

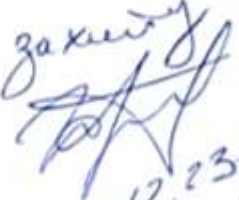
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. ІО.М.ПОТЕБНІ

Металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

(повна назва кафедри)

До захисту

01.12.23

Кваліфікаційна робота / проєкт

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему Дослідження технології електрошлакового розливання злитків

Виконав: студент II курсу, групи 8.1362-мчм
спеціальності 136 Металургія

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Металургія чорних металів

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

А.В.Нетяга

(ініціали та прізвище)

Керівник доц., к.т.н., доц.Румянцев В.Р.

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

Рецензент зав.каф., д.т.н., проф. Белоконь Ю.О.

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

Запоріжжя
2023

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра Металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
 Рівень вищої освіти другий (магістерський)
 Спеціальність 136 Металургія
(код та назва)
 Освітня програма Металургія чорних металів
(код та назва)
 Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____
 « 07 » 05 20 23 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЄКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Нетязі Андрію Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Дослідження технології електрошлакового розливання злитків

керівник роботи Румянцев Владислав Ростиславович, к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 09 » жовтня 2023 року № 1580-с

2 Строк подання студентом роботи 10.12.2023

3 Вихідні дані до роботи Дослідити технологічні можливості електрошлакового розливання злитків

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

Реферат; вступ; Сучасний стан процесів електрошлакового розливання сталі; Обладнання та експлуатація установок ЕШР; Фізико-хімічні процеси та якість сталі при ЕШР; Охорона праці та техногенна безпека; Висновки; Перелік джерел посилання; Додаток А

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) _____

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Сучасний стан процесів електрошлакового розливання сталі	Румянцев В.Р., доцент		
Обладнання та експлуатація установок ЕШР	Румянцев В.Р., доцент		
Фізико-хімічні процеси та якість сталі при ЕШР	Румянцев В.Р., доцент		
Охорона праці та техногенна безпека	Румянцев В.Р., доцент		

7 Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ, реферат	21.11-25.11.2023	
2	Сучасний стан процесів електрошлакового розливання сталі	26.11-30.11.2023	
3	Обладнання та експлуатація установок ЕШР	01.12-04.12.2023	
4	Фізико-хімічні процеси та якість сталі при ЕШР	05.12-08.12.2023	
5	Охорона праці та техногенна безпека	09.12-10.12.2023	
6	Висновки, перелік джерел посилання	10.12.2023	

Студент _____ А.В.Нетяга _____
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) _____ В.Р.Румянцев _____
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Ю.О.Белоконь _____
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 80 с., 21 табл., 19 рис., 1 дод., 18 джерел

ЕЛЕКТРОШЛАКОВЕ РОЗЛИВАННЯ, ЗЛИТКИ, СТАЛЬ, ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ, ФЛЮСИ, СТРУКТУРА, НЕМЕТАЛІЧНІ ВКЛЮЧЕННЯ

Об'єкт дослідження – технологія електрошлакової розливки сталі.

Предмет дослідження – закономірності і механізми фізико-хімічних процесів електрошлакової розливки сталі.

Мета роботи – дослідити технологічні та фізико-хімічні процеси електрошлакової розливки сталі.

Методи дослідження – хімічний аналіз, петрографічний аналіз, мікроскопічний аналіз, теоретичні розрахунки, дослідження в напівпромислових і промислових умовах, статистичний аналіз отриманих результатів.

Наукова новизна:

1. Встановлено зменшення вмісту неметалевих включень у 2-2,5 рази; зменшення вмісту сірки в 2-2,5 рази; поліпшення механічних властивостей на поздовжніх та поперечних зразках та зменшення анізотропії.

Практичне значення:

1. Розроблено та впроваджено нову технологію – електрошлакове розливання злитків.

У розділі «Сучасний стан процесів електрошлакового розливання сталі» надано аналіз технологій та процесів електрошлакового розливання сталі.

У розділі «Обладнання та експлуатація установок ЕШР» представлена установка для відливки ковальських злитків, установка для виливки прокатних злитків та розглянутий процес розробки та створення установки.

У розділі «Фізико-хімічні процеси та якість сталі при ЕШР» представлені особливості взаємодії металу зі шлаком при ЕШР; зроблений вибір оптимального складу шлаку; досліджена висока реакційна здатність

шлаків та температура шлаку та металу; розглянутий процес дроблення струменя металу; наведений оптимальний режим обігріву злитків; досліджені флюси для ЕШР сталі; розглянутий процес десульфурація сталі в процесі ЕШР та видалення газів і неметалічних включень; представлений процес формування поверхні злитків ЕШР.

У розділі «Охорона праці та техногенна безпека» проаналізовано основні проблеми охорони праці та техногенної безпеки в умовах проведення досліджень в умовах електросталеплавильного цеху.

Розроблена технологія рекомендується для дослідно-промислових випробувань в електросталеплавильних цехах України.

Зміст

ВСТУП	8
1 СУЧАСНИЙ СТАН ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО РОЗЛИВАННЯ СТАЛІ	11
2 ОБЛАДНАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ УСТАНОВОК ЕШР	15
2.1 Установа для відливки ковальських злитків	15
2.2 Установа для виливки прокатних злитків	17
2.3 Розробка процесу та створення установки	21
3 ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА ЯКІСТЬ СТАЛІ ПРИ ЕШР	28
3.1 Особливості взаємодії металу зі шлаком при ЕШР	28
3.2 Вибір оптимального складу шлаку	29
3.3 Висока реакційна здатність шлаків	32
3.4 Температура шлаку та металу	38
3.5 Дроблення струменя металу	40
3.6 Оптимальний режим обігріву злитків	41
3.7 Флюси для ЕШР сталі	45
3.8 Десульфурація сталі в процесі ЕШР	47
3.9 Видалення газів і неметалічних включень	50
3.10 Формування поверхні злитків ЕШР	54
3.11 Особливості структури злитків ЕШР підбір режиму електрошлакового обігріву	55
3.12 Якість прокату, поковок і готових виробів з металу ЕШР	58
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	64
4.1 Аналіз потенційних шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища	64
4.2. Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища цеху	66
4.3 Заходи з електробезпеки	67
4.4 Заходи пожежної безпеки	69
4.5 Технічні заходи виробничої санітарії	70

4.5.1 Освітлення виробничих приміщень	70
4.5.2 Опалення і вентиляція	71
4.5.3 Виробничий шум	72
Висновки	73
Перелік джерел посилання	74
Додаток А Публікації за темою кваліфікаційної роботи	76

ВСТУП

Електрошлакове розливання (ЕШР) сталі – один із суттєво нових технологічних процесів, розроблених металургами в останні роки. На цей час проведено численні дослідження, які розкрили основні особливості цього, і накопичено великий досвід його промислового застосування.

Розвиток техніки потребує подальшого підвищення якості легованих сталей. У сучасному масовому їх виробництві однією з найважчих завдань є отримання щільного та однорідного зливка з поверхнею, що не потребує обдирання чи зачистки.

При розливанні сталі в чавунні виливниці не вдається уникнути утворення в зливках усадкових дефектів у вигляді раковини, пористості та пухкості. Видалення прибуткової частини зливка з усадковою раковиною (головний обріз) призводить до втрат 10-20% металу навіть при використанні теплоізолюючих або екзо- термічних засипок, брикетів або вкладишів [1]. Радикальним методом усунення таких втрат для вуглецевих та низьколегованих сталей є безперервне розливання, проте виробництво профілів великого перерізу з високолегованого металу на вітчизняних МБЛЗ досі не освоєно.

Інтенсивність тепловідведення від звичайного зливка в горизонтальних напрямках значно більша, ніж у вертикальних. Це призводить до радіального зростання кристалів, а наприкінці затвердіння - до утворення вздовж осі зливка вузької та глибокої двофазної зони, живлення якої розплавом із прибуткової частини утруднене. У цій зоні неминуче утворюються усадкові порожнечі. На їх поверхні з останніх порцій рідкої фази, збагаченої ліквіційними компонентами та домішками, виділяються сульфідні та оксидні включення, які можуть ускладнювати заварювання осьової пухкості та пористості при прокатці або кування, тобто бути причиною розшарування. Оксидні та сульфідні прошарки між радіальними кристалами також знижують пластичність злитків та зумовлюють значну анізотропію властивостей металу. Багато дослідників зазначають, що навіть рівномірно розподілені включення

суттєво погіршують технологічну пластичність сталі. Тому якість зливка багато в чому визначається ступенем очищення металу від сірки та неметалевих включень.

Дуже повне рафінування сталі від цих домішок досягається при випуску її в ківш із синтетичним шлаком. Однак при недосконалому розливанні навіть найчистішого металу можна отримати неякісні зливки.

Серйозний порок злитків високолегованих сталей полягає у освіті з їхньої поверхні окисних полон і кірок, викликають при прокатці значне відбраковування металу по рванинам. Виникнення цих дефектів пов'язане з наявністю в таких сталях елементів (титану, хрому та ін.), що легко окислюються при контакті розплаву з повітрям. Під час розливання плівка оксидів, утворюючись на поверхні металу, що піднімається у виливниці, переміщається до стінок, деформується в складки і загортається в тіло зливка або розривається. Утворенню розривів сприяють тріщини та нерівності, що з'являються на стінках виливниць у процесі їх експлуатації. Створення захисної атмосфери з чотирихлористого вуглецю або аргону, а також нанесення (різних мастил на стінки виливниць (лаку, лаколю, петролатуму, антраценових і нафталінових масел, рідкого скла та ін.) хоча і послаблює розвиток зазначених дефектів поверхні. При зачистці або стружці поверхні злитків, слябів і блюмів витрачається багато праці і втрачається частина (кілька відсотків) металу.

Більш перспективним методом усунення цих дефектів служить сифонне розливання легованих сталей під шаром рідкого шлаку, який захищає поверхню металевого розплаву від окислення, поглинає неметалічні включення, що спливають, і утворює на стінці виливниці тонкий шар гарнісажу, що «заліковує» її дефекти [3]. На рівній і гладкій внутрішній поверхні гарнісажу розривів твердіючої скоринки металу не утворюється. До недоліків таких шлаків, які найчастіше наплаваються з екзотермічних сумішей, слід віднести значний вміст в них оксидів заліза і марганцю, а також малу основність, обумовлену необхідністю забезпечення низької температури

плавлення. Ці флюси не рафінують метал від сірки та можуть забруднювати нижню частину зливка шлаковими включеннями.

Найбільш досконалі сталеві зливки отримують нині методом електрошлакового переплаву (ЕШП), розробленим вченими на чолі з Б. Є. Патоном, Б. І. Медоваром та ін. [4]. Стікаючи з оплавленого електрода у вигляді плівки і крапель, метал рафінується в шарі беззалістого перегрітого шлаку від сірки і неметалевих включень і формується в злиток, не стикаючись з повітрям і вогнетривами. Такі зливки повністю вільні від усадкових дефектів і навіть у разі переплаву високолегованих сталей мають чисту, гладку поверхню. Однією з основних переваг процесу ЕШП є спрямована знизу вгору кристалізація зливка, що забезпечує його щільність та однорідність. Така кристалізація обумовлена близькістю швидкостей наплавлення зливка та його затвердіння в мідному водоохолоджуваному кристалізаторі. Метал ЕШП має підвищену пластичність і мінімальну анізотропію властивостей, що дозволяє застосовувати його для відповідальних виробів (валків холодної прокатки та ін.) навіть без обробки тиском. Однак застосування ЕШП у масовому виробництві легваної сталі обмежено недостатньою його продуктивністю та порівняно високою собівартістю.

1 СУЧАСНИЙ СТАН ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО РОЗЛИВАННЯ СТАЛІ

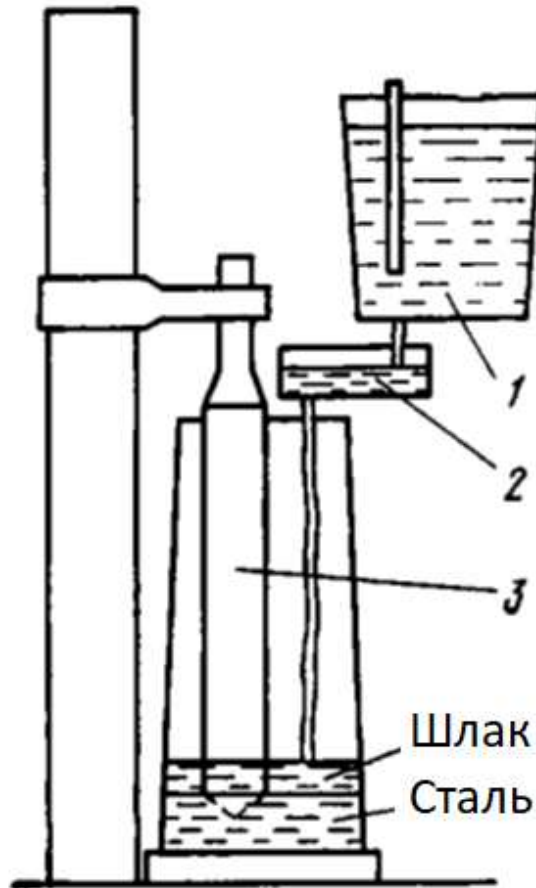
Сучасний розвиток листопрокатного виробництва – підвищення швидкостей прокатки, застосування важкодеформованих сталей, збільшення ступеня обтиснення та ін. – висуває підвищені вимоги до надійності і довговічності валків, призначених для станів холодної прокатки.

Завдання отримання високоякісного металу для виробів відповідального призначення зводиться до забезпечення мінімального вмісту нешкідливих домішок (неметалевих включень, газів, сірки, фосфору та ін.) та мінімальної хімічної та фізичної неоднорідності. Сучасні способи виробництва сталі в електропечах не забезпечують необхідних особливо високих механічних і фізичних властивостей металу. Якість ковальського зливка ще бажає багато кращого. Наявність поверхневих дефектів, тріщин, незадовільне макробудування зливка, невеликий вихід придатного, велика кількість шкідливих домішок та неметалевих включень – все це згубно позначається на пластичності металу при гарячій обробці, якості готових виробів та термін їхньої служби.

В даний час розроблено та впроваджено новий технологічний процес поліпшення якості сталі — електрошлакове розливання злитків (ЕШР).

При розробці процесу ЕШР ставилося завдання створення більш економічного, ніж ЕШП, методу виробництва високоякісних злитків легованих сталей безпосередньо з рідкого металу, минаючи процес переплаву. Основні технічні рішення щодо реалізації цього способу були запропоновані в 1963 р. співробітниками Інституту електрозварювання (ІЕС) ім. Є. О. Патона та Челябінського металургійного заводу (ЧМЗ): Б. Є. Патоном, Б. І. Медоваром, Ю. В. Латашом, Н. А. Туліним, Н. Ф. Бастрковим, Б. І. Максимовичем та ін. Сутність методу зводилася до того, щоб у виливниці або кристалізаторі наплавляти електричним струмом шар рідкого рафінувального шлаку, розливати через нього сталь, а потім вести електророзшлаковий обігрів зливка, що кристалізується.

Перші зливки ЕШР масою до 7 т були відлиті в 1963 р. на ЧМЗ, де для цієї мети була незначною мірою переобладнана установка ЕШП типу Р-951 (рис. 1.1).



- 1 – сталерозливний ківш; 2 – проміжний жолоб;
3 – сталевий електрод, що витрачається

Рисунок 1.1 – Пристрій електрошлакового розливання на установці ЕШП

Її електродотримач, який зазвичай переміщається лише по вертикалі, прикріпили до поворотної консолі. На перших дослідах використовували звичайний електрод, що витрачається, зі сталі тієї ж марки, що і розливається. Плавлення флюсу АНФ-6 або АН-292 (у кількості 4-5% від маси металу) проводили струмом силою 8-12 кА при напрузі 70-80 В за 1 - 1,5 год. При цьому кристалізатор наплавлялося 400-600 кг металу електрод. Потім поворотом консолі електрод ставили до стінки кристалізатора і через перетин, що звільнився, за допомогою жолоба заливали сталь з ковша. Після закінчення

розливання протягом 3 год проводили електрошлакове підживлення зливка, під час якого оплавлялося ще близько 1 т електрода. Оскільки порівняння структури таких злитків зі злитком-свідком, відлитим без підживлення, показало, що їхня осьова пухкість однакова, але наплавлена частина різко відрізняється від залитої, в подальших дослідках сталевий електрод замінили графітовим.

Спочатку він був суцільним і на час заливання його виймали із кристалізатора. Однак відключення струму на 6-10 хв. супроводжувалося охолодженням шлаку (приблизно на 150 °С) і різким збільшенням його в'язкості, що призводило до забруднення зливка шлаковими включеннями. Тому замість суцільного сталі використовувати порожнистий графітовий електрод, по осі якого поміщали центрову заливку для металу. Це дозволило не відключати обігрів шлаку під час розливу, але викликало необхідність безперервного підйому ковша в міру заповнення кристалізатора металом, що ускладнило роботу розливника.

Таким способом було відлито більше 70 злитків сталей та сплавів 18Х2Н4ВА, 38ЮМЮА, У8А, ШХ15, 2Х13, Х18Н9Т, ЕІ961 та ЕІ437. Дослідження якості цього металу дало обнадійливі результати. Досвід експлуатації першої у світі установки ЕШР дозволив перейти до проектування досконаліших промислових агрегатів.

У 1965 р. на Електростальському заводі важкого машинобудування (ЕЗВМ) було введено в дію промислову установку для електрошлакового виливку ковальських злитків у чавунні виливниці.

У 1969 р. вступила в дію діюча промислова установка ЕШР ЧМЗ, призначена для відливання прокатних злитків у мідний водоохолоджуваний кристалізатор.

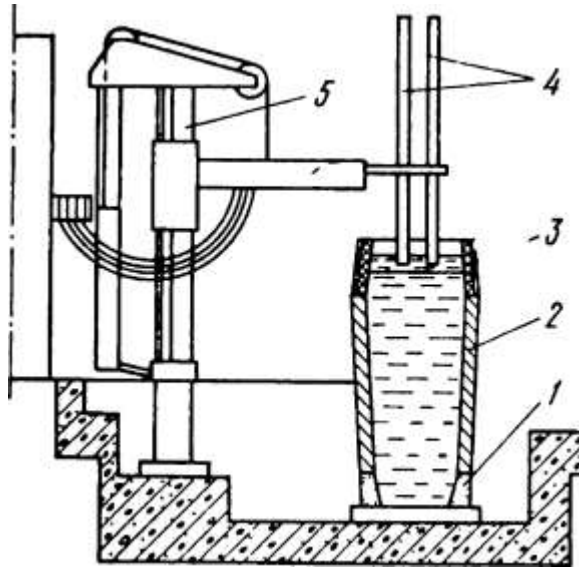
Зусиллями спеціалістів обох заводів та співробітників ІЕЗ ім. Є. О. Патона була відпрацьована технологія ЕШР різних сталей: підібрано склади флюсів, знайдено електричні режими плавлення шлаку, заливки та електрошлакового обігріву, обрано оптимальні швидкості розливання. Глибокому та ретельному дослідженню зазнала якість металу ЕШР: його

макро- та мікроструктура в литому та деформованому стані, механічні властивості, експлуатаційна стійкість та багато інших показників. Одночасно відбувалося доопрацювання конструкції агрегатів, удосконалювалися методи їх експлуатації. Ця велика та багатогранна робота дозволила новому методу виробництва якісних сталевих зливків успішно пройти широке промислове випробування у вітчизняній металургії та здобути визнання за кордоном. Установа для ЕШР сталі конструкції ЧМЗ запатентована в Австрії, Англії, Бельгії, Італії, США, Франції, ФРН, Швеції та Японії.

