

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ МЕТАЛУРГІЇ

Кафедра металургії

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота / проект

другий магістерський

(рівень вищої освіти)

на тему Розробка високоякісних сталей в умовах електрошлякового переплаву

Виконав: студент 2 курсу, групи МЕТ-19-501
спеціальності 136-металургія

(код і назва спеціальності)

освітньої програми металургія електронного переплаву

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

Пилишенко С.В.

(ініціали та прізвище)

Керівник д.т.н. проф. Скаженко В.О.

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

Рецензент к.т.н., доц. Харченко О.В.

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

Запоріжжя

2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет металургії
Кафедра металургії
Рівень вищої освіти другий магістрський
Спеціальність 136-металургія
(код та назва)
Освітня програма металургія сорних металів
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри металургії

Григорук Ю.Ф.
« 17 » 09 2019 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Геннадієвську Сергію Євгеновичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Розробка високоміцних сталей в умовах електротермічного переплаву

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

затверджені наказом ЗНУ від « 10 » 09 2019 року № 1540-С

2 Строк подання студентом роботи 30.12.2019р

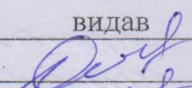
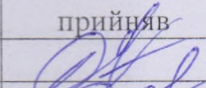
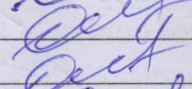
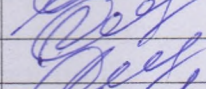
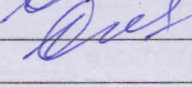
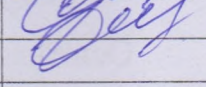
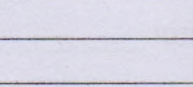
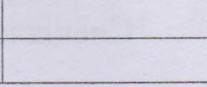
3 Вихідні дані до роботи високоміцні сталі, низькоуглеводородні флюси, літ електротермічного переплаву.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Основні фізико-хімічні процеси при Е.М.Т. Флюси для електротермічного переплаву. Обробка і випробування вихідного металу для Е.М.Т. Вплив технологічних факторів на характер властивостей сталі. Охорона праці та техногенна безпека.

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

Технологічна схема формування високоміцних заготовок високої міцності металу Е.М.Т. Сталі утворювані Е.М.Т. на закритому стадії. Хімічний аналіз флюсів. Залежність електротермічної флюсів Е.М.Т. від металургії. Хімічні процеси на границі флюс-розплав металу. Технологічні параметри Е.М.Т. Температурна Е.М.Т. Методи визначення силари і структури вилучення. Розподіл вилучення за розмірами і групами. Висновки.

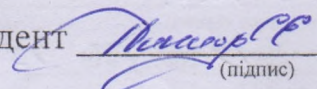
6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	д.т.н. проф. Сиванов В.О.		
2	д.т.н. проф. Сиванов В.О.		
3	д.т.н. проф. Сиванов В.О.		
4	д.т.н. проф. Сиванов В.О.		

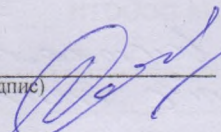
7 Дата видачі завдання 01.10.2019р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

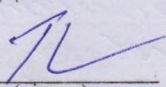
№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технології електродуговою зварювання	1.11.2019р	
2	Технологія виробництва сталі марок ЕМ1	15.11.2019р	
3	Фосфорити професій отримання сталі марок ЕМ1-15 маркою ЕМ1П.	1.12.2019р	
4	Охорона праці та технічна безпека	15.12.2019р	
5	Оформлення зварювального матеріалу	30.12.2019р	

Студент 
(підпис)

С.В. Немидов
(ініціали та прізвище)

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

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер 
(підпис)

С.В. Башнін
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Никифоров С.Є. Розробка високоміцних сталей в умовах електрошлакового переплаву.

Кваліфікаційна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 136 - Metallurgy, науковий керівник д.т.н., проф. В.О. Скачков. Інженерний інститут Запорізького національного університету. Факультет металургії, кафедра металургії, 2020.

Представлено механізми взаємодії хімічних елементів на границі розділу повітря – флюс – розплав металу. Визначено вплив технологічних параметрів електрошлакового переплаву на появу та склад неметалевих включень. Встановлено параметри електричних та теплових режимів в процесі електрошлакового переплаву високоміцних сталей.

Ключові слова: ВИСОКОМІЦНА СТАЛЬ, ЕЛЕКТРОШЛАКОВИЙ ПЕРЕПЛАВ, НЕМЕТАЛЕВІ ВКЛЮЧЕННЯ, ФЛЮС, РОЗПЛАВ МЕТАЛУ, ОКИСЛЕННЯ, ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ.

ANNOTATION

Nikiforov S. Ye. Development of high-strength steels in conditions of electroslag remelting.

Qualification work for obtaining a higher education degree of a master's degree in specialty 136 - Metallurgy, scientific adviser doctor of technical sciences, prof. V.A. Skachkov. Engineering Institute of Zaporizhzhya National University. Faculty of Metallurgy, Department of Metallurgy, 2020.

