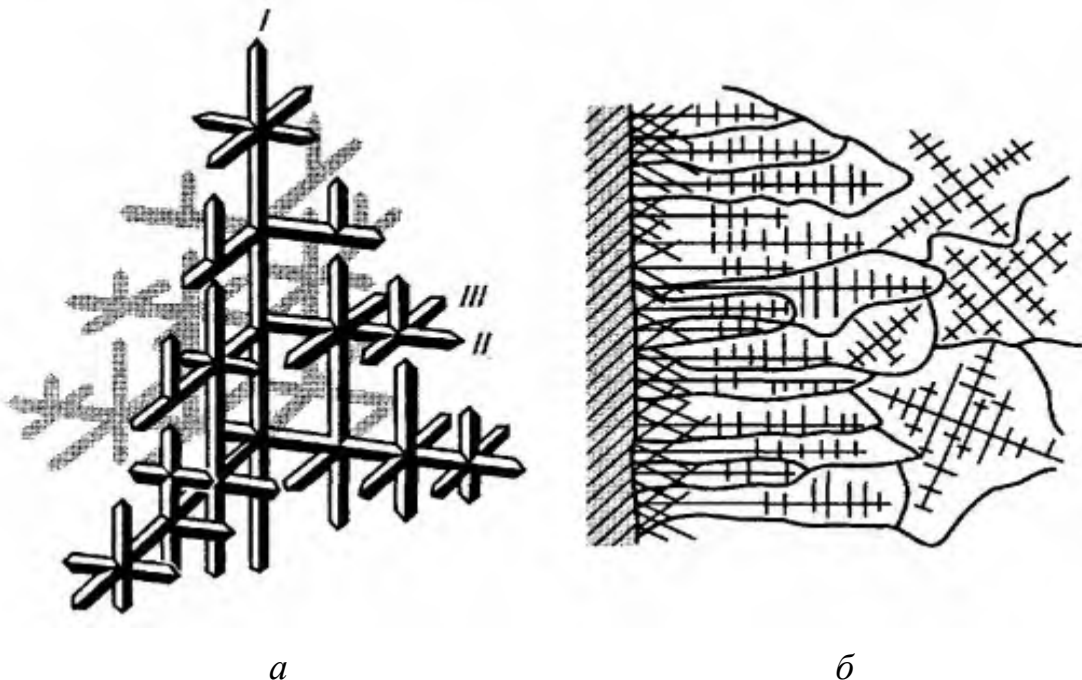


Рисунок 1.3 – Схема дендритного кристалу (*a*) та росту дендритів (*б*);

I-III – осі дендритів

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.01.АПБРРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.5

З таких кристалів формуються зерна. Схема росту таких кристалів показана на рис. 1.4, де видно розташування різних видів зерен в матеріалі.

Схема росту кристалів залежить від домішок, що присутні в рідкій сталі і від умов кристалізації таких як температура та швидкість кристалізації.

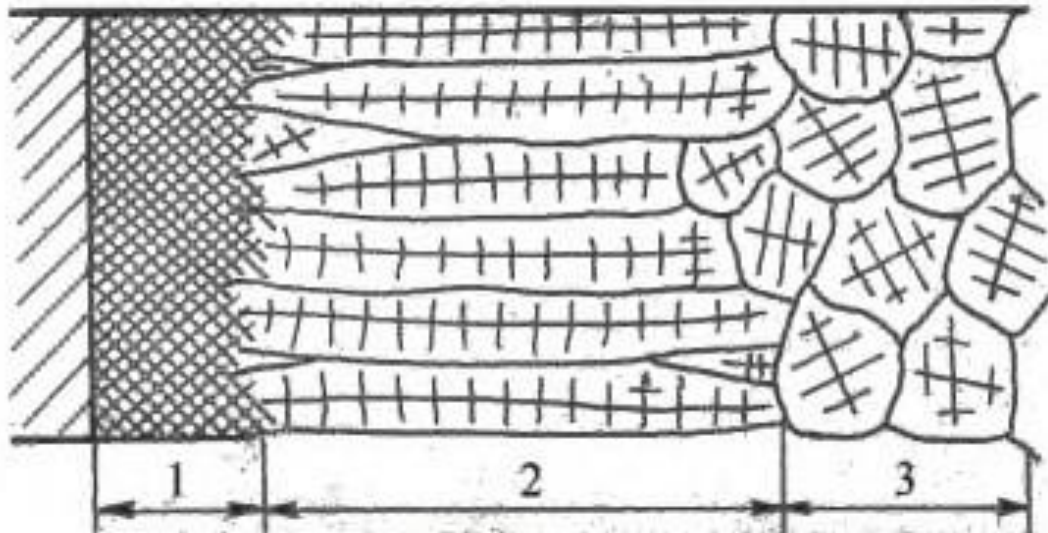


Рисунок 1.4 – Схема росту кристалів: 1 – зона дрібнозернистих кристалів; 2 – зона стовпчастих кристалів; 3 – зона великих з хаотичною орієнтацією кристалів

1.3 Класифікація машин безперервного лиття заготовок та їх основні елементи

Машини безперервного лиття заготовок класифікують за декількома ознаками:

- за призначенням (для розливки сталей звичайної касті та якісних);
- за конструкцією (вертикальні, горизонтальні, з вигином заготовки, радіальні, криволінійні та роторні);
- за формою поперечного перерізу отриманого профілю;
- за кількістю струмків (однострумкова, двострумкова, багатострумкова).

Для машини вертикального типу потрібно мати досить велику висоту приміщення для забезпечення кристалізації зливка у вертикальному положенні.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.01.АПБРРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.6

Для таких машин відсутній резерв збільшення швидкості і неможливо отримати довгомірні зливки. Процес розливки на машині вертикального типу не можливо поєднувати з прокаткою, що важливо при отриманні товстих листів.

Доволі перспективними є машини криволінійного типу. Відмінна риса таких машин у тому, що вони мають вертикально розташований кристалізатор і вертикальну ділянку під ним, що дозволяє отримати заготовку підвищеної якості при компактному розташуванні машини.

Для радіальної машини безперервного лиття заготовок властиво те, що формування заготовки здійснюється по дузі, що має постійний радіус.

Переваги машини безперервного лиття заготовок горизонтального типу в тому, що вони мають меншу висоту, невелику кількість і масу обладнання.

Для забезпечення процесу безперервності при розливці в машинах безперервного розливання використовують пристрої, які забезпечують швидкі заміну сталерозливних ківшів. Такі пристрої мають назву сталерозливних стендів. Їх встановлюють на розливному ківші при розливання сталі і передають з резервного у робоче положення. Також такі стенди можна використовувати при виконанні допоміжних технологічних операції.

За конструкцією стенди поділяють на два види: мостові та поворотні.

Мостовий стенд уявляє собою кран, що має отвори для розміщення сталерозливних ківшів. Таких стенд має механізми для піднімання та пересування, а також і зважування розливного ківшу. Але такі стенди мають суттєві недоліки: займають багато місці, машина безперервної розливки сталі повинна мати посилену конструкції.

Для більш високої точності в роботі використовують поворотні стенди (рис. 1.5).

Такі стенди дозволяють встановлювати розливний ківш поза зоною розливання, стенд має здатність повертатися на 90^0 , чим забезпечується обслуговування усього розливного майданчику машини безперервної розливки; аварійне зливання рідкого металевого сплаву з розливного ківшу здійснюється поза розливним майданчиком машини. Стенд повертається зі швидкістю 0,7 –

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.01.АПБРРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.7

1,0 об/хв. Тривалість переривання потоку рідкої сталі, що надходить у проміжний ківш складає не більше за 90 с.

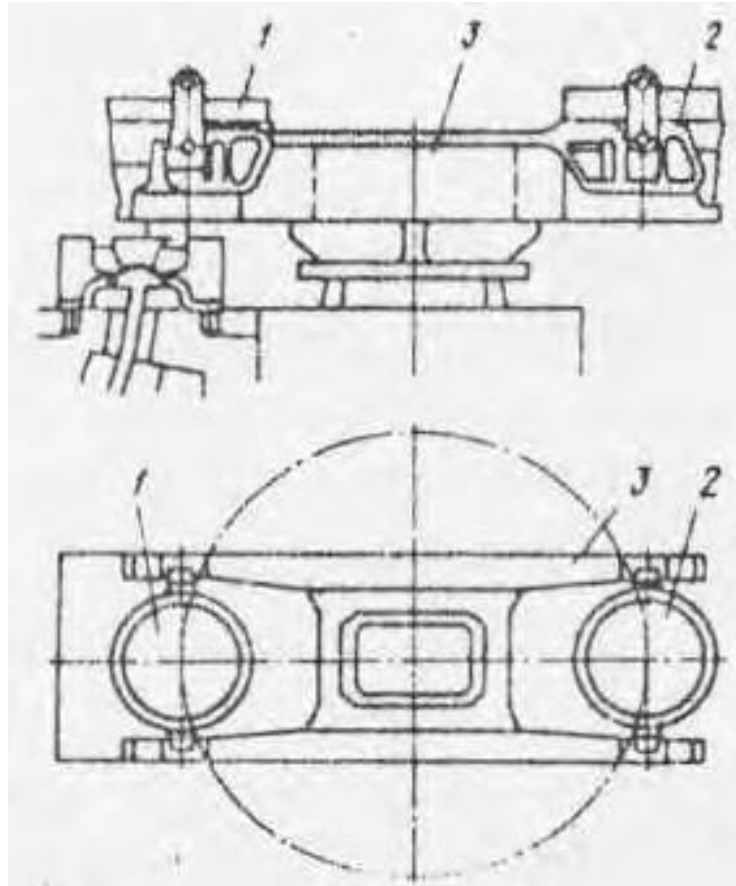


Рисунок 1.5 – Поворотний стэнд: 1 – сталерозливний, який знаходиться у робочому положенні; 2 – сталерозливний ківш, який знаходиться у резервному положенні; 3 – поворотна консоль стэнда

Один з основних елементів машини безперервної розливки сталі – це кристалізатор. Він забезпечую потрібні якості безперервно-ливої заготовки. В кристалізатор надходить рідкий метал з проміжного ківшу і відбувається процес кристалізації матеріалу за рахунок інтенсивного відведення тепла охолоджуючою водою.

Для подачі металу або сплаву в кристалізатор використовується з'єднана система (рис. 1.6).

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.01.АПБРРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.8

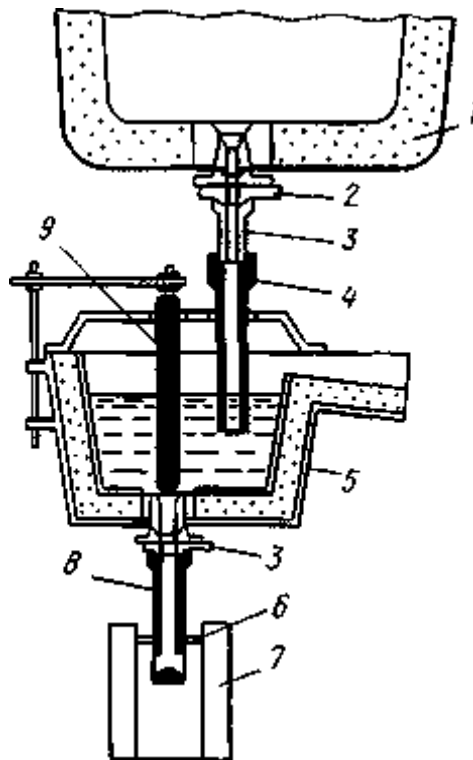


Рисунок 1.6 – Система подачі рідкої сталі в кристалізатор:

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

Проміжний ківш до початку розливання встановлюють в робоче положення над кристалізатором, розігрівають його за допомогою переносних пальників, перевіряють стан стаканів проміжного ківшу відносно стінок кристалізатора з метою його вірного центрування.

Сталерозливний ківш встановлюють над проміжним ківшом за допомогою поворотного стенду, що забезпечує безперервність подачі рідкого сплаву. Перед тим, як перемістити ківш в робоче положення вимірюють в ківші температуру рідкого сплаву, що знаходиться в ньому за допомогою термомпари занурення.

Для надходження рідкої сталі в проміжний ківш з розливного, потрібно відкрити шиберний затвор. Після того, як металевий сплав в проміжному ківшу досяг рівня 350-450 мм, починають подачу рідкого сплаву в кристалізатор.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.01.АПБРРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.9

Для надійного захисту рідкої сталі від окиснення при її переливанні з розливного ківшу в проміжний, використовуються відповідні захисні трубки, а при переливанні з проміжного ківшу в кристалізатор використовують захисні стакани.

Процеси кристалізації і затвердіння рідкого матеріалу відбуваються у кристалізаторі (рис. 1.7), де відбувається і переміщення рідкої сталі.

Таке переміщення забезпечується наступними діями:

- вертикальним рухом потоку рідкої сталі з проміжного ківшу до кристалізатора; при використанні погрузного стакану потоки рідкої сталі надходить до рідкої ванни;
- конвективними потоками в рідкій ванні заготовки;
- хвильовими процесами на дзеркалі сплаву, що знаходиться в кристалізаторі;
- бурлінням на поверхні рідкого сплаву, що знаходиться під відкритим потоком.

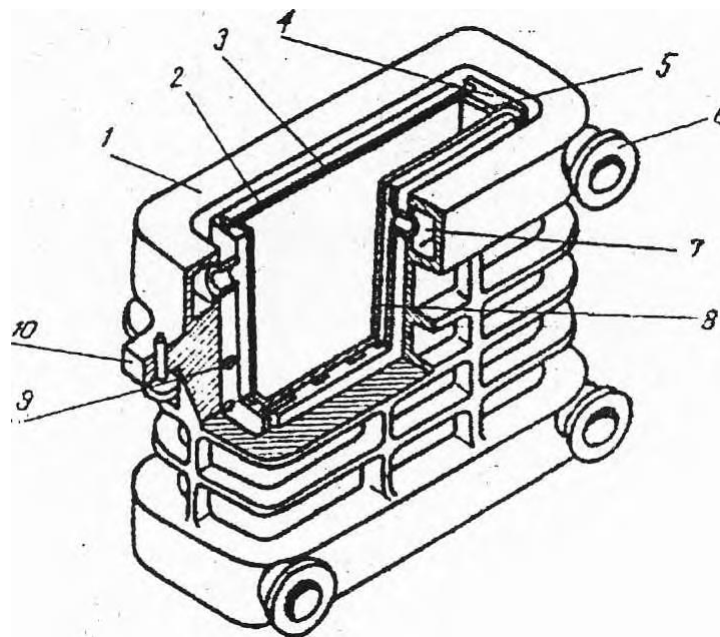


Рисунок 1.7 – Схема кристалізатора: 1 – корпус; 2, 3, 4, 5 – широкі і вузькі робочі мідні і сталеві стінки; 6 – трубопровід системи охолодження;

7, 8 – пази для циркуляції охолоджуючої води; 9 – гвинти кріплення;

10 – кронштейн

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.01.АПБРРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.10

З рисунку 1.7 видно, що кристалізатор складається з корпусу в якому всередині встановлено товсті та тонкі мідні та сталеві стінки, пристрої для регулювання стінок, системи охолодження, які мають трубопроводи для підведення води. На корпусі кристалізатора встановлено кронштейн, який опирається на ролики привідних важелів механізму гойдання. Вузькі стінки замінюють при переході на лиття заготовок іншої товщини.

За конструкцією усі кристалізатори можна поділити на: блокові, гільзові та збірні. За формою вони можуть бути прямолінійними і радіальними.

Гільзові кристалізатори виготовляють з мідних труб, що мають товщину стінки від 5 до 20 мм. Їх встановлюють в сталевих корпус і кріплять у верхній частині. Для відведення теплоти води в них протікає по зазору між корпусом і гільзою по зазору, що має ширину від 4 до 7 мм. Такі кристалізатори переважно використовують для виготовлення заготовок, що мають квадратний поперечний переріз від 200 до 250 мм, при відливанні круглих профілів. Їх перевагу у високій швидкості розливання внаслідок інтенсивного охолодження.

Блокові кристалізатори мають суцільноковані або литі мідні блоки з товщиною стінки від 75 до 150 мм. Стінки мають отвори, що забезпечують надходження води для охолодження кристалізатора. Недолік – виникає термічна напруга, що викликає деформацію стінок та їх руйнування. Зустрічаються рідко.

Кристалізатори збірної конструкції виготовляють з чотирьох окремих плит з міді. В залежності від товщини таких плит кристалізатори поділяють на товстостінні та тонкостінні. Тонкостінні мають товщину плит від 15 до 75 мм, товстостінні – від 50 до 100 мм. Такі кристалізатори використовують для отримання листових заготовок або крупних блюмів. Їх перевага у тому, що вони дозволяють легко змінювати ширину відливної заготовки, що досягається переміщенням вузьких стін, які уставлено між широкими.