2 ОБЛАДНАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ УСТАНОВОК ЕШР

2.1 Установа для відливи ковальських злитків

Установа ЕЗВМ (рис. 2.1) призначена для виливку ковальських злитків (масою від 7 до 15 т), з яких одержують поковки для валків холодної прокатки [5, 6].



1 – водоохолоджуваний піддон; 2 – чавунна виливниця; 3 – прибуткова надставка; 4 – графітові електроди; 5 – поворотна опорна колона

Рисунок 2.1 – Установа для електрошлакового виливку ковальських злитків

На підлозі бетонного кесона покладений плоский чавунний піддон, на якому (розміщений водоохолоджуваний піддон-кристалізатор. Він служить для охолодження донної частини зливка, а також для наплавлення та перегріву ванни рідкого шлаку перед розливом металу. Конструкція піддону-кристалізатора – коробчата, причому внутрішня (дотикається з розплавом) сорочка виконана з міді, а зовнішня – зі сталі. Витрата охолоджуючої (води (при тиску 3 атм) становить 40 м³/год.

На піддон-кристалізатор встановлено звичайну чавунну восьмигранну виливницю з прибутковою надставкою. Спеціально розроблена на ЕЗВМ [6] комбінована футеровка такої надставки в частині, що контактує (після наповнення) з металом, виконана зі звичайної шамотної цегли, а в частині, що

контактує зі шлаком, - з графітових блоків, така футеровка не розмивається перегрітим шлаком прибуток.

Плавлення шлаку та електрошлакове обігрів здійснюються за допомогою двох вертикальних графітових електродів, розташованих поблизу осі виливниці. Пневматичними затискачами їх кріплять до горизонтальних електродотримачів, які зміни відстані між електродами можна розсувати спеціальним механізмом.

Консоль з електродотримачами переміщається вертикальною колоною, яка у свою чергу може повертатися навколо своєї осі. До складу установки входить однофазний трансформатор ЕОМН-2000/6 потужністю 1000 кВА. Напряга високої сторони дорівнює 6000 В. На низькій стороні є 17 ступенів напруги від 94 до 42 В. Струм до електродів подається гнучкими шинами.

Пуск та робота установки відбуваються наступним чином. Після складання системи піддон-кристалізатор – виливниця – надставка на середину чавунного піддону (під електроди і між ними) засипають запальну алюомітермітну суміш зі сталеву стружкою. Електроди опускають у нижнє положення до зіткнення зі стружкою. Після цього піддон-кристалізатор засипають мелену шлакову суміш.

При подачі напруги на електроди ланцюг між ними через стружку замикається і дуги, що виникають на мить, займають запальну суміш. Тепла, що виділяється в ній, достатньо для утворення між кінцями електродів перемички рідкого електропровідного шлаку, наявність якої забезпечує можливість подальшого електрошлакового нагріву. Плавлення та перегрів до 1700°C 350 кг шлаку тривають 2 год.

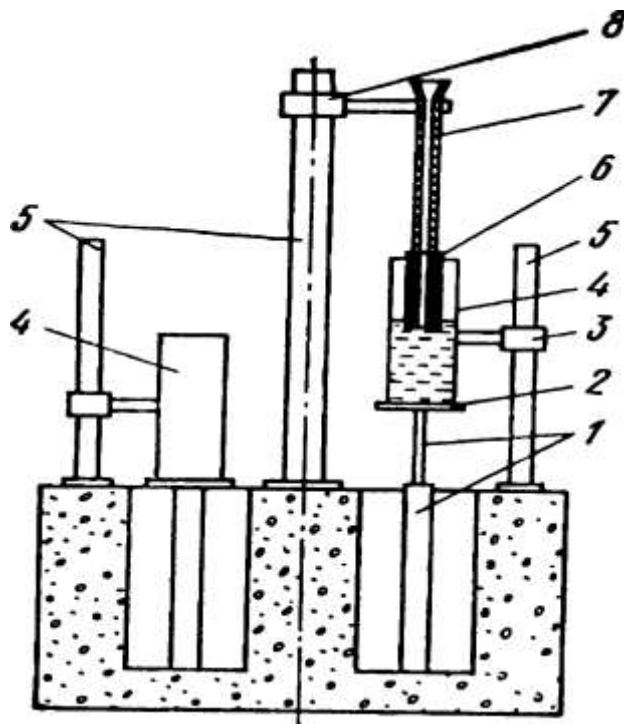
Потім електроди піднімають вище надставки та поворотом колони відводять у бік трансформатора. На прибуткову надставку встановлюють звичайну проміжну вирву, через яку сталь із ковша заливають у виливницю. На першому етапі експлуатації установки розливу проводили за допомогою жолоба. Нижній кінець його поміщали між електродами трохи вище надставки, а верхній кінець — осторонь, протилежній електродотримачеві. Це дозволяло проводити розлив, не припиняючи підігрів шлаку. Однак через

додаткове охолодження та окислення сталі на жолобі від цього варіанта розливання згодом довелося відмовитись. Тривалість наповнення тіла зливка масою 7,2 т становить 4,5-6,5, а прибутку 3-5 хв.

Після закінчення заливки проміжну вирву з надставки прибирають, кінці електродів знову занурюють у шлак і ведуть електрошлаковий обігрів прибутку. Після відключення обігріву зливку дають можливість повністю затвердіти, а потім вивантажують його та готують установку до наступного розливання.

2.2 Установка для вилівки прокатних злитків

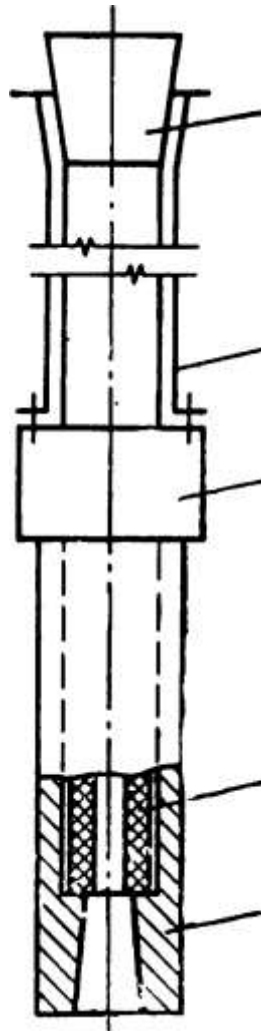
Створена на ЧМЗ установка для ЕШР сталі на прокатні зливки масою до 6 т (рис. 2.2) за конструкцією істотно відрізняється від описаної вище.



- 1 – механізм переміщення піддону; 2 – водоохолоджуваний піддон;
 3 – механізм переміщення кристалізатора; 4 – водоохолоджуваний кристалізатор; 5 – опорні колони; 6 – графітовий електрод;
 7 – центрова; 8 – механізм переміщення центривої

Рисунок 2.2 – Установка для електрошлакового відливання прокатних злитків у водоохолоджуваному кристалізаторі

На установці є три стаціонарні опорні колони. По верхній частині середньої з них може вертикально пересуватися візок з поворотною консоллю, до якої кріпиться електродотримач з графітованими електродами, а також центровий підвішується для заливки металу (рис. 2.3). По кожній з двох інших колон (однакової конструкції) переміщається візок з поворотною консоллю, до якої кріпиться мідний водоохолоджуваний кристалізатор, аналогічний застосовуваним в установках ЕШП. Плоскі водоохолоджені піддони цих кристалізаторів встановлені на окремих рухомих опорах, які можуть по черзі переміщатися по вертикалі гідроциліндрами, що приводяться в рух загальною маслорасосною станцією.



1 – заливальна вирва; 2 – струмопровідні шини;
3 – електродотримач; 4 – центрова; 5 – графітовий електрод

Рисунок 2.3 – Центрова та електрод

Силовий трансформатор потужністю 1300 кВа з 7-ма ступенями напруги (55, 60, 64, 69, 78, 87 і 93 В) розрахований на струм силою до 15 000 А. Коротка мережа до піддону і верхньої консолі виконана з гнучких водоохолоджуваних інших ділянках — з жорстких мідних шин. Витрата води на охолодження установки становить 78,5 м³/год (44 м³/год – на кристалізатори, 20 м³/год – на піддони та 14,5 м³/год – на коротку мережу).

На початку підготовки установки до розливу піддон знаходиться в крайньому нижньому положенні, доступному для обслуговування з підлоги цеху, а кристалізатор піднято вгору і застопорений спеціальними засувками. На піддон, очищений від залишків шлаку попередньої плавки, укладають сталеву шайбу товщиною 30 мм, що захищає його від розмивання струменем металу на початку розливання. На шайбу (під електроди) насипають 2-3 кг сталеві стружки і 0,5-1 кг запальної суміші С-1, що складається з 17% термітного порошку, 17% калієвої селітри і 66% меленого шлаку. Потім піддон піднімають до контакту з кристалізатором (який розстопорюють) і скріплюють струбцинами. Електроди приводять у дотик зі стружкою, після чого з верхнього (розливного) майданчика через знімну трубу в кристалізатор засипають шлакову суміш у кількості 50-60 кг на тонну сталі.

За допомогою крана до верхньої консолі підвішують зібрану та просушену центрову, розташовуючи її по осі кристалізатора. Потім включають напругу 78-87 і при силі струму 5-7 кА за 30-40 хв проводять плавлення шлаку і перегрів його до 1600-1800°С.

Перед випуском плавки з дугової електропечі в сталерозливний ківш необхідно перевірити за допомогою мегаомметра надійність обох ступенів електроізоляції його від мостового крана, що виконується у вигляді спеціального чохла з гуми і скловолокна, що надівається на гак, та текстолітової прокладки, вбудованої в траверсу. Електричний опір ізоляції між ківшем та краном має бути не менше 30 МОм. Якщо цієї умови не дотримується, то щоб уникнути електричного пробоя через вантажні канати крана електрошлакове розливання не проводять. При достатньому опорі

аналогічну перевірку ізоляції повторюють після випуску плавки в ківш і подачі до верхнього майданчика установки ЕШР.

Після такої підготовки починають розливання сталі з ковша через центрову кристалізатор з рідким шлаком. У міру наповнення кристалізатора сталлю його разом з піддоном опускають, зберігаючи за допомогою автоматичного регулятора незмінними занурення електродів у шлак, а отже, і силу струму (9-11 кА) при напрузі 78-87 В. Звичайна тривалість заливки коливається в межах 5-20 хв. Можливість безперервного підігріву шлаку в період заливки металу без переміщення ковша є суттєвою перевагою установки ЧМЗ в порівнянні з установкою ЕШР на ЕЗТМ, так як в умовах інтенсивного водяного охолодження стінок кристалізатора перерва підігріву на кілька хвилин призводила б до утворення товстої кірки шлаку і неприпустимого підвищення його в іншому обсязі.

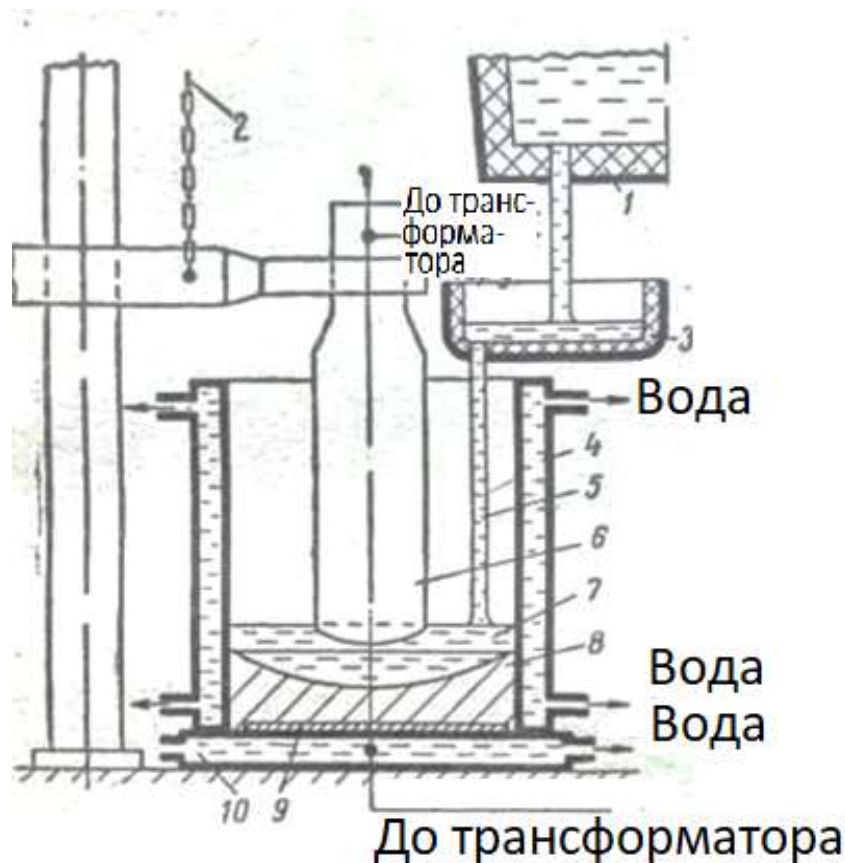
Після закінчення заливки електрошлаковий обігрів зливка, що кристалізується, продовжують (залежно від марки сталі) протягом 1,5-2 год. Потім 1-1,5 год (до повного затвердіння шлаку) злиток охолоджується в кристалізаторі.

Для вивантаження злитка піддон з кристалізатором опускають у крайнє нижнє положення і знімають струбцини, що скріплюють їх, а верхню консоль з електродами і центровою відводять убік. Далі піддон з кристалізатором знову піднімають, кристалізатор застопорюють у верхньому положенні і оголюють злиток, опускаючи його на піддоні. Порожній кристалізатор відводять убік, а злиток за допомогою кліщового захоплення мостовим краном знімають з піддону і опускають у криницю для остаточного охолодження.

При безперервній експлуатації установки відразу після закінчення електрошлакового обігріву центрову і електроди переміщують в зону другого піддону і кристалізатора, повертаючи для цього навколо осі центральної колони консоль, що підтримує їх. Піддон і кристалізатор до цього моменту мають бути підготовлені до роботи. За час охолодження, вивантаження першого зливка та очищення його піддону проводять плавлення шлаку, заливку та обігрів другого зливка, після чого весь цикл повторюється.

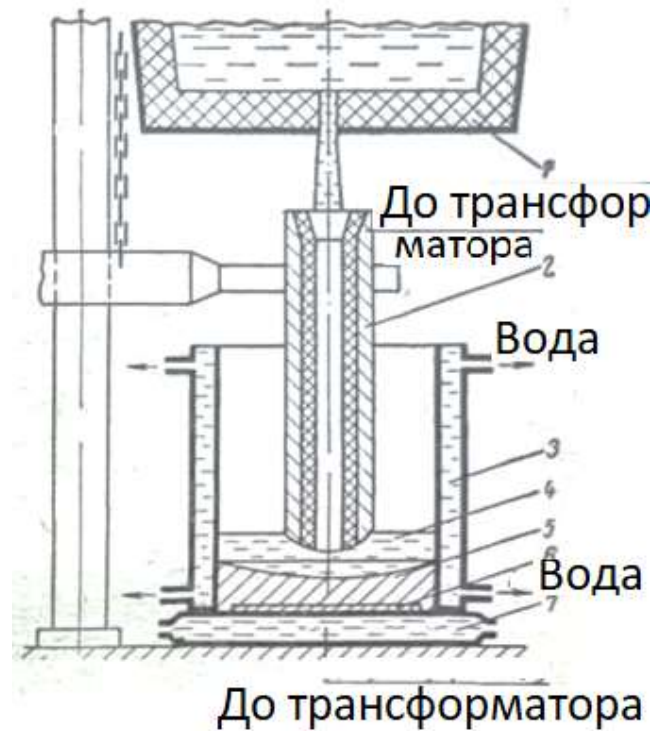
2.3 Розробка процесу та створення установки

При електрошлаковому перепаї відбувається значне поліпшення чистоти сталі за шкідливими домішками та неметалевими включеннями, а також підвищується фізична та хімічна однорідність зливка за рахунок спрямованого затвердіння. Однак збільшення ваги зливка вимагає збільшення перерізу електродів, що витрачаються, крім того, з підвищенням ваги зливка погіршується якість зливка. Тому електрошлакова розливка стала свого роду розвитком електрошлакового перепаї з метою створення більш мобільного та дешевого способу виробництва злитків. Вперше електрошлакове розливання 7-т злитків було здійснено на Челябінському металургійному заводі на установці електрошлакового перепаї (рис. 2.4).



- 1 – розливний ківш; 2 – механізм підйому електродів; 3 – проміжний жолоб;
 4 – кристалізатор; 5 – рідкий метал; 6 – електрод; 7 – рідкий шлак;
 8 – затверділий злиток; 9 – затравка; 10 – піддон

Рисунок 2.4 – Електрошлакове розливання з електродом, що витрачається



1 – розливний ківш; 2 – порожнистий електрод; 3 – кристалізатор;
 4 – рідкий шлак; 5 – затверділий злиток; 6 – затравка; 7 – піддон
 Рисунок 2.5 – Електрошлакове розливання з порожнім електродом

Процес йшов у такий спосіб. На водоохолоджуваний піддон встановлювали затравку. Після розплавлення шлаку електродом, що витрачається, з ковша через жолоб випускали метал. У міру підйому рівня рідкого металу у водоохолоджуваному мідному кристалізаторі синхронно піднімався електрод, що витрачається, хімічний склад якого відповідав хімічному складу рідкого металу. При підйомі електрод плавився і тим самим підживлював метал, що затвердіває. Коли шлакова ванна досягала верхнього рівня кристалізатора, метал протягом 70хв обігрівали електродом, що витрачається, за наступним режимом: перші 40хв напруга була 50-60В при струмі 8000-9000 А, потім поступово струм знизили до нуля. При обігріванні електрод плавився, завдяки чому заповнювалася усадка рідкого металу.

Перші дослідження показали, що зливки електрошлакового розливання мають найкращу поверхню через шлаковий гарнісаж. При підборі високоосновного шлаку підвищується чистота сталі внаслідок зниження вмісту сірки та неметалевих включень, а це покращує пластичність металу під

час кування та прокатування. Обігрів прибутку сприяє збільшенню виходу придатного зливка, зменшенню обрізу його головної частини.

Однак дослідження макробудови зливка ЕШР показало, що при цьому способі зберігається тризонне кристалічна будова, хоча зона стовпчастих кристалів має більшу протяжність, ніж у звичайному злитку, що розливається в чавунну виливницю. Це пов'язано з тим, що затвердіння зливка у кристалі, що охолоджується, відбувається за тими ж законами, що і в чавунній виливниці. У той же час при електрошлаковому переплаві відбувається спрямоване затвердіння зливка завдяки його повільному плавленню (на комбінаті «Запоріжсталь» час плавлення зливка вагою 7 т становить 10-12 год).

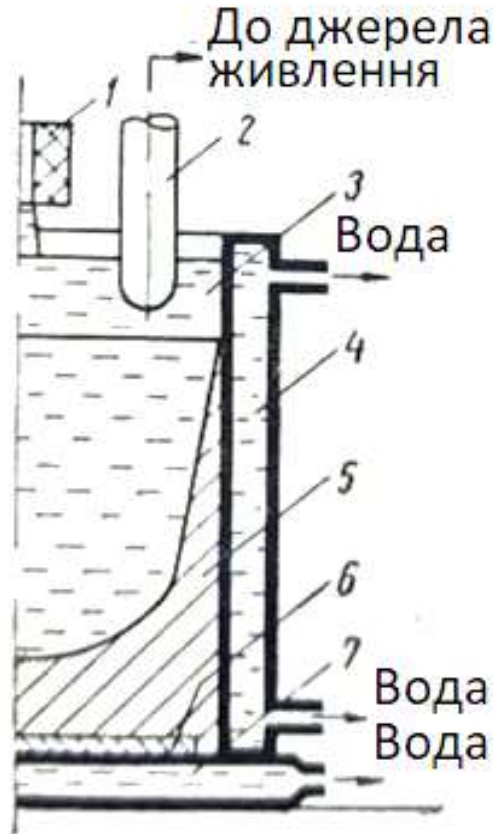
Таким чином, за рахунок застосування високоосновного шлаку чистота металу електрошлакового розливу наближається до чистоти сталі електрошлакового переплаву, а макроструктура у зливка електрошлакового розливу, незважаючи на наявність тризонної кристалічної будови, краще, ніж у звичайної, але гірше, ніж у зливка електрошлакового переплаву.