The mechanisms of interaction of chemical elements at the air - flux - metal melt interface are presented. The influence of technological parameters of electroslag remelting of occurrence and the composition of non-metallic inclusions are determined. The parameters of electrical and thermal conditions in the process of electroslag remelting of high-strength steels are established.

Keywords: HIGH STRENGTH STEEL, ELECTRIC SLAG MELT, NON-METAL INCLUSIONS, FLUX, METAL MELT, OXIDATION, PHYSICAL AND CHEMICAL PROCESSES

АННОТАЦИЯ

Никифоров С.Е. Разработка высокопрочных сталей в условиях электрошлакового переплава

Квалификационная работа для получения степени высшего образования магистра по специальности 136 - Metallurgy, научный руководитель д.т.н., проф. В.А. Скачков. Инженерный институт Запорожского национального университета. Факультет металлургии, кафедра металлургии, 2020.

Представлены механизмы взаимодействия химических элементов на границе раздела воздух - флюс - расплав металла. Определено влияние технологических параметров электрошлакового переплава появления и состав неметаллических включений. Установлены параметры электрических и тепловых режимов в процессе электрошлакового переплава высокопрочных сталей.

Ключевые слова: **ВЫСОКОПРОЧНАЯ СТАЛЬ, ЭЛЕКТРОШЛАКОВИЙ ПЕРЕПЛАВ, НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ВКЛЮЧЕНИЯ, ФЛЮС, РАСПЛАВ МЕТАЛЛА, ОКИСЛЕНИЕ, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ.**

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО	
ПЕРЕПЛАВУ.....	
1.1 Електрошлаковий переплав (ЕШП).....	11
1.2 Основні фізико-хімічні процеси при ЕШП.....	18
1.2.1 Окислення шлаку і передача кисню через шлак до рідкого металу.....	19
1.2.2 Вплив ЕШП на утримання газів.....	20
1.3 Флюси для електрошлакового переплаву.....	22
1.4 Неметалеві включення при ЕШП.....	26
Висновки до розділу 1.....	28
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА СТАЛІ МЕТОДОМ ЕШП.....	
2.1 Особливості виплавки вихідного металу для ЕШП.....	29
2.2 Вимоги до якості електродів.....	30
2.3 Наведення шлакової ванни.....	30
2.4 Процес наплавлення злитка.....	30
2.5 Виведення усадочної раковини.....	32
2.6 Особливості ЕШП деяких марок сталей.....	32
Висновки до розділу 2.....	34
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ОТРИМАННЯ СТАЛІ ШХ-15	
МЕТОДОМ ЕШП.....	
3.1 Методи визначення складу і структури включень у сталі і сплавах.....	35
3.2 Екзогенні кисневі включення в сталі.....	40
3.3 Дослідження неметалічних включень у сталях після рафінуючих переплавів.....	50
3.4 Вплив технологічних факторів на характер включень і властивості сталі.....	56

Висновки до розділу 3.....	66
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	67
4.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів електросталеплавильного цеху.....	67
4.2 Заходи, щодо захисту від шкідливих і небезпечних чинників електросталеплавильного цеху.....	68
4.3 Виробнича санітарія основного приміщення цеху, побутових та допоміжних приміщень.....	69
4.4 Заходи з електробезпеки.....	72
4.5 Пожежна безпека.....	73
4.6 Розрахунок витяжного зонту дугової печі.....	74
Висновки до розділу 4.....	76
ВИСНОВКИ.....	77
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	78

ВСТУП

Найважливіші завдання, що стоять перед виробниками відповідальних металовиробів пов'язані з досягненням високих службових характеристик матеріалів, експлуатаційної надійності корпусів, роторів, дисків, бандажів, валів, елементів трубопроводів, прокатних валків і інших елементів обладнання.

Можливість вивести ці показники на новий рівень пов'язана з використанням сучасних способів виробництва вихідної заготовки.

Незважаючи на значний прогрес технологій виплавки та позапічної обробки сталі, що забезпечують високий ступінь рафінування металу, вирішення питання управління затвердіння носить статистичний характер.

Технологією, що дозволяє економічно ефективно здійснювати спільне управління процесами рафінування і затвердіння, є електрошлаковий переплав (ЕШП). Світова тенденція останнього десятиліття проявилася в будівництві печей ЕШП нового покоління, застосування яких забезпечує конкурентоспроможність технології в порівняно з традиційними способами виробництва порожніх і суцільних заготовок при розширенні номенклатури матеріалів.

Особливої актуальності набувають питання регулювання показників якості злитка, включаючи забезпечення високого ступеня фізичної і хімічної однорідності, строго лімітованого вмісту легкоокислюваних елементів, рівномірного їх розподілу, дисперсності первинної литої структури, оптимального складу, морфології і топології неметалічних включень.