Особливу увагу потрібно приділити підготуванню кристалізатора перед початком розливки рідкої сталі, з метою забезпечення отримання якісної продукції. З цією метою виконують візуальний огляд внутрішньої порожнини кристалізатора на наявність залишків шлаку, шлакової суміші, металевого

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.01.АПБРРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.11

сплаву. На разі наявності таких елементів виконують очищення кристалізатора. При очищенні потрібно уникати потрапляння цих залишків на деталі роликової проводки та зони вторинного охолодження. При виявленні задирок на внутрішній поверхні кристалізатора, потрібно їх зачистити. Потрібно переглянути стінки кристалізатора на предмет їх покороблення, перевірити зазори між плитами, перевірити здатність течії металу у робочу порожнину, наявність каналів для подачі охолоджувальної води, перевірити конусність робочого простору. Перевірити можливість підтікання води при подачі її в робочій простір. Після чого у робочу порожнину кристалізатора вводиться заздалегідь очищена від продуктів попередньої плавки затравка. Її встановлюють декілька вище середини кристалізатора. При цьому потрібно витримати постійні зазори між нею і робочими стиками, після чого виконують ущільнення зазору за допомогою азбестових шнурів. Для збільшення швидкості кристалізації перших шарів металевого сплаву на затравку накладається невелика кількість твердого матеріалу у вигляді посічених пластин того ж самого хімічного складу, що і відливаєний виріб.

По заповненню проміжного ківшу рідкою сталлю до потрібної висоти, починається подача цього сплаву у кристалізатор. У тому випадку, коли у проміжному ківші є декілька струмків запуск їх виконується послідовно, починаючи з крайніх струмків. Це відбувається через те, що у крайніх струмках метал остигає швидше ніж у середніх. Такий перепад температур може досягати від 30 до 40 30...40°C.

Через це, в деяких випадках, на початку розливання рекомендується відкривати спочатку середні струмки, а потім крайні з тією метою, що б температура спочатку зменшувалася у середніх струмках, а потім у крайніх. У подальшому швидкість розливання визначається температурою рідкої сталі в ківші та умовами охолодження у зоні вторинного охолодження.

З метою забезпечення збільшення швидкості кристалізації рідкої сталі на її поверхню наносяться охолоджувачі у вигляді металевої січки. При досягненні рідкої сталі рівня близько 100 мм від верхнього зрізу здійснюється рух затравки.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.01.АПБРРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.12

Після виходу заготовки з тягнучого пристрою, затравка від неї відділяється і переводиться у резервне положення. При цьому передній кінець заготовки відрізається.

З метою уникнення прилипання матеріалу до кристалізатора і можливості зависання здійснюють зворотно-поступальний рух кристалізатора за допомогою механізму гойдання. З метою уникнення залишку слідів гойдання у вигляді складок, забезпечують високу інтенсивність такого гойдання.

З метою підвищення швидкості розливки сталі на машині безперервного лиття в умовах ВАТ «Електросталь» було виконано рід досліджень, що спрямовані на вивчення особливостей теплової роботи устаткування, а також визначення раціональних витрат води у зоні вторинного охолодження. Було отримано швидкість розливання 2,8-3,5 м/хв, визначено оптимальні конструктивні особливості зони вторинного охолодження.

1.4 Прокатування листової сталі

При прокатування відбувається обтиснення металу прокатними валками на прокатному обладнанні. При цьому утворюються осередок деформації, де і відбуваються усі основні процеси деформації: обтиснення, розширення та подовження. Основний механізм прокатного стану це робоча кліть, в якій здійснюється власне прокатування металу. Конструкція, сама та розміри робочих клітей залежать від умов процесу прокатування, від призначення та спеціалізації робочої кліті, від кількості прокатних валків, що знаходяться в даній кліті.

Робоча кліть у своєму складі має наступні елементи та устаткування:

- прокатні валки з підшипниками;
- дві станини;
- валкову арматуру;
- механізми для встановлення та фіксації положення прокатних валків у вертикальній та горизонтальній площинах;
- механізмів для змащування та охолодження робочих валків.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.01.АПБРРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.13

Станини можуть бути відкритого та закритого типу (рис 1.8). Отримують їх литтям зі сталі 30Л, 35Л.

Станини закритого типу можуть витримувати великі навантаження та зусилля прокатування, але вони менш зручні в процесі експлуатації через те, що в таких станинах ускладнено перевалку прокатних валків, а їх діаметр обмежений шириною вікна.

Станини відкритого типу більш зручні в експлуатації, легко з'єднуються і роз'єднуються.

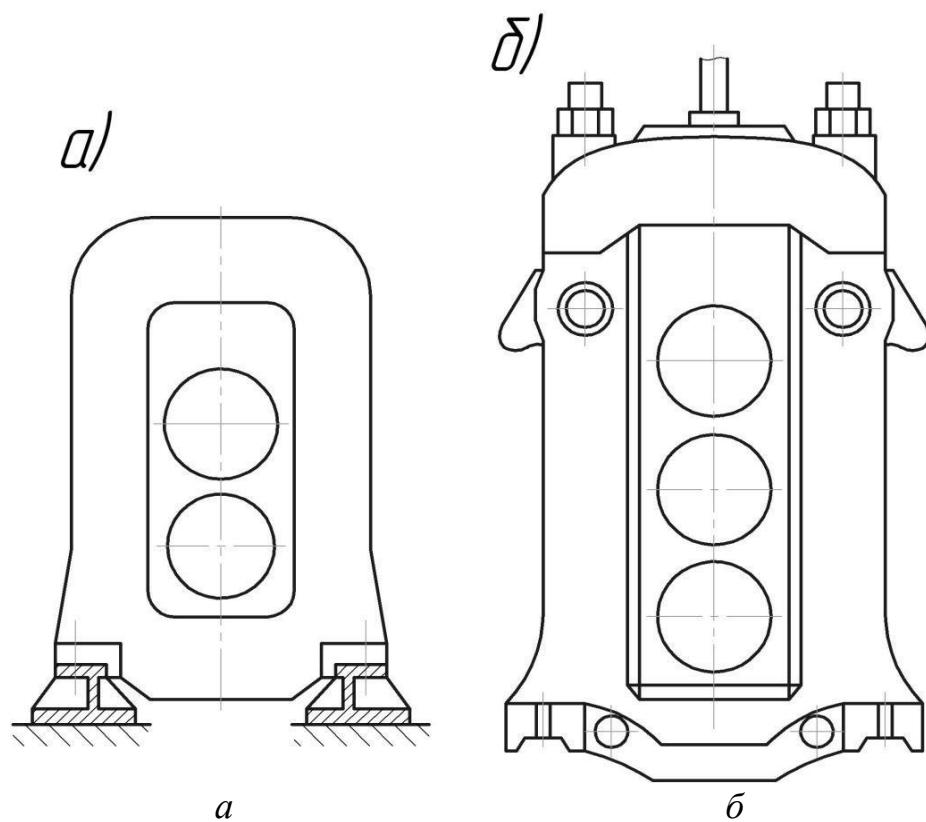


Рисунок 1.8 – Станини робочих клітей прокатного стану:
a – закритого типу; *б* – відкритого типу

Основний деформуючий інструмент при прокатуванні – це прокатні валки. Вони працюють у важких умовах через те, що на них впливають різкі зміни температури, діє великий тиск та зусилля прокатування, при роботі виникає абразивне тертя тощо. Тому для них пред'являють високі вимоги з міцності, термо- і зносостійкості.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.01.АПБРРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.14

Робочі кліти можуть мати різну кількість прокатних валків: два, три, чотири, багатовалкові:

- двовалкові (дуо) робочі кліти (рис. 1.9, *а*) можуть використовувати як для виготовлення тонкого, так і товстого літа, працюють вони як в безперервному, так і в реверсивному режимі;

- травалкові (тріо) робочі кліти (рис. 1.9, *б*) можуть використовувати для отримання листового та сортового прокату;

- чотиривалкові кліти (кварто) (рис. 1.9, *в*) використовують у виробництві листів, вони мають у своєму складі два робочих і два валки, робочі валки виконують пластичну деформації, опорні слугить для підвищення жорсткості системи при обробці;

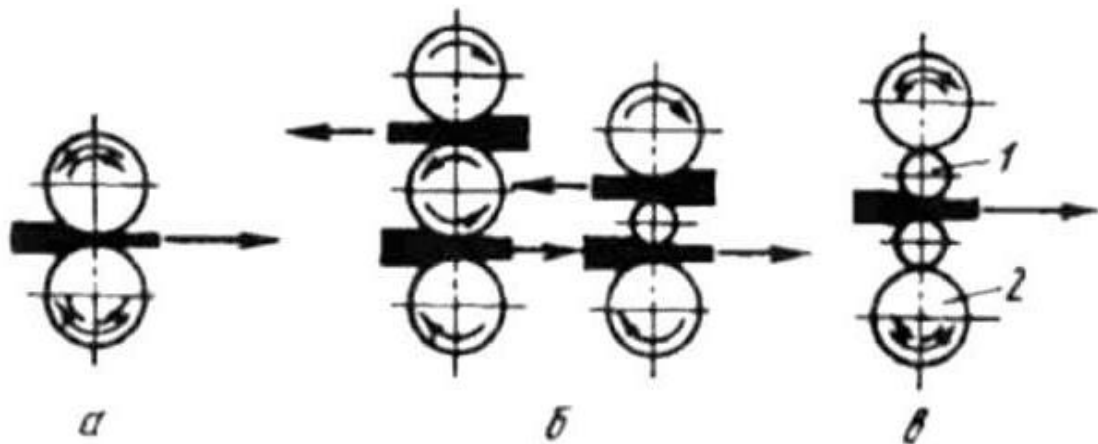


Рисунок 1.9 – Розташування валків при прокатуванні:

а – двовалкові кліти; *б* – тривалкові кліти; *в* – чотиривалкові кліти

- шестивалкові робочі кліти використовуються прокатування листової сталі, але такі кліти використовуються рідко;

- багатовалкові кліти можуть мати у своєму складі 12 (рис. 1.10) і 20-ть валків (рис. 1.11); на них прокатують тонкі смуги, які можуть мати товщину меншу до 2 мкм, такі стани мають два робочих валка між якими відбувається пластична деформація матеріалу, останні – опорні валки, що слугать для збільшення жорсткості системи.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.01.АПБРРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.15

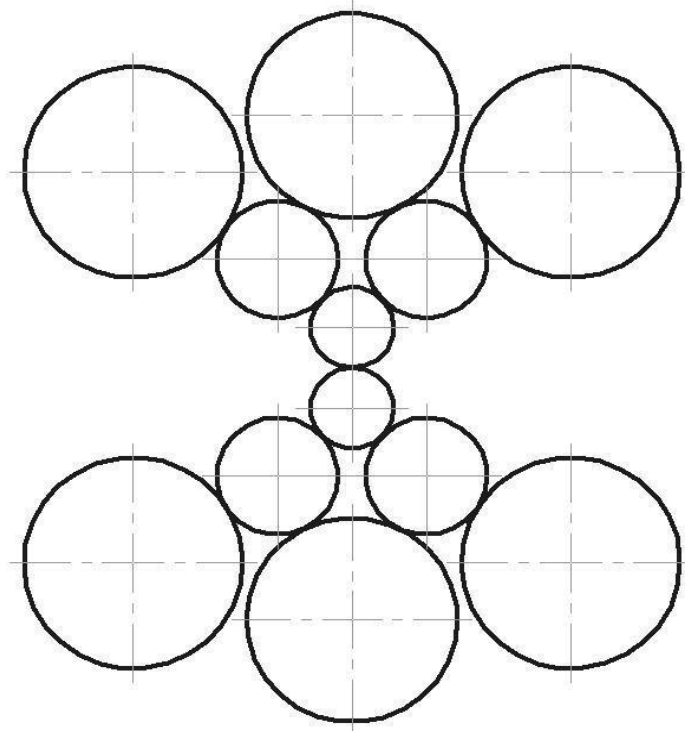


Рисунок 1.10 – Розташування валків в дванадцятивалковій прокатній кліті

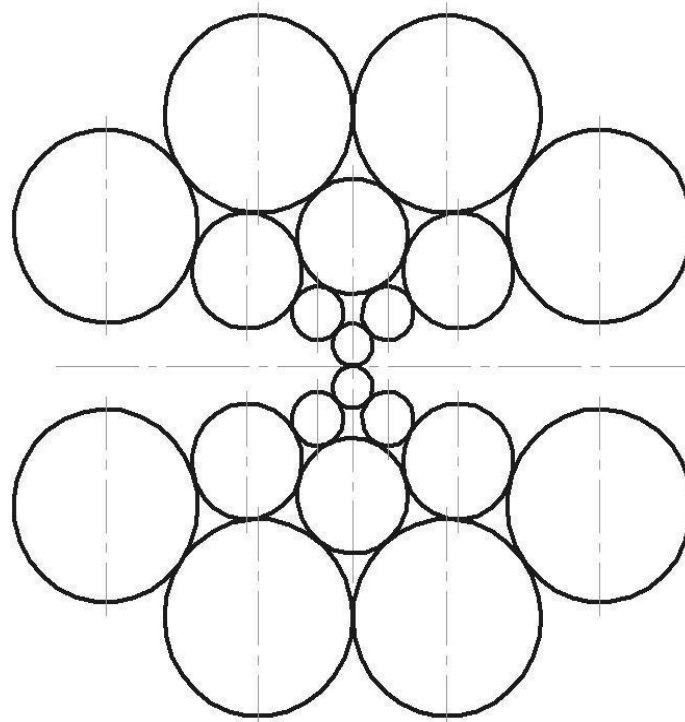


Рисунок 1.11 – Розташування валків в двадцятивалковій кліті

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КНУ.РМ.136.24.545с-05.01.АПБРРС

Аркуш

1.16

За матеріалом виготовлення прокатні валки можуть бути сталеві та чавунні. Виготовляють їх литтям та куванням.

Для виготовлення прокатних валків використовують наступні матеріали: вуглецеві, низьколеговані і леговані сталі марок Сталь 50...55, 50...60 ХН, 9ХФ тощо; чавуни СШХН-60.

Сталеві прокатні валки характеризуються високою міцністю та пластичністю. Їх застосовують у тих прокатних клітках, на які діють великі зусилля прокатування. Чавунні валки при роботі показують меншу міцність, як сталеві, але більшу зносостійкість. Через такі обставини сталеві прокатні валки частіше використовують при прокатуванні у чорнових клітках, а чавунні – передчистових і чистових.

Прокатні валки встановлюють у підшипниках, що розташовують на шийках робочих валків. Вони призначені для передачі зусилля прокатування від прокатних валків на станину прокатного стану і для утримання прокатних валків в потрібному положенні. Для цього використовують підшипники ковзання, кочення та рідинного тертя.

Підшипники розташовують у подушках. Таке розташування забезпечує точне положення прокатних валків і для передачі зусилля прокатування. Такі подушки переміщуються по напрямним. З метою уникнення переміщення подушок в напрямку горизонтальних осей прокатних валків використовують спеціальні затиски та регулюючі планки. Для компенсації термічного розширення прокатних валків, подушки потрібно закріплювати тільки з одного боку, інший залишать вільний.

Механізми вертикального та осьового встановлення прокатних валків застосовують з метою отримання точного положення валків у робочій клітці. Ці механізми уявляють собою сукупність врівноважуючого та натискного механізмів. Натискний механізм виконує переміщення верхнього прокатного валка.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.01.АПБРРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.17

Врівноважуючий механізм служить для врівноваження верхнього валка. Такі механізми можуть бути пружинними, вантажними, гідравлічними. В листових прокатних станах застосовують пружинні механізми.

По закінченню процесу прокатування виріб розрізають на мірні довжини. Для цього використовують різні ножиці і пили: ножиці з паралельними ножами, з похилими ножами, летючі ножиці, дискові ножиці і дискові пили.

Для розрізання листової продукції використовуються важільно-кривошипні летучі ножиці. такі ножиці дозволяють розрізати листи, які рухаються з великою швидкістю. Ці ножиці мають поступово-рухомі ножі, які рухаються за еліптичної траєкторією, а в місті різку ця траєкторія збігається з горизонтальним рухом смуги.

1.5 Компонування обладнання для отримання товстих листів з використанням МБЛЗ

Вихідний матеріал для матеріал для виготовлення товстих листів – це сляби, що дозволяють отримати слябові машини безперервної розливки сталі (рис. 1.12).



Рисунок 1.12 – Слябова машина безперервної розливки сталі

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.01.АПБРРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.18

Такі машини мають такі характеристики:

- перевага віддається криволінійним слябовим машинам безперервної розливки сталі;

- кристалізатор слябової МБЛЗ має довжину від 0,8 до 1,0 м, його розташовано вертикально, що забезпечує покращення умов флоатації неметалевих включень;

- під кристалізатором передбачено вертикальне розташування зони вторинного охолодження, яка має довжину від 1,5 до 2,5 м;

- по закінченню вертикальної ділянки відбувається загинання заготовки до базового радіусу, при цьому кількість точок згину дорівнює від 4 до 8;

- механізм хитання кристалізатора має гідравлічний привід, що забезпечує вільний вибір амплітуди та частоти коливань під час розливки рідкої сталі;

- конструкція кристалізатора повинна передбачати можливість зміни ширини слябу безпосередньо під час розливання рідкої сталі;

- величина базового радіусу залежить від товщини слябу, швидкості розливання, вимог до якості слябу і дорівнює від 6 до 10 м;

- охолодження здійснюється за допомогою застосування форсунок для водоповітряного розпилення у зоні вторинного охолодження, яка має від 10 до 15 секцій;

- розгинання слябу відбувається в спеціальних секціях за безперервною схемою;

- в зоні вторинного охолодження починає здійснюватися «м'яке обтиснення», де частка твердої фази дорівнює 0,5-0,7 з метою запобігання зниження якості, причому «м'яке обтиснення» повинно закінчуватися на закінченні затвердіння;

- під час розливання рідкої сталі обов'язково передбачається автоматичне контролювання рівня металу в кристалізаторі, система автоматичного запобігання проривів;

- при розливці потрібно передбачати захист рідкої сталі від вторинного окислення за допомогою застосування ізостатичних вогнетривів таких як

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.01.АПБРРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.19

захисна труба, стопор мініблок, погрузний стакан та стакан-дозатор;

- для підвищення якості слябів виконують електромагнітне перемішування в кристалізаторі або у зоні вторинного охолодження.