Наступним етапом у розвитку цього нового процесу було розливання злитків з використанням порожнього електрода (рис. 2.5). Порожнистий графітовий електрод усередині футерується вогнетривким матеріалом. Метал розливається через отвір у електроді. У міру підйому рівня рідкого металу в кристалізаторі синхронно піднімаються електрод та розливний ківш. При цьому варіанті розливання відпадає необхідність у електродах, що витрачаються. Підживлення прибутку відбувається після підйому шлаку до верхнього рівня кристалізатора з наступним обігрівом прибутку за режимом.

За своєю якістю зливки другого варіанта не гірше за зливки першого варіанту. Однак необхідність синхронного руху електрода та розливного ковша створює великі труднощі у роботі.

На зміну цій установці прийшла установка, представлена на рис. 2.6 розливна вирва в цьому випадку укріплена стаціонарно над кристалізатором. Два електроди піднімаються синхронно з підйомом рівня металу кристалізаторі. Біфілярна схема підведення струму до двох електродів краща,

ніж схеми, представлені на рис. 2.4 і 2.5, де джерела живлення підводяться до електрода та піддону. Цей спосіб розливу більш технологічний, ніж два попередні, хоча якість зливка залишається такою самою, як і в перших двох випадках.



1 – розливальна вирва; 2 – електроди; 3 – рідкий шлак; 4 – кристалізатор;
5 – затверділий злиток; 6 – затравка; 7 – піддон

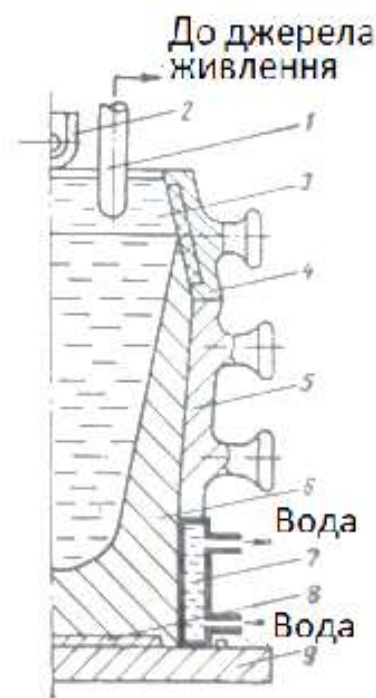
Рисунок 2.6 – Електрошлакове розливання безприбуткового зливка

Схеми процесу електрошлакового розливання, представлені на рис. 2.4, 2.5, 2.6, застосовуються при виробництві безприбуткового зливка для подальшої прокатки металу.

Зливки з нержавіючої сталі, відлиті на установці електрошлакового розливу, можуть повністю замінити зливками електрошлакового переплаву.

В умовах Електростальського заводу важкого машинобудування дрібносерійне виробництво, де необхідно виробляти різні за вагою великі ковальські зливки – від 7 до 40 т. Тому схема електрошлакового розливання з одним кристалізатором в даному випадку непридатна. На рис. 2.7

представлена схема електрошлакового розливання ковальських злитків. На укорочений водоохолоджуваний кристалізатор можна встановлювати практично будь-яку виливницю для великих зливків. При цьому досягаються більш сприятливі умови для спрямованого затвердіння, так як при виливці злитків у звичайний водоохолоджуваний кристалізатор злиток має більш інтенсивне, але бічне затвердіння. Для отримання якісного ковальського зливка необхідно забезпечити спрямоване затвердіння з інтенсивним живленням зливка прибутком. Тому зливки відливаються із застосуванням утеплених надставок.



- 1 – електроди; 2 – розливний жолоб; 3 – рідкий шлак; 4 – надставка;
 5 – виливниця; 6 – затверділий злиток; 7 – кристалізатор; 8 – затравка;
 9 – піддон

Рисунок 2.7 – Електрошлакове розливання ковальських злитків

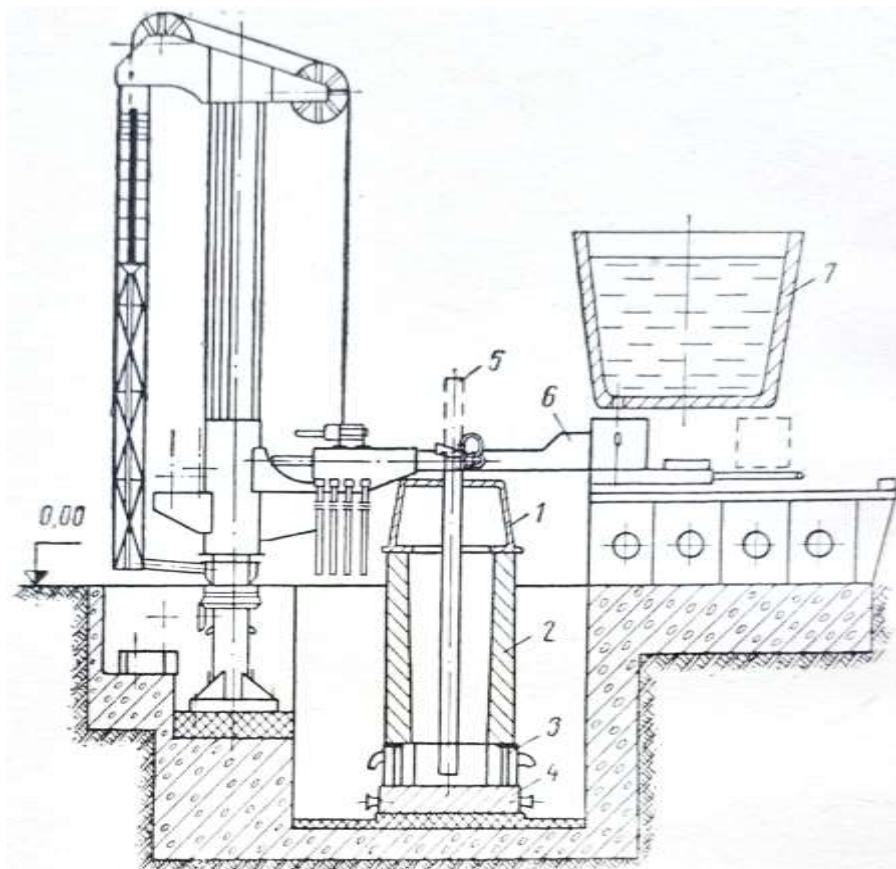
Практика електрошлакового розливу показала, що застосування водоохолоджуваного піддону не гарантує безпечних умов роботи. Крім того, як показало дослідження макроструктури злитків, розлитих на водоохолоджуваному піддоні, дія його обмежується через затравку, яка укладається для того, щоб не допустити приварювання зливка до піддону.

На Електростальському заводі важкого машинобудування вперше у світовій практиці виготовлено, змонтовано та пущено в експлуатацію дослідно-промислове встановлення електрошлакового розливання ковальських злитків.

Технологічний процес включає:

- 1) обробку металу синтетичним шлаком з метою зменшення вмісту сірки та неметалічних включень та підвищення пластичності металу при куванні;
- 2) розливання металу під шаром шлаку для поліпшення поверхні зливка;
- 3) електрошлаковий обігрів прибуткової частини зливка у поєднанні з установкою кристалізатора в донній його частині для отримання щільної структури та підвищення виходу придатного.

На рис. 2.8 представлена конструктивна схема установки.



- 1 - прибуткова надставка; 2 - чавунна виливниця; 3-водоохолоджуваний кристалізатор; 4 - піддон; 5 - електрод; 6 - проміжний жолоб;
7 - сталерозливний ківш

Рисунок 2.8 – Установка електрошлакового розливання ковальських злитків

У мідному водоохолоджуваному кристалізаторі за допомогою двох графітових електродів розплавляється високоосновний шлак системи $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-CaF}_2$. На кристалізаторі встановлюється звичайна чавунна виливниця з прибутковою надставкою. Зі сталерозливного ковша через проміжний жолоб у виливницю, встановлену на кристалізаторі з перегрітим до $1670\text{-}1700\text{ }^\circ\text{C}$ шлаком, заливається рідка сталь доти, поки шлакова ванна займе заданий рівень у прибутковій надставці. Після закінчення розливу проводиться електрошлакове обігрів прибуткової частини зливка тими ж графітовими електродами, якими розплавляється шлак.

У період гарячого випробування установки було визначено параметри електричного режиму розплавлення та перегріву шлаку в кристалізаторі.

При $I=5\text{-}7\text{ кА}$, $U=50\text{-}60\text{ В}$ розплавлення тривало $1,5\text{-}2$ год при перегріві шлаку в кристалізаторі до 1700°C .

3 ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА ЯКІСТЬ СТАЛІ ПРИ ЕШР

3.1 Особливості взаємодії металу зі шлаком при ЕШР

В процесі ЕШР рідкі сталь і шлак контактують у період розливу, електрошлакового обігріву та деякий час після його відключення.

Під час розливання струмів металу з великої висоти (до 2—3 м) падає у виливницю або стікає по центровому центру в шар рідкого шлаку глибиною 20—30 см. При цьому він може мимоволі частково дробитися на тонкі струмки і окремі краплі, які, опускаючись крізь шлаковий розплав, взаємодіють з ним на розвиненій і оновлюваній поверхні (якщо поверхня суцільного струменя діаметром 35 мм у такому шарі шлаку становить 20-30 см², то у тонких струмків і крапель вона може бути в десятки разів більша). Одночасно частина шлаку може у вигляді крапель захоплюватися струменем у глиб металу і у вигляді емульсії опускатися з ним в осьовій зоні, а потім підніматися з периферійними потоками, що сходять. Гідродинамічні особливості перемішування металу зі шлаком у цей період, очевидно, близькі до тих, що реалізуються в процесі рафінування сталі при випуску її в ківш із синтетичним шлаковим розплавом.

У період електрошлакового обігріву і після нього величина поверхні контакту металу і шлаку значно менша, ніж під час розливання, оскільки вона буває обмежена дзеркалом ванни, площа якого становить 0,4-0,5 м².

Величина міжфазної поверхні при ЕШР навіть у період розливання (звичайним струменем) істотно менше ніж при ЕШП, коли по кінці електрода, зануреного в шлак, стікає тонка металева плівка, що повністю розпадається на краплі. Сумарний час взаємодії металу зі шлаком у процесі ЕШР теж менше, ніж при ЕШП (для 6-т зливка 2-2,5 замість 10 год). Загальною особливістю ЕШР та ЕШП є участь електричного струму у процесах рафінування металу та шлаку.

Зважаючи на те, що швидкість наповнення виливниці або кристалізатора металом при ЕШР у кілька десятків разів вища, ніж у разі переплаву, умови

утворення шлакового гарнісажу (а отже, і умови формування поверхні злитків) у цих двох процесах істотно різні.

3.2 Вибір оптимального складу шлаку

Кількість шлаку становила 3% від ваги металу, що заливається.

Виходячи з технологічних особливостей електрошлакового розливання, було необхідно вибрати оптимальний склад шлаку для рафінування сталі та отримання якісної поверхні зливка; вибрати оптимальний електричний режим та тривалість процесу електрошлакового обігріву головної частини зливка для отримання якісної макроструктури.

У процесі рафінування сталі у виливниці з рідким шлаком протікають складні фізико-хімічні процеси. При зливі металу на розплавлений шлак відбувається інтенсивне перемішування обох фаз, що реагують – металу і шлаку, емульгування шлаку в метал і в якійсь мірі емульгування металу в шлак, а також подальше поділ фаз. Ці процеси визначаються багатьма факторами: вагою металу, що зливається на шлак, і кількістю самого шлаку, швидкістю зливу металу, висотою падіння струменя, температурою шлаку і металу. Але поряд з цим ступінь взаємного емульгування фаз і насамперед шлаку в метал, а також їх поділ багато в чому залежить від таких характеристик, як в'язкість металу і шлаку, міжфазний натяг на їх межі.

Оскільки процеси, що протікають при електрошлаковому розливанні — рафінування сталі шлаком у виливниці, формування макроструктури та поверхні зливка та ін. — багато в чому залежать від властивостей шлаку, слід насамперед розглянути ці властивості з метою вибору оптимального складу шлаку та визначення його впливу на якість сталі .

Дослідженню підлягали шлаки, що застосовуються для обробки металу в ковші рідкими синтетичними шлаками (системи $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$) та при електрошлаковому переplаві (системи $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ і на основі CaF_2), з метою підбору шлаку для електрошлакового розливання.

До шлаків електрошлакового розливання пред'являються певні вимоги.

1. Шлаки повинні бути досить легкоплавкими (з температурою

плавлення нижче за температуру ліквідус сталі більш ніж на 100 град) для забезпечення більшої їх рідини і формування зливка з гарною поверхнею і з більш тонким шлаковим гарнісажем. У той же час температура кипіння шлаку повинна бути вищою за температуру плавлення металу.

При ЕШР застосовувалися вапняно-глиноземні шлаки. Склад їх коливається за вмістом основних компонентів у межах: $\text{CaO}=30-55\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 65-30\%$. З діаграми стану $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ випливає, що сплави, що відповідають зазначеному змісту CaO та Al_2O_3 , мають температуру плавлення $1400-1700^\circ\text{C}$. Певний вплив на температуру плавлення надають оксиди: SiO_2 , MgO та інші завжди присутні у шлаках.

Наприклад, як впливає з діаграми стану $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$, проникнення в шлак невеликих кількостей SiO_2 не підвищує його температури плавлення. Навпаки, спостерігається зниження температури плавлення при додаванні до 6-7% SiO_2 в шлак. Те саме спостерігається при додаванні MgO .

У шлаках системи $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ при вмісті SiO_2 більше 7% температура плавлення повільно підвищується. Шлаки з великим вмістом SiO_2 можуть мати температуру плавлення і нижче 1300°C , проте вони вже не відносяться до вапняно-глиноземистих. Таким чином, найбільш ймовірні домішки SiO_2 і MgO , якщо їх вміст не перевищить 6-7%, не є небажаними з точки зору впливу на температуру синтетичного плавлення шлаку. Навпаки, вплив їх у цьому відношенні позитивний.

Таблиця 3.1 – Флюси для електрошлакового переплаву

Флюс	Розрахунковий склад шихти								Температура плавлення, $^\circ\text{C}$
	CaF_2	Al_2O_3	CaO	TiO_2	MgO	BaO	Cr_2O_3	NaF_2	
АНФ-6	70	30	-	-	-	-	-	-	1320-1340
АНФ-7	80	-	20	-	-	-	-	-	1200-1220
АНФ-8	60	20	20	-	-	-	-	-	1240-1260
АНФ-9	80	-	-	-	20	-	-	-	-
АНФ-19	80	-	-	-	-	20	20	-	1340-1360
АНФ-20	80	-	-	-	-	-	-	-	-
АНФ-21	50	25	-	25	-	-	-	-	1220-1240
АНФ-1П	95	-	5	-	-	-	-	-	1390-1410
АН-29	-	55	45	-	-	-	-	-	1400-1450
АН-291	18	40	25	-	17	-	-	-	-
АН-292	-	60	35	-	5	-	-	-	1450

При електрошлаковій переплаві переважно використовуються шлаки на фторидній основі (табл. 3.1). Флюс АНФ-6 відповідає найбільш легкоплавкому евтектичному складу системи $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ з точкою плавлення 1265°C . З табл. 3.1 видно, що найбільш легкоплавким є шлак системи $\text{CaF}_2\cdot\text{CaO}$ (АНФ-7) з температурою плавлення $1200\text{-}1220^\circ\text{C}$.

Таблиця 3.2 – Хімічний склад (%) та температури плавлення сталей

Сталь	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Температура плавлення, $^\circ\text{C}$
Ст.55	0,52-0,60	0,5-0,8	0,17-0,37	0,040	0,040	0,25	0,25	-	-	1494
55X	0,41-0,49	0,5-0,8	0,17-0,37	0,035	0,035	0,8-1,1	0,25	-	-	1501
9X	0,8-0,95	0,25-0,35	0,25-0,45	0,020	0,020	1,4-1,7	0,30	-	-	1473
9X2	0,85-0,95	0,20-0,35	0,25-0,45	0,020	0,020	1,7-2,1	0,30	-	-	1472
9X2МФ	0,85-0,95	0,20-0,35	0,25-0,45	0,020	0,020	1,7-2,1	0,2-0,3	0,1-0,2	-	1471
9XСВФ	0,85-0,95	0,3	0,8-1,1	0,020	0,020	1,5-1,6	-	0,4-0,6	0,1-0,2	1467
9X2СВФ	0,85-0,95	0,3	1,3-1,6	0,020	0,020	1,8-2,1	-	0,4-0,6	0,1-0,2	1463

У табл. 3.2 наведено хімічний склад і температура плавлення сталей, що розливаються на установці ЕШР. Температура плавлення наведена з використанням даних про зниження температури затвердіння чистого заліза при добавках 1% кожної домішки.

Маючи в своєму розпорядженні цими даними, можна зробити висновок про те, що універсальними (тобто для всіх даних сталей) будуть шлаки з температурою плавлення нижче 1360°C , При цьому за ефективний інтервал кристалізації приймаємо 100°C .

2. Шлаки мають бути досить довгими(незначна зміна в'язкості шлаку від температури при його твердінні), що забезпечує формування рівномірної та тонкої шлакової кірки (гарнісажу) по всій висоті зливка.

У зв'язку з цим слід розглянути в'язкість та температурну залежність в'язкості всіх аналізованих шлаків. Довгі шлаки утворюються при розплавленні силікатних флюсів (АН-8, АН-22), найкоротший шлак дає

фтористий кальцій. Фторидні флюси, призначені для ЕШП, займають проміжне положення.

3. При порівнянні формуючої здатності шлаків різного складу не тільки характер зміни їх в'язкості в міру зниження температури, але і абсолютне значення в'язкості шлаку при температурі плавлення металу.

Як було надано вище, при ЕШР, так само, як при ЕШП, важливе значення має співвідношення температур затвердіння шлаку та металу. Якщо шлак тугоплавкіший, ніж метал, утворюється товста шлакова кірка.

3.3 Висока реакційна здатність шлаків

Шлак, що застосовується при ЕШР, докладений сприяти найбільш повному видаленню з металу неметалевих включень — газів, сірки та інших шкідливих домішок. Оскільки найважливішим завданням ЕШР є десульфурація металу, перевагу слід надавати шлакам основного характеру, наприклад, флюсам $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$; CaO-CaF_2 ; $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-CaF}_2$ і т.д.

Зливки електрошлакового розливу призначаються в першу чергу для виготовлення валків холодної та гарячої прокатки. Для підвищення стійкості валків необхідно насамперед підвищити чистоту сталі за шкідливими домішками та неметалевими включеннями. Найкращою здатністю рафінування мають синтетичні шлаки системи $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$, тому зливки ЕШР вагою 15т були розлиті з використанням саме цього шлаку. Хімічний склад шлаків, що застосовуються при розливанні злитків вагою 15т до та після ЕШР, наведено в табл. 3.3.