Розробка нового підходу до управління фізико-хімічними та теплофізическими явищами при ЕШП, заснованого на сучасних теоретичних уявленнях і експериментальних дослідженнях окисно-відновних процесів за участю шлаку, обґрунтуванні та практичному застосуванні спеціальних методів регулювання затвердіння злитка, в тому числі з використанням

змінного струму зниженої частоти, відкриває перспективи підвищення якості металу, системного вдосконалення технологій і обладнання.

Неметалеві включення в сталі утворюються і видозмінюються під впливом різних умов виплавки, розливання і кристалізації. При цьому часто умови утворення носять метастабільний характер. Робота спрямована на подолання негативних наслідків цього процесу, що визначає актуальність теми проведеного дослідження.

Мета роботи: Метою даного дослідження є аналіз та розробка технологічних основ отримання високоміцних сталей в умовах електрошлакових переплаву та визначення переваг методу електрошлакового переплаву.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз технологічних основ по виплавці високоміцних сталей метода електрошлакового переплаву.
2. Оцінити вплив технологічних параметрів електрошлакового переплаву на якість сталі.
3. Надати порівняльну оцінку якісних показників сталей, отриманих різними методами.

Об'єкт дослідження: фізико – хімічні закономірності електрошлакового переплаву.

Предмет дослідження: технологія процесу електрошлакового переплаву при виплавці високоміцних сталей.

Методи дослідження: всебічний аналіз особливостей електрошлакового переплаву, аналіз та контроль якості отриманої сталі, методи контролю неметалевих включень при електрошлаковому переплаві.

Наукова новизна:

1. Представлено механізми взаємодії хімічних елементів на границі розділу повітря – флюс – розплав металу.
2. Визначено вплив технологічних параметрів електрошлакового переплаву на появу та склад неметалевих включень.
3. Встановлено параметри електричних та теплових режимів в процесі електрошлакового переплаву високоміцних сталей.

Практичне значення:

1. Запропонована схема отримання високоміцних сталей методом електрошлакового переплаву.
2. Визначено використання конкретних марок флюсів для виплавки заданих марок сталей.
3. Встановлено методики контролю якості високоміцних сталей.

Апробація результатів роботи: результати досліджень, які включено до кваліфікаційної магістерської роботи, доповіли на конференції кафедри Металургії.

Відомості про публікації: основні результати роботи викладені в збірці магістерських робіт і статей, і 1 тезах конференцій.

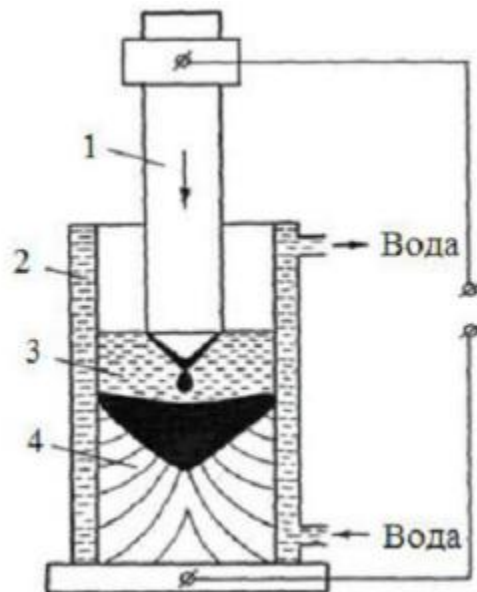
Структура і об'єм роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 31 найменувань, викладена на 80 сторінках машинописного тексту, включаючи 13 рисунків, 13 таблиць.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВУ

1.1 Електрошлаковий переплав (ЕШП)

Сутність ЕШП складається в переплаві витраченого електрода в електрошлаковій печі за рахунок тепла, що виділяється в шарі рідкого шлаку при проходженні через нього електричного струму, краплинному перенесенні через шар шлаку електродного металу, рафінуванні рідкого металу нагрітим до високої температури шлаком і послідовному затвердінні металу в водоохолоджуваному кристалізаторі [1, 2].

На рис. 1.1 приведена схема установки ЕШП, в якій елементом опору є ванна розплавленого шлаку.



- 1 - переплавляємий електрод; 2 - водоохолоджуваний кристалізатор;
3 - ванна розплавленого шлаку; 4 - затверділий злиток

Рисунок 1.1 – Установка ЕШП

При проходженні струму рідкий шлак, що володіє досить великим електричним опором, сильно розігрівається і занурений в нього металевий електрод нагрівається і оплавляється з торця. Метал краплями перетікає з оплавляємої частини електрода через шлак в водоохолоджувальну виливницю, в якій поступово формується наплавлюваний злиток [2].

В результаті переплавки метал очищається від сірки і неметалевих включень а спрямована кристалізація злитка забезпечує отримання щільної структури литого металу. Висока технологічна гнучкість процесу ЕШП і гарна якість металу, що переплавляється сприяли швидкому впровадженню технології ЕШП в практику вітчизняної металургії і машинобудування.

Є багато різновидів конструкцій печей ЕШП; більшість з них працює на змінному струмі промислової частоти.