Технологічний процес отримання листової сталі в ливарно-прокатних модуля полягає в наступному:

- виплавка сталі в плавильному агрегаті – в дуговій електросталеплавильній печі;

- надходження сталі до устаткування «піч-ківш», де відбувається її доведення;

- розливка сталі на слябовій машині безперервного лиття заготовок з метою отримання слябу, що має товщину 50 мм;

- гаряче прокатування отриманого слябу з метою отримання товстого листа;

- обробка товстого листа, правка;

- клеймування;

- пакування.

Використання такої технології дозволяє отримувати 1 т листової продукції з 1,1-1,12 т рідкої сталі, що свідчить про невеликі витрати матеріалу. При використанні ливарно-прокатних агрегатів досягається значний енергозберігаючий ефект за рахунок суттєвого скорочення технологічного ланцюга для виробництва листової продукції та виключення додаткових операцій нагрівання.

Такі агрегати було розроблено в Німеччині фірмою «SMS-Demag».

Двоструменевий криволінійний ливарно-прокатний агрегат показано на рис. 1.13. Такий агрегат дозволяє випускати листову продукцію з річною продуктивністю 500 тис. тон на рік. Відстань між струмками дорівнює 2 метри, машина має радіус вигину 9 м.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.01.АПБРРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.20

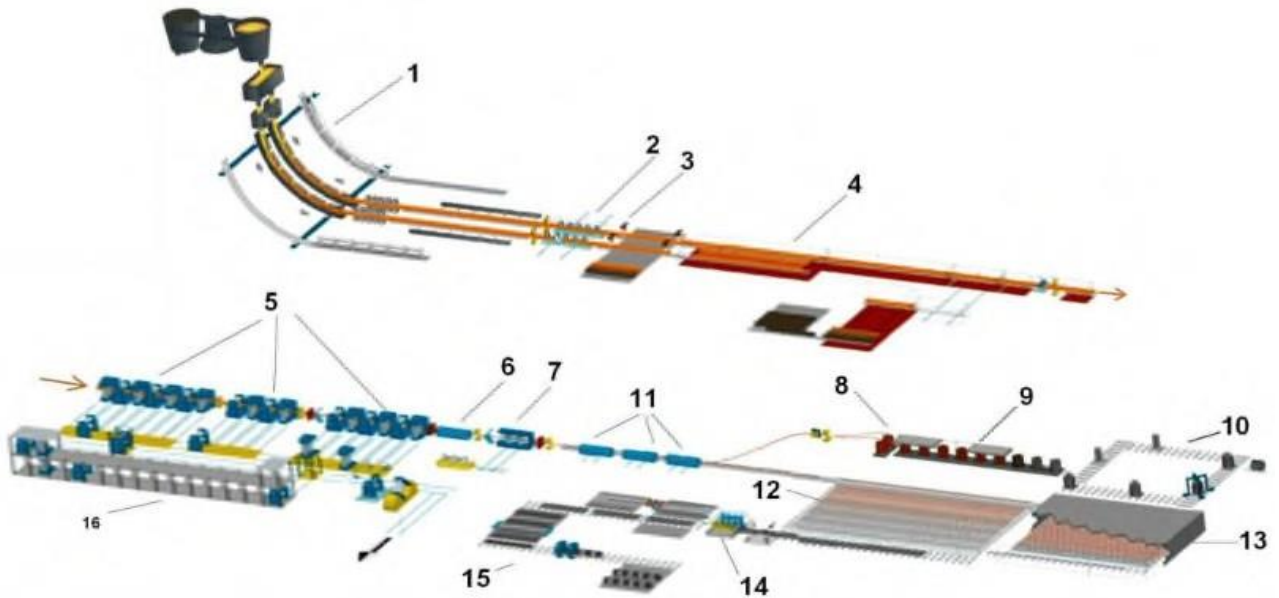


Рисунок 1.13 – Схема розташування обладнання ЛПМ фірми «ABS» в Удіне: 1 – криволінійна машина безперервної розливки; 2 – термічні камери; 3 – ножиці; 4 – тунельна піч; 5 – чорнова, проміжна та чистова групи клітей прокатного стану; 6 – лінія охолодження металу; 7 – блок для калібрування металу; 8 – моталки; 9 – піч відпалу бунтів; 10 – обробна ділянка; 11 – ділянка кінцевого охолодження; 12 – холодильник; 13 – термічна піч; 14 – устаткування для видалення окалини; 15 – обробна ділянка, 16 – механічна ділянка для заміни робочих клітей

Машина забезпечує відливання заготовок, що мають розміри 200×160 мм. Така машина має механізми заміни підтримувальних роликів. Швидкість розливки залежить від матеріалу, що розливається і для вуглецевої сталі дорівнює 6 м/хв.; цементованої сталі складає 5,5 м/хв.; пружинної сталі дорівнює 5 м/хв.; для легованої бором і ванадієм досягає 4,5 м/хв.; для підшипникової сталі дорівнює 4 м/хв.; корозійностійких –дорівнює 3,5 м/хв. Це свідчить про те, що чим міцніша сталь, тим нижча швидкість розливання.

Слябові машини відрізняють за товщиною отриманого листа:

- тонкослябові, використовують для отримання сляба, що має товщину від 50 до 80 мм;

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.01.АПБРРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.21

- середньосябові, що використовуються для отримання слябу, що має товщину від 100 до 150 мм;

- товстослябові, що дозволяють отримати сляби товщиною від 180 до 250 мм.

Останнім часом все більше використовують тонкослябові ливарно-прокатні агрегати.

На рисунку 1.14 показано ливарно-прокатний модуль, що має свої особливості, які дозволяють виготовляти більш тонку смугу. Сталевий матеріал відливається на машині безперервної розливки і в цій машині виконується «м'яке обтиснення» у напівтвердому стані до товщини 50 мм. Після виходу з машини безперервної розливки відбувається прокатування у тривалковій прокатній кліті HRM (High Reduction Mill) до товщини 13-17 мм. Після цього розкат прибирають з лінії. Таким чином отримано товстий лист, який спрямовують у прохідну індукційну під, далі змотують пічною моталкою.

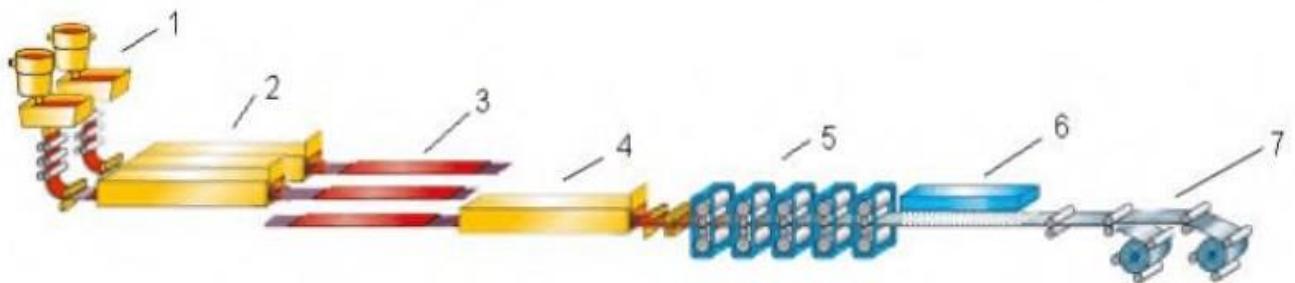


Рисунок 1.14 – Двоструменевий агрегат CSP для отримання товстих листів: 1 – двохструменева машина безперервної розливки сталі; 2 – прохідна піч; 3 – пристрій поперечного руху металу; 4 – термічна піч; 5 – прокатні кліті; 6 – ділянка охолодження металу; 7 – моталки

Стан HRM має невелику швидкість прокатування. Обтиснення відбувається при гарячій серцевині матеріалу, що підвищує рівномірність деформації за товщиною розкату і отримання листа з мінімальною різнотовщинністю. При обтисненні серцевина має температуру 1500-1400 °С,

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.01.АПБРРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.22

а поверхнева частина розкату має температуру 1200-1150 °С. серцевина розкату має малий опір деформації, що забезпечує отримання якісного виробу.

На сучасному етапі існує ливарно-прокатний модуль, що має досягти високу швидкість отримання листів і смуг. Такий агрегат має назву ВСТ (belt casting technology). Його схему наведено на рис. 2.15. Особливість цього агрегату у тому, що він має високу швидкість розливки, що дорівнює від 10 до 30 м/хв. Така швидкістю цілком відповідає швидкості входу початкового матеріалу в першу прокатну кліть листопркатного стану. Перевага такого стану у тому, що відпадає потреба у буферних пристроях для накопичення вихідних матеріалів, що дозволяє зменшити виробничі площі. Збільшення швидкості прокатування, як відомо, дозволяє збільшити продуктивність процесу та вихід готового листа.

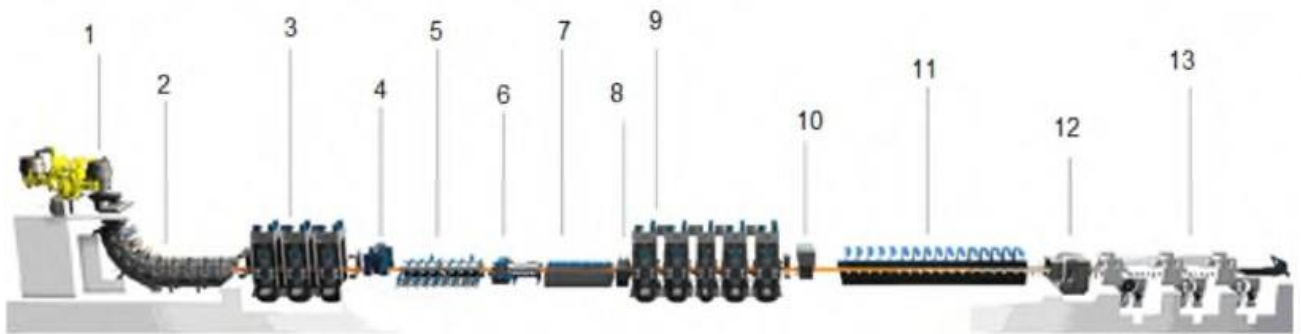


Рисунок 2.15 – Схема агрегату ISP: 1 – розливний і проміжний ківш; 2 – кристалізатор машини з обтискними роликками; 3 – чорнова група прокатних клітей; 4 – ножиці; 5 – ділянка видачі листів; 6 – ножиці для розрізання; 7 – індукційний підігрів; 8 – гідросбівання окалини; 9 – чистова група прокатних клітей; 10 – блок для контролю листів; 11 – лінія ламінарного охолодження; 12 – летючі ножиці; 13 – моталки

Таким чином процеси суміщення лиття і прокатування показали добрі результати при отриманні товстих листів відносно якості внутрішньої поверхні матеріалу через суттєве зменшення внутрішніх дефектів таких як пори та

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.01.АПБРРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.23

раковини, зниження неоднорідності матеріалу, упорядкування внутрішньої структури, так і відносно якості зовнішньої поверхні листа, що виражається точністю розмірів, шорсткістю, хвилястістю та коробоватістю матеріалу.

1.6 Задачі роботи

Для виконання мети роботи потрібно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати процеси, що відбуваються в машині безперервного лиття заготовки та виявити закономірності кристалізації;
- визначити способи та обладнання для отримання товстолистової сталі;
- розробити способи удосконалення технології отримання товстолистової сталі;
- визначити режими обтиснення в прокатних клітках для отримання якісного лиття;
- запропонувати пропозиції з прискорення швидкості кристалізації рідкої сталі;
- виконати техніко-економічне обґрунтування запропонованих пропозицій;
- оцінити санітарно-екологічну обстановку пропонуємих рішень.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.01.АПБРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.24

2 ЗАХОДИ З ПРИСКОРЕННЯ ШВИДКОСТІ КРИСТАЛІЗАЦІЇ РІДКОЇ СТАЛІ В МАШИНИ БЕЗПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ ЗАГОТОВОК ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ТОВСТОЛИСТОВОЇ СТАЛІ

2.1 Визначення обладнання для дослідження процесу

Валкова розливка-прокатка – це одна з сучасних енергозберігаючих технологій, що дозволяє виготовляти тонкі смуги, які мають потрібну товщину готового листа. Така технологія забезпечує зменшення енергетичних витрат на процес, зменшення кількості обладнання, зменшення виробничих площ. Схему агрегату, що використовувалася в дослідженнях наведено на рис. 2.1. Таке обладнання забезпечує формування необхідної продукції безпосередньо з рідкого металевго сплаву шляхом одночасної кристалізації та деформації оброблюваного матеріалу між двома валками-кристалізаторами, що обертаються назустріч один одному.

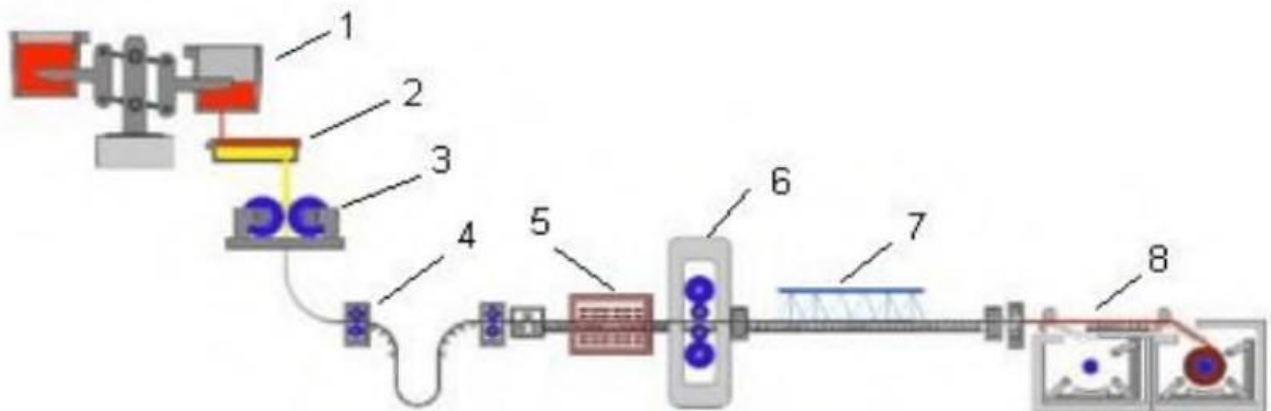


Рисунок 2.1 – Схема валкової розливки-прокатки: 1 – сталерозливний ківш; 2 – проміжний ківш; 3 – валки-кристалізатори; 4 – тягнучі ролики; 5 – індукційна піч; 6 – чотиривалкова прокатна кліть; 7 – установка прискореного охолодження металевго сплаву; 8 – моталки

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.02.ЗПШКРС					
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ЗАХОДИ З ПРИСКОРЕННЯ ШВИДКОСТІ КРИСТАЛІЗАЦІЇ РІДКОЇ СТАЛІ					
Розробив	Плахотний							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Савельєв								2.1	20
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МЧМ-23-1м		
Н. контр.	Савельєв									
Затвердив	Савельєв									

Для отримання якісної зовнішньої поверхні лист надходить до прокатних клітей, що розташовано в лінії машини безперервної розливки. Використовуються чотиривалкові прокатні кліті (рис. 2.2). Ця кліть має два робочих валка, що обтискують лист і два опорних, що збільшують жорсткість робочих валків з метою отримання більш точної смуги з меншою шорсткістю, коробоватістю та хвилястістю.