З табл. 3.3 слід, що шлаки, що застосовуються, дуже нестабільні за складом, а отже, і за властивостями. Вміст Al_2O_3 становить 30-55%, а CaO 55-30%.

З діаграми стану системи $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ випливає, що розкид за складом призводить до різких коливань температури плавлення шлаків. Високий вміст у шлаках CaO та низький SiO_2 , висока температура та низька в'язкість шлаку,

а також інтенсивне перемішування металу зі шлаком у процесі розливання забезпечують високий ступінь десульфурації металу.

Для оцінки поведінки компонентів шлаку при ЕШР відбиралися проби шлаку в такі періоди: до обробки шлаком металу, після обробки металу шлаком, після обігріву прибутку.

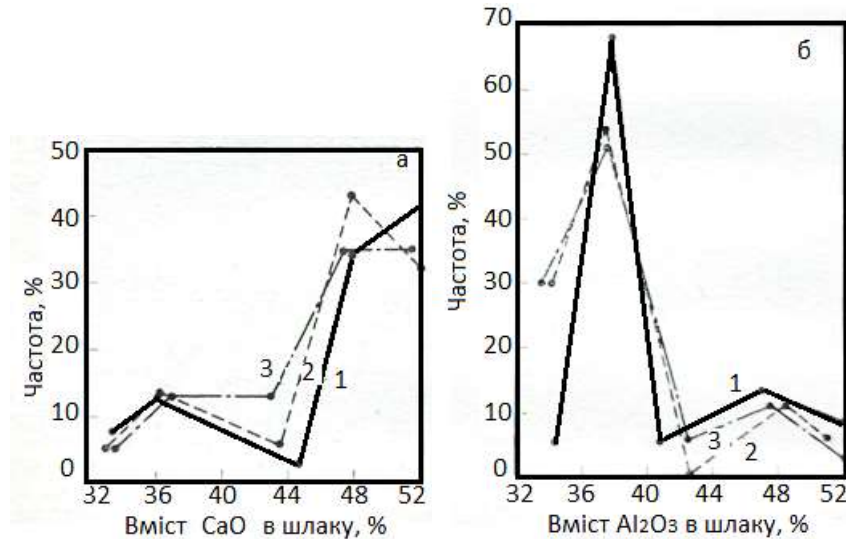
У ті самі періоди відбирали проби металу.

Таблиця 3.3 – Хімічний склад шлаку до (чисельник) і після (знаменник) електрошлакового розливу, %

Номер плавки (Марка сталі)	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	CaF ₂	MgO	S	P	MnO	FeO	C
2655 (9X2)	1,48	0,25	48,70	32,27	6,74	9,72	0,031	0,024	Сл.	0,21	
	4,52	0,31	41,78	40,89	2,31	9,36	0,029	0,023	0,10	0,28	-
26252 (9ХСВФ)	1,96	0,59	51,00	37,10	0,53	7,42	0,109	0,017	Сл.	0,60	0,10
	4,20	0,47	48,49	36,11	2,21	7,05	0,430	Сл.	Сл.	0,56	0,06.
26442 (9X2СВФ)	1,20	0,11	39,20	54,80	0,84	2,80	0,010	0,007	0,10	0,21	0,11
	3,30	0,32	34,41	52,81	5,56	2,30	0,329	0,007	Н/зн	0,14	0,13
46601 (55X)	3,84	0,16	33,57	49,74	5,64	2,86	Н/зн	0,005	0,46	0,42	0,44
	4,50	0,32	30,48	45,86	1,62	2,96	0,820	0,008	0,12	0,56	0,23
26101 (9X2МФ)	1,84	0,25	35,60	37,15	15,56	8,65	0,132	0,010	Сл.	0,21	-
	5,64	0,28	37,10	37,85	9,92	7,97	0,360	0,008	0,15	0,28	-
251034 (9X2МФ)	2,34	0,48	45,80	35,42	4,74	9,80	0,430	0,011	0,14	0,29	-
	1,96	Сл.	47,20	33,46	7,06	9,18	0,290	Сл.	0,01	0,44	-
26208	1,44	0,32	48,62	35,40	4,20	3,22	0,150	0,010	Сл.	0,42	-
	2,94	0,28	46,98	36,87	3,29	8,45	0,120	0,012	0,10	0,43	-
26336 (9X2СВФ)	6,24	0,17	35,30	50,46	4,66	2,27	0,060	0,020	0,05	0,28	0,065
	7,90	Сл.	34,24	45,62	8,70	2,50	0,030	Сл.	0,06	0,50	0,060
46849 (Сталь 55)	0,92	0,33	38,40	49,44	6,80	2,89	0,063	Сл.	0,10	0,28	0,190
	2,15	0,18	37,86	48,70	7,43	2,23	0,52	Сл.	Сл.	0,38	0,060
46828 (55X)	2,20	0,39	38,81	45,82	7,22	3,77	Н/зн	Н/зн	0,62	0,29	0,120
	3,36	0,40	35,65	43,77	10,0	4,90	0,310	0,035	0,26	0,24	0,06

У зв'язку з тим, що склади шлаків були різні, оброблювані сталі також різко відрізнялися один від одного за хімічним складом, а отже, і за

температурою плавлення. Для визначення закономірності у поведінці елементів металу та компонентів шлаку всі наявні дані щодо вмісту компонентів розбивали на інтервали, знаходили середні значення у кожному з інтервалів та будували криві частотного розподілу.

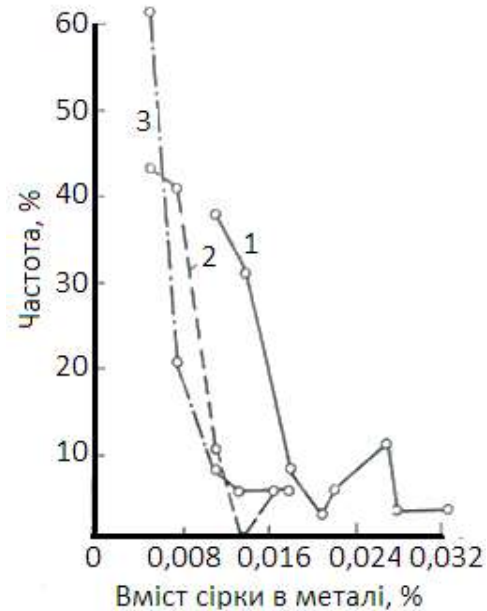


а – CaO; б – Al₂O₃; 1 – до обробки; 2 – після обробки; 3 – після обігріву

Рисунок 3.1 – Зміна основних компонентів синтетичного шлаку
в процесі ЕШР

На рис. 3.1 наведені криві частотного розподілу зміни основних компонентів синтетичного шлаку в процесі електрошлакового розливання, спостерігається зниження CaO, Al₂O₃ в синтетичному шлаку після обробки в результаті підвищення вмісту FeO, SiO₂, MgO, CaF₂.

Поведінка сірки в металі під час розливу представлена на рис. 3.2. Кількість сірки за час ЕШР знижувалася в 2-5 разів (з 0,009-0,033% до 0,003-0,018%). Сірка перетворюється на шлак переважно у період обробки металу шлаком. За час обігріву прибутку зливка вміст сірки знижується як у металі, так і в шлаку. У металі це відбувається в результаті про надання дифузійного процесу перерозподілу сірки між металом та шлаком; у шлаку - завдяки утворенню летких сполук типу SO₂, які видаляються в період обігріву.



1 – до обробки; 2 – після обробки; 3 – після обігріву

Рисунок 3.2 – Зміна вмісту сірки в металі в процесі ЕШР

Якість металу електрошлакового розливу досліджували на злитках та поковках валкових марок сталі. Дослідження проводили з метою визначення впливу електрошлакового розливання на якість одержуваного металу в основному за макробудуванням, ступенем забрудненості неметалевими включеннями та механічними властивостями). За кількістю сірки відбитки зі злитків можуть бути умовно оцінені таким чином: злиток звичайного розливання – 2,6 бала, злиток ЕШР – 1 бал. Отримані дані показують, що вміст сірки в металі ЕШР у 2,6 рази нижчий, ніж у звичайній сталі.

Крім того, сталь електрошлакового розливу в порівнянні зі звичайною характеризується підвищеною чистотою як по сульфїду, так і по оксидним включенням.

Дослідження також показали, що механічні властивості металу ЕШР як на поздовжніх, так і на поперечних зразках вищі, ніж металу звичайного розливання. При цьому спостерігається явна тенденція до зменшення анізотропії властивостей за рахунок збільшення всіх механічних характеристик на поперечних зразках.

При виливку перших 50 злитків ЕШР вагою 15 т було встановлено, що в макроструктурі мали місце грубі порушення суцільності усадочного

характеру. Основною причиною цього явища була велика товщина шлакового гарнісажу, яка досягала на бічній поверхні зливка 10-15 мм. Це погіршувало тепловідведення від зливка, що призводило до повільнішого його затвердіння. Таким чином, насамперед необхідно було підібрати шлак, який не погіршував би дію синтетичного шлаку, що рафінує, і водночас забезпечував би більш тонкий гарнісаж.

Флюси, що застосовуються для електрошлакового переплаву, з добавкою CaF_2 забезпечують хорошу чистоту сталі. Водночас температура їхнього плавлення знаходиться в межах 1200-1400°C. Тому потрібно виявити оптимальну кількість CaF_2 , що додається до шлаку системи $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$, яке, знижуючи температуру плавлення синтетичного шлаку, не погіршувала б його дії, що рафінує. З цією метою було проведено дослідно-промисловий вилівок злитків електрошлакового розливу, де до синтетичного шлаку додавали плавииковий шпат у кількості 0-60%.

За результатами відбору проб металу та шлаку можна зробити висновок, що добавка CaF_2 у зазначеній вище кількості практично не погіршує десульфуріацію металу в процесі ЕШР (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 - Вплив CaF_2 на дію синтетичного шлаку, що рафінує

Сталь	Номер плавки	Хімічний склад шлаку, %					Зміни сірки при металі ЕШР
		CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	CaF ₂	
9 X	58217	44,82	40,39	1,30	3,82		0,011/0,006
9X2МФ	571027	47,62	44,23	1,88	4,7	0,46	0,009/0,005
9X2МФ	571156	42,3	47,0	0,72	5,80	1,95	0,012/0,006
9X2СВФ	58919	45,82	36,58	2,40	8,98	2,60	0,011/0,006
9X2СВФ	571484	47,68	37,84	0,22	4,93	4,39	0,010/0,005
92СВФ	581118	46,83	37,17	1,8	330	5,0	0,012/0,006
9X2МФ	571144	47,92	38,52	0,20	3,86	8,23	0,010/0,005
9X2МФ	2868	43,0	35,0	6,0	3,67	9,32	0,013/0,006
9X	572096	50,90	34,90	3,30	4,82	10,70	0,0012/0,006
9X2СВФ	571356	23,20	27,82	1,29	3,44	40,02	0,010/0,006
9X2МФ	571194	25,36	9,0	0,2	2,24	60,84	0,009/0,005

Крім того, товщина шлакового гарнісажу на зливках була в межах 1-3 мм, що значно покращило можливість підбору електричного режиму обігріву прибутку та отримання щільного зливка. Однак відмічено, що надмірне підвищення вмісту CaF_2 у шлаках призводить до забруднення металу шлаковими включеннями.

Таким чином, була встановлена оптимальна кількість CaF_2 (не більше 10-15%), яка додається до синтетичного шлаку $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$. Шлак надалі і застосовувався при електрошлаковій розливці.

З метою визначення ефективності електрошлакового розливання різних марок сталі при застосуванні шлаку $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$, з добавкою CaF_2 10-15% було проведено дослідження металу за темплетами, відібраними при ковчужанні.

У табл. 3.5, 3.6 наведено результати цього дослідження.

Таблиця 3.5 - Включення в металі ЕШР та звичайної розливки, %

Сталь	Оцінка, бал
9X2CBФ	0,5
	1-1,5
9X2MФ	1
	1-1,5
9X, 9X2	1
	до 2,5

* Чисельник - злиток ЕШР. Знаменник - злиток звичайного розливання

Таблиця 3.6 - Вміст сірки в металі ЕШР та звичайного розливання

Сталь	Сульфіди	Оксиди
9X2CBФ	0,0017	0,0012/0,0012
	0,00701	
9X2MФ	0,0034	0,001/0,0012
	0,00715	
9X	0,00365	0,0015/0,0025
	0,011	

* Чисельник - злиток ЕШР, знаменник - злиток звичайного розливання.

Хімічний склад включень наведено нижче, %:

Сталь	Al ₂ O ₃	SiO ₂	FeO	Cr ₂ O ₃	MnO
9Х2СВФ	39,5	22,0	14,0	12,0	6,5
9Х2МФ	52,0	18,0	16,0	6,0	10,0
9Х	45,0	18,0	21,0	6,0	10,0

З розглянутих даних випливає, що в результаті ЕШР у металі відбувається значне зниження вмісту сульфідних включень (2,0-3,0 рази).

3.4 Температура шлаку та металу

Вибір оптимальних температур перегріву шлаку і нагрівання металу до його зливу кристалізатор визначається наступними факторами.

З одного боку, підвищення температури металу і шлаку сприяє видаленню сірки, так як більш висока температура дозволяє мати високу рідину рухомість шлаку для кращого змішування його зі сталлю і прискорення дифузійного процесу переходу сульфїду заліза з металу в шлак, з іншого, - з підвищенням температури шлаку і металу збільшується небезпека приварювання зливка до виливниці при розливанні. Зі зниженням температури перегріву шлаку і нагрівання металу збільшується небезпека забруднення металу шлаковими включеннями, як буде показано нижче при дослідженні металу темплетів поковок.

Таким чином, правильний вибір температури перегріву шлаку та нагріву металу має істотне значення для отримання якісних злиwkів електрошлакового розливу.

Враховуючи це, проводили вимірювання температури шлаку до заливки металу в кристалізатор і температури шлаку і металу в прибутковій частині злитка. Практика виливка злитків на установці ЕШР показала, що шлак в кристалізаторі до заливки металу перегрівається практично до постійної температури. Коливання температури металу валкових сталей ЕХ, 9Х2СВФ, 9Х2МФ при випуску з печі та швидкості розливання були більш суттєвими. Температура металу після заливання була в межах 1400-1550°C.

На рис. 3.3 наведено залежність коефіцієнта розподілу сірки від температури металу після заливки, де коефіцієнт розподілу сірки є відношення кількості сірки в ковшовій пробі до сірки після обробки шлаком. Наведена залежність показує, що із підвищенням температури металу після заливання кількість сірки зменшується.

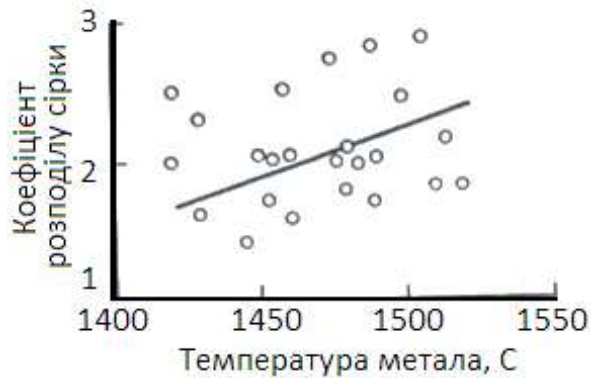


Рисунок 3.3 – Залежність коефіцієнта розподілу сірки від температури металу після заливання

Зі зниженням температури шлаку і металу, збільшенням часу розливання зростає в'язкість шлаку, що призводить до забруднення металу шлаком і до зростання неметалевих включень (табл. 3.7).

Таблиця 3.7 – Залежність чистоти металу від тривалості заливки, температури шлаку та металу

Температура металу до заливки, °С	Температура шлаку до заливки, °С	Тривалість заливання хв-сек	Зауваження щодо макроструктури
1610	1650	7-30	Заплутування шлаку
1615	1650	7-05	Заплутування шлаку
1615	1650	5-10	Без шлаку
1615	1650	5-00	Без шлаку
1530	1580	5-20	Заплутування шлаку
1580	1570	4-15	Заплутування шлаку

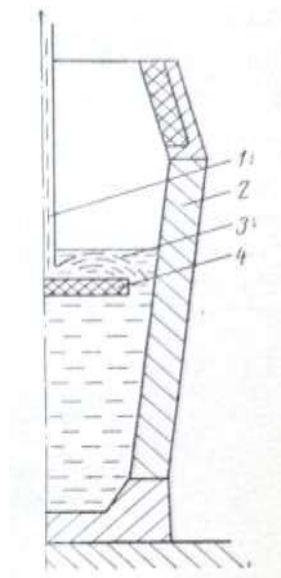
Отже, виходячи з табл. 3.7 були обрані оптимальні температурні параметри процесу електрошлакового розливання, які забезпечують високу якість металу при розливанні злитків вагою 7,2 т: температура металу до заливки 1610-1630 °С; температура шлаку до заливання 1640-1670 °С; тривалість розливання 4хв 30сек - 5хв 15сек.

3.5 Дроблення струменя металу

Ступінь чистоти оброблюваного металу значною мірою залежить від величини струменя та товщини шару шлаку. Зі зменшенням розміру частинки металу, яка проходить обробку в шарі шлаку, збільшується ступінь очищення, оскільки повніше протікають процеси перенесення сірки з металу в шлак.

Відомі способи дроблення струменя металу за допомогою стисненого повітря або спеціальних чаш з отворами не забезпечують підвищення чистоти металу після обробки шлаком-після дроблення струменя відбувається вторинне окислення металу.

При електрошлаковій розливці застосовується новий спосіб дроблення струменя металу в шарі шлаку, який забезпечує більшу чистоту сталі після обробки шлаку (рис. 3.4).



- 1 – струмінь металу; 2 – виливниця; 3 – синтетичний шлак;
4 – корундова пластина

Рисунок 3.4 – Схема дроблення струменя металу

Після заповнення кристалізатора металом опускається корундова пластина, розміри якої менше поперечного перерізу виливниці на 20-30 мм. Струмінь, ударяючись об пластину, подрібнюється на краплі, які після обробки синтетичним шлаком стікають у зазор між виливницею і пластиною. Питома вага пластини повинна бути більшою за питому вагу шлаку, але менше металу; таким чином, пластина має плавати на поверхні металу під шаром шлаку. Звичайна корундова пластина складається з 95% Al_2O_3 , як сполучна застосовується смола.

При дії високих температур відбувається розкладання смоли, цим здійснюється додаткове перемішування металу зі шлаком і розкислення металу, що значно покращує ефективність обробки. Дроблення струменя металу відбувається у шарі шлаку, у результаті виключається вторинне окислення металу і значно підвищується ефективність обробки.

Експериментальна перевірка підтвердила значне підвищення чистоти металу завдяки використанню корундових пластин. Так, при звичайній електрошлаковій розливці вміст сірки знижується в 2-2,5 рази, а при розливанні із застосуванням корундових пластин у 5-6 разів. Значне підвищення чистоти металу за сульфідами при дробленні металу в шарі шлаку підтверджується металографічним дослідженням темплетів, відібраних від злитків, відлитих із застосуванням корундових пластин (табл. 3.8). Дані металографічного дослідження наводяться у табл. 3.8.

3.6 Оптимальний режим обігріву злитків

Необхідно було вирішити ще одне складне завдання - отримати щільний злиток і забезпечити достатню стійкість прибуткової надставки проти розпалу під час електрошлакового обігріву прибутку.