У загальному вигляді технологічна схема одержання високоякісних заготовок з використанням методу електрошлакового переплаву зображена на рисунку 1.2.

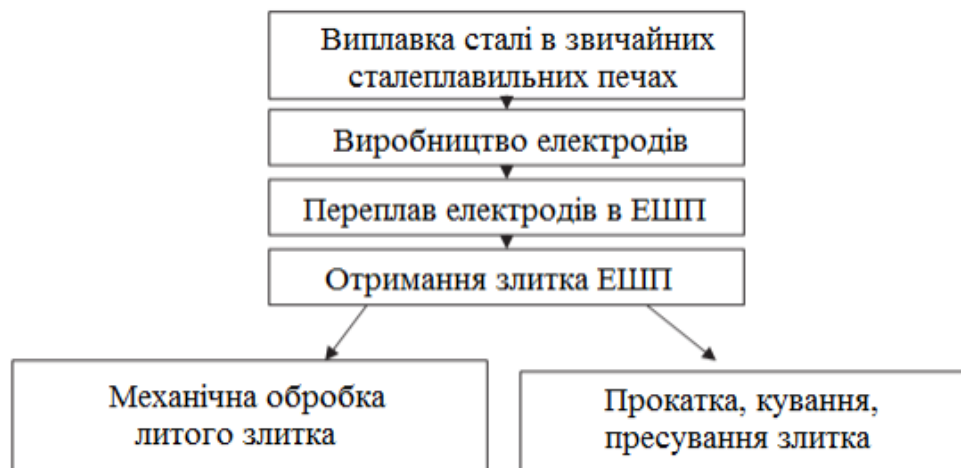


Рисунок 1.2 – Технологічна схема одержання високоякісних заготовок з використанням методу електрошлакового переплаву

Перший етап плавки полягає в отриманні сталі в сталеплавильному агрегаті (дугова електропіч, мартенівська піч, кисневий конвертер) за традиційною технологією з можливо низьким вмістом шкідливих домішок, газів і неметалевих включень.

Другий етап полягає у виготовленні з виплавленої сталі довгомірних заготовок - електродів для подальшого переплаву в установках ЕШП. Ці електроди (круглого, квадратного або прямокутного перерізу) відливають в спеціальних виливницях або безперервним литтям сталі на МБЛЗ. У деяких випадках електроди отримують шляхом прокатки звичайних зливків квадратного або прямокутного перерізу.

Поверхня отриманих електродів піддають механічній обробці з метою видалення шару оксидів, що утворилися в процесі відливання або прокатки заготовок.

Третій етап полягає в переплаві електродів в установках ЕШП і отриманні злитка, що відрізняється низьким вмістом домішок, високою щільністю металу і відсутністю внутрішніх дефектів, характерних для звичайних злитків.

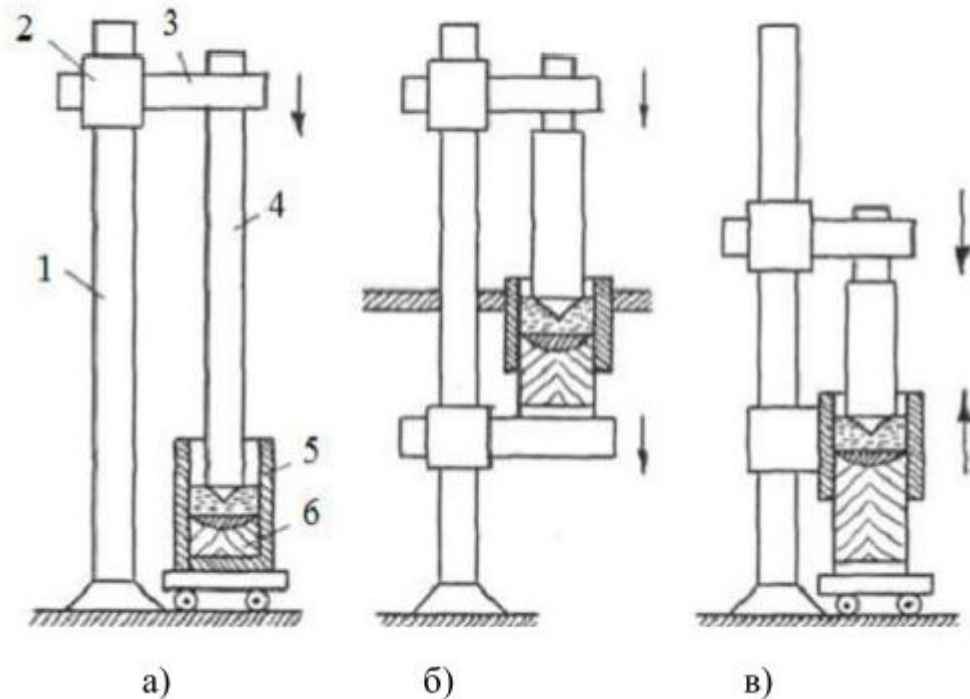
Остання стадія процесу складається в обробці злитка ЕШП для отримання необхідних заготовок. Метал злитка ЕШП може використовуватися в литому стані; в цьому випадку злиток піддають тільки механічній обробці для доведення розмірів литої заготовки до потрібних значень. Другий варіант обробки злитка ЕШП полягає в тому, що його нагрівають і піддають обробці тиском (прокатка, кування, пресування).