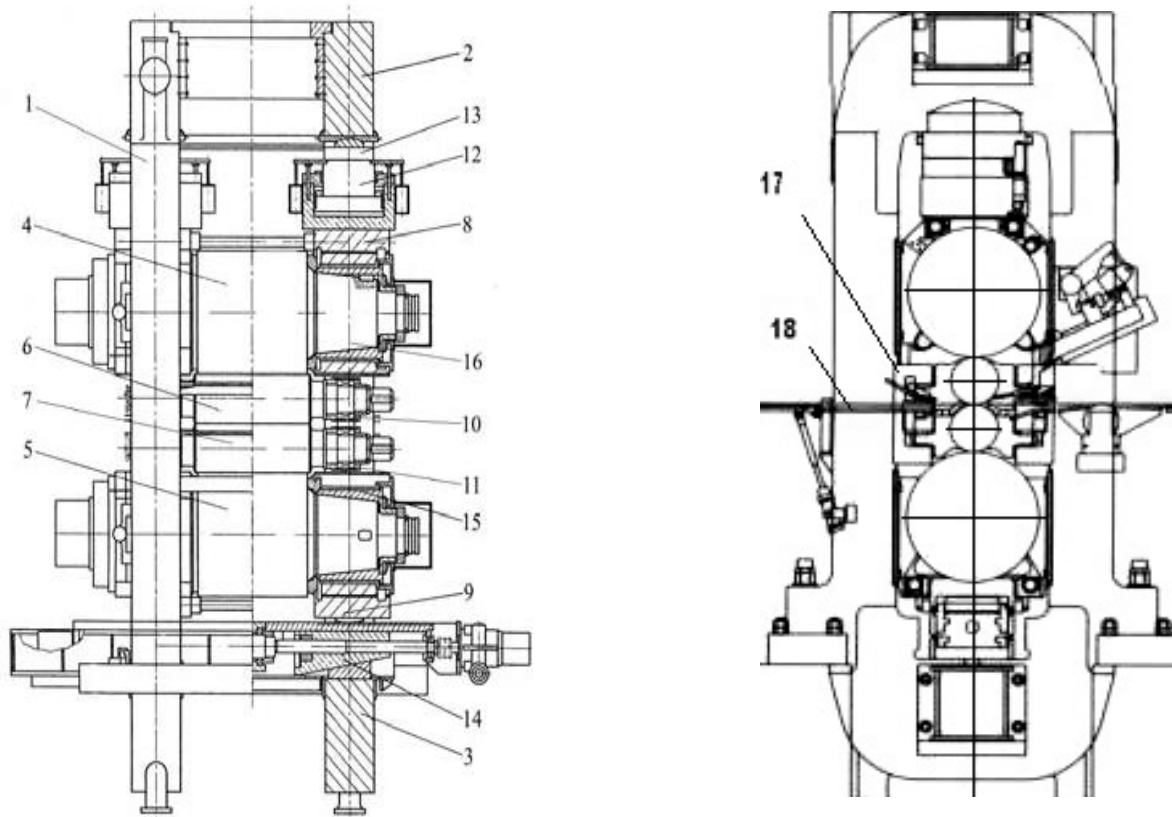


Рисунок 2.2 – Прокатна кліть кварто

Така прокатна кліть у своєму складі має вузол станин 1-3, опорні прокатні валки 4 та 5, робочі прокатні валки 6 та 7. Опорні валки розміщують у подушках 8 і 9, що мають підшипники рідинного тертя 15 та 16. Робочі валки розміщують у подушках 10 і 11, що мають підшипники кочення. Така робоча кліть має гідравлічні натискні механізми, що мають вигляд гідрошайб 12 та 13, які встановлено між подушками 8 та верхніх поперечках 2. Між нижніми подушками 9 та поперечками 3 розміщують клиновий механізм 14, що забезпечує виведення валків на рівень прокатки. Гідравлічні механізми

						КНУ.РМ.136.24.545с-05.02.3ПШКРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			2.2

врівноваження валків та їх противигину виконані у Е-блоків 17. Вони розміщені між подушками опорних валків. На вході і виході кліті розміщують проводки 18.

Прокатні валки мають розміри:

- робочі прокатні валки $D_p=500$ мм;
- опорні прокатні валки $D_o=1200$ мм;
- довжина валків 1600 мм.

2.2 Температурно-швидкісний режим

Велика увага при отриманні виробів безперервною розливкою приділяється температурно-швидкісному режиму, який залежить від багатьох параметрів розливки.

Великий вплив на температурно-швидкісний режим має хімічний склад розливаемого матеріалу. Як що температура розливки сталі буде меншою за потрібну то це може призвести до утворення таких дефектів, як скупчення шлакових включень, утворення поясів. При занадто високій температурі можуть з'явитися тріщини, підвищитися зношення вогнетривів у проміжному ківші.

Коливання температури рідкої сталі, яка розливається, потрібно коректувати відповідним зменшенням швидкості розливання. Таке зменшення може досягати 4-7°C нижче.

Було проведено дослідження в умовах якого температура рідкої сталі в кристалізаторі було на 12-25°C нижче, як у проміжному ківші, і дорівнювалася в межах 1510-1518°C. У цьому випадку відбувалося перегрівання над температурою ліквідусу на 15-10°C. Такі умови сприяли зменшенню поверхневих і внутрішніх дефектів безперервно-литих заготовок.

При визначенні температурного режиму безперервної розливки сталі потрібно враховувати величину теплових втрат у кожному випадку на всіх етапах розливки рідкої сталі в машину безперервного лиття.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.02.ЗПШКРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.3

З метою зменшення теплових втрат потрібно:

- максимально скоротити час випуску металевого сплаву (150 т металевого сплаву випускати за 5-7 хв.;
- у сталерозливному ківші втрати металевого сплаву звести до мінімуму за рахунок використання малозношених ківшів, накритих вогнетривкими кришками;
- обов'язкове нагрівання розливного і проміжного ківшів перед розливкою металевого сплаву за допомогою пальників, плазмових та електричних дуг.

Таким чином, для кожного типу машини безперервної розливки сталі, для кожної марки сталевих сплавів та поперечного перерізу заготовки існує оптимальна область температур, що забезпечує переважну якість виробу та стабільну розливку рідкої сталі. При визначенні температури потрібно звертати увагу на температуру ліквідусу заданого матеріалу.

Також дуже важливим технологічним чинником є управління перегрівом рідкої сталі, що знаходиться у проміжному ківші. Це можна забезпечити шляхом вдування сталевих порошків в струмінь сталевих сплавів на ділянці між проміжним і розливним ківшами.

Але потрібно мати на увазі те, що заданий інтервал температур в реальних умовах отримати дуже важко. З цією метою точне регулювання температури здійснюється в агрегатах позапічного доведення металевих сплавів. Це можливо через те, що зі сталеплавильного агрегату рідкий сплав виходить з температурою, яка вища за потрібну для розливки в машині безперервного лиття сталі, де відбувається продування матеріалу інертним газом, в результаті чого температура сталевих сплавів зменшується і отримує потрібне значення.

Широко розповсюджено продування сталевих сплавів аргоном. При цьому використовують занурені фурми, пористі елементи на днищі ківшу або шибєрні затвори, які мають спеціальну конструкцію. Під час такого продування здійснюється інтенсивне перемішування рідкого сталевих сплавів, що забезпечує усереднювання температури та хімічного складу металевих рідких сплавів і об'ємі ківшу.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.02.ЗПШКРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.4

Також, дуже важливим фактором, що впливає на процес безперервної розливки рідкої сталі, є швидкість розливання. Вона впливає на якість отриманої заготовки на утворення дефектів в матеріалі таких, як тріщини, має вплив на продуктивність машини безперервної розливки сталі тощо.

Збільшення швидкості розливки має негативні наслідки через те, що в сплаві, що кристалізується, можуть з'явитися поздовжні тріщини. Це пояснюється тим, що при збільшенні швидкості розливання зменшується товщина затверділої під час кристалізації поверхневої кірки, збільшується нерівномірність її товщини, збільшується напруга в тонких частинах оболонки. Це все призводить до утворення тріщин та розриву металевого сплаву. При збільшенні швидкості розливання з'являються заготовки, що мають поверхню, яка вражена павукоподібними або сітчастими тріщинками.

Для забезпечення оптимальної швидкості потрібно:

- на дзеркало металу наносити шар шлаку;
- у зоні вторинного охолодження встановити конструкції, які підтримують оболонку матеріалу, що кристалізується;
- сплав повинен мати низький вміст фосфору, сірки та водню.

2.3 Особливості структури безперервно-ливої заготовки

Структура закристалізованого зливка складається з трьох зон:

- 1) поверхнева кірка – зона безупорядкованих кристалів, товщина її залежить від умов розливання та інтенсивності охолодження;
- 2) зона стовпчастих кристалів;
- 3) осьова зона рівновісних кристалів, що має підвищену концентрацію лікватів.

Відмінні особливості безперервно-ливої заготовки – те, що її будова формується при високій швидкості кристалізації та невеликої тривалості її затвердіння. Це забезпечує меншу кількість лікватів в порівнянні з дискретною розливкою сталі, що має позитивний ефект. Але, потрібно мати на увазі, що при великій швидкості витягування глибина рідкої фази, де формується осьова зона,

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.02.ЗПШКРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.5

отримує великі розміри. Осьова зона безперервно-литих заготовок уявляє собою тепловий центр, де відбувається затвердіння у останню чергу. У випадку твердіння безперервно-ливої заготовки, що має досить витягнуте розташування лунки металу, який кристалізується і утворення усадки при переході з рідкого у твердий стан утворюються в цій зоні великі конвекційні потоки. Такі потоки і викликають збільшення осьової ліквациї у безперервно-литому матеріалі. З появою витягнутої гострої витягнутої лунки при кристалізації і утворенням великих конвективних потоків пов'язують наявність пористості в осьовій зоні та з'явлення ліквацийних плям.

Ця осьова пористість та ліквация і є головними дефектами безперервно-литого виробу.

В кристалізаторі-охолоджувачі створюється тверда кірка заготовки, яка при виході з кристалізатору відіграє роль оболонки, в якій зосереджено рідку фазу сплаву. Вона і забезпечує перенесення теплоти з внутрішньої рідкої серцевини до поверхневого шару. При цьому можуть виникнути дефекти різного роду у твердій кірці, які залежать від умов процесу кристалізації і властивостей металевих сплавів в області температур близьких до температури солідус

2.4 Поєднання безперервної розливки і прокатки

Останнім часом все більше увагу приділяється поєднанню безперервної розливки сталі і прокатування.

Таке поєднання здійснюється встановленням робочої кліти прокатного стану в лінію безперервної розливки сталі.

Для забезпечення випуску якісної продукції в умовах суміщення лиття-прокатування, потрібно отримати бездефектні безперервно-литі заготовки. Така технологія дозволяє виключити операції їх охолодження, огляду та зачищення перед обтисненням на прокатній кліті. Для забезпечення такої технології потрібно використовувати металеві сплави, що мають високу якість з мінімальним вмістом шкідливих речовин. Потрібно ретельно контролювати процес.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.02.ЗПШКРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.6

При обтисненні металу виникають як стискуючі, так і розтягуючі напруження. При обтисненні під час прокатування потрібно, щоб забезпечувалося певне співвідношення таких напружень. У цьому випадки під час обтиснення металевго сплаву потрібно пам'ятати, що температура внутрішньої частини матеріалу, що оброблюється завжди вища зовнішньої, це призводить до того, що опір деформації внутрішньої частини матеріалу суттєво менших, як зовнішньої частини. Серцевина оброблюваної заготовки може знаходитися в рідкому стані. Таке явище має свої як переваги, так і недоліки. До переваг можна віднести те, що зменшуються сили прокатування, витрати енергії на процес, потужність двигунів, можна зменшити кількість проходів, але потрібно уважно підходити до питання отримання якісного внутрішнього шару матеріалу через нерівномірність умов деформації. При обробці потрібно інтенсивне зниження температури зовнішнього шару, що досягається завдяки подвоєному охолодженню.

Для підвищення якості продукції, що отримана за технологією суміщення лиття-прокатування, використовують наступні заходи:

- під час розливки рідкого матеріалу запобігають попаданню кінцевого шлаку в розливний та проміжний ківш;
- здійснюють вакуумну обробку рідкої сталі;
- здійснюють продування металу аргоном;
- збільшують глибину проміжного ківшу з метою поліпшення умов спливання включень;
- виконують захист струменю металевго сплаву при випуску з ківшів від взаємодії з повітрям;
- забезпечують рівномірну подачу флюсу в кристалізатор;
- виконують занурення стакану;
- забезпечують сувору співвісність кристалізатора і верхньої секції роликів;
- забезпечують рівномірне охолодження за шириною та довжиною сплаву, що кристалізується;

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.02.ЗПШКРС	Аркуш
						2.7
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- застосовують електромагнітне перемішування рідкої серцевини оброблюваного матеріалу;

- виконують ретельний контроль процесу відливання та кристалізації.

Також, однією з проблем лиття-прокатування є тертя кірки, що утворилася при кристалізації заготовки о стінки кристалізатора.

2.5 Введення модифікаторів

З метою покращення структури безперервно-литого зливка та збільшення швидкості кристалізації в роботі пропонується використовувати модифікатори.

При модифікації металевих сплавів у нього в розплавленому стані вводять домішки, що мають назву модифікатори в кількості не більше десятої частки відсотку. Такі домішки, майже, не змінюють хімічний склад литого матеріалу, але здатні позитивно впливати на його структуру, покращуючи його фізико-механічні властивості. Модифікатором вважається те речовина, що вводять у розплавлений матеріал перед початком його кристалізації з метою одержання дрібнозернистої структури виливків. Отримана структура через таку дію має кращі механічні і технологічні властивості виробів, невелику крихкість. Використовують два типи модифікаторів: тугоплавкі та поверхнево-активні.

Тугоплавкі модифікатори – це модифікатори, які мають інокулюючі дії, що утворюють тугоплавкі тверді частки, що сприяють гетерогенному зародкоутворенню. До тугоплавких модифікаторів, що вводять в рідку сталь, відносять ванадій, титан, ніобій.

Поверхнево-активні модифікатори здатні зменшувати лінійну швидкість росту кристалів та збільшувати швидкість утворення центрів кристалізації. До таких модифікаторів можна віднести бор.

Модифіковані сталі мають високу рідкоплинність, підвищену густину, малу усадку, якісну макро- та мікроструктуру, добрі механічні властивості. Модифіковані сталі мають малу кількість шкідливих домішок. З них виготовляють відповідальні деталі машин та механізмів, різальні та штампувальні інструменти тощо.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.02.ЗПШКРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.8

Потрібно уважно відноситися до вибору марки модифікатора.

До часто використаних модифікаторів можна віднести феросплави різного типу, наприклад, ферохром, феромарганець, ферованадій, феросиліцій тощо.

Модифікатори за призначенням можна поділити на три групи:

- модифікатори, які здатні підвищувати змочуваність складових сплаву, що дозволяє знижувати поверхневий натяг на межі між ними, і полегшувати створення твердої фази, яка контактує з рідкою;

- модифікатори, які являються зародками кристалізації;

- модифікатори-інокулятори, які здатні змінювати внутрішню структуру сплаву за рахунок зменшення перегрівання металевого розплаву, що кристалізується.

За принципом дії модифікатори можна класифікувати на три групи:

1) модифікатори 1-го роду, які діють на структуру металевого сплаву за рахунок зміни енергетичних характеристик таких, як енергія активації і поверхневий натяг, які виникають при зародженні нової фази;

2) модифікатори 2-го роду, які діють на структуру металевого сплаву, впливаючи на неї як зародки твердої фази;

3) модифікатори 3-го роду, які є інокуляторами, що знижують температуру с металевого сплаву, чим підвищують швидкість кристалізації.

Завдання дипломної роботи збільшити швидкість кристалізації сталевого сплаву в машині безперервного лиття заготовок. Тому, зупиняємося на модифікаторах третього роду – інокуляторах.

Дослідження показали, що при введення в рідку сталь, яка кристалізується в машині безперервної розливки інокуляторів забезпечує підвищення однорідності структури, створює оптимальний розподіл неметалевих включень, зниження дефектів таких, як осьова ліквация, пористість, підвищує ізотропність властивостей металевого сплаву, підвищує пластичні властивості матеріалу в 2,5-3,0 рази при збереженні міцності, підвищується ударна в'язкість матеріалу. Максимальне підвищення пластичних властивостей відбувається у осьовій зоні безперервно-литого зливка.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.02.ЗПШКРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.9

Спостерігається зменшення анізотропності властивостей матеріалу у поздовжньому напрямку в поверхневій зоні, що свідчить про усунення структури стовпчастих кристалів.

Потрапляючи в металевий сплав, інокулятори викликають локальне переохолодження його. Спочатку на інокуляторах відбувається «наморожування» скоринки твердою фази, далі, від нагрівання оточуючого розплаву ці наморожені частки розплавляються і розплавляються і сам інокулятор. Таким чином, відбувається відбирання тепла інокуляторами на власне нагрівання та розплавлення інокулятора, що забезпечує зменшення температури металевого розплаву.

Такі дії інокулятора дозволяють збільшити швидкість кристалізації, зменшити ліквідаційну неоднорідність у виробі та підвищити його однорідність та механічні властивості. Дослідження показали, що при збільшенні маси інокуляторів, збільшується швидкість кристалізації.

Використання порошкового дроту

При використанні порошкового дроту можна ефективно використовувати елементи, що мають низькі температури плавлення та кипіння.

Порошковий дріт у своєму складі має наступні модифікатори: магній, барій, кальцій, ванадій, ніобій, хром, бор.

Японською фірмою «Хитати денсен» розроблено порошковий дріт, що має круглий поперечний переріз, серцевина якого складається з кальцію та алюмінію.

При розливанні рідкої сталі в машину безперервної розливки порошковий дріт пропонується вводити в проміжний ківш МБЛЗ або в сам кристалізатор. Італійський науково-дослідний металургійний цент розробив технологію, яка має назву FAST (forced acceleration of solidification technology – процес прискореної кристалізації). Відповідно цієї технології існує можливість покращити якість внутрішньої металевого сплаву і поверхневого шару безперервно-литих виробів. Були проведені дослідження італійською фірмою «Terni Acciai Speciali» на підприємстві в м. Терні, де було змонтовано установку

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.02.ЗПШКРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.10

для введення порошкового дроту через стопор проміжного ківшу машини безперервної розливки сталі. Порошковий дріт було спрямовано в струмінь рідкого металевому сплаву, що рухається від проміжного ківшу в кристалізатор, як показано на рис. 2.3.