Принципово були випробувані два режими обігріву для зливка вагою 7,2

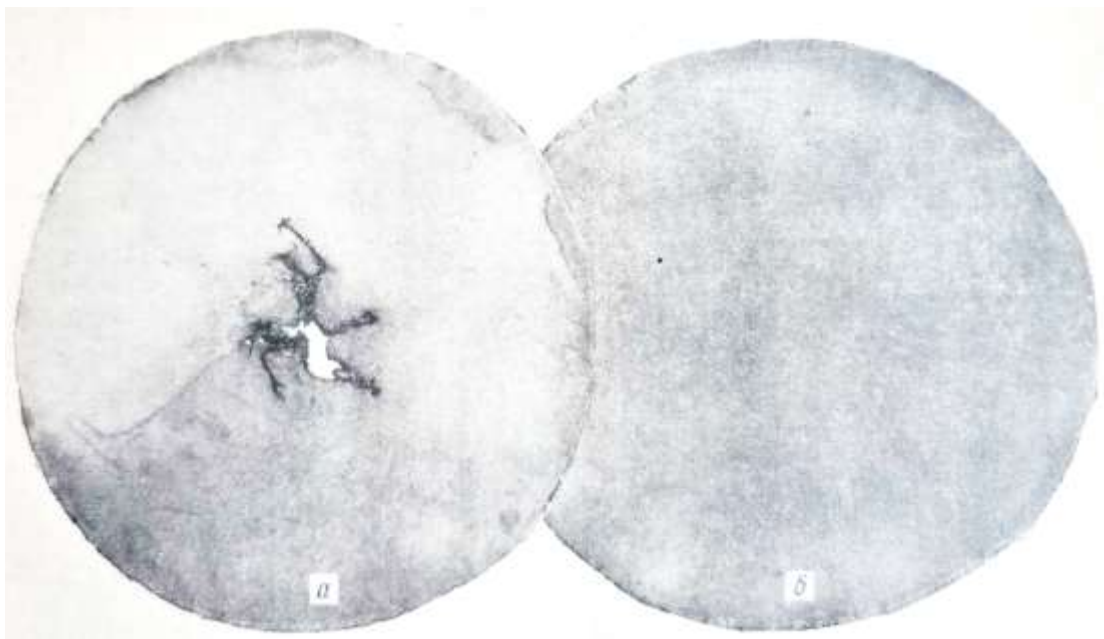
т:

- 1) тривалий - тривалістю 3 год
- 2) короткий - тривалістю 1 год.

Таблиця 3.8 - Вміст включень у зливках, відлитих із застосуванням корундових пластин, %

Плавки	Вміст сірки	Сульфіди	Оксиди	Окисульфіди
581130	0,001	0,00009	0,00301	0,00029
581198	0,002	0,0067	0,00576	0,00013
581085	0,003	0,00128	0,00134	0,00074

Ефективність кожного з режимів визначалася на підставі вивчення макроструктури злитків ЕШР, за даним контролю макротемплетів, що відбиралися при ковці валків, а також ультразвукової дефектоскопії при остаточному контролі. При тривалому режимі час обігріву дорівнював часу затвердіння зливка у виливниці. У цьому напруга становила 40-42 В, сила струму 1500 А.



а - тривалий режим; б - короткий режим

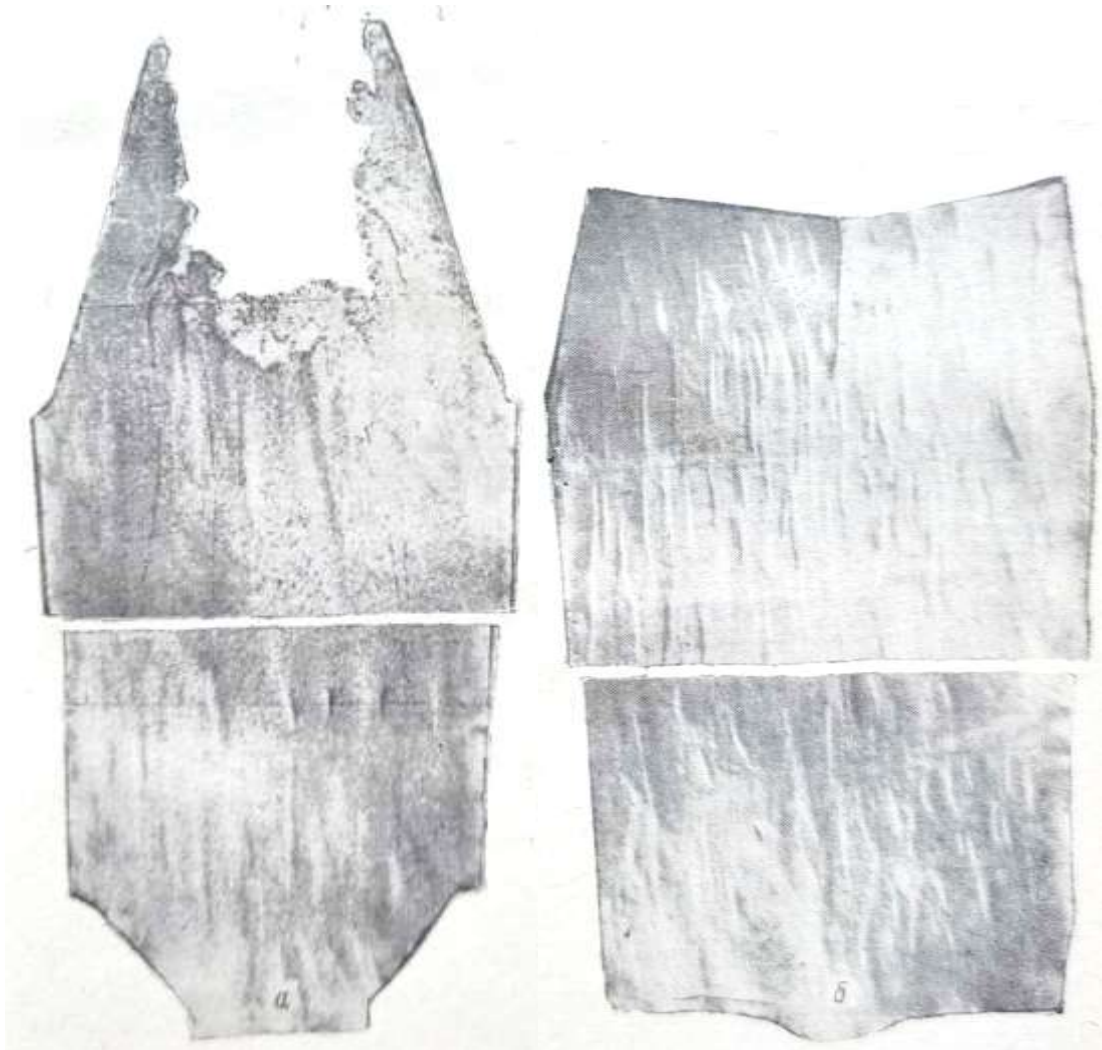
Рисунок 3.5 – Макроструктура підприбуткового темплету поковки металу ЕШР

На рис. 3.5 показаний темплет, відібраний від поковки з прибуткової частини зливка, залитого цим режимом. Наявність дефектів усадкового походження свідчить про те, що режим обігріву дуже великий.

При призначенні короткого режиму обігріву, тривалість якого дорівнює приблизно 30% загального часу затвердіння зливка, виходили з процесу

двостадійного живлення зливка. До моменту випадання 30% твердої фази відбувається заповнення усадки рідким металом прибутку. Наступного моменту (до випадання 75% твердої фази) йде фільтрація металу крізь сітку кристалів. На рис. 3.5, б показаний темплет, відібраний із прибуткової частини зливка, залитого з цим режимом обігріву. Макроструктура осьової частини зливка щільна.

Поряд з цим було відпрацьовано футерування прибуткової надставки. Там, де з футеруванням взаємодіє рідкий метал, використовували шамот, а де рідкий шлак — графіт. Таке комбіноване графіто-шамотне футерування забезпечило достатню стійкість проти розпалу (~30 плавов) і гарне підживлення зливка під час кристалізації.



а – звичайної розливки; б – електрошлакової

Рисунок 3.6 – Сірчані відбитки злитків

На рис. 3.6 наведено сірчані відбитки з поздовжніх темплетів злитків вагою 7,2 т звичайного розливання та електрошлакової. У злитку електрошлакового розливу відсутня садинна раковина у прибутку, осьові дефекти та позацентрова ліквіація виражені слабше, ніж у злитку звичайного розливання. Більш висока якість зливка призвела до підвищення стійкості валків холодної та гарячої прокатки.

У табл. 3.9 наведені дані щодо середньої стійкості однотипних валків, виготовлених з металу ЕШР та металу звичайного розливання, отримані від заводів-споживачів.

Таблиця 3.9 - Стійкість валків, виготовлених з металу електрошлакової та звичайної розливок

Завод-споживач	Діаметр валка, мм	Спосіб розливання (Сталь)	Кількість валків		Середня вартість	
			виготовлено	вийшло з ладу	т/валок	%
«Запоріжсталь»	490x1680	Звичайна (9X2СВФ)	88	88	23500	100
		ЕШР (9X2СВФ)	6	5	35397	150
	400x1200	Звичайна (9X2)	5-3	53	1803	100
		ЕШР (9X2)	8	7	2184	121
ім. Ілліча	500x1700	Звичайна (9X2СВФ)	49	49	17273	100
		ЕШР (9X2СВФ)	8	3	23403	135

Дані таблиці показують, що стійкість валків, виготовлених з металу ЕШР, в середньому на 35% вище стійкості валків, виготовлених з металу звичайної розливки.

3.7 Флюси для ЕШР сталі

Вимоги до флюсів, які застосовуються при ЕШР, обумовлені зазначеними вище особливостями. Поряд з високою сіркопоглинальною і мінімальною окислювальною здатністю шлак ЕШР при температурах розливу повинен мати низьку в'язкість і оптимальну питому електропровідність [2-3 (Ом·см)], що дозволяє підтримувати стійкий електрошлаковий обігрів. Поверхня прокату, отриманого зі злитків із залишками шлакового гарнісажу, буває уражена вм'ятинами та іншими дефектами. Для їх запобігання потрібно, щоб флюс, що твердіє, легко відокремлювався від зливка.

Специфічна вимога, що висувається до флюсу електрошлакового розливу і викликана високою швидкістю наповнення кристалізатора, полягає в тому, щоб на стінках кристалізатора навіть у цих умовах встигала утворюватися досить товста (2-3 мм) шлакова плівка, здатна набагато довше, ніж у випадку ЕШП, витримувати значний феростатичний тиск незатверділого металу. У разі відтіснення сталлю незатверділої плівки або розтріскування затверділої шлакової скоринки метал, проникаючи в зазори між нею і кристалізатором, утворює затоки на поверхні зливка. Такі зливки вимагають зачистки). Очевидно, що для швидкого утворення в'язкої скоринки шлаку він не повинен бути надто легкоплавким. Навпаки, бажано, щоб температури затвердіння сталі та флюсу були близькі одна до одної.

Розлив сталі деяких марок пред'являє до шлаку ЕШР особливі вимоги. Наприклад, при ЕШР маловуглецевого металу неприпустимим є сильне розчинення в шлаку вуглецю електродів (з утворенням карбиду кальцію). Як і при ЕШП, у разі розливання сталей, легованих елементами, що легко окислюються (алюмінієм, титаном, кремнієм та ін.), доводиться додатково розкислювати ними шлак або вводити в нього відповідні оксиди.

Перерахованим вище вимогам найбільше відповідають флюси на основі потрійної системи: $\text{CaO-CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$. Проведені дослідження (результати яких частково наведені далі у цьому розділі), і навіть виробничий досвід ЧМЗ і ЭЗТМ дозволили підібрати відповідні склади флюсів для ЕШР сталей різних марок (табл. 3.10).

Таблиця 3.10 – Склади та властивості флюсів для ЕШР сталей різних марок

Марка сталі	Вміст основних компонентів флюсу, % (по масі)			Властивості флюса при 1700 °С		
	CaO	CaF ₂	Al ₂ O ₃	Питома електропровідність, 1/(Ом·см)	В'язкість, Па·с	Поверхневий натяг, ерг/см ²
11ЮА	5-8	54-58	36-38	2,6-3,1	30	250
У7А, ШХ15	8-10	54-55	36-37	2,6-3,4	30	250
18Х2Н4МА 38Х2МЮА	10-13	51-54	34-36	-	29	250-270
20Х13	20-23	30-35	42-50	2,1	28-30	280-300
12Х18Н10Т	25	31	44	2,6	30	310
9Х, 9Х2, 9Х2СВФ, 9Х2МФ	38-43	8-18	34-37	-	-	-

Таблиця 3.11 – Зміна хімічного складу флюса при ЕШР

Марка сталі	Зміна складу флюса, %						
	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	FeO	MnO	MgO	TiO ₂
18Х2Н4ВА	38,9 (42,5)	36,0 (33,1)	0,15 (0,15)	-	0,12 (0,15)	0,80 (0,55)	-
ШХ15	20,22 (16,0)	43,43 (40,5)	0,50 (0,61)	0,22 (0,18)	-	-	-
	39,06 (38,2)	32,4 (32,0)	0,43 (0,40)	0,48 (0,80)	0,35 (0,36)	0,90 (0,68)	-
20Х13	34,0 (34,9)	35,19 (35,2)	0,54 (0,54)	0,175 (0,16)	0,14 (0,14)	2,44 (2,45)	-
12Х18Н10Т	22,8 (22,4)	39,9 (39,9)	0,68 (0,51)	0,44 (0,40)	-	1,15 (1,6)	0,41 (1,22)

*В дужках – вміст компонента після ЕШР

Крім основних компонентів, шлаки ЕШР містять у невеликих кількостях домішки (до 0,5% FeO; до 0,3% MnO; 0,5-2% SiO₂ і 1-6% MgO), що потрапляють у розплав переважно з вихідними матеріалами: вапном, флюоритовим концентратом, глиноземом та ін. Верхні з зазначених межі вмісту SiO₂ і MgO відносяться до флюсів, використовуваних ЕЗТМ і його встановлення ЕШР, на якій застосовують шамотну футеровку прибуткової надставки і магнезитову набивку навколо «затравальної» шайби на дні. Ці вогнетриви частково розмиваються шлаком.

Від моменту розплавлення шлаку до кінця електрошлакового обігріву вміст основних компонентів флюсу залишається практично незмінним (табл. 3.11).

3.8 Десульфуратія сталі в процесі ЕШР

При ЕШР реалізуються вигідні кінетичні та гідродинамічні умови десульфуратії металу (а в ряді випадків і шлаку), внаслідок чого зниження вмісту сірки у різних сталях становить від 20 до 64% (табл. 3.12).

Значні вмісту флюориту та окису кальцію при низьких концентраціях оксидів заліза у флюсах, що застосовуються при ЕШР, сталі обумовлюють їх високу сіркопоглинальну здатність. Рівноважне відношення концентрацій сірки в таких шлаках (S) і сталі [S] різних марок, тобто коефіцієнт розподілу сірки L_s перевищує 100. Значення цього показника, фактично досягаються після ЕШР, теж високі (20-86), але все ж таки істотно нижче рівноважних, що вказує на можливість досягнення ще повнішої десульфуратії.

Наприклад, на ЕЗТМ для ЕШР валкових сталей 9Х, 9Х2СВФ використовують (у кількості 3% від маси металу) шлак, що містить 37% CaO; 32% Al₂O₃; 22% CaF₂; 4% MgO; 2% SiO₂; 0,09% FeO. Рівноважний коефіцієнт розподілу сірки у разі становить близько 150 [7].

Таблиця 3.12 – Десульфуратія різних сталей під різними флюсами при ЕШР на установці ЧМЗ

Флюс	Вміст сірки, % (по масі)			Ступінь десульфуратії, %	
	Перед ЕШР	Після ЕШР		Верх злитка	Низ злитка
		Верх злитка	Низ злитка		
Марка сталі У7А					
АН-295	0,007	0,004	0,004	43	43
	0,011	0,004	0,004	64	64
АНФ-6	0,007	0,004	0,004	43	43
АНФ-6 + (8-10)% CaO	0,012	0,008	0,008	33	33
АНФ-6 +11%CaO	0,010	0,007	0,006	30	40
	0,011	0,005	0,006	55	45
Марка сталі 20X13					
АНФ-6 + 13%CaO	0,005	0,004	0,004	20	20
	0,006	0,005	0,004	17	33
	0,008	0,004	0,005	50	38
	0,009	0,006	0,006	33	33
	0,010	0,005	0,005	50	50
	0,012	0,005	0,006	59	50
	0,014	0,007	0,009	50	36
	0,016	0,009	0,007	44	56
	0,018	0,009	0,007	44	56
АНФ-6 + 15% CaO	0,015	0,006	0,006	60	60
АНФ-6 + 20% CaO	0,008	0,004	0,004	50	50
	0,009	0,004	0,004	56	56
	0,010	0,004	0,004	60	60
	0,011	0,004	0,004	64	64
АНФ-6 + 30% CaO	0,012	0,005	0,005	59	59
Марка сталі 12X18H10T					
АНФ-6 + 5% CaO	0,007	0,005	0,005	29	29
	0,009	0,006	0,006	33	33
АНФ-6 + 12% CaO	0,007	0,004	0,004	43	43
25% CaO + 31% CaF ₂ +44% Al ₂ O ₃	0,005	0,004	0,004	20	20
	0,006	0,004	0,004	33	33
	0,007	0,004	0,004	43	43
Примітка. В кожному рядку – результати однієї плавки					

Знаючи його та початкові вмісту сірки в металі (в середньому 0,016%) та шлаку (відповідно 0,02%), можна з рівняння її балансу

$$[S]_1 + m (S)_1 = [S]_2 + L_S m [S]_2$$

визначити кінцевий вміст сірки у сталі:

$$[S]_2 = \frac{[S]_1 + m(S)_1}{1 + L_S m}$$

$[S]_2 = 0,003\%$. Фактично концентрація сірки знижується в середньому лише до $0,007\%$ [5, 6].

Швидкість десульфурації, як будь-якої гетерогенної реакції, пропорційна величині міжфазної поверхні. Збільшити її можна, наприклад, в результаті кращого емульгування шлаку металу. Досвід рафінування сталі при випуску в ківш із синтетичним шлаком показав, що маса та дисперсність шлакової емульсії в металі зростають із зростанням висоти падіння струменя, а також зі збільшенням витрати сталі. У зв'язку з цим на ЧМЗ досліджували ефективність десульфурації металу за різної швидкості ЕШРі різної висоті струн. Результати цих дослідів наведено у табл. 4 та на рис. 5. З них випливає, що зі скороченням часу розливання та зі збільшенням висоти струменя кількість віддаленої зі сталі сірки помітно зростає.

Важлива закономірність процесу ЕШР у тому, що з вилученням сірки з металу її концентрація часто знижується у шлаку (табл. 3.7). Найімовірніше це викликано прискорюваними електричним струмом процесами окислення сірки на межі шлаку з повітрям та електродом [8]:

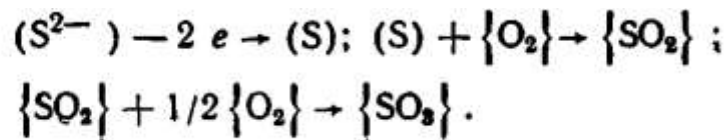


Рисунок 3.7 – Залежність кількості сірки, віддаленої зі сталі в процесі ЕШР, від висоти зливу металу на шлак

Таблиця 3.13 – Десульфурація сталі при ЕШР з різною тривалістю заливання

Марка сталі	Склад флюсу	Тривалість заливки, хв.	Вміст сірки, % (по масі)			Ступінь десульфурації, % (відн.)	
			Перед ЕШР	Після ЕШР		Верх злитка	Низ злитка
				Верх злитка	Низ злитка		
У7А	АНФ-6 + 10% СаО	12-13	0,012	0,008	0,007	33	42
		15-16		0,010	0,009	17	25
20Х13	20% СаО + 30% СаF ₂ + 50% Al ₂ O ₃	10-15	0,011	0,007	0,007	36	36
		18-21		0,009	0,008	18	27

Десульфурація шлаку ЕШР уможлиблює його повторне використання при виплавці або рафінуванні сталі.