Для переплавки електродів використовують спеціальні установки ЕШП, схеми яких наведені на рис. 1.3 [3,10].

Найбільш просто процес ЕШП здійснюється з використанням нерухомого водоохолоджуваного кристалізатора (рис. 1.3, а).

Переплавляємий електрод закріплений в електродотримачі і за допомогою каретки переміщується вниз або вгору по колоні. У міру оплавлення електрода він переміщається вниз з таким розрахунком, щоб

оплавляемый торець електрода весь час знаходився в рідкому шлаку, а відстань від торця електрода до металевої ванни зберігало оптимальне значення.



а - електрод опускається, кристалізатор і злиток нерухомі;
 б - електрод і злиток опускаються, кристалізатор нерухомий;
 в - злиток нерухомий, електрод опускається, кристалізатор піднімається;

1 - колона; 2 - каретка; 3 - електродотримач; 4 - переплавляемый електрод; 5 - кристалізатор; 6 - злиток

Рисунок 1.3 – Схема процесів ЕШП з різними варіантами переміщення електрода і кристалізатора

Можливий варіант переплавки електрода з використанням нерухомого, порівняно короткого кристалізатора і що опускається зі злитком піддону (рис. 1.3, б).

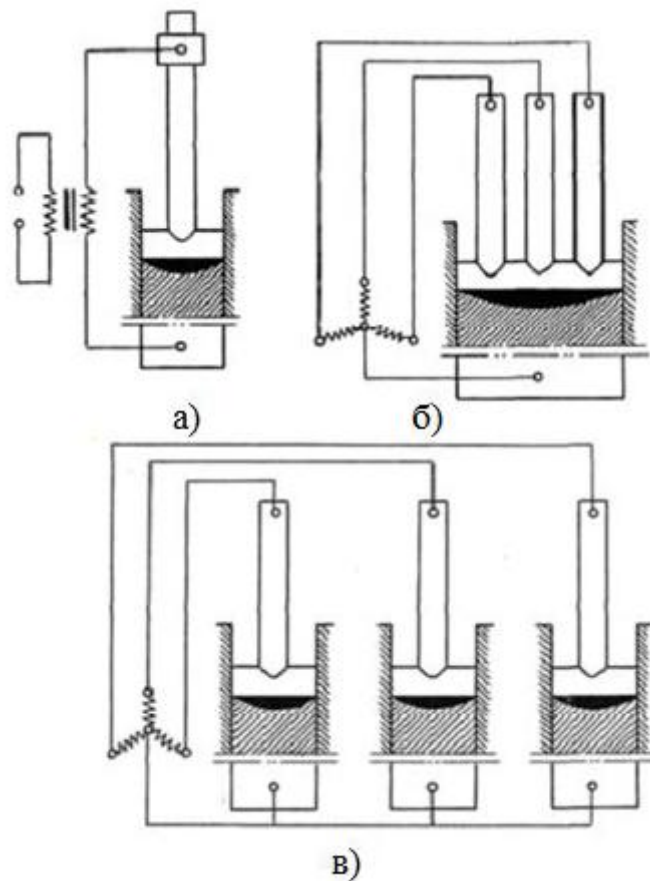
Застосовується і інший варіант схеми ЕШП, при якому піддон зі злитком нерухомий, а короткий кристалізатор переміщається від низу до верху, назустріч опускаємому електроду, що витрачається (рис. 1.3, в).

Установки ЕШП по схемі живлення їх електричним струмом реалізуються за багатьма варіантами; використовуваний струм може бути постійним або змінним.

Більшість установок ЕШП працює на змінному струмі промислової частоти (50 Гц), що дозволяє значно спростити конструкцію установки і отримати метал більш високої якості за рахунок більш високого ступеня рафінування по сірці, кисню і неметалевим включенням.

Установки ЕШП можуть бути однофазними з одним розплавляється електродом (рис. 1.4, а) і багатофазними, в яких плавляться три або більше електрода (рис. 1.4, б, в). При цьому переплав можна проводити як в одному (рис. 1.5, б), так і в декількох кристалізаторах (рис. 1.4, в). Однофазні установки діляться за принципом їх підключення до трансформатора: на монофілярні (рис. 1.4, а), де струм проходить по електроду і піддону, і біфілярні, в яких струм йде послідовно по електродам.