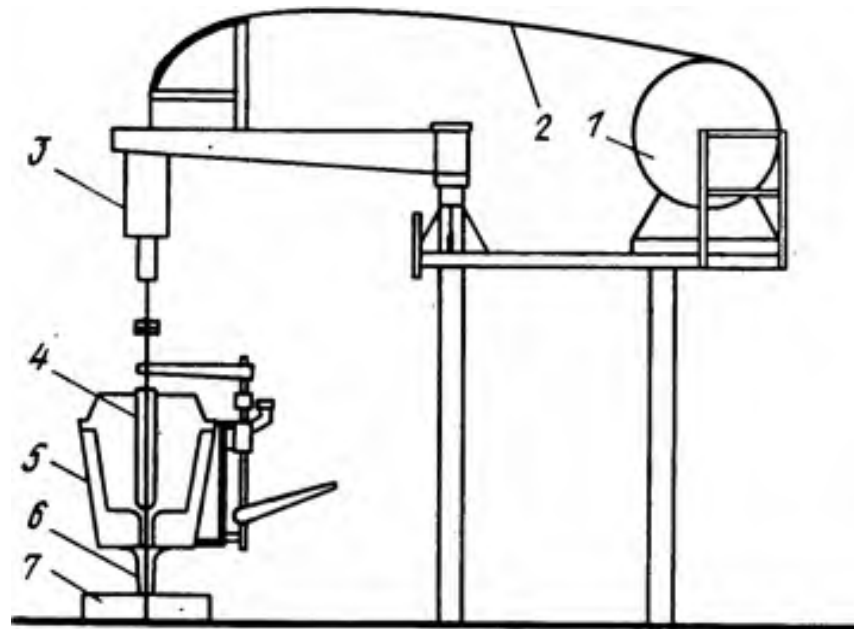


Рисунок 2.3 – Устаткування для введення порошкового дроту з використанням стопору проміжного ківшу машини безперервної розливки сталі фірми «Terni Acciai Speciali» (Італія): 1 – ємність з порошковим дротом; 2 – порошковий дріт; 3 – спрямування дроту; 4 – стопор; 5 – проміжний ківш; 6 – захисний стакан; 7 – кристалізатор

Дослідження показало, що у випадку введення в кристалізатор алюмінію під час розливання електротехнічних сталей існує можливість зменшення заростання зануреного стакану глиноземистими включеннями. Впровадження титану під час розливки корозійностійких сталей в кристалізатор дозволяє зменшити кількість утворених оксидів та нітридів титану.

Технологію FAST дала позитивні результати при застосуванні безперервної розливки автоматної сталі, яка легована алюмінієм, свинцем, бором тощо.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.02.ЗПШКРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.11

На підприємстві «Italsider» (Італія), в м. Таранто впроваджено у виробництво конструкція устаткування, яка має вигляд спрямовуючої труби, за допомогою якої порошковий дріт надходить в проміжний ківш у вигляді витків у проміжний ківш (рис. 2.4). Відстань між витками та їх діаметр визначається в залежності від температури сталі та глибини ванни.

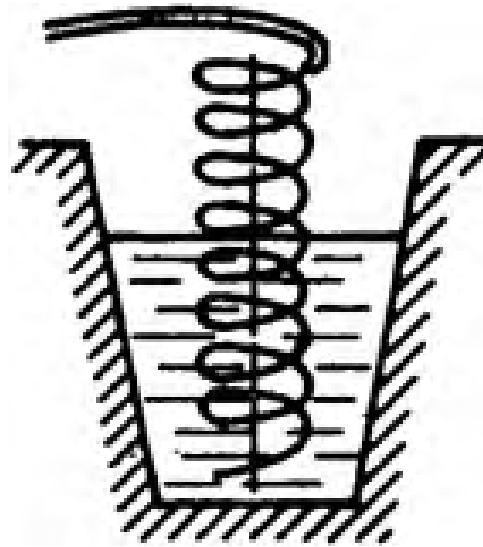


Рисунок 2.4 – Схема додавання порошкового дроту в проміжний ківш фірми

2.6 Технологія отримання листового матеріалу безперервною розливкою

Технологічний процес отримання товстого листа з використанням процесу безперервної розливки полягає в наступному:

- 1) відбувається подача рідкої сталі в кристалізатор машини безперервної розливки сталі через заглиблений стакан;
- 2) вводиться інокулятор з порошку, що має хімічний склад близький до хімічного складу основного матеріалу в струмінь рідкого розплаву, що витікає з проміжного ківшу; таке введення відбувається в потоці нейтрального газу
- 3) здійснюється безперервне витягування отриманої заготовки;

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.02.ЗПШКРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.12

- 4) виконується інтенсивне перемішування рідкої сталі в кристалізаторі та у зоні вторинного охолодження за допомогою індукції змінним струмом;
- 5) витягування матеріалу, що має тверду кірку;
- 6) подача до прокатної кліти матеріалу, що має тверду кірку та м'яку серцевину;
- 7) виконання м'якого обтиснення з метою надання листу потрібної товщини і ширини;
- 8) обрізання кінців;
- 9) обробка поверхні на роликотправильних машинах.

Для забезпечення підвищення якості листового матеріалу електромагнітне перемішування здійснюється у трьох зонах: кристалізаторі, в проміжній зоні та в зоні остаточної кристалізації. В зоні кристалізатора і у проміжній зоні перемішування виконується магнітним полем, яке має змінний струм з частотою від 1,5 до 10 Гц, з магнітною індукцією, що знаходиться біля поверхні кристалізатора, або біля поверхні виробу, яка дорівнює:

$$195 \cdot e^{-0,18f} \div 1790 \cdot e^{-0,2f}.$$

У проміжній зоні перемішування виконують змінним струмом з частотою від 50 до 60 Гц з магнітною індукцією біля поверхні виробу, яка дорівнює:

$$M_i = 0,6 \cdot 106 \cdot (D-107)^2 \div 1,8 \cdot 106 \cdot (D100)^2 ,$$

де D – товщина затверділої кірки матеріалу, що кристалізується; у зоні остаточного твердіння потрібно прикласти магнітне поле, що індукується таким самим змінним струмом.

В процесі розливки рідкої сталі інокулятор вводять у вигляді порошку, розчиненого у кількості від 1,2 до 13,8 л/т рідкого сплаву. Такі добавки вводять через трубу у вигляді порожнистого стопору-інжектора, яку розташовують над випускним отвором проміжного ківшу у вигляді стакана-дозатора. Фракція порошку складає від 100 до 1000 мкм, витрата порошку дорівнює 0,05-0,06 %, витрата інертного газу знаходиться в межах від 1,2 до 13,8 л/т рідкого металу.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.02.ЗПШКРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.13

При введенні інокулятора, що має фракцію менше за 100 мкм, він повністю розплавляється під струменем рідкого металу у стакані-дозаторі, не потрапляючи у кристалізатор, томе не здійснює вплив на структуру матеріалу, що кристалізується. Також є можливість посилення заростання стакану дозатору через те, що переохолоджується рідкий металевий сплав.

У випадку використання порошку, що має фракцію більшу 1000 мкм процес ускладнює тим, що виникає можливість закупорювання газового шляху та сопла стопора-інжектора.

У випадку витрати порошкового інокулятора менше як 0,01 % від маси рідкого матеріалу, що розливається не забезпечує суттєвого подрібнення структури через недостатню кількість центрів кристалізації та малу величину їх площі зрощення. При занадто великій витраті порошку, яка перевищує 0,65 % буде пришвидшуватися процес зростання стаканів-дозаторів, що пришвидшить їх виведення з експлуатації.

У випадку витрати інертного газу менше, як 1,2 л/т рідкої сталі спостерігається недостатність її для транспортування часток порошку газовим трактом. Також у цьому випадку і має здатність сопло-інжектор заростати металевим сплавом, який попадає у порожнину сопла. У випадку витрати інертного газу, яка перевищує 13,8 л/т рідкого металевого сплаву призводить до інтенсивного бурління поверхні шлаку, що знаходиться у проміжному ківші і оголення поверхні рідкої сталі, внаслідок чого може відбуватися вторинне окислення металу та насичення його воднем. Також інертний газ може потрапити до кристалізатора, що може викликати бурління поверхні шлакової суміші в кристалізаторі і коливання меніску рідкої сталі у ньому. Такі явища можуть призвести до утворення поверхневих дефектів виробу, що кристалізується, прорвати його тверду кірку, яка вийшла з кристалізатора.

При потраплянні порошкового інокулятора в рідку сталь безпосередньо перед її кристалізацію частинки порошку будуть виконувати роль зародків нової фази та на її поверхні зростатимуть кристали твердої фази. Частки порошку, знаходячись у перегрітому об'ємі рідкого металевого сплаву, будуть

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.02.ЗПШКРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.14

розплавлятися, внаслідок чого зменшувати його температуру і створювати умови для зменшення температури рідкого сплаву, що знаходиться у кристалізаторі, чим самим створювати сприятливі умови для отримання рівновісної структури.

Було проведено дослідження процесу розливання рідкої сталі марки 09Г2С. використовувалась рідка сталь в обсязі 250 т. При розливанні використовувався проміжний ківш, що має ємність 49 т. Дослідження засвідчили, що відбувається повільне заростання інокулятора-дозатору. Бурління відсутнє на поверхні рідкого сплаву, що забезпечує отримання якісного виробу.

Результати дослідження показано в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати дослідження введення інокулятора в розплав рідкої сталі для прискорення швидкості кристалізації в МБЛЗ

№ з/п	Фракція інокулятора, мкм	Витрата інокулятора, % від маси розплаву	Витрата газу, л/т рідкого металу	Частка відбракованих виробів, %
1	100-1000	0,05-0,6	14-20	1,5-2,5
2	100-1000	0,05-0,6	0,8-1,1	1,5-3,0
3	100-1000	0,05-0,6	1,2-13,8	0,5-1
4	100-1000	0,7-2,0	1,2-13,8	1,5-3,0
5	50-90	0,01-0,04	1,2 – 13,8	2,0-3,5
6	1010-1050	0,05-0,6	1,2-13,8	1,5-2,5
7	50-9	0,7-1,2	1,2-13,8	3,5-4,5
8	1010-1050	0,7-1,2	1,2-13,8	3,0-4,0
9	1010-1050	0,01-0,04	13,9-15,0	3,5- 4,5

З таблиці видно, що раціональними параметрами введення інокулятора в рідку сталь є наступні:

Фракція інокулятора – 100-1000 мкм;

витрата інокулятора, % від маси розплаву – 0,05-0,6%;

витрата газу, л/т рідкого металу – 12,3-13,8.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.02.ЗПШКРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.15

Такі параметри забезпечують мінімальний відсоток браку, що знаходиться у межах від 1,5 до 2,5 % від усієї маси отриманих виробів.

Результати дослідження довели, що запропонований спосіб забезпечує підвищення ефективності процесу лиття-прокатування. Позитивний вплив має той чинник, що тривалість процесу кристалізації рідкого матеріалу суттєво скорочується.

Дослідження довели, що такі заходи дозволяють підвищити швидкість виходу матеріалу з машини безперервного лиття заготовок для сталі 9Г2С з 6,0 м/хв до 6,8, що складає 13 %.

2.7 Визначення режимів обтиснення при прокатуванні товстолистової сталі, що має товщину 8 мм

На виході з машини безперервного лиття заготовок з метою уніфікації виробів отримали товстий лист, що має розміри: товщину 10 мм, ширину 1000 мм, довжину 1000, мм.

Площа поперечного перерізу листа, отриманого з машини безперервної розливки сталі дорівнює:

$$F_0 = 10 \times 1000 = 100000 \text{ мм}^2.$$

Далі цей лист надходить до прокатних клітей з метою його обтиснення до товщини 8 мм.

В прокатних клітях потрібно виконати обтиснення листа на величину Δh :

$$\Delta h = h_0 - h_k;$$

де h_0 – початкова товщина листа;

h_k – кінцева товщина листа.

Після підстановки, отримаємо загальну величину обтиснення:

$$\Delta h = 10 - 8 = 2 \text{ мм.}$$

Значить потрібно обтиснути на 2 мм.

При цьому відбудеться загальна деформація:

$$\varepsilon = (\Delta h / h_0) \cdot 100 = (2/10) = 20 \text{ \%}.$$

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.02.ЗПШКРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.16

Обтиснення відбувається в чотирьох прокатних клітках між якими потрібно розділити зальну деформацію.

Призначаємо: $\Delta h_1=1$ мм; $\Delta h_2=0,5$ мм; $\Delta h_3=0,25$ мм; $\Delta h_4=0,25$ мм.

Визначаємо ступінь деформація за першою прокатною кліткою:

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta h_1}{h_0} 100 = \frac{1}{10} 100 = 10 \%$$

Після першого проходу отримаємо товщину смуги:

$$h_1 = h_0 - \Delta h_1 = 10 - 1 = 9 \text{ мм.}$$

За другою кліткою ступінь обтиснення дорівнює:

$$\varepsilon_2 = \frac{\Delta h_2}{h_1} 100 = \frac{0,5}{9} 100 = 5 \%$$

Товщина смуги після другого проходу:

$$h_2 = h_1 - \Delta h_2 = 9 - 0,5 = 8,5 \text{ мм.}$$

Ступінь обтиснення за третьою прокатною кліткою:

$$\varepsilon_3 = \frac{\Delta h_3}{h_2} 100 = \frac{0,25}{8,5} 100 = 2,4 \%$$

Товщина смуги після другого проходу дорівнює:

$$h_3 = h_2 - \Delta h_3 = 8,5 - 0,25 = 8,25 \text{ мм.}$$

Ступінь обтиснення за четвертою прокатною кліткою:

$$\varepsilon_4 = \frac{\Delta h_4}{h_3} 100 = \frac{0,25}{8} 100 = 2,6 \%$$

Товщина смуги після четвертого проходу:

$$h_4 = h_3 - \Delta h_4 = 8,25 - 0,25 = 8,0 \text{ мм.}$$

З розрахунків видно, що при проходженні смуги між прокатними клітками надаються невеликі обтиснення. Це забезпечує зміцнення поверхневого шару матеріалу та зміну розмірів смуги. Довжина листа суттєво збільшується при цьому, а розширення не відбувається.

Загальний коефіцієнт витяжки при цьому дорівнює:

$$\mu = \frac{F_0}{F_4} = \frac{10000}{8000} = 1,25,$$

де F_0 – початкова площа поперечного перерізу листа;

F_4 – кінцева площа поперечного перерізу листа.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.02.ЗПШКРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.17

З метою отримання якісної поверхні листа з мінімальною різнотовщинністю, загальний коефіцієнт витяжки розподіляємо між усіма проходами.

В результаті цього за кожним проходом, отримуємо лист, що має наступні поперечні перерізи:

- після першого проходу $F_1 = h_1 \times b_1 = 9 \times 1000 \text{ мм} = 9000 \text{ мм}^2$;
- після другого проходу $F_2 = h_2 \times b_2 = 8,5 \times 1000 = 8500 \text{ мм}^2$;
- після третього проходу $F_3 = h_3 \times b_3 = 8,25 \times 1000 = 8250 \text{ мм}^2$;
- після четвертого $F_4 = h_4 \times b_4 = 8 \times 1000 = 8000 \text{ мм}^2$.

За кожним проходом отримуємо наступні коефіцієнти витяжки μ_i :

- за першим проходом $\mu_1 = \frac{F_0}{F_1} = \frac{10000}{9000} = 1,11$;
- за другим проходом $\mu_2 = \frac{F_1}{F_2} = \frac{9000}{8500} = 1,06$;
- за третім проходом $\mu_3 = \frac{F_2}{F_3} = \frac{8500}{8250} = 1,03$;
- за четвертим проходом $\mu_4 = \frac{F_3}{F_4} = \frac{8250}{8000} = 1,03$.

З розрахунків видно, що ступінь деформації від проходу до проходу зменшується, що забезпечує підвищення якості листа та зменшення навантаження на прокатну кліть. В останніх прокатних клітях відбувається майже вигладжування листа, що сприяє підвищенню його якості та твердості поверхневого шару.

При цьому відбуваються подовження листа, яке визначається за формулою:

$$l_i = l_{i-1} \mu_i,$$

де l_i – довжина листа після проходу;

l_{i-1} – довжина листа до проходу;

μ_i – коефіцієнт витяжки, що отриманий у даному проході.

Після підстановки, отримуємо наступне:

- після першої прокатної кліті $l_1 = l_0 \mu_1$,

після підстановки, отримуємо $l_1 = 1000 \times 1,11 = 1110 \text{ мм}$;

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.02.ЗПШКРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.18

- після першої прокатної кліті $l_2 = l_0 \mu_1$,

після підстановки, отримаємо $l_1 = 1110 \times 1,06 = 1176,6$ мм;

- після першої прокатної кліті $l_3 = l_0 \mu_1$,

після підстановки, отримаємо $l_1 = 1176,6 \times 1,03 = 1211,9$ мм;

- після першої прокатної кліті $l_4 = l_0 \mu_1$,

після підстановки, отримаємо $l_1 = 1211,9 \times 1,03 = 1248$ мм.

З розрахунку видно, що в результаті обтиснень, які відбулися в чотирьох прокатних клітях, прокатуємий лист отримав подовження і добув загальну довжину 1248 мм, при цьому ширина листа не змінюється.

Прокатування відбувається зі швидкістю, що відповідає виходу затвердідого матеріалу з машини безперервної розливки сталі і дорівнює $v = 6,8$ м/хв. При проходження листового матеріалу в прокатних клітях швидкість збільшується і визначається за формулою:

$$v_i = v_{i-1} \mu,$$

де v_i – швидкість прокатування в даній кліті;

v_{i-1} – швидкість прокатування в попередній кліті;

μ – коефіцієнт витяжки.

Швидкість виходу листа з машини безперервної розливки сталі дорівнює 6,8 м/с.

Після підстановки отримаємо:

- на виході з першої кліті $v_1 = 6,8 \cdot 1,11 = 7,55$ м/хв;

- на виході з першої кліті $v_1 = 7,55 \cdot 1,06 = 8,0$ м/хв;

- на виході з першої кліті $v_1 = 6,8 \cdot 1,03 = 8,24$ м/хв;

- на виході з першої кліті $v_1 = 6,8 \cdot 1,03 = 8,5$ м/хв.