Перехід сірки з металу в шлак також прискорюється електрохімічними процесами межі їх розділу [8]. Крім того, пропускання електричного струму дозволяє нагрівати шлакову ванну до високих температур (1750-1850 °С), при яких різко підвищуються швидкості як кінетичних, так і дифузійних стадій видалення сірки.

Необхідно також відзначити, що графітовані електроди можуть розкислювати шлак, підвищуючи його сірковбирну здатність. Це підтверджується (результатами дослідів, проведених на ЧМЗ. Під час ЕШР з використанням мідного водоохолоджуваного електрода за інших однакових умов досягався менший ефект десульфурації, ніж у разі застосування графітових електродів. Позитивно позначається на десульфурації сталі та розкислення флюсу ЕШР алюмінієвим.

3.9 Видалення газів і неметалічних включень

Дослідженнями [9] встановлено, що при ЕШР вміст азоту в металі практично не змінюється, тоді як концентрація водню може дещо зменшуватися, а вміст кисню помітно знижується.

Таблиця 3.14 – Десульфурація сталі та шлаку в процесі ЕШР

Марка сталі	Вміст компонентів в шлаку, %										Вміст сірки в металі, %		Ступінь десульфурації металу, %
	CaO	Al ₂ O ₃	CaF ₂	SiO ₂	MgO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	S	До ЕШР	Після ЕШР	
18X2H4BA	47,8	42,3	5,37	1,5	2,1	1,32	0,26	0,40	-	0,047	0,010	0,006	40,0
	50,5	41,2	3,23	1,4	2,3	1,51	0,24	0,36		0,038	0,012	0,005	58,4
	36,7	32,2	20,7	2,8	2,1	0,68	0,23	0,23		0,046	0,007	0,0045	35,7
	46,8	31,0	12,9	1,5	1,8	0,97	0,24	0,20		0,038	0,006	0,004	33,3
	52,0	40,0	-	2,7	1,9	0,38	0,15	0,21		0,046	0,007	0,0045	35,7
	52,5	41,5	-	2,2	1,9	1,45	0,12	0,15	0,028	0,006	0,004	33,3	
	32,1	30,1	12,6	4,3	2,8	8,3	0,32	0,74	0,073	0,006	0,004	33,3	
	33,9	29,3	11,1	3,4	2,8	13,4	0,21	0,60	0,042	0,007	0,004	42,8	
12X18H10T	31,1	26,9	19,2	1,8	8,0	7,9	0,45	0,27	2,6 2,3	0,051	0,007	0,004	42,8
	31,6	26,2	15,5	1,9	7,3	9,2	0,41	0,23		0,043	0,005	0,005	0
	34,2	34,1	16,3	15,2	2,5	1,1	0,38	0,39		0,021	0,005	0,005	0
	35,5	33,5	9,4	8,5	2,6	7,4	0,43	0,30		0,014	0,005	0,005	0
	27,4	28,5	22,5	16,5	2,1	0,9	0,25	1,2		0,055	0,005	0,005	0
	28,5	27,8	20,6	9,3	2,2	6,1	0,23	0,9	0,048	0,005	0,005	0	

*Чисельник – вміст компонента до ЕШР, знаменник – після ЕШР

Зменшення вмісту водню у сталі 12X18H10T після ЕШР становить до 23% (табл. 3.15).

Таблиця 3.15 – Зміна вмісту водню у сталі

Марка сталі	Вміст водню в металі, % (по масі), в залежності від виробництва			Зниження вмісту водню після ЕШР, % від рівня в вихідному металі
	Звичайна розливка	ЕШР	ЕШП	
ШХ15	0,00017-0,00022	0,00015-0,00019	0,00016-0,00026	11
	0,00018	0,00016	0,00019	
18X2H4BA	0,00015-0,00025	0,00015-0,00020	0,00011-0,00034	20
	0,00020	0,00016	0,00016	
38X2MЮА	0,00015-0,00040	0,0001-0,0004	0,0001-0,0004	17
	0,00030	0,00025	0,00025	
20X13	0,00020-0,00036	0,00021-0,00026	0,00024-0,00030	23
	0,00030	0,00023	0,00026	
12X18H10T	0,00109	0,0007-0,0014	0,00065-0,0013	14
		0,00094	0,00091	
У7А	0,00015-0,00022	0,00015-0,00018	-	11
	0,00018	0,00016		

У табл. 3.16 наведені середні вмісту кисню в сталях, що виплавляються у різний спосіб. Вони свідчать про те, що в металі ЕШР концентрація кисню на 9-66% нижча, ніж у разі звичайного розливання, але трохи вища, ніж після ЕШП.

Таблиця 3.16 – Вміст кисню в сталі за різної технології її виробництва

Марка сталі	Вміст кисню в металі, % (по масі), в залежності від технології виробництва			Зниження вмісту кисню після ЕШР, % від рівня в вихідному металі
	Звичайна розливка	ЕШР	ЕШП	
18X2H4BA	0,0072-0,0092	0,0041-0,0056	0,0034-0,0060	37
	0,0082	0,0052	0,0050	
20X13	0,0012-0,0021	0,0029-0,0083	0,0044-0,0084	66
	0,0016	0,0054	0,0058	
12X18H10T	0,0040	0,0020-0,0053	0,0030-0,0035	15
		0,0034	0,0033	
У7А	0,0030-0,0040	0,0020-0,0040	-	9
	0,0035	0,0032		

Можна також помітити, що різниця у вмісті кисню після звичайного і електрошлакового розливання у сталей, легованих елементами, що легко окисляються, більша, ніж у вуглецевих. Ця особливість дозволяє припустити, що одна з причин менше окисленості металу ЕШР полягає в тому, що після заливання він ізольований від повітря шаром флюсу і не стикається з вогнетривами. Більш того, ванна беззалізного шлаку, в яку занурені графітові електроди, може поглинати кисень з рідкого металу. Це припущення підтверджується тим фактом, що концентрація кисню в сталі 12Х18Н10Т після ЕШР з використанням графітових електродів (0,0032%) помітно нижче, ніж у разі застосування мідного водоохолоджуваного електрода (0,0043%).

Практика показала, що сталь, піддана ЕШР, забруднена неметалевими включеннями значно менше, ніж після звичайного розливання, і наближається у цьому відношенні до металу ЕШП (табл. 3.17). Для додаткової перевірки цього висновку на обох заводах були проведені спеціальні досліді.

Таблиця 3.17 – Середня забрудненість неметалевими включеннями прокату із сталей, що виготовляються на ЧМЗ при застосуванні різної технології виробництва

Марка сталі	Основні види включень	Середня забрудненість (в балах ГОСТ 1778-62)		
		Звичайна розливка	ЕШР	ЕШП
У7А	Оксиди строчечні	2,3	1,4	-
ШХ15	Оксиди строчечні	1,92	0,98	0,90
	Глобулі	1,29	0,95	1,00
20Х13	Оксиди строчечні	2,2	1,34	1,2
	Оксиди точкові	1,42	-	0,6
	Глобулі	-	0,4	0,6
	Силікати крихкі	2,26	1,36	0,30
12Х18Н10Т	Нітриди строчечні	2,00	1,90	1,32
	Нітриди точкові	1,2	1,0	1,5

Сталь марок У7А, 20Х13, 12Х18Н10Т і 9Х виплавляли в дугових електропечах і після випуску всієї плавки в один ківш половину розливали на

установці ЕШР, а інше - за звичайною технологією. Результати оцінки забрудненості включеннями злитків, а також виробів однакового профілю (табл. 3.18) з дослідного та контрольного металу підтвердили переваги першого.

Таблиця 3.18 – Забрудненість включеннями прокатоної сталі плавом, розлитих з одного ковша звичайним та електро-шлаковим методами

Марка сталі	Основні види включень	Середній бал забрудненості за ГОСТ 1778-62	
		Звичайна розливка	ЕШР
У7А	Оксиди	2,90	1,38
	Сульфіди	2,17	1,32
20Х13	Оксиди	3,0	1,0
	Сульфіди	0,8	0,5
	Глобулі	0,8	0,25
12Х18Н10Т	Нітриди строчечні	3,0	1,4
	Нітриди точкові	1,9	1,3

Знижена забрудненість металу ЕШР кисневими включеннями, що виділяються при затвердінні розплаву, мабуть, обумовлена меншою його окиснення. Інші причини можуть полягати в тому, що як екзогенні, так і ендегенні частинки, що знаходяться у сталі під час ЕШР, можуть переходити до шлаку. Цей процес термодинамічно виправданий для будь-яких складів флюсу, сталі та включень, оскільки у всіх випадках супроводжується зменшенням ізобарного потенціалу [10]. Швидкість процесу може лімітуватися доставкою завислих у металі частинок до кордону зі шлаком. При ЕШР така доставка пришвидшується інтенсивним перемішуванням сталі з рідким флюсом. Однак його крапельки, емульговані в металі, повинні бути не надто дрібними, щоб встигнути впливати з нього до затвердіння, тому що в іншому випадку можливо було б забруднення сталі шлаковими включеннями. Хімічний, металографічний та петрографічний аналіз деяких глобулярних та пластичних кисневих включень, виділених з металу ЕШР, підтверджує таку можливість.

3.10 Формування поверхні злитків ЕШР

Як зазначалося вище, серйозною пороком злитків багатьох нержавіючих сталей звичайної розливки є утворення на них. поверхні окисних полон і кірок, що призводять до високого (до кількох відсотків) шлюбу прокату по рванінах. Для його скорочення такі зливки піддають зачистці або стружці; при цьому губиться до 3,5% металу.

Про причину виникнення зазначених дефектів було зазначено раніше. Тут слід додатково відзначити, що при тривалому виливку масивних злитків (6-т і більше) утворюється окисна плівка перетворюється на товсту тверду кірку, яка, розриваючись, може загортатися в метал на значну глибину.

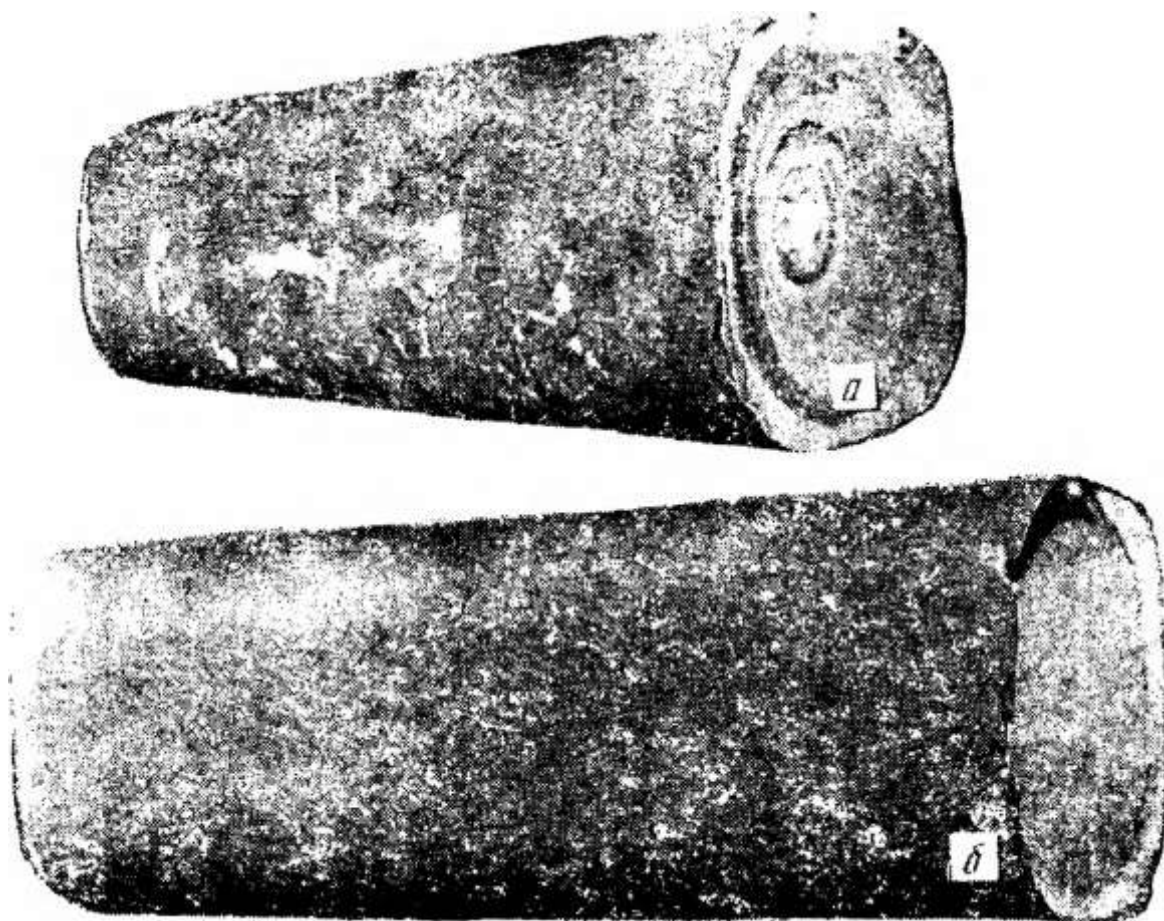
Під час ЕШР, як і у випадку ЕШП, поверхня металевого розплаву захищена від повітря ванною беззалізного флюсу, а від стінок кристалізатора – гладкою скоринкою шлакового гарнісажу. Це в принципі дозволяє отримати литу поверхню будь-яких сталей гладкої, що не потребує зачистки. Однак у перших злитків ЕШР сталі 12Х18Н10Т, які були розлиті під флюсом АНФ-6, що застосовується для ЕШП цього металу, поверхня була шорсткою з численними залишками шлакового гарнісажу (рис. 6).

Для усунення цього дефекту спочатку випробували різні добавки вапна до флюсу АНФ-6 [11, 12], зберігаючи постійним співвідношення вмісту $\text{CaF}_2:\text{Al}_2\text{O}_3=1$. Паралельно з виробничими випробуваннями шлакових композицій вимірювали в лабораторних умовах їхню в'язкість та інші властивості [13, 14].

Зі збільшенням концентрації окису кальцію в шлаку від 0 до 20% кількість залишків гарнісажу на злитку убувала.

У злитків, відлитих під флюсом, що містив 20% CaO, 48% CaF_2 та 32% Al_2O_3 , на поверхні були численні затоки металу (див. рис. 6). Очевидно, незатверділа плівка цього шлаку (найменш в'язкого з випробуваних) відтіснялася рідкою сталлю від стінок кристалізатора. У подальших дослідах, збільшуючи в'язкість флюсу за рахунок зменшення співвідношення вмісту $\text{CaF}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ з 1,5 до 1; 0,8 і 0,7 домоглися спочатку скорочення, а потім і повної

ліквідації заток. Цілком чисті та гладкі зливки (див. рис. 3.8) були отримані під шлаком, що складався з 25% CaO, 31% CaF₂ і 44% Al₂O₃, який і був прийнятий для серійної технології ЕШР сталі 12Х18Н10Т.



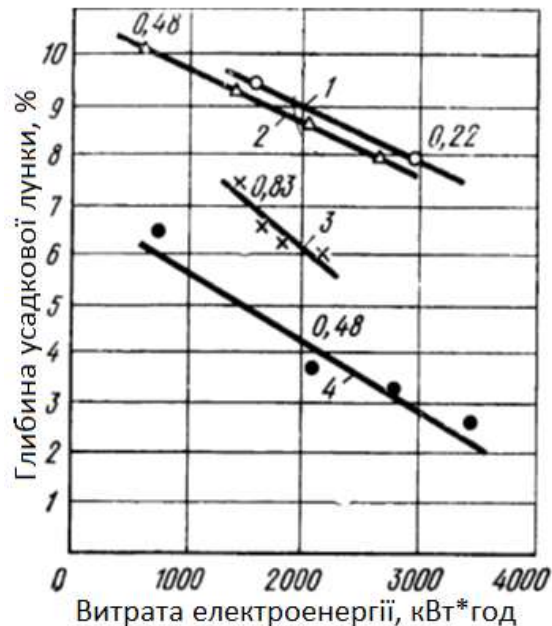
а - із залізами та залишками шлакового гарнісажу; б - чиста

Рисунок 3.8 – Поверхня злитків ЕШР

3.11 Особливості структури злитків ЕШР підбір режиму електрошлакового обігріву

На першому етапі розробки процесу ЕШР сталі різних марок емпірично підбирали параметри електрошлакового обігріву, які дозволяли б отримувати у водоохолоджуваному кристалізаторі зливки з дрібною усадковою лункою, а в чавунній виливниці з прибутковою надставкою — зливки з неглибокою усадковою раковиною.

Досліди показали, що глибина усадкової лунки скорочується із збільшенням витрати енергії обігріву (рис. 3.9). За однакових її витрат та інших однакових умов глибина усадки істотно залежить від властивостей металу. Так, у сталей ШХ15, 38Х2МЮА та 18Х2Н4ВА лунка значно дрібніша, ніж у сталі 12Х18Н10Т.



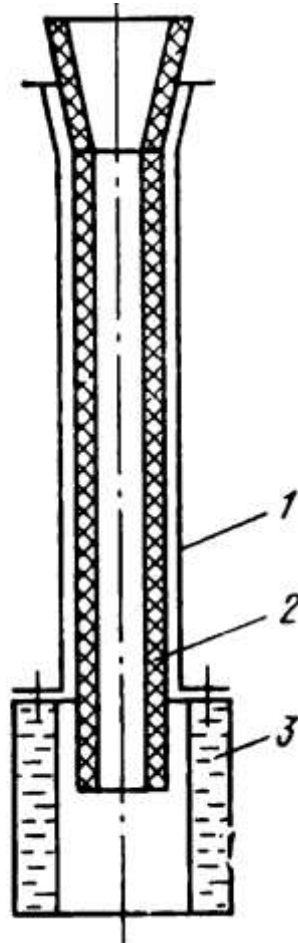
1 – порожнистим графітовим електродом при діаметрах 190/350; 2 – то ж, при діаметрах 310/500; 3 – системою із суцільних графітових електродів; 4 – мідним водоохолоджуваним електродом при діаметрах 310/500.

Цифри у прямих – значення коефіцієнта «заповнення» кристалізатора

Рисунок 3.9 – Залежність глибини усадкової лунки в зливках сталі 12Х18Н10Т ЕШР від витрати енергії на електрошлаковий обігрів

Великий вплив на ефективність підведення тепла висота розрядного шлакового проміжку між торцями електродів і поверхнею металу. Зі зменшенням цього проміжку зона тепловиділень наближається до зливка і віддаляється від тепловипромінюючої поверхні шлаку, внаслідок чого к.п.д. обігріву збільшується. Оскільки при постійному питомому електроопорі шлаку величина розрядного проміжку пропорційна напрузі, доцільно вести обігрів на нижчих щаблях вторинної напруги трансформатора (в умовах ЧМЗ 55 при максимальних силах струму 12-14 кА).

Додаткове скорочення розрядного проміжку досягали, замінюючи графітові електроди мідним водоохолоджуваним електродом (рис. 8), біля поверхні якого шлак внаслідок зниженої температури мав підвищений питомий електроопір. При використанні такого електрода вдавалося отримати найдрібнішу садибну лунку (2,6% висоти зливка).