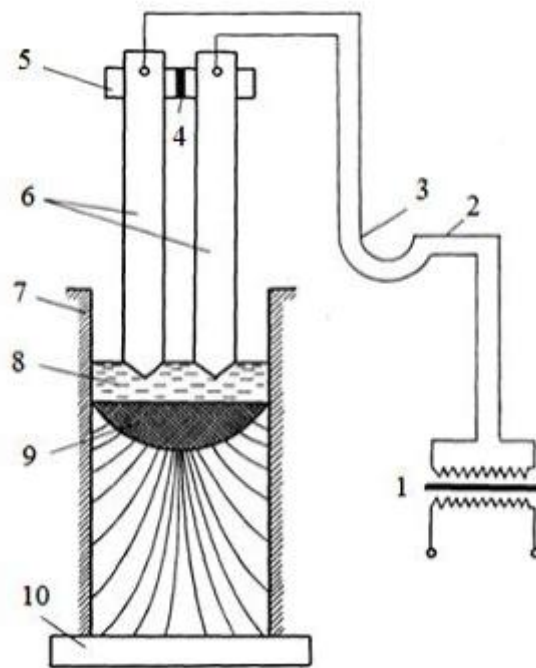
Однофазні установки ЕШП змінного струму з одним електродом, включені за монофілярною схемою електрод - піддон, набули найбільшого поширення через простоту і надійність, високою якістю і хорошою поверхнею злитків. Разом з тим такі установки мають і істотний недолік, так як в міру збільшення струму плавки при зростанні маси наплавляемого злитка зростають індуктивні втрати, падає коефіцієнт потужності. Прийняті в цьому випадку заходи щодо зниження індуктивності (максимальне наближення трансформатора до електрода, установка батареї статичних конденсаторів і ін.) недостатньо ефективні.



а - однофазна, з одним сплавляємим електродом; б - трифазна з трьома електродами, сплавляються в одному кристалізаторі; в - трифазна з трьома електродами, сплавляються в трьох кристалізаторах

Рисунок 1.4 – Схеми установок ЕШП на змінному струмі

Кардинальне вирішення проблеми підвищення коефіцієнта потужності великих установок ЕШП, що працюють на змінному струмі, було знайдено в переході від монофільної до біфільної схеми живлення електрод - електрод (рис. 1.5).



1 - трансформатор; 2 - шинопроводи; 3 - гнучкі кабелі; 4 - ізоляція; 5 - електродотримач; 6 - електроди; 7 - кристалізатор; 8 - шлакова ванна; 9 - чавунна ванна; 10 - піддон

Рисунок 1.5 – Схема установки ЕШП з біфілярного підведенням струму

Біфілярна схема живлення передбачає паралельне розташування провідників струму на всьому шляху від трансформатора до шлакової ванни, що дає можливість досягти максимальної компенсації електромагнітних полів і, отже, максимально знизити індуктивні втрати і підвищити коефіцієнт потужності, тому на великих установках ЕШП переважно використовується біфілярна схема підведення струму.

1.2 Основні фізико-хімічні процеси при ЕШП

У процесі плавлення електрода, перенесення крапель рідкого металу через шлак і наплавлення злитка відбувається взаємодія рідкого металу, перегрітого рідкого шлаку і газовою фазою, що контактує з його поверхнею [14].

Основні реакції відбуваються на межах розділу взаємодіючих фаз:

- газова фаза - рідкий шлак;
- рідкий метал на торці оплавленого електрода - рідкий шлак;
- краплі рідкого металу, що стікають з оплавленого електрода - рідкий шлак;
- поверхня рідкого металу у верхній частині наплавленого злитка
- рідкий шлак.

Особливості розвитку реакцій в системі газ - шлак - метал в процесі ЕШП в порівнянні зі звичайними сталеплавильними процесами пов'язані з наступними відмінними умовами:

- значно вища температура рідкого шлаку і металу;
- відсутність вогнетривкої футеровки;
- застосування шлаків з низьким вмістом оксидів кремнію, заліза, марганцю та інших неміцних оксидів;
- дуже висока питома поверхня контакту металу і шлаку.

Внаслідок великої поверхні контакту і тривалої взаємодії металу та шлаку в поєднанні з високою температурою в системі метал - шлак досягається високий ступінь наближення до стану рівноваги. Основні фізико-хімічні процеси при ЕШП, які визначають зміну складу металу, що переплавляється та його очищення від шкідливих домішок:

- окислення шлаку киснем газової фази і перенесення кисню через шар рідкого шлаку до поверхні рідкого металу;
- окислення і відновлення елементів, присутніх в металі;
- видалення з металу неметалевих включень;

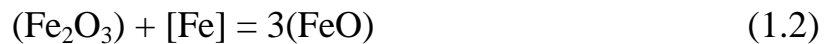
- поглинання і видалення з металу газів (водень і азот).