З розрахунку видно, швидкість прокатування при проході від кліті до кліті збільшується і досягає значення 8,5 м/хв.

Дані розрахунку заносимо в таблицю 2.2.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.02.ЗПШКРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.19

Таблиця 2.2 – Розрахунок параметрів прокатування листової сталі

№ кліті	b, мм	h, мм	Δh , мм	ϵ , %	F, мм ²	μ	L, мм	v , м/хв
Початковий матеріал	1000	10,0			10000	-		6,8
1 кліть	1000	9,0	1,0	10	9000	1,11	1110	7,55
2 кліть	1000	8,5	0,5	5	8500	1,06	1176,6	8,0
3 кліть	1000	8,25	0,25	2,4	8250	1,03	1211,9	8,24
4 кліть	1000	8,0	0,25	2,6	8000	1,03	1248,0	8,5
Σ			2,0	20		1,25		

З таблиці видно, що здійснюється спадний режим обтиснення. Такий режим запобігає зношенню прокатних валків та не дозволяє ушкодити листовий матеріал через уникнення тріщин на поверхні, що забезпечить отримання якісної поверхні листа.

2.7 Висновки до розділу

В розділі визначено компоновку агрегату для суміщення процесу лиття-прокатування при отриманні товстого листа. Для здійснення обтиснення запропоновано використовувати чотири прокатних кліті кварто, які мають у своєму складі два робочих прокатних валка і два опорних, що дозволяють підвищити жорсткість робочих і, тим самим, отримати якісний лист з точними розмірами за шириною з мінімальною хвилястістю та коробоватістю.

Для прискорення швидкості кристалізації пропонується введення інокуляторів. В результаті запропонованих пропозицій досягнуто зменшення кількості браку в середньому на 2 відсотки, що дозволило збільшити випуск годної продукції на 2 %, швидкість кристалізації збільшено на 13 %, що досягло 6,8 м/хв.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.02.ЗПШКРС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.20

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Заходи з прискорення швидкості кристалізація рідкої сталі в МБЛЗ при виготовленні товстолистової сталі

В роботі товстий сталевий лист виготовляється в умовах суміщення процесу лиття-прокатування, де збільшити швидкість кристалізації рідкої сталі в МБЛЗ задача вельми актуальна.

Проаналізовано способи підвищення швидкості кристалізації, де віддано перевагу введенню в розплав інокуляторів у вигляді дрогового порошку. Запропоновано засоби, що дозволяють це здійснити.

Такі дії дозволяють підвищити швидкість кристалізації рідкої сталі і швидкість виходу затверділого матеріалу на 13 %. Також такі дії дозволяють покращити внутрішню структуру матеріалу і зменшити кількість браку на 2 %, що забезпечує збільшення обсягу виробництва на цей відсоток.

3.2 Виробнича програма на рік

Виробнича програма показує обсяг виробництва продукції, який визначається з врахуванням річного фонду робочого часу обладнання та його питомої продуктивності.

Річна виробнича програма виготовлення товстих сталевих листів визначається за формулою:

$$Q = P_T T_\Phi, \quad (3.1)$$

де Q – річна виробнича програма, т;

T_Φ – фактичний час роботи обладнання, що забезпечує виготовлення товстих листів протягом одного року, год;

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.03.ТЕОРД			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Плахотний				ТЕХНІКО- ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Бондарчук						3.1	15
Рецензент						Кафедра МЧМЛВ гр. МЧМ-23-1м		
Н. контр.	Савельєв							
Затвердив	Савельєв							

P_T – технічна норма продуктивності обладнання, на якому виготовляється товстолистова продукція за одну годину, т.

Потрібно визначити фактичний час роботи лінії з випуску сталевих листів в умовах суміщення лиття-прокатування. З цією метою підраховуємо час роботи обладнання за календарем з врахуванням тривалості капітальних і профілактичних ремонтних робіт.

Фактичний час річної роботи обладнання, що забезпечує випуск товстих листів, визначається наступним чином:

$$T_{\phi} = [T_K - (T_{св} + T_{вих} + T_{к.р})] r t_{зм} (100 - T_{пр}/100) \quad (3.2)$$

де T_K – календарний час роботи обладнання, що забезпечує випуск листової продукції, діб;

$T_{св}$ – число святкових днів у даному календарному році;

$T_{вих}$ – кількість вихідних днів у даному календарному році;

$T_{к.р}$ – кількість днів, коли виконувалися ремонтні роботи на обладнанні у поточному році, днів;

r – кількість змін роботи, що приходиться на одну добу;

$t_{зм}$ – тривалість однієї робочої зміни, год.;

$T_{пр}$ – тривалість простоїв під час ремонтів та у випадок аварійних ситуацій, що залежить від номінального часу роботи обладнання з випуску товстолистової продукції.

В результаті підставлення усіх даних та їх розрахунку, отримали фактичний час роботи обладнання дорівнює:

$$T_{\phi} = 7410 \text{ год.}$$

Технічну норму продуктивності обладнання з випуску товстолистової продукції визначимо за формулою:

$$P_T = 3600M/t, \quad (3.3)$$

де M – маса матеріалу, яка залежить від об'єму початкового матеріалу для виготовлення профілю та його хімічного складу, і дорівнює на одиницю продукції:

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.03.ТЕОРД	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3.2

$$M_1 = H \cdot B \cdot p = 1,000 \cdot 1,000 \cdot 0,010 \cdot 7850 = 0,785 \text{ т.} \quad (3.4)$$

На машині одночасно може виготовлятися 4 вироби, що забезпечує отримання товстолистової продукції. Тоді маса одночасно отриманих виробів дорівнює $M = 4 \cdot 0,785 = 3,140 \text{ т}$.

t – такт обробки металу, що витрачається на виготовлення товстолистової продукції, що враховує усі основні та допоміжні операції $t = 360 \text{ с}$.

Після впровадження нових рішень з прискорення кристалізації, такт обробки зменшився на 13 %, що складає 47 с. Тоді такт обробки дорівнює $360 - 47 = 313 \text{ с}$. В той же час через зменшення браку на 2%, кількість продукції збільшилося на 0,06 т і складає $3,140 + 0,06 = 3,2 \text{ т}$.

Технічна норма продуктивності для виготовлення одиниці товстолистової продукції дорівнює:

За базовою технологією:

$$P_{\text{до}} = 3600 \cdot 3,140 / 360 = 31,4 \text{ т/год.}$$

За новою технологією:

$$P_{\text{після}} = 3600 \cdot 3,2 / 313 = 36,8 \text{ т/год.}$$

Розрахунок показав, що технічна норма продуктивності після впровадження нових рішень збільшилася на 5,4 т. Значить річний обсяг виробництва листової сталі буде дорівнювати:

$$Q_{\text{до}} = 31,5 \cdot 7410 = 233415,0 \text{ т/рік}$$

$$Q_{\text{після}} = 36,8 \cdot 7410 = 272725,9 \text{ т/рік.}$$

З розрахунків видно, що обсяг виробництва листової продукції після впровадження нових технічних рішень збільшився на величину ΔQ , яка складає:

$$\Delta Q = Q_{\text{після}} - Q_{\text{до}} = 272725,9 - 233415,0 = 39310,9 \text{ т.}$$

Збільшення обсягу виробництва продукції складає 16,8 %.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.03.ТЕОРД	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3.3

3.3 Визначення витрат на амортизацію основних засобів

У таблиці 3.1 наведено устаткування, що використовується для суміщення лиття-прокатування при виготовленні товстолистової сталі, вказано його вартість та амортизаційні відрахування.

Величина амортизаційних відрахувань AB при виробництві листової сталі розраховується за формулою:

$$AB = V_{поч} \cdot H_a. \quad (3.6)$$

H_a – норма амортизаційних відрахувань; складає $H_a=0,05$.

Залишкова вартість устаткування $V_{зал}$ визначається за формулою:

$$V_{зал} = V_{поч} - AB. \quad (3.7)$$

Таблиця 3.1 – Амортизаційні витрати на основні засоби при виробництві товстолистової продукції

Вартість основних засобів	Початкова вартість, млн. грн	Затрати на амортизацію, млн. грн.	Залишкова вартості, млн. грн.
1	2	3	4
Вартість будівель і споруд			
Вартість будівлі приміщень для виробництва листової продукції	71, 525	3,56	65,965
Склади вихідних матеріалів, напівфабрикатів та готової продукції	68, 252	3,4	64,852
АПП	55,545	2,78	52,765
Основне устаткування			
МБЛЗ	52,525	2,6	49,92

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.03.ТЕОРД	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3.4

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4
Поворотний стенд	8,55	0,43	8,12
Розливний ківш	20,2	1,01	19,19
Прокатні кліті	25,57	1,27	24,30
Допоміжне обладнання			
Система охолодження	10,5	0,5	10,0
Ножиці	15,5	0,78	14,72
Мостовий кран	30,5	1,5	28,5
$\Sigma_{\text{б}}$	333,467	16,673	316,793
Інокулятор	0,01	0,0005	0,0085
$\Sigma_{\text{нт}}$	333,477	16,673	316,804

Амортизаційна вартість на одну тону виготовленої листової продукції:

– до використання нової технології:

$$AB_{\text{до}} = \sum AB / Q_{\text{пл}} = 16673000 / 233415 = 71,43 \text{ грн.}$$

– після впровадження:

$$AB_{\text{після}} = 16673000 / 272726 = 61,13 \text{ грн.}$$

Зміни амортизаційної вартості на одну тону листової продукції:

$$\Delta AB = AB_{\text{після}} - AB_{\text{до}} = 61,13 - 71,43 = -10,3 \text{ грн.}$$

Амортизаційна вартість виготовлення однієї тони листової продукції зменшилася, не зважаючи на те, що потрібно ввести додаткові витрати на інокулятор, через те, що збільшився обсяг продукції.

3.4 Вартість матеріальних ресурсів на виготовлення листової продукції

Вартість матеріальних ресурсів та їх складові елементи, що потрібні на виготовлення листової продукції наведено в таблиці 3.2.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.03.ТЕОРД	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3.5

Таблиця 3.2 – Вартість матеріальних ресурсів для виготовлення листової продукції

Назва матеріалу, що використовується для виготовлення товстолистової продукції	Норма використання, натуральних од.	Ціна, грн.	Витрати за базовою техн., грн.	витрати за новою техн., грн.
	за базовою техн. /за новою техн.			
Основні матеріали: сталь 9ХГС2	1,00	9000	9000	9000
Допоміжні матеріали: Енерговитрати, кВт·год.	23,0	5,1	117,3	117,3
Вода на один м ³	10	31,4	314	314
∑ витрат на 1 т листової продукції, грн./т			9431,3	9431,3
Річний обсяг листової продукції, т.			233415,0	272725,9
∑ на 1 рік, тис. грн.			2201406,9	2572978,0

3.5 Розрахунок фонду заробітної плати

Фонд заробітної плати основних та допоміжних робітників, що задіяні у виготовленні товстолистової сталі, відповідає штатному розкладу.

Заробітна плата слюсарів-ремонтників обчислюється за погодинно-преміальною системою. Працівники отримують премію за умови якісного виконання плану з виготовлення товстих листів, яка залежить від тарифної ставки, що діє на даному підприємстві і складає 35-40%.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.03.ТЕОРД	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3.6

Кількість робітників, що потрібно для безперебійного отримання листової продукції на даному підприємстві дорівнює, як за базової так і новою технологією 28 чоловік, (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Штат робітників і фонд заробітної плати при виготовленні товстих листів в умовах суміщення лиття-прокатування

Професії робітників, що задіяні в отриманні фланцевих профілів	Штат, осіб		Тарифна ставка, грн.		Кількість відпрацьованих змін	ФОП, тис. грн.
	до	після	погодина	за зміну		
Оператор	6	6	124,0	992,0	180	1071,360
Слюсар	4	4	110,0	880,0	180	633,6
Настроювальник	4	4	115,0	920	180	662,4
Прибиральник гарячого металу	4	4	115,0	920	180	662,4
Вальцівник	4	4	115,0	920	180	662,4
Ремонтник з налагодження обладнання	6	6	110,0	880	180	950,4
Всього	28	28				4642,56
Премії (30% від основної)						1392,77
Доплати за роботу в нічний час (20 % від окладу)						928,51
Всього основна заробітна плата						6963,84
Додатковий ФЗП (20%)						1392,77
Всього загальний річний ФЗП						8356,6
Відрахування на соцстрах (22 % від усього)						1838,45
Σ						10195,05

									Аркуш
									3.7
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КНУ.РМ.136.24.545с-05.03.ТЕОРД				

Календарний час роботи основних робітників, що забезпечують випуск товстих листів у 2024 році складає 365 днів. Ці робітники працюють у одну зміну, яка має тривалість 8 годин. Робітники мають два вихідних на один тиждень. Кількість вихідних днів у 2024 році складає 115. Окрім цього, робітникам з випуску товстолистової продукції надається відпуска, яка триває 27 днів. Це свідчить про те, що кожен робітник при виготовленні товстолистової продукції відпрацював 180 днів.

Робітники, задіяні у випуску товстих листів, отримують основну заробітну плату і преміальні при умові якісного виконання плану, які складають 30 % від основної заробітної плати. Також, працівники, що задіяні у виробництві, отримують додаткову оплату праці за роботу в нічний час, що складає 20 %. Окрім цього, робітники отримують додаткову заробітну плату, яка складає 20 % від основної заробітної плати. Усі працівники віддають виплати у розміри 22 % на соціальне страхування, що також потрібно врахувати при визначення загального фонду заробітної плати робітників. Перелік працівників, що задіяні у випуску товстолистової продукції в умовах суміщення лиття-прокатування та визначення фонду їх оплати праці наведені в таблиці 3.3., де виконуються порівняння за базовою і новою технологією.

При виготовленні однієї тони товстолистової продукції фонд заробітної плати до використання пропозицій з удосконалення технології дорівнює:

$$\Phi ЗП_{1т до} = (\text{ФОП} + V_{\text{соц}}) / Q_{\text{пл}} = 10195050 / 233415 = 43,68 \text{ грн./т.}$$

Після впровадження удосконаленої технології:

$$\Phi ЗП_{1т після} = 10195050 / 272725,9 = 37,38 \text{ грн./т.}$$

Середня заробітна плата за місяць одного робітника при виготовленні товстолистової продукції:

$$ЗП_{\text{роб}} = \text{ОЗП}_{\text{всього}} / n \cdot 12,$$

n – кількість робітників.

$$ЗП_{\text{роб}} = 10195050 / 28 \cdot 12 = 30342 \text{ грн.}$$

При використанні нових рішень місячна заробітна плата одного робітника не змінилася.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.03.ТЕОРД	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3.8

Окрім основних робітників для виготовлення товстолистової продукції задіяно керівний та обслуговуючий персонал. Заробітна плата такого персоналу нараховується відповідно до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Фонд заробітної плати адміністративно-обслуговуючого персоналу при виготовленні товстолистової сталі

Посада	Кількість, осіб	Оклад, грн.	ФЗП, грн.
Начальник цеху з випуску сортового прокату	1	40000	480000
Заступник начальника сортопрокатного цеху	1	35000	420000
Майстер	4	28000	1344000
Технолог	4	30000	1440000
Прибиральник ділянки	2	10000	240000
Всього	12		3924000
Премії (30%)			1177200
Всього основна зар. плата			5101200
Додаткова зар.плата			1020240
Всього		-	6121440
Відрахування на соцстрах (22%)			1346716,8
Σ			7468156,8

Фонд заробітної плати на утримання адміністративно-обслуговуючого персоналу на одну тону товстолистової продукції дорівнює:

$$\Phi ЗП_{1до} = (\text{ФОП} + V_{\text{соц}}) / Q_{\text{плдо}} = 7468156,8 / 233415 = 32,0 \text{ грн./т.}$$

$$\Phi ЗП_{1після} = (\text{ФОП} + V_{\text{соц}}) / Q_{\text{плпісля}} = 7468156,8 / 272725,9 = 27,38 \text{ грн./т.}$$

З розрахунків видно, що при впровадженні нових рішень фонд заробітної плати на одну тону продукції зменшився.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.03.ТЕОРД	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3.9

3.6 Калькуляція собівартості товстолистової сталі

Собівартість товстолистової сталі розраховується з врахуванням наступних витрат [25]:

1. Заробітна плата робітників, що обслуговують устаткування з випуску товстолистової сталі та адміністративно-обслуговуючого персоналу з врахуванням усіх доплат та соціальних виплат.

2. Оплата витрат на електричну енергію при виробництві товстолистової сталі.

3. Витрати на вихідні матеріали, що необхідні для випуску листової продукції.

4. Врахування витрат на проведення обслуговування та ремонту обладнання з випуску товстолистової сталі, яке дорівнює 10% від вартості цього обладнання.

5. Амортизаційні витрати на устаткування для випуску товстолистової сталі.

6. Накладні витрати при виготовленні товстолистової сталі, які приймають 10 % від вартості виробничої бази цеху з виготовлення товстолистової сталі.

Калькуляція визначення собівартості товстолистової сталі наведено в таблиці 3.5.

Ціна отриманої товстолистової сталі визначається за формулою:

$$Ц = 1,2 \cdot C, \text{ грн./т,}$$

де C – величина собівартості однієї тони листової сталі, грн./т;

собівартість 1 т. листової сталі за базовою технологією: $C_{\text{до}} = 11176,4$ грн./т;

за новою технологією дорівнює: $C_{\text{після}} = 9781,5$ грн./т.