- 1 – струмопровідні шини; 2 – центрова;
3 – мідний водоохолоджувальний електрод

Рисунок 3.10 – Центрова з мідним водоохолоджуваним електродом

Однак тривала експлуатація такого електрода виявилася неможливою через специфічну ерозію його під дією мікродуг, що виникають в зоні контакту мідної стінки з в'язкою, що намерзає на ній, кіркою шлаку.

Одна з причин утворення усадкової лунки полягає в тому, що периферійна зона верху зливка охолоджується інтенсивніше осьової частини і кристалізується раніше за неї. Для одночасного затвердіння їх доцільно

видалити джерело тепла від осі, наблизивши його до стінок кристалізатора. Тому якщо на початку експлуатації промислової установки ЕШР на ЧМЗ застосовували порожнистий графітований електрод діаметром 190/350 мм, то згодом його замінили порожнистим електродом більшого діаметру 310/500 мм, спочатку — графітованим, потім — мідним водоохолоджуваним, а згодом — системою яка була прийнята для постійної експлуатації.

Якщо за аналогією з печами ЕШП як міру наближення електродів до стінок кристалізатора використовувати коефіцієнт його «заповнення», рівний відношенню площі зовнішнього контуру електродів до площі перерізу зливки, значення цього коефіцієнта для перерахованих конструкцій: 0,22; 0,48 та 0,83. Зі збільшенням «заповнення» за інших рівних умов глибина усадкової лунки зменшується.

3.12 Якість прокату, поковок і готових виробів з металу ЕШР

Переваги злитків ЕШР (їх чиста поверхня, щільніша і однорідніша структура, знижений вміст сірки та менша забрудненість неметалічними включеннями) визначають підвищену якість металу наступних стадій переділу: прокату, поковок та готових виробів.

Основною продукцією установки ЕШР були 5,7 т зливки сталі 12Х18Н10Т, якість якої вивчено найбільш повно. На обтискному стані 1180 ці зливки прокочували на сляби (перерізом 620х120, 140 або 150 мм) або блюми (300х300 мм). Сляби прокочували на таборі 2300 на лист, а блюми на станах 800 та 350 – на сорт.

На ад'юстаж всіх станів проводили оцінку стану поверхні прокату. Контроль якості металу проводили за ГОСТ 5632-61, 7350-66 та 5582-66, включаючи випробування механічних властивостей, корозійної стійкості, оцінку макроструктури та вмісту альфа-фази. Вибірково досліджували вміст газів та неметалевих включень.

Поверхня. При порівняльному вивченні якості слябів і листів зі сталі 12Х18Н10Т звичайної та електрошлакової розливки враховували, яка частка

їхньої поверхні піддається зачистці, фіксували витрати часу та втрати металу на цій операції, а також шлюб за поверхневими дефектами. Середні дані результатів дослідження наведені нижче.

Данні, що характеризують дефекти поверхні проката	Якісна оцінка дефектів	
	ЕШР	Сифонна розливка
Частка поверхні злитків, що зачищаються, %:		
0-10	84,9	17,3
10-20	6,7	41,4
20-50	8,4	32,3
50	0	5,2
Брак слябів по поверхні, %	0	3,8
Кількість металу, що втрачається при зачистці слябів, %	1,3	2,7
Частка поверхні листів, що зачищають, %		
0-10	87,6	74,1
10-25	10,2	19,8
25-50	2,2	4,0
50-75	0	0,5
75-100	0	1,6

*Кількісна оцінка дана в % від загальної кількості слябів та листів

До цих відомостей слід додати, що тривалість зачищення слябів становить при ЕШР 1,3 хв, а при звичайній сифонній 6,5 хв.

Наведені дані свідчать про те, що ЕШР нержавіючої сталі дозволяє різко покращити якість поверхні одержуваного прокату.

Макроструктури. Макроструктуру прокату сталі 12X18H10T контролюють у передільній заготівлі (квадрат 130 мм) на пробах, що відповідають верхній, середній та нижній частинам зливка. За дефектами макроструктури типу титанистої пористості, ліквацийного квадрата та інших до 10% цієї сталі звичайної розливки піддається повторним випробуванням, а близько 0,08% бракує. На темплетях цієї сталі ЕШР дефекти макроструктури відсутні. Отже, садібна пухкість та пористість у злитках сталі 12X18H10T ЕШР при прокатці повністю заварюються.

На цій підставі норма головного обрізу при прокатці злитків ЕШР була встановлена вдвічі нижчою (8,5%), ніж для злитків звичайного розливання (17%), а в окремих випадках її вдавалося доводити до 6-7%.

Вміст фериту та корозійна стійкість. Корозійна стійкість аустенітних нержавіючих сталей підвищується зі зменшенням кількості та підвищенням дисперсності феритної альфа-фази, виділення якої гальмується при певному співвідношенні концентрацій аустеніто- та феритоутворюючих елементів і при підвищенні швидкості охолодження зливка. Останній фактор, мабуть, визначає поліпшення структури сталі 12X18H10T по альфа-фазі після ЕШП. При ЕШР у водоохолоджуваному кристалізаторі швидкість охолодження теж значно вища, ніж у разі сифонного розливання в чавунну виливницю.

Отже, у структурі металу ЕШР частка феритної складової може бути меншою, а її дисперсність вища за звичайну.

Нижче наведені отримані на ЧМЗ середні результати металографічної оцінки альфа-фази (за ГОСТ 11878-66) в катаній заготівлі (квадрат 130 мм) із сталі 12X18H10T звичайного розливання та ЕШР, а також ЕШП.

Спосіб отримання злитка	Середній бал альфа-фази (квадрат 130 мм)
Звичайна сифнна розливка (1115 кг)	1,7
ЕШР (5800 кг)	0,95
ЕШП (1200 кг)	1,0

З цих даних випливає, що метал ЕШР, незважаючи на вп'ятеро більшу вагу зливка, в середньому характеризується приблизно вдвічі меншим балом по альфа-фазі, ніж метал звичайного розливу і не поступається за цим показником металу ЕШП. Для перевірки цього висновку (з метою виключення впливу хімічного складу сталі 12X18H10T на феритоутворення) п'ять її плавок масою по 10 т розливали з одного ковша в 5,8 злиток ЕШР і сифоном у звичайні зливки масою 1115 кг. На цих плавках переваги металу ЕШР по альфа-фазі виявилися ще більшими (0,7 бала проти 1,7 бала).

При випробуваннях корозійної стійкості за ГОСТ 6032-58 вся сталь 12X18H10T ЕШР виявилася придатною, тоді як до 1,5% плавок цієї сталі після звичайного розливання доводилося повторно випробовувати і відсортувати. Підвищена корозійна стійкість металу ЕШР може бути обумовлена не лише

низьким вмістом та високою дисперсністю фериту, але й меншою забрудненістю неметалевими включеннями.

Механічні властивості. У табл. 3.19 наведено середні результати, отримані при випробуваннях механічних властивостей сталі 12X18H10T звичайного розливання, ЕШР та ЕШП.

З них випливає, що за характеристиками міцності метал ЕШР знаходиться приблизно на одному рівні з металом звичайної розливки, а по пластичності трохи перевершує його. Особливо важливо, що за більшістю механічних властивостей сталь 12X18H10T електрошлакового розливу не поступається металу ЕШП.

Таблиця 3.19 – Середні значення механічних властивостей сталі 12X18H10T ЕШП, ЕШР та звичайного розливання у профілі 25-90 мм

Технологія отримання злитків	Механічні властивості			
	σ_b , кгс/см ²	σ_T , кгс/см ²	δ , %	ψ , %
Сифонна розливка (1115 кг)	58,4	34,1	54,8	74,4
ЕШР (5700 кг)	58,1	33,4	56,8	75,5
ЕШП (1200 кг)	58,0	34,9	56,0	74,07

Пластичні характеристики сталі інших марок в результаті ЕШР зростають ще помітніше: для сталі 20X13 - до 10%, а для сталі 38ХМЮА - до 15-23%. Найімовірніше зазначене підвищення пластичних властивостей металу є наслідком зниження його забрудненості неметалевими включеннями.

Валки холодної прокатки

На ЕЗТМ весь метал ЕШР йде виготовлення валків холодної прокатки. У процесі кування злитків ЕШР зі сталі 9Х і 9ХМФ тріщини не виявлені навіть при втричі більших обтисканнях, ніж у разі звичайного розливання злитків [5, 6]. Підвищена технологічна пластичність металу ЕШР, мабуть, і в цьому випадку пов'язана з меншою забрудненістю його сульфідними та оксидними включеннями, а також більш щільною структурою зливка. Усадочні дефекти в центральній частині таких злитків при куванні заварюються, про що свідчать дані ультразвукового контролю поковок [17].

У проведених дослідженнях [6] від верхньої шийки поковок відрізали поперечні темплети завтовшки 25 мм. З них знімали сірчаний відбиток. Потім після травлення вивчали макроструктуру металу. Надалі з цих темплетів вирізали зразки для електролітичного виділення включень та шліфи для їхнього металографічного дослідження.

Дані оцінки сірчаних відбитків за шкалою УЗТМ з темплетів металу ЕШР та звичайного розливання наведені нижче:

Марка сталі	Середній бал сірчаних відбитків металу	
	ЕШР	Звичайна розливка
9Х2СВФ	0,5-1,0	1,0-1,5
9Х2МФ	0,5-1,0	1,0-1,5
9Х, 9Х2	0,5-1,0	1,0-2,5

З них випливає, що розподіл сірки по поперечному перерізу поковок із сталі ЕШР рівномірніший, ніж у металі звичайної розливки.

Макроструктура всіх досліджених темплетів (понад 40 шт.) була щільною та однорідною.

Металографічний аналіз показав, що в поковках із сталі ЕШР зустрічаються включення тих самих основних типів, що і в металі звичайного розливання.

Відомо, що близько 80% від загальної кількості прокатних валків виходить з ладу через сколи і фарбування загартованого робочого шару бочки під дією високочастотних контактних-втомних напруг. Неметалічні включення, що зустрічаються в робочому шарі, є сильними концентраторами таких напруг, тобто вогнищами руйнування. Це давало підставу вважати, що валки, виготовлені з чистішого за включеннями металу ЕШР, повинні мати підвищену стійкість в експлуатації.

Порівняння експлуатаційної стійкості валків холодної прокатки, виготовлених зі сталі звичайної та ЕШР, було проведено [17] на комбінаті «Запоріжсталь» та на Маріупольському металургійному комбінаті ім. Ілліча.

В однакових умовах експлуатації стійкість оцінювали кількістю тонн сталі, прокатої кожним валком до виходу з ладу. Дані цих випробувань наведено у табл. 3.20.

Таблиця 3.20 – Експлуатаційна стійкість валків холодної прокатки, виготовлених з металу звичайного та електро-шлакового розливання

Завод	Діаметр бочки та довжина валка, мм Марка сталі	Метод розливки	Кількість валків, шт.	Середня стійкість	
				Прокатка на валок, т	%
Запоріжсталь	490x1680	Звичайна	38	23500	100
	9X2	ЕШР	6	35397	150
	400x1200	Звичайна	53	1803	100
	9X2	ЕШР	7	2184	121
Комбінат ім. Ілліча	500x1700	Звичайна	49	17273	100
	9X2СВФ	ЕШР	8	23403	135

З наведених даних випливає, що експлуатаційна стійкість валків із сталі ЕШР на 21—50% вище стійкості валків із металу звичайного розливання.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційних шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища

Електросталеплавильне виробництво - галузь з високим ступенем ризику. У процесі виплавки та розливання сталі металурги мають справу з рідким металом і шлаком та працюють при високих температурах. Важка фізична робота в безпосередній близькості до джерел тепла призводить до перегріву. Підготовка матеріалів і печей для плавлення, розливання, виплавки сталі і розливання чавуну вивільняє на робочому місці велику кількість пилу, променистої енергії, оксидів азоту, сірки та інших небезпечних матеріалів. На заводах, насичених електричними мостовими кранами, зарядними машинами та іншим електричним і механічним обладнанням, існує потенціал для механічного та електричного ураження електричним струмом. Серйозну небезпеку становлять механізми, що обертаються та рухаються. Сталь і шлак, що вивантажуються з печей, які є продуктами плавки, становлять вибухо- і пожежонебезпеку, утворюють гази і підвищують тепловиділення.

Відповідно до класифікації [20, 21], домінуючими є такі небезпечні та шкідливі фактори

- Рушійні машини та механізми
- Рухомі частини виробничого обладнання;
- загазованість робочих зон при продувці металів в ковшах аргонном;
- запиленість робочої зони при роботі з сипучими матеріалами.

Розбризкування і розлив рідкого металу при переміщенні сталерозливних ковшів і з проміжних ковшів; роздавлювання металу з ковшів.

Наслідки: опіки різного ступеня аж до повних опіків працівників.

На поверхні металу можуть виникати незначні іскри, які повністю зникають при використанні порошкового дроту.

Вплив пилу на організм людини залежить від його складу та джерела. Нетоксичний пил подразнює шкіру, очі та вуха. Ступінь дисперсності пилу впливає на його поведінку. Чим вище дисперсність пилу, тим легше і швидше він проникає в організм людини. При вдиханні частинки пилу розміром 0,01-

10 мкм потрапляють в легені людини, частинки розміром 0,01 мкм видихаються назад з повітрям, а частинки розміром 5-10 мкм осідають в носоглотці [22].

На ділянці немає значних газових викидів, а викиди пилу становлять 2-3 кг/хв, що дорівнює 8-9 мг/м³.

Таблиця 4.1 – Оцінка факторів виробничого середовища на робочому місці сталевара

№	Чинники виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі і небезпечні умови			Тривалість дії чинників в заміну %
				I ступінь	II ступінь	III ступінь	
1	Шкідливі хім. речовини, мг/м ³						
	1 клас: хром	0,01	0,036				30
	нікель	0,05	0,125		3,6р		30
	марганець	0,05	0,2		2,5р		25
	бенз(а)пирен	0,00015	0,00026		4р		35
	2 клас: мідь	1,0	1,15	1,7р			25
	3-4 клас: СО	20,0	80	1,15р			80
	SO ₂	10,0	37,5	4р			75
NO	5,0	29,5	3,75р	5,9р		70	
2	Пил, з домішкою діоксиду кремнію 3,16 %	6	9	1,5р	-	-	80
3	Вібрація (загальна і локальна), дБ	92	106		6		100
4	Шум, дБА	80	89	9	-	-	80
5	Мікроклімат в приміщенні:						
	- температура повітря, °С	27	40	-	-	-	80
	- швидкість руху повітря, м/с	<0.5	0.8	1.6р	-	13	80
	- відносна вологість, %	<75	40-60	-	-	-	80
- інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	140	2000-5000	-	-	5000	80	
6	Тяжкість праці	Важка III					
7	Напруженість праці	Напружена					

Як видно з таблиці, відповідно до гігієнічної класифікації праці на умови праці сталевара найбільший вплив оказують такі фактори, як пил і теплове випромінювання (III ступінь шкідливості і небезпеки).

4.2. Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища цеху

Щоб зменшити негативний вплив тепла на здоров'я людини, тепло, що генерується у виробничих приміщеннях, має бути обмежене. Тому печі ізолюють, встановлюючи спеціальні ізоляційні листи. Для відведення конвективного тепла в цеху на даху будівлі цеху встановлені два аераційні ліхтарі. У сталеплавильному цеху також встановлені повітряні душі для боротьби з надлишковим теплом.

Важливою умовою для створення хороших умов праці є організований повітрообмін. Зовнішнє повітря надходить на завод через отвори в стінах, вікна та залізничні турнікети. Стінові отвори закриті розпашними панелями, а вікна мають балюстради. Це дозволяє регулювати потік зовнішнього повітря. У теплу пору року повітря надходить до цеху через припливні отвори на висоті робочої зони, а в холодну - через отвори, розташовані на відстані не менше 4 м від висоти робочого столу. Повітря видаляється через витяжні шахти та аераційні ліхтарі. Для охолодження надлишкового тепла в цеху і зменшення його впливу в цехах сталеливарників може здійснюватися дрібнодисперсне розбризкування.

Дуже важливе значення на робочому місці має обдування повітрям. У цьому випадку повітря, що подається вентилятором з температурою, нижчою за температуру навколишнього повітря, обволікає робітників, полегшуючи процес випаровування і допомагаючи охолодити тіло робітників. Повітряні душові установки (стаціонарні або мобільні) встановлюються таким чином, щоб потік повітря був спрямований на робочу зону сталеливарників, забезпечуючи спрямовану рециркуляцію повітря.

Заводи повинні зменшити вплив радіації шляхом встановлення теплових водяних охолоджувальних екранів у робочих зонах сталеливарників, які встановлюються біля стін печей, сходових кліток, рам робочих вікон і прорізів для розливання сталі. Теплові екрани допомагають локалізувати джерела променевого тепла, зменшити опромінення на робочому місці та знизити температуру поверхні навколо робочого місця.

Захист від шуму і вібрації на робочому місці забезпечується відповідною щільністю повітропроводів, газопроводів, клапанів, кришок печей і повітронагрівачів. Особливу роль в усуненні впливу шуму і вібрації відіграють автоматизація і механізація технологічних процесів.

Шум і вібрація знижуються за рахунок використання амортизаторів і полегшених ущільнень на трасах вентиляційних систем, а також амортизаційних підвісок на вібраційних двигунах.

Спецодяг виготовляється з вогнестійких просочених бавовняних, напіввовняних і вовняних тканин. Спецодяг для машиністів рупорів та операторів жолобів розливних машин повинен бути виготовлений з металізованих вогнетривких тканин на основі азбесту та скловолокна, металізованих вогнетривких тканин. Чоботи повинні бути з вставками для ніг або з манжетами. Черевики повинні бути оснащені термозахисними прокладками спереду та ізоляційними прокладками між верхом і підошвою.

Для захисту очей і обличчя від бризок розплавленого металу і шлаку, ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання використовуються захисні окуляри з безосколкового скла з бічним захистом і сітчасті маски. Скло SS-14 використовується при роботі біля печі.

Захисні пасти, креми та мазі використовуються для захисту шкіри рук, обличчя та шиї. Засоби індивідуального захисту органів дихання від дії задушливих і токсичних газів, парів і пилу включають респіратори (ШБ-1, У-2К, РП-К, Астра-2) і промислові протигази. Для захисту від шуму на металургійних заводах використовуються звукопоглинаючі вкладиші з пінополіуретану (FPU-S). Беруші розраховані на одноденне використання. Вкладиші ("шумопоглинаючі навушники").

Рукавички з подвійними шарами паралону використовуються для захисту від вібрації. Також використовуються антивібраційні пояси, подушки, прокладки, антивібраційне взуття та антивібраційні килимки.

4.3 Заходи з електробезпеки

Вплив електричного струму може призвести до ураження електричним струмом або опіків. Ураження електричним струмом може бути спричинене

контактом зі струмопровідними частинами обладнання. Опіки спричиняються електричною дугою, пов'язаною з процесом перемикання електричних ланцюгів.

Електричні мережі в цехах складаються з ізольованих проводів або кабелів із захисною оболонкою, які відповідають експлуатаційним вимогам механічної міцності і стійкості до впливу навколишнього середовища.

Напруга вище 250 В в мережах загального освітлення не допускається. У приміщеннях з підвищеною небезпекою, особливо там, де є небезпека для місцевих світильників, ремонтних світильників і ручного інструменту, напруга не повинна перевищувати 36 В.

Вертикальні та горизонтальні відстані від електричних проводів до землі, транспортних шляхів, будівель та інших об'єктів нормуються. Мінімально допустима площа поперечного перерізу дроту також визначена з точки зору механічної міцності та запобігання обриву дроту.