1.2.1 Окислення шлаку і передача кисню через шлак до рідкого металу

Присутні в шлаку в невеликій кількості оксиди заліза (FeO) на поверхні розділу шлак - газ окислюються газоподібним киснем [5]:



Утворений на поверхні шлакової ванни оксид (Fe_2O_3) конвективними потоками інтенсивно переноситься в нижні горизонти шлаку, до поверхні оплавленого електрода і до ванни рідкого металу. На межі розділу метал - шлак відбувається реакція:



в результаті чого шлак збагачується оксидом (FeO), який розподіляється між металом і шлаком відповідно до реакції:



Відповідно до іонної теорії будови розплавлених шлаків, механізм передачі кисню з газової фази в метал пов'язаний з присутністю в розплавленому шлаку іонів Fe^{2+} і Mn^{2+} , які разом з аніонами кисню шлаку забезпечують перенесення кисню. Перенесення кисню з газової фази в метал здійснюють оксиди змінної валентності. Джерелом кисню, що надходить з газової фази, може бути і водяний пар.

Крім того, джерелом кисню можуть бути оксиди заліза, що утворюються при окисненні поверхні переплавленого електрода,

розташованої над шлаком (окалина, яка в міру занурення електрода в шлак розчиняється в ньому).

Встановлено, що при ЕШП неочищених електродів зі сталі ШХ-15 основна кількість кисню (до 60%) вносить окалина, що утворюється на електроді, близько 35% кисню надходить з повітря.

Зазначені механізми передачі кисню визначають практичні способи зниження надходження кисню в метал при ЕШП:

- очищення поверхні електродів, що переплавляються, від окалини за допомогою спеціальних машин при підготовці до переплаву;
- подача аргону в кристалізатор в якості захисного газу;
- обмазка електрода спеціальної пастою, яка містить алюміній.

1.2.2 Вплив ЕШП на утримання газів

Водень є шкідливою домішкою в металі, і хоча розчинність водню в залізі і його сплавах дуже мала (0,0020-0,0030%), навіть невеликий вміст його в готовій сталі різко погіршує її властивості і викликає появу характерних дефектів: флокенів, підкіркових бульбашок, газової пористості і ін.

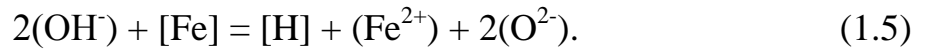
Джерелами водню при ЕШП є [6, 13]:

- електрод, що переплавляється;
- волога, що міститься в початковому флюсі;
- волога, що міститься в атмосфері.

На межі рідкого шлаку з атмосферою водяний пар розчиняється в шлаку у вигляді аніону гідроксилу по реакції:



За рахунок реакції аніонів гідроксилу з рідким металом відбувається перехід водню з шлаку в метал:



Вміст водню в шлаку пропорційно кореню квадратному з парціального тиску водяної пари в атмосфері.

При збільшенні вмісту вологи в атмосфері зростає вміст водню в шлаку, і, відповідно, в металі. Крім того, флюси, що мають в своєму складі такі оксиди, як CaO або MgO, характеризуються більш високою концентрацією в них аніонів кисню, що також сприяє підвищенню вмісту водню в шлаку. Велика кількість вологи може бути внесено вихідним флюсом, особливо при твердому старті.

Нижня частина зливка, відповідна початковій стадії процесу, містить зазвичай більше водню, ніж основна маса. Тому велику увагу приділяють підготовці флюсу - його попередній дегазації прожаренням при температурі 800 °C або попереднім розплавленням флюсу і продувкою його сухим повітрям.

За рахунок меншої розчинності водню в твердому металі у порівнянні з рідким, в процесі спрямованої кристалізації зливка ЕШП відбувається часткове видалення водню, проте становить, за сприятливих обставин, 20-30%.

Для зменшення вмісту водню в зливку ЕШП виконуються наступні заходи [15]:

- ретельна підготовка флюсу; його потрібно добре прожарювати, ще краще - плавити з продувкою киснем або аргоном (тобто бажано вести процес на рідкому старті з мінімальним вмістом водню в шлаку);
- захист поверхні шлаку в кристалізаторі від контакту з повітрям;
- для отримання особливо низького вмісту водню в зливку ЕШП необхідно застосовувати електроди з вакуумованого металу;
- застосування замість свіжого флюсу відпрацьованого шлаку, в якому вміст водню нижче.

Вміст азоту в злитках ЕШП змінюється в широких межах.

У загальному балансі включень частка нітридів в хромистих сталях доходить до 70%. Поведінка азоту не піддається простому математичному опису і залежить від активності азоту в вихідному металі, складу газової і шлакової фаз, режиму переплаву. Кінцевий вміст [N] багато в чому визначається його вихідною концентрацією в металі заготовки. У разі ЕШП сталей, стабілізованих ніобієм і титаном, азот практично не видаляється.

Азот з менш стійких нітридів алюмінію та хрому вдається знизити в 2-3 рази.

1.3 Флюси для електрошлакового переплаву

Флюс (шлак) є невід'ємною складовою будь-якого процесу ЕШП. Результативність та ефективність процесу ЕШП багато в чому залежить від властивостей застосовуваних флюсів, які перш за все визначаються їх складом [4,12].