Ціна 1 тони товстолистової сталі дорівнює:

$$Ц_{\text{до}} = 1,2 \cdot 11176,4 = 13411,68 \text{ грн./т.}$$

$$Ц_{\text{після}} = 1,2 \cdot 9781,5 = 11737,8 \text{ грн./т.}$$

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.03.ТЕОРД	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3.10

Таблиця 3.5 – Калькуляція собівартості товстолистової сталі

№ з/п	Статі витрат на виготовлення товстолистової сталі	Величина витрат, грн.	Витрати на 1 т, грн.	Питома вага, %
1	Заробітна плата робітників та обслуговуючого персоналу:			
	- за баз. вар.	17663206,8	75,67	0,21
	- за нов. вар	17663206,8	64,77	0,2
2	Сировина та матеріали			
	- за баз. вар.	2201406900	9431	98,8
	- за нов. вар.	2572978000	9434	98,8
3	Обслуговування та ремонт обладнання (10% від його вартості)			
	- за баз. вар.	31678300	135,7	0,5
	- за нов. Вар.	31680400	116,1	
4	Амортизаційні відрахування:			0,5
	- за баз. вар.	16673000	71,43	
	- за нов. вар	16673000	61,13	
5	Накладні витрати			
	- за баз. вар.	31898440,7	117,3	0,01
	- за нов. вар.	31937697,8	105,5	0,01
6	Всього:			
	- за баз. вар.	2608179210	11174,6	
	- за нов. вар.	2667668390	9781,5	100,0

Сумарна величина доходу від продажу товстолистової сталі визначається за формулою:

$$D = \sum (C_i \cdot Q_i), \text{ грн.}$$

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.03.ТЕОРД	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3.11

Дохід за базовим варіантом дорівнює:

$$D_{\text{до}} = 13411,7 \cdot 233415 = 3130491960 \text{ грн.}$$

Дохід за новим варіантом буде:

$$D_{\text{після}} = 11737,8 \cdot 272725,9 = 3201202070 \text{ грн.}$$

Дохідна ставка цеху з випуску листової сталі визначається за формулою:

$$d_{\text{ср}} = D_{\text{заг}} / Q_{\text{заг}}$$

де $Q_{\text{заг}}$ – загальний обсяг виконаної роботи в цеху з випуску товстих листів у вартісних або умовно натуральних величинах.

Середня доходна при випуску товстих листів за базовою технологією складає:

$$d_{\text{ср до}} = 3130491960 / 161756 = 13411,7 \text{ грн./ ум.нат.од.}$$

середня доходна ставка після удосконалення:

$$d_{\text{ср після}} = 3201202070 / 179860,8 = 11737,8 \text{ грн./ум.нат.од.}$$

Балансовий прибуток цеху з виготовлення товстих листів визначається за формулою:

$$P_{\text{баз}} = D_{\text{заг}} - ОПБ - С,$$

де $ОПБ$ – розмір обов'язкових відрахувань і платежів у бюджет, грн.;

$С$ – загальна сума витрат при виготовленні товстих листів, яка дорівнює їх собівартості.

За базовою технологією:

$$P_{\text{бал до}} = 3130491960 - 313049196 - 2608179210 = 209263554 \text{ грн.}$$

За новою технологією:

$$P_{\text{бал після}} = 3201202070 - 320120207 - 2667668390 = 213413480 \text{ грн.}$$

Сума податку на додану вартість при виготовленні товстолистової сталі розраховували за формулою:

$$ПДВ = D_{\text{заг}} \cdot H_{\text{ам}} / (100 + H_{\text{ам}}).$$

За базовою технологією сума податку дорівнює:

$$ПДВ_{\text{до}} = 3130491960 \cdot 5 / (100 + 5) = 149071046 \text{ грн.}$$

За новою технологією сума податку дорівнює:

$$ПДВ_{\text{після}} = 3201202070 \cdot 5 / (100 + 5) = 152438194 \text{ грн.}$$

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.03.ТЕОРД	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3.12

Визначимо прибуток, який залишається в цеху з виготовлення товстого листа:

$$P_{\text{гр}} = P_{\text{бал}} - \text{ПП}, \text{ грн},$$

де ПП – податок на прибуток у бюджет за тими ставками, що існують на металургійному підприємстві, грн.

За базовою технологією прибуток дорівнює:

$$P_{\text{до}} = 333467000 - 83366750 = 250100250 \text{ грн.}$$

Після впровадження нових технічних рішень дорівнює:

$$P_{\text{після}} = 333477000 - 83369250 = 250107750 \text{ грн.}$$

Податок на прибуток визначають за формулою:

$$\text{ПП} = 0,01 \cdot N_{\text{пр}} \cdot P_{\text{бал}}.$$

$$\text{ПП}_{\text{до}} = 0,01 \cdot 25 \cdot 333467000 = 83366750 \text{ грн.}$$

$$\text{ПП}_{\text{після}} = 0,01 \cdot 25 \cdot 333477000 = 83369250 \text{ грн.},$$

де $N_{\text{пр}}$ – ставка на оподаткування прибутку (25 %).

З розрахунку видно, що величина прибутку збільшилася.

Рентабельність виготовлення товстолистової сталі:

$$R = P_{\text{бал}} \cdot 100 / C.$$

Рентабельність виготовлення товстого листа за базовим варіантом дорівнює:

$$R_{\text{до}} = 333467000 \cdot 100 / 2608179210 = 12,3 \text{ \%}.$$

Рентабельність виготовлення товстого листа за новим варіантом:

$$R_{\text{після}} = 333477000 \cdot 100 / 2667668390 = 12,7 \text{ \%}.$$

Від реалізації листової продукції граничний рівень витрат дорівнює:

$$C_{\text{гр}} = C / D_{\text{заг}}.$$

До застосування нової технології

$$C_{\text{гр до}} = 2608179210 / 3130491960 = 0,83 \text{ грн./грн.}$$

Після застосування нової технології:

$$C_{\text{гр після}} = 2667668390 / 3201202070 = 0,812 \text{ грн./грн.}$$

Для визначення техніко-економічних показників виготовлення товстолистової сталі, потрібно розрахувати продуктивність праці на одного

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.03.ТЕОРД	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3.13

робітника цеху з виробництва товстолистової сталі:

$$ПП_{\text{п}} = D_{\text{заг}}/Ч, \text{ грн./особу,}$$

де $Ч$ – число робітників за списком.

До впровадження:

$$ПП_{\text{п до}} = 3130491960/28 = 11180328 \text{ грн./особу.}$$

Після:

$$ПП_{\text{п після}} = 3201202070/28 = 11471502 \text{ грн./особу.}$$

$$ПП_{\text{р}} = Q/Ч_{\text{р}}, \text{ т/особу,}$$

$$ПП_{\text{п до}} = 233415/28=8336 \text{ т/особу.}$$

$$ПП_{\text{п після}} = 272726/28=9740 \text{ т/особу.}$$

Таблиця 3.6 – Техніко-економічні показники з виготовлення товстолистової сталі

Показники	Од. виміру	До впровадження	Після впровадження	Відхилення	
				абсолютне	відн., %
Річний обсяг виробництва товстолистової сталі	т	233415	272725,9	39311	16,8
Годинна продуктивність	т/год.	31,4	36,8	5,4	17,0
Виробничі фонди	грн.	318984407	319376978	392571	1,2
Чисельність персоналу	осіб	28	28	0	0
Продуктивність праці	т/особу	8336	9740	1404	16,8
	грн./особу	11180328	11471502	291174	2,6
Середньомісячна зарплата одного - робітника - адмін.перс	грн.	30342	30,342	0	0
		51862	51862	0	0
Собівартість товстолистової сталі	грн. 1 т	11174,6	9781,5	1393,1	12,5

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.03.ТЕОРД	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3.14

Рентабельність виробництва товстолистової сталі:

$$R = [П_{\text{баз}} / (\Phi_{\text{ос}} + \Phi_{\text{об}})] \cdot 100, \%$$

де $\Phi_{\text{ос}}$ – вартість основних засобів, грн.;

$\Phi_{\text{об}}$ – оборотні кошти, грн.

До реалізації нової технології, рентабельність дорівнювала: $R_{\text{до}} = 6,2 \%$.

Після реалізації нової технології, рентабельність зросла до:

$$R_{\text{після}} = 7,6 \%,$$

3.7 Висновки до розділу

Розрахунок техніко-економічних показників виготовлення товстолистової сталі виявив, що при введенні інокулятора в рідку сталь при розливці в МБЛЗ дозволяє збільшити обсяг виробництва на 16,8%, збільшити годинну продуктивність роботи обладнання на 17%, зменшити собівартість продукції, зростає прибуток та рентабельність, що свідчить про ефективність пропонуємих рішень.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.03.ТЕОРД	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3.15

4 САНІТАРНО-ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ

В роботі розроблено заходи з прискорення швидкості кристалізації рідкої сталі в машині безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) при виготовленні товстолистової сталі. Така машина є проміжною ланкою між електросталеплавильною піччю та прокатними клітьми. Встановлюють МБЛЗ в гарячих цехах металургійних підприємств. В роботі розроблено удосконалений технологічний процес суміщення лиття-прокатування та обладнання для його здійснення при випуску товстолистової сталі.

Процес випуску товстолистової сталі забезпечує випуск кінцевої продукції, що може поставлятися в готовому вигляді замовникам, або напівфабрикату, що поставляється в інші цехи для подальшої обробки.

Експлуатація МБЛЗ повинна відбуватися відповідно усіх вимог стандартів та норм, що діють на даному підприємстві на момент використання машини. Потрібно враховувати усі вимоги щодо захисту здоров'я людини, навколишнього середовища, пожежної безпеки.

До машини безперервного лиття заготовок надходить рідка сталь з електросталеплавильного цеху. Температура такої сталі досягає 1600 °С. Це занадто висока температура. Така температура суттєво погіршує умови праці в цеху та має негативний вплив на здоров'я людини.

В цеху, де відбувається випуск товстолистової продукції спостерігається суттєвий рівень пилу та шуму, що також має негативний вплив на здоров'я та працездатність робітників і співробітників.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.04.СЕОРНДР					
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	САНІТАРНО-ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ					
Розробив	Плахотний							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Шаповалов								4.1	10
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МЧМ-23-1м		
Н. контр.	Савельєв									
Затвердив	Савельєв									

Рівень пилу зростає безпосередньо при подачі тонкодисперсних інокуляторів у рідку сталі, що має негативний вплив на оточуюче середовище, погіршує видимість на об'єкті, погіршують увагу робітника. Тому потрібно на цій ділянці передбачити додаткові заходи для її ізоляції від зовнішнього середовища та робітників.

Рівень шуму збільшується при надходженні листового матеріалу в першу прокатну кліть, яку встановлено безпосередньо за витягаючими пристроями машини безперервного лиття сталі.

При розливці рідкої сталі з розливного ківшу у проміжний ківш машини безперервного лиття заготовок спостерігаються і інші небезпеки, через можливість її проливання. Небезпечною потрібно вважати і роботу вантажопід'ємних кранів, що виконують переміщення рідких металів і сплавів на деякі відстані.

Існують і інші небезпечні чинники, що виникають при роботі на машині безперервного розливання рідкої сталі. До таких чинників потрібно віднести можливість ураження електричним струмом працівників в умовах пошкодження ізоляції, або під час виконання ремонтних робіт електричних мереж, що розташовано на робочій ділянці. У випадку, коли потрапляє блискавка на металеві частини будівлі цеху також виникає можливість враження електричним струмом.

В кінці робочої лінії з випуску товстолистової продукції встановлено чотири робочих кліті прокатного стану, що мають прокатні валки, які під час їх роботи рухаються та обертаються з великою швидкістю, що також викликає небезпеку через можливість потрапляння до них одягу робітника, або частин його тіла. Потрібно уникнути можливості випадкового роз'єднання таких масивних вузлів та їх вилітання у бік працюючого.

Також при роботі прокатних клітей виникають вібрації, які мажуть негативно вплинути на стан здоров'я людини, на його психологічний стан, що знижує продуктивність праці, знижує увагу робітника.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.04.СЕОРНДР	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4.2

Через такі шкідливі умови праці при випуску товстолистової продукції при суміщенні лиття-прокатування потрібно передбачати ряд заходів, що дозволять уникнути або зменшити негативний вплив на здоров'я робітників та оточуючого середовища.

Усі машини безперервної розливки стало устатковано телефонним та гучномовним зв'язком, сигналізацією, телевізійними пристроями, що дозволяють спостерігати за роботою окремих вузлів та агрегатів. На пультах керування машини безперервної розливки стали потрібно мати в наявності усі засоби для надання швидкої медичної допомоги. Такі засоби потрібно періодично оглядати та поповнювати.

Розглянемо шкідливі умови в різних підрозділах цеху, де встановлено ливарно-прокатну машину або на окремих ділянках обладнання та запропонуємо заходи зі зменшення їх шкідливого впливу.

Як було вказано вище, дуже небезпечною є та ділянка, де відбувається розливання рідкої сталі з розливного ківшу до проміжного через занадто високу температуру рідкого матеріалу. Для зменшення небезпечності на цій ділянці потрібно на цій ділянці передбачити можливість регулювання температури. Для цього потрібно передбачити автоматичне регулювання подачі рідкого металу та сплаву у проміжний ківш, автоматичне перемикання відповідних клапанів, що дозволяють регулювати рівень металу в проміжному ківшу.

Усі технологічні процеси з виготовлення товстолистової сталі повинні бути механізовані та, за можливістю автоматизовані. Але в конструктивному виконанні МБЛЗ потрібно передбачити і ручне керування у випадку аварійних ситуацій.

Більшість операцій з виготовлення товстолистової сталі відбувається безпосередньо з розплавленим металом та шлаком. У випадку невірної виконання таких операцій можуть виникнути вибухи, сплески та викиди металу і сплаву. Це може призвести до травм та опіків.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.04.СЕОРНДР	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4.3

Особлива небезпечність виникає при потраплянні вологих пористих матеріалів до рідкого металу. Тому, потрібно ретельно виконувати правила техніки безпеки.

На шляху переміщення рідкого металу шлях повинен бути вільний від сторонніх предметів і транспортування повинно супроводжуватися постійним звуковим сигналом. Зону переміщення потрібно захистити попереджувальними знаками.

Для запобігання негативних наслідків потрібно виконувати ретельний контроль зі спеціальних пультів керування, що зосередженні над машиною безперервної розливки сталі. Вказані пульти керування необхідно знизу обладнати тепловідбивними щитами, які повинні бути додатково теплоізовані для зменшення теплового впливу на робітника.

Для запобігання проливання рідкого металу з розливних ківшів, потрібно на них встановлювати кришки на герметичний прошарок, який виконаний з піску, що буде забезпечувати надійне утримання рідкого металу в ківші. Відкриття цієї кришки виконується за допомогою електричного мостового крану, елементи якого повинні бути надійно захищені. Керування такого крану відбувається автоматично за допомогою пультів керування. Електричні мостові крани повинні мати звукову сигналізацію, що оповіщає їх переміщення по цеху з рідким металом.

З метою уникнення пошкодження робітників елементами рухомого обладнання потрібно огородити простір навколо розташування та шляхів переміщення електричного мостового крану сіткою.

Такою ж сіткою потрібно огородити і простір навколо машини безперервної розливки сталі з метою уникнення попадання працівників в зону дії небезпечного обладнання.

З метою запобігання розбризкування рідкого металу та сплаву на робітника, потрібно встановити захисні щити. Під час переливання рідкого матеріалу з розливного ківшу у проміжний усі працюючі елементи машини безперервного лиття заготовок огороджують захисними щитами та сітками.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.04.СЕОРНДР	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4.4

Пульт керування, з якого керується робота ківшів з рідким металом та сплавів під час розливання рідкого матеріалу, потрібно ретельно захистити. З цією метою для слідкування за процесом розливки, встановлюють оглядові вікна, які виконують з армованого скла.

Підлоги та стіни пультів керування виконують з теплоізолюючого матеріалу. Спеціальна сигналізація повинна оповіщувати про роботу та рух розливних ківшів.

Спостереження за процесом розливання рідкої сталі відбувається за допомогою системи відеоспостереження. Використання цієї системи дозволяє спостерігати за технологічним процесом розливки рідкої сталі дистанційно і керувати ним. Потрібно виконувати контроль якості процесу, що здійснюється на спеціально облаштованих постах керування.

На поверхні металу утворюється окалина. При обтисненні закристалізованого металу в прокатних клітках знімається утворена окалина, яку потрібно прибрати от прокатних клітей, що повинно відбуватися автоматично. Окалина складається у спеціальні короби для окалини, з яких вона змивається водою за допомогою спеціального устаткування і направляється у відстійники.

Для уникнення контакту робітників з гарячими металами та сплавами, робоча лінія огорожується спеціальними захисними пристроями. З метою забезпечення безпечного руху працівників через робочі ділянки устаткування, встановлюють спеціальні стійкі містки, що мають суцільне неслизьке і сухе покриття.