Для захисту від дотику струмоведучі частини повинні бути недоступними (на висоті, під підлогою або заховані в стінах). Мінімальна висота підвісу оголених електричних проводів становить 3,5 м (за винятком випадків, коли необхідна більша висота через можливий контакт з предметами з землі або транспортними засобами, що проїжджають повз), тоді як мінімально допустима відстань від проводу, що працює під напругою 15 кВ, становить 0,7 м, а під напругою 220 кВ - 3 м.

Оголені струмоведучі частини, до яких можуть торкатися люди, надійно закриті в безпечних приміщеннях, а при напрузі понад 65 В - 36 В у вибухонебезпечних приміщеннях. При напрузі понад 250 В захищаються як оголені струмоведучі частини, так і ізольовані активні частини. Електрообладнання пофарбоване у встановлений колір. Це робиться не тільки для ідентифікації та естетичних цілей, але й виконує захисну функцію, оскільки його ізоляційні властивості виключають або зменшують ризик утворення електричних ланцюгів через тіла працівників у разі аварії.

В якості захисної ізоляції можуть використовуватися електроізоляційні лаки, плівки, емалі та олійні фарби [23].

4.4 Заходи пожежної безпеки

Спеціальні електрометалургійні цехи відносяться до категорії пожежної небезпеки Г, оскільки вони передбачають обробку неспалених матеріалів у гарячому та розплавленому стані за допомогою випромінюваного тепла та полум'я.

Будівля виконана зі сталі та залізобетону, які є вогнестійкими матеріалами. За ступенем вогнестійкості конструкції цех відноситься до I ступеня вогнестійкості.

У цехах можливе налипання рідкого металу і шлаку на мокру підлогу, ґрунт, матеріали і конструкції. Такі явища зазвичай супроводжуються вибухами, пов'язаними з викидом рідкого металу або шлаку.

Вибухи на лопатках надзвичайно небезпечні. Це пов'язано з тим, що при відкритті лопатки в робочу зону викидається гарячий кокс або газ, який займається і горить в атмосфері, утворюючи довге полум'я.

Заходи пожежної безпеки Для обмеження поширення вогню використовуються негорючі матеріали (азбест, спеціальна вата). У місцях входу газопроводу в підвал будівлі конвертерного цеху встановлені дренажні системи, що запобігають потраплянню газу в ці приміщення.

Пожежна частина розташована на відстані 4 км від цехів.

Зовнішнє пожежогасіння приміщень цеху забезпечується кільцевою мережею пожежних гідрантів і протипожежним водопроводом. Розрахункова витрата води на пожежогасіння становить 40 літрів на секунду, а кількість одночасних пожеж - одна. Модульна автоматична система аерозольного та порошкового пожежогасіння (АСП) призначена для виявлення пожежі, оповіщення чергового про пожежу в приміщенні, подачі та розпилення вогнегасних речовин в межах приміщень, що захищаються, локалізації та гасіння пожежі на ранніх стадіях.

Евакуаційні шляхи призначені для евакуації людей з цехів у разі виникнення пожежі. Швидкість руху людей при вимушеній евакуації - 16 м/хв. Допустима довжина шляхів евакуації - не більше 50 м для одноповерхових виробничих будівель I та II ступенів вогнестійкості та для виробничих приміщень категорії А. Сумарна ширина евакуаційних шляхів та виходів

визначається з розрахунку 0,6 ширини на 100 евакуйованих. Кількість запроектованих виходів - не менше двох (по можливості з протилежних сторін приміщення).

У межах захищених приміщень робочого місця технічні засоби пожежної сигналізації повинні включати теплові пожежні та димові сповіщувачі марки Z-2000-SMK.

На зовнішніх виходах встановити ручні пожежні сповіщувачі наступного виробника: VolidIPR-513-3A (сповіщувач пожежний ручний).

Система пожежної сигналізації призначена для виявлення пожежі та забезпечення звукової та візуальної сигналізації про спрацювання пожежного сповіщувача [24].

4.5 Технічні заходи виробничої санітарії

4.5.1 Освітлення виробничих приміщень

Цех має природне та штучне освітлення.

Для проникнення природного світла в стінах будівлі магазину є мансардні вікна. Площа вікон становить 20% від площі підлоги. Нормативне значення коефіцієнта природного освітлення - 1% [25].

Там, де природного освітлення недостатньо, використовується штучне освітлення з мінімальною інтенсивністю 300 лк відповідно до норм освітленості для штучного освітлення. Штучне освітлення забезпечується лампами розжарювання типу НБ потужністю 60 і 100 Вт та типу НГ потужністю 500 Вт. Світлова віддача ламп зростає зі збільшенням потужності, але ніколи не перевищує 18 лм/Вт.

Установка характеризується наявністю освітлених об'єктів (полум'я, розплавлений і нагрітий метал, шлак) в полі зору оператора. Яскравість нагрітого металу коливається від 71500 до 112000 нт. Умови роботи вимагають дивитися на поверхню, що світиться, щоб контролювати процес і візуально судити про температуру, якість металу і шлаку тощо.

Тому яскравість адаптованої зони повинна бути постійною (тобто постійний рівень освітленості на навколишніх предметах).

Освітленість на ділянці допускається до 5 люкс. Живлення системи освітлення планується від проектної електромережі 380/220 В робочого місця. Коефіцієнт запасу для світильників за запиленістю становить 1,7.

Відповідно до норм роботи з матеріалами і виробами, що світяться, в гарячих цехах мінімальний розмір об'єктів, що підлягають ідентифікації, становить 0,5 мм і більше. Розряд зорової роботи за цих умов - VII. Коефіцієнт природної освітленості при комбінованому освітленні становить $E_n = 2,7 \%$, а при нормальному освітленні - $E_n = 0,9 \%$ [25].

4.5.2 Опалення і вентиляція

Велика кількість надлишкового тепла, що утворюється в цеху, вимагає великої кількості повітрообміну, особливо в літні місяці.

Вентиляція досягається за рахунок руху повітря, при якому забруднене повітря видаляється з приміщення, а свіже надходить в приміщення. Природний повітрообмін у виробничій зоні ділянки фінішної обробки металу за межами печі в конвертерному цеху відбувається під впливом двох факторів: теплового тиску, обумовленого різницею температур, і вітрового тиску, обумовленого тиском вітру.

У зовнішніх стінах є отвори для припливу зовнішнього повітря, висота внизу отворів - 2 метри. Для збільшення теплового тиску в будівлі цеху є витяжна шахта. У витяжних шахтах встановлені дефлектори для збільшення повітрообміну за рахунок тиску вітру. Таке розташування отворів необхідне для збільшення повітрообміну влітку (за рахунок відкриття обох рядів отворів) і зменшення повітрообміну взимку за рахунок закриття нижніх отворів, щоб тепло, яке надходить з приміщення, нагрівалося до того, як потрапить в цех.

Інфрачервоне випромінювання в цеху становить 1000 Вт/м^2 , що перевищує гранично допустиму норму.

Заходи захисту від випромінювання включають використання спеціального одягу, що складається з костюмів, темно-синіх окулярів, черевиків, рукавичок і касок, дотримання інструкцій і заборону працівникам залишатися в небезпечній зоні (радіусом 5-6 м) під час переливання рідкого металу [26].

4.5.3 Виробничий шум

Ніяких спеціальних архітектурних рішень, конструкцій або обладнання не передбачено, оскільки рівень шуму в цеху не перевищує 80 дБ і не перевищуються гранично допустимі рівні шуму згідно з [27, 28]. Шум може викликати загальнобіологічні зміни, функціональні порушення, втрату слуху, механічні пошкодження, що призводять до професійних захворювань, таких як розриви барабанних перетинок (при 120-140 дБ), серцево-судинні зміни та шлунково-кишкові розлади.

Джерелами шуму в приміщеннях заводу є печі, технологічне обладнання (наприклад, мостові крани, насоси, навантажувачі) і лопатеві сопла, які виділяють кисень зі швидкістю звуку.

Для зниження рівня шуму на території заводу були вжиті наступні заходи

- Для зниження рівня шуму агрегати з обробки металу ізольовані в спеціальних укриттях, що дозволяє знизити рівень шуму поблизу технологічного обладнання;
- встановлені системи вентиляції в окремих приміщеннях і зовні будівлі конвертерного цеху;
- Вентилятори встановлені на антивібраційних основах і з'єднані з повітроводами через гнучкі вставки;
- Використання звукопоглинальних матеріалів на стінах;
- Використання засобів індивідуального захисту (спеціальні каски, спеціально розроблені звукоізоляційні телефони (звукоізоляційні вкладиші, беруші)).

Висновки

Розроблено та впроваджено нову технологію – електрошлакове розливання злитків. Проведено дослідження якості металу електрошлакового розливання порівняно з металом звичайного розливання.

Запропонована до введення в експлуатацію дослідно-промислова установка для електрошлакового розливання злитків.

В результаті проведення роботи встановлено:

- а) зменшення вмісту неметалевих включень у 2-2,5 рази;
- б) зменшення вмісту сірки в 2-2,5 рази;
- в) поліпшення механічних властивостей на поздовжніх та поперечних зразках та зменшення анізотропії.

За даними, отриманими від заводів-споживачів, встановлено підвищення експлуатаційної стійкості, валків холодної прокатки із сталі ЕШР на 35%.

Перелік джерел посилання

1. Основи металургійного виробництва металів і сплавів : підручник для металург. спец. вищ. навч. закл. / Д. Ф. Чернега, В. С. Богушевський, Ю. Я. Готвянський [та ін.] ; за ред. Д. Ф. Чернеги, Ю. Я. Готвянського. Київ : Вища школа, 2006. 503 с.
2. Дурягіна З. А., Лизун О. Я., Пілюшенко В. Л. Сплави з особливими властивостями : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закладів. Львів : Львівська політехніка, 2007. 236 с.
3. Теорія будови рідкого, аморфного і кристалічного стану (об'єм поверхні та поверхня в об'ємі) : монографія / М.М. Бережний та ін. Кривий Ріг : «Мінерал», 2007. 291 с.
4. Смірнов О. М., Макуров С. Л., Сафонов В. М. Виробництво зливків сталі та промислових сплавів : навч. посіб. Донецьк : Ноулідж, 2013. 405 с.
5. Попович В. В., Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Львів : Світ, 2006. 624 с.
6. Атаманюк В. В. Технологія конструкційних матеріалів. Київ : Кондор, 2006. 528 с.
7. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва : навч. посіб. / А. М. Верховлюк, А. В. Нарівський, В. Г. Могилатенко. За редакцією академіка НАН України В. Л. Найдека. Київ : Видавничий дім "Вініченко", 2016. 224 с.
8. Збожна О. М. Основи технологій : навч. посіб. Тернопіль : Картбланш, 2002. С. 30–58.
9. Смирнов В. О., Білецький В. С. Фізичні та хімічні основи виробництва. Київ : Наука, 2005. С. 45–48.
10. Афтандіянц Є. Г., Зазимко О. В., Лопатько К. Г., Поліщук А. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Конспект лекцій в 2-х книгах. Київ: НУБіП України, 2016. 125 с.
11. Сологуб М. А., Рожнецький І. О., Некоз О. І. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство. Київ : Техніка, 2002. С. 374.

12. Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Книга I. Львів. 2000. С. 264.
13. Попович В., Голубець В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Книга II. Суми : Університетська книга, 2002. С.259.
- 14.Свяжин А. Г., Шахпазов Е. Х., Романович Д. А. Рециркуляція шлаков чёрной металлургии. Металлург. 1998. №4. С. 25-27.
- 15.Бойченко Б. М. Конверторное производство стали: теория, технология, качество стали. Днепропетровск : Днипро, 2004. 470 с.
- 16.Державні санітарні правила "Підприємства чорної металургії" ДСП 3.3.1.038-99.
- 17.Наказ МОЗ від 14.07.2020 № 1596 «Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони».
- 18.Наказ МОЗ України «Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони» 14.07.2020 № 1596.

ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні



**III ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ ЗА
УЧАСТЮ МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ
«АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СТАЛОГО НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО ТА
СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ»**

17-20 жовтня 2023 року



(наприклад, хромонікелеві нержавіючі сталі). Залежно від складу сталі та умов охолодження аустеніт може зберегтися частково у вуглецевих або легованих сталях.

Сталь 110Г13Л застосовується для виготовлення зубів ковшів екскаватора та інших деталей, що працюють при великих тисках та ударних навантаженнях, наприклад: траки гусениць танків, тракторів, машин, щоки дробарок, рейкові хрестовини, стрілочні переведення, що працюють в умовах ударних навантажень та стирання, а також - віконні ґрати у в'язницях, які неможливо перепилати.

УДК 669.1

Румянцев В.Р., к.т.н., Нетяга А.В. магістрант 2 курсу,
Єлісеєв О.Є., ЗдВО 4 курсу
Науковий керівник – к.т.н., Румянцев В.Р.

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО РОЗЛИВАННЯ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М.Потебні Запорізького національного університету, кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

При виготовленні жароміцних сплавів широкого поширення набули спеціальні методи виплавки у вакуумі, у захисній атмосфері із застосуванням електрошлакового та вакуумного дугового переплаву, з використанням різних розкислювачів, малих добавок, у тому числі рідкісноземельних елементів. Для деталей, що виготовляються методами точного лиття, важливе значення має спосіб заливання та кристалізації. Методи виплавки та заливки впливають на властивості металу як до, так і після гарячої обробки (кування, прокатки, термічної обробки). Встановлено, що методи виплавки та розливу впливають на вміст у металі газів, різних оксидів у вигляді полон, неметалевих включень, шкідливих домішок, зазвичай хімічно невизначених, а також на розміри включень, їх розподіл усередині зерна та пористість. Вакуумний переплав впливає на анізотропію властивостей, кількість і характер розподілу неметалевих включень, прожарювання, перехідну температуру крихкості і особливо на ліквідаційну неоднорідність металу.

Коли потрібна висока якість злитків, використовують спеціальні методи очищення сталі. У процесі електрошлакового переплаву, наприклад, сталевий електрод, відлитий зі сталі будь-яким із перерахованих вище методів, служить анодом у ванній з флюсом на основі фториду кальцію і розплавлений метал осідає на дно ванни, де безперервно твердне. Для отримання великих зливків можна використовувати електроди різної конфігурації. Цей процес забезпечує гарний розподіл частинок інтерметалідів і тому дозволяє зменшити відходи, пов'язані з виробництвом дрібних зливків, і водночас забезпечити отримання дрібного зерна. Для отримання високоякісної сталі використовують вакуумний

процес рафінування. Витрата електродів при вакуумній дуговій плавці такий же або дещо більший, ніж при електрошлаковому перепаві.

При розливанні сталі під рідким шлаком, а також при електрошлаковому перепаві на поверхні злитків сталі типу X18H10T зустрічаються дефекти у вигляді залив металу за шлаковий гарнісаж. Дефект утворюється при уповільненій кристалізації поверхневої кірки зливка, яка не може витримати тиску рідкої металевої ванни. Вище вказувалося, що при розливанні у виливниці необхідне їхнє ретельне чищення від залишків шлаку, при ЕШП слід знижувати швидкість наплавлення.

Завдання підвищення чистоти сталі, що виплавляється в специфічних умовах заводу (одиничне машинобудування) вирішувалися в основному шляхом застосування установок електрошлакового розливу (ЕШР) і електрошлакового перепаву (ЕШП), а також обробки рідкої сталі синтетичними шлаками. Застосування чистої сталі має особливе значення для валків холодної прокатки. Як показують дані експлуатації, стійкість останніх при застосуванні сталей ЕШП підвищується в 13-16 рази.

Одним із сучасних методів є електрошлакове розливання сталей і сплавів через шар рідкого шлаку у водоохолоджуваному кристалізаторі.

Процес електрошлакового розливу зводиться до наведення рідкої шлакової ванни в кристалізаторі, заливанні металу в кристалізатор через шар шлаку і виведення усадки шляхом електротермічного прогріву верхньої частини зливка витрачається або невитратним електродом. В основному застосовують графітові електроди, всередині яких є отвір. Через цей отвір подають метал з ковша у водоохолоджуваній кристалізатор. Кристалізатор – двостінна водоохолоджувальна виливниця для прискореного затвердіння розплавленого металу – стоїть на водоохолоджуваному піддоні, на дні якого знаходиться затравка товщиною 40 мм. Між електродом та затравкою виникає дуга, яка розплавляє шлак. Розливання триває 12-18 хв. Дефекти, що виникають на первинному етапі, - при плавці значною мірою усуваються веденням плавки електрошлаковим перепавом.

Розливання через шар активного шлаку в мідний водоохолоджуваній кристалізатор, електрошлакове підживлення верхньої частини зливка забезпечують отримання задовільної поверхні та структури зливка, підвищення його чистоти по неметалевих включень і газів.

Так як тривала міцність і тривала пластичність значною мірою визначаються забрудненістю металу неметалевими включеннями та домішками кольорових металів, то доцільно використовувати способи виплавки та розливу, що дозволяють отримувати більш чистий метал (зокрема шляхом електрошлакового перепаву – ЕШП).

Зі сталі при розливанні у вакуумі видаляються близько 60 % розчиненого водню та інші гази, зменшується кількість неметалевих включень, підвищуються механічні властивості та пластичність. Вартість злитків, відлитих у такий спосіб, значно підвищується. Для значного поліпшення якості сталевих злитків у металургії знайшов застосування так званий електрошлаковий перепаву. У злегка конусному водоохолоджуваному

кристалізаторі розплавляють шар шлаку, що містить значну кількість плавикового шпату. До дна виливниці підводять один із полюсів джерела змінного струму великої сили сталевий стрижень або злиток, відлитий будь-яким шляхом, опускають в шлак і підводять до нього інший полюс при досить великій силі струму сталевий стрижень розігрівається і починає плавитися його частина, опущена в шлак. Краплі металу, проходячи через шлак, очищаються від неметалевих включень та розчинених газів. Потрапляючи на холодні стінки виливниці, краплі починають кристалізуватися, утворюючи новий злиток.

УДК 621.7

Скачков В.О., д.т.н., доц., Варченко Д.А., здобувач PhD,
Подорожко В.І., магістрант 2 курсу.
Науковий керівник – д.т.н., доцент Скачков В.О.

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВА ПЕРЕРОБКИ ОЛОВОВМІСНОГО БРУХТУ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету, кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Переробка олова з оловмістних плат і відходів - це важливий процес з точки зору екології та відновлення цінних ресурсів. Олово використовується у виробництві різних електронних компонентів, таких як плати друкованих колодок (ПДК), акумулятори, паяльні сплави та інші вироби. Однак після закінчення терміну служби або внаслідок відходів виробництва чи викидів, оловмісткі відходи можуть стати джерелом забруднення довкілля.[1]

Відповідно до результатів дослідження, у 2022 році світовий ринок олова високої чистоти становив приблизно 3684,37 млн. Очікується, що до кінця 2030 року ринок створить дохід у розмірі приблизно 5987,64 млн., зростаючи щорічно темпи зростання приблизно на 6,26% між 2023 і 2030 роками.[2]

Припій, сплави високої чистоти, складні напівпровідники, електропровідні матеріали та припій — це звичайне застосування металевого олова, яке було очищено до високого ступеня чистоти. Металева олова надзвичайно високої чистоти часто використовується для покриття та захисту інших видів металу. Він діє як бар'єр проти подальшого окислення, утворюючи шар захисного оксиду.

Потреба в олові в сучасному світі визначається різноманітними галузями і факторами, включаючи виробництво електроніки, виробництво акумуляторів і інші технології.[3]

Ось кілька основних кроків у процесі переробки олова з оловмістних плат і відходів. Пошкоджені або застарілі оловмісткі плати та відходи збираються та сортуються для подальшої обробки. Цей етап може включати видалення інших матеріалів, які можуть бути присутні на платах, таких як пластик, скло, метал та інші компоненти.[4].