В процесі ЕШП шлак виконує кілька функцій:

1. Енергоперетворююча функція визначається тим, що шлак є ділянкою електричного кола з високим омичним опір. Саме на цій ділянці відбувається перетворення електричної енергії в теплову.

2. Теплопередаюча функція. Ефективність процесу ЕШП тим вище, чим повніше і інтенсивніше шлак передає тепло електроду і металевій ванні.

3. Рафінуюча функція. Розплавлений шлак повинен забезпечити видалення з металу, що переплавляється, шкідливих домішок (сірка, кисень) і неметалічних включень.

4. Захисна функція. Шлак повинен забезпечити захист металу, що переплавляється, від взаємодії з навколишньою атмосферою.

5. Забезпечення гарної поверхні злитка. Затвердіння наплавленого злитка відбувається в шлаковій оболонці (гарнісаж), яка утворюється на водоохолоджуючих стінках кристалізатора. Саме властивості гарнісажу

багато в чому визначають якість поверхні одержуваного злитка, особливо коли реалізується схема ЕШП з рухомим кристалізатором.

Для виконання зазначених функцій шлак повинен відповідати ряду вимог:

- мати температуру плавлення нижче, ніж переплавляємий метал;
- забезпечувати легкий початок ЕШП і високу стабільність процесу;
- давати можливість підтримки помірних швидкостей наплавлення злитка, щоб забезпечити спрямовану кристалізацію злитка і невелику глибину ванни рідкого металу;
- мінімізувати витрати електроенергії;
- зберігати незмінність складу при зберіганні і в процесі ЕШП.

Для забезпечення ефективного очищення металу від домішок шлак повинен:

- мати мінімальну окислювальну здатність;
- мати високу десульфуючу здатність;
- добре очищати метал від неметалевих включень;
- надійно охороняти рідкий метал від навколишньої атмосфери.

Крім того, компоненти шлаку повинні бути дешевими і недефіцитними. Різноманітні вимоги, що пред'являються к шлакам ЕШП, в ряді випадків виявляються суперечливими, і при виборі складу шлаку часто доводиться приймати компромісні рішення.

Найбільшою мірою відповідають зазначеним вище вимогам шлаки на основі фтористого кальцію CaF_2 . Фторидні шлаки вільні від кисню, мають порівняно низьку температуру плавлення.

Внаслідок відносно низького електричного опору процес йде при помірних температурах. Істотними недоліками CaF_2 слід вважати його екологічну (біологічну) токсичність при досить високій вартості.

В даний час розроблений великий сортамент флюсів для ЕШП на основі фторидно-оксидних систем. Хімічний склад різних флюсів, що застосовуються при ЕШП, наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад флюсів

Флюси	Хімічний склад, %							
	CaF ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	BaO	TiO ₂	ZrO ₂	NaF
АНФ-5	80	-	-	-	-	-	-	20
АНФ-6	70	30	-	-	-	-	-	-
АНФ-7	80	-	20	-	-	-	-	-
АНФ-8	60	20	20	-	-	-	-	-
АНФ-9	80	-	-	20	-	-	-	-
АНФ-19	80	-	-	-	-	-	20	-
АНФ-20	80	-	-	-	20	-	-	-
АНФ-21	50	25	-	-	-	25	-	-
АН-29	-	55	45	-	-	-	-	-
АН-291	18	40	25	17	-	-	-	-
АН-292	-	60	35	5	-	-	-	-

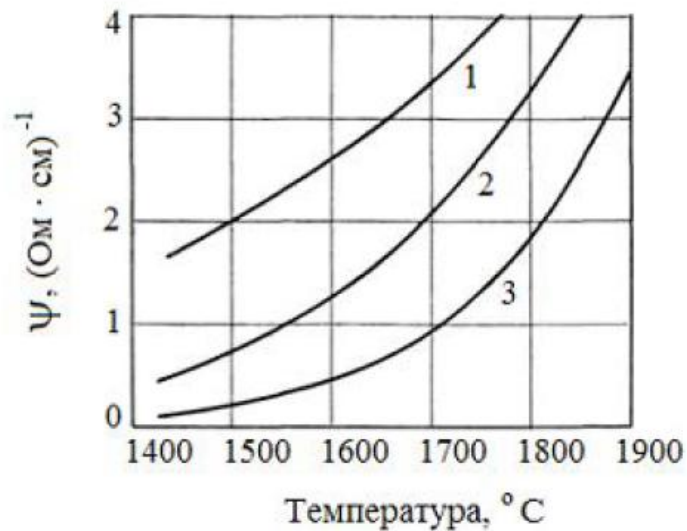
Для всіх шлаків, що застосовуються при ЕШП, вміст SiO₂ і FeO не повинно перевищувати 0,3%, вміст сірки - 0,05%, а вуглецю в шлаку АНФ-21 для переплавки низьковуглецевих сталей і сплавів - не більше 0,02% [14].

Як впливає з табл. 1.1, за хімічним складом флюси для ЕШП можна розділити на три групи:

- 1) тільки з фторидних з'єднань (АНФ-