Здійснюється розташування у окремому приміщенні електричних двигунів, що мають окремий привід. Доступ до цього приміщення мають відповідальні електрики у випадку аварійної зупинки обладнання з випуску товстолистової сталі. З метою запобігання нещасних випадків потрібно щоденно виконувати огляд електричного обладнання на предмет того, щоб усі електричні двигуни, трансформатори були надійно заземлені. Будівля, де розташовано електричне устаткування, повинна мати громовідводи.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.04.СЕОРНДР	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4.5

Прохід працівників повинен відбуватися по спеціальним пішохідним галереям. Їх потрібно розташовувати поза устаткуванням машини безперервної розливки рідкої сталі. Також, працівники можуть рухатися по підземним переходам або спеціальним мостикам, що знаходяться поза зоною дії електричних мостових кранів. Усі пішохідні переходи повинні мати сухе неслизьке покриття, бути облаштовані поручнями, що суцільно обшиті знизу. Такі ж устаткування використовують для спорудження оглядових майданчиків, перехідних містків та сходів.

Для продуктивної праці, потрібно усіх робітників забезпечити достатнім освітленням. Таке освітлення може здійснюватися через спеціальні аеросвітлові ліхтарі, або через відкриті вікна та пройми, що використовують для проїзду автомобільного та залізничного транспорту.

Вдень повинно достатньо світла надходити через вікна, що розташовують на вертикальних стінах будівлі. Висота їх розташування дорівнює від 3 до 5 метрів від рівня підлоги. У нічний час освітлення здійснюється за допомогою ртутних ламп марки ДРЛ-700.

У пультах керування, проходах і галереях з метою освітлення використовують звичайні лампи, що мають потужність 100 Вт.

З метою забезпечення доброго самопочуття робітника та високої продуктивності його праці потрібно, щоб було дотримано на робочих місцях оптимальну температуру оточуючого середовища.

У літній період така температура повинна не перевищувати 28°C. У тих випадках, коли температура буде перевищувати, потрібно забезпечувати в цеху природню, штучну вентиляцію або змішану вентиляцію. У випадку природньої вентиляції повітря проникає через вікна, які повинні знаходитися збоку та мати двостороннє конструктивне виконання. Для забезпечення вимушеної вентиляції встановлюють кондиціонери, або на даху будівлі споруджують аераційні ліхтарі марки МІОТ-2.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.04.СЕОРНДР	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4.6

Штучна вентиляція, також, може здійснюватися через повітропроводи, що йдуть від центральної системи повітряного забезпечення. Ця вентиляція здатна додатково охолоджувати місця, що мають підвищене теплове випромінювання. Такі місця зосереджені на пультах керування у нагрівному відділенні. У літні періоди додатково може додаватися до повітря розпилена холодна вода.

Для визначення необхідної вентиляції в цеху, де виготовляється товстий лист, виконаємо розрахунок необхідного повітряного обміну.

Для цього визначимо надлишкові теплові виділення у приміщенні цеху, де здійснюється суміщення лиття-прокатування товстолистової сталі.

Надлишкові тепловиділення $Q_{\text{надл}}$ дорівнюють:

$$Q_{\text{надл}} = 1,5 \text{ млн. ккал/год.}$$

Зовнішнє середовище у літній період має температуру $t_{\text{зовн}} = 30^\circ \text{C}$.

Повітря піднімається на висоту від рівня підлоги до центру витяжних фрамуг. Така висота дорівнює: $H = 22 \text{ м}$.

В робочій зоні цеху безперервної розливки сталі відповідно до нормативів температура повітря не повинна перевищувати $3-5^\circ \text{C}$ і дорівнює:

$$t_{\text{р.з.}} = t_{\text{зовн}} + 4^\circ = 30 + 4 = 34^\circ \text{C}.$$

в результаті повітряного обміну з зовнішнього боку до цеху надходить температура, що розраховується за формулою:

$$t_{\text{відх}} = t_{\text{р.з.}} + k \cdot (H - h), \quad (4.1)$$

де k – коефіцієнт збільшення температури за висотою цеху, де відбувається суміщення лиття-прокатування. Цей коефіцієнт уявляє собою температурний градієнт, який залежить від призначення цеху. Так, для цеху, де здійснюється суміщення лиття-прокатування товстих листів цей коефіцієнт знаходиться в межах $1 \dots 1,5$. Приймаємо в розрахунках рівним $k = 1$;

h – висота робочої зони, м, що дорівнює для цеху лиття-прокатування сталевих листів близько 4 м.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.04.СЕОРНДР	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4.7

Тоді температура, що надходить ззовні дорівнює:

$$t_{\text{відх}} = 34 + 1 \cdot (22 - 4) = 52^\circ \text{C}.$$

Необхідний вентиляційний повітряний обмін з виготовлення товстолистової сталі визначається за формулою:

$$G = Q_{\text{надл}} / c \cdot (t_{\text{відх}} - t_{\text{зовн}}), \quad (4.2)$$

де c – теплоємність сухого повітря, що надходить до цеху, ккал/кг·год, і дорівнює $c = 0,25$ ккал/кг·год.

Підставив у формулу 4.2 перелічені показники, отримаємо:

$$G = 1500000 / [0,25 \cdot (52 - 34)] \approx 271742 \text{ кг/год.} \approx 75,85 \text{ кг/с.}$$

Розрахунок показав, що необхідний вентиляційний повітрообмін 271742 кг/год. або за приблизними розрахунками дорівнює 75,85 кг/с.

Для запобігання впливу надлишку пилу на робітників потрібно використовувати респіратори марки пелюсток 200. Від металевого пилу, що утворюється при випуску товстолистової сталі, потрібно захищати очі, для чого потрібно використовувати захисні окуляри.

Для забезпечення пожежної безпеки, потрібно передбачити відповідні заходи через те, що цех з виготовлення товстолистової сталі литтям-прокатуванням є дуже пожежонебезпечним. Такий цех відноситься до категорій В та Г. У цеху здійснюються технологічні процеси з рідким металом, що має температуру понад 610°C , що може викликати загорання, знаходиться пил у повітрі, який може зайнятися при концентрації, яка складає вище 65 г/м^3 , у цеху містяться джерела запалювання, що виникають при високій температурі матеріалу. Також, пожежну безпеку складає те, що можуть утворюватися іскри при металевих частин обладнання, що вину кає товсті листи. Через такі явища будівлю цеху з виготовлення товстих листів відносять до II та III ступеней вогнебезпечності.

Також, існують певні вимоги до матеріалів з яких споруджено будівлю цеху. При створенні будівлі використовують залізобетон, мета та цеглу.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.04.СЕОРНДР	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4.8

Найбільш небезпечними у цеху, де здійснюється лиття-прокатування товстих листів, вважаються машинні зали, склади мастил, лінії електропередачі, газові комунікації, пости керування.

Заходи, які необхідні для уникнення пожежі:

- на складах, де зберігаються мастила, встановлювати лінії електропередачі заборонено, потрібно уникати відкритого джерела займання. З цією метою усі матеріали, що використовують для виготовлення товстолистової сталі, потрібно зберігати у герметичних закритих резервуарах для запобігання випаровування горючих матеріалів. Склад мастил забороняється розташовувати поруч з зонами розливання рідкого металу у проміжний ківш через можливість загоряння мастил;

- потрібно регулярно охолоджувати електричні двигуни з метою попередження перегрівання під час роботи, місця розташування кабелів потрібно облаштовувати протипожежними матеріалами, яким притаманна висока пожежна стійкість;

- під час розливання сталі потрібно ретельно спостерігати за її рівнем, для чого використовується автоматична система спостереження;

- потрібно постійно спостерігати за рівнем мастила у системі.

Усе технологічне устаткування, будівлі та приміщення повинні бути забезпечені засобами гасіння пожежі такими як: вогнегасниками, резервуарами з водою, пожежними відрами, совковими лопатами, ковдрами з вогнетривкого теплоізоляційного матеріалу, пожежним інструментом таким, як сокири, лом, багри. Такі засоби можна використовувати на початковій стадії пожежі з метою її локалізації.

Увесь пожежний інвентар та первинні засоби пожежогасіння мають знаходитися у робочому стані та повинні бути розташовані в легкодоступних місцях, що мають безперешкодний вільний доступ. З цією метою потрібно здійснювати регулярний огляд і перевірку наявності та працездатності цього протипожежного інвентаря. Така перевірка здійснюється з періодичністю один раз на рік.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.04.СЕОРНДР	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4.9

В цеху потрібно встановити вказівки місць знаходження інвентаря. Для цього встановлюють необхідні знаки на видних та доступних місцях. Встановлюють їх на висоті від 2 до 2,5 м від рівня підлоги.

Для тушіння пожежі в цеху виготовлення товстолистової сталі передбачено систему гідрогасіння. Така система має десять кранів, до яких під'єднано пожежні рукави. В цій системі під час роботи потрібно постійно підтримувати тиск до 8-ми атм.

Потрібно передбачати пожежну сигналізацію з метою оповіщення про небезпеку всі відділення цеху.

Потрібно в цеху мати в наявності хімічно-пінні вогнегасники марок ВХП-10; вуглецеві вогнегасники марок ВВ-2 і ВВ-5. Їх потрібно розташовувати на стендах, в кабінах електричних мостових кранів, на пультах керування.

При роботі машини безперервної розливки сталі у зоні вторинного охолодження потрібно постійне водопостачання. На випадок його відключення потрібно передбачати аварійне водопостачання. Потрібно зберігати резервний запас води, який здатен забезпечити розливку усієї сталі з розливних ківшів.

При зменшенні подачі води або зовсім припинення, потрібно забезпечити автоматичну подачу звукових та світових сигналів і негайно припинити розливку сталі.

Не допускається наявність вологи в кристалізаторі, або його підтікання.

Робота на МБЛЗ суттєво забруднює повітряне та водне навколишнє середовище, що має шкідливий вплив на екологічну систему.

Потрібно забезпечити раціональне використання природних ресурсів, створити нешкідливе виробництво товстолистової сталі та забезпечити раціональні умови праці робітників.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.04.СЕОРНДР	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4.10

ВИСНОВКИ

Для визначення заходів з прискорення швидкості кристалізація рідкої сталі в машині безперервного лиття при виготовленні товстолистової сталі було проаналізовано процеси, що від відбуваються під час кристалізації металевих сплавів у машині безперервного лиття і виявлено, що кристалізація відбувається повільно, що ускладнює суміщати процеси лиття прокатування при виготовленні товстолистової сталі;

- запропоновано додатково введення інокуляторів в розплав, що створює додаткові центри кристалізації і цим дозволяє підвищити швидкість кристалізації матеріалу;

- визначено обладнання, що дозволяє отримати товстолистову сталь потрібних розмірів та якості, до якого належить машина безперервного лиття заготовок криволінійного типу, яку прийнято суміщати з чотирикільцевою прокатною кліттю; будова прокатних валків дозволяє підвищити жорсткість прокатної кліті, що забезпечує високу якість листів:

- було розроблено перспективну технологію і визначено режими обтиснення в прокатних клітках, що дозволяє отримати точні листи при мінімальних енергетичних витратах; в результаті запропонованих пропозицій досягнуто зменшення кількості браку в середньому на 2 відсотки, що дозволило збільшити випуск годної продукції на 2 %, швидкість кристалізації збільшено на 13 %, що досягло 6,8 м/хв;

- виконано техніко-економічне обґрунтування запропонованих пропозицій, де видно, що при введенні інокулятора в рідку сталь при розливі в МБЛЗ дозволяє збільшити обсяг виробництва на 16,8%, збільшити годинну продуктивність роботи обладнання на 17%, зменшити собівартість продукції, зростає прибуток та рентабельність, що свідчить про ефективність пропонуємих рішень;

- виконано санітарно-екологічну оцінку пропонуємих рішень та намічено заходи, що дозволять працювати в безпечних умовах.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.В		
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ВИСНОВКИ Кафедра МЧМЛВ гр. МЧМ-23-1м		
Розробив	Плахотний						
Перевірив	Савельєв						
Рецензент							
Н. контр.	Савельєв						
Затвердив	Савельєв						
					Літ.	Аркуш	Аркушів
						1	1

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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

2. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Практикум [Текст]: навч. посіб. / В.В. Попович, А.І. Кондир, Е.І. Плешаков та ін. – Львів: Світ, 2009. – 551 с. – [ISBN 978-966-603-401-7](https://www.isbn-international.org/view/title/978-966-603-401-7).

3. Смирнов А.Н. Передовые технологии для непрерывной разливки стали: возможности и проблемы. *Металл и литьё Украины*. 2014. №9(256). – С. 3-8.

4. Данченко В. Н. Прогрессивные процессы обработки металлов давлением [Текст] / В. Н. Данченко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2011. – № 7. – С. 1-8.

5. ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Прес-релізи URL: <https://ukraine.arcelormittal.com/index.php?id=10&pr=340> (дата звернення: 01.03.2021).

6. Разливка стали на 6-ти ручьевой сортовой машине непрерывного литья заготовок конверторного цеха. Технологическая инструкция. ТИ-189-КК-09-2014– Кривой Рог: ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог». – 204 с.

7. Оно А. Затвердевание металлов / Под ред. В.А. Ефимова. – М.: Металлургия, 1980. – 152 с.

8. Технологія прокатного виробництва: Навч. посібник /В.А. Чубенко, А.А. Хіноцька. – Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2017. – 170 с.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.Л					
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ЛІТЕРАТУРА					
Розробив	Плахотний							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Савельєв								1	4
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МЧМ-23-1м		
Н. контр.	Савельєв									
Затвердив	Савельєв									

9. Минаев А.А. Совмещенные металлургические процессы [Текст]: монография. – Донецк: Технопарк Дон ГТУ УНИТЕХ, 2008. – 522 с.
10. Кудрин В.А. Металургия стали: учебник для вузов. – Москва: Металлургия, 1989. – 560 с.
11. Бережний М.М., Чубенко В.А. Основи проектування технологічних ліній та комплексів металургійних цехів: Монографія. Кривий Ріг: Видавничий дім, 2010. – 404 с.
12. Дослідження ефективності суспензійної розливки рідкої сталі у ливарно-прокатні кліті для виготовлення тонких смуг/ В.А. Чубенко, А.А. Хіноцька, В. Чубенко //Гірничий вісник. – 2016, Випуск 101. – С. 183-186.
13. Скребцов А.М. О некоторых возможностях измельчения зерна металла отливки при внешнем воздействии на затвердевающий расплав / А.М. Скребцов, Л.Д. Дан, А.О. Секачев [и др.] // Металл и литье Украины. – 1996. – № 1-2. – С. 30-34.
14. Воденніков С. А., Падалка В. П., Воденникова О. С. Технологія розливання і кристалізації сталі: навч.-метод. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2011. – 188 с.
15. Ефимов В.А. Физические методы воздействия на процессы затвердевания сплавов / В.А. Ефимов, А.С. Эльдарханов. – М.: Металлургия, 1995. – 272 с.
16. Задиранов А.Н., Кац А.М., Теоретические основы кристаллизации металлов и сплавов. – Москва, 2008. – 194 с.
17. Овсиенко Д.Е. Зарождение и рост кристаллов из расплава. – Киев: Наукова думка, – 1994. – 254 с.
18. Вплив технологічних параметрів розливання і кристалізації сталі на якісні показники безперервнолитої заготовки / Е. В. Парусов та ін. *Наукові праці ВНТУ*, – 2016. – № 2. – С. 1-8.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.Л	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

19. Казачков О. І., Мосейко Ю. В., Громак Г. А. Спеціальні феросплави лігатури і модифікатори: навч.-метод. посіб. для студ. спец. 6.05040101 «Металургія чорних металів» всіх форм навчання. Запоріжжя: ЗДІА, 2013. – 112 с.

20. Полішко С. О., Кушнір М. А., Татарко Ю. В., Санін А. Ф. Вплив модифікування на характеристики маловуглецевої сталі Ст1кп та колісної КП-Т. *Наука та прогрес транспорту*. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, 2013. – Вип. 3. – С. 60-66.

21. Давыдов С. В. Основные типы современных модификаторов для чугуна и стали. *Научноёмкие технологии в машиностроении*, 2016. – №3. – С. 3-11.

22. Теория и технология тонколистовой прокатки (численный анализ и технические приложения) / В. Л. Мазур, А. В. Ноговицын. – Днепропетровск: РВА «Дніпро-VAL», 2010. – 500 с.

23. Чекмарев А.П., Мутьев М.С., Машковцев Р.А.[Текст] Калибровка прокатных валков. - М., Металлургия, 1971. – 512 с.

24. Николаев В.А. Калибровка валков для прокатки простых профилей. Учебное пособие. [Текст] .- Запорожье, ЗГИА, 2004 – 153 с.

25. Николаев В.А. Деформация металла при прокатке в калибрах. [Текст]. – Запорожье, ЗГИА, 2006. – 196 с.

26. Николаев В.А. Теория прокатки. [Текст]. – Запорожье, ЗГИА, 2007. – 228 с.

27. Бень Т.Г., Довбня С.Б. Совершенствование системы планирования на металлургическом предприятии // *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 2001. – №1. – С. 108-112.

28. Довбня С.Б. Методика анализа финансового состояния металлургического предприятия // *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 2001. – №6. – С. 102-106.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.Л	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

29. Шеремет В.О. та ін. Охорона праці на гірничо-металургійному підприємстві. Навчальний посібник ч. 1. Дн-к., Січ, 2002. – 376 с.

30. Основи охорони праці: Підручник./ К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний, Д.В. Зеркалов, Р.В. Сабарно, О.І. Полукаров, В.С. Коз'яков, Л.О. Митюк. За редакцією К.Н. Ткачука і М.О. Халімовського. – К.: Основа, 2003 – 403 с.

31. Охрана труда в черной металлургии / Бринза В.Н., Зиньковский М.М.: Металлургия, 1982. – 336 с.

					КНУ.РМ.136.24.545с-05.ЛІ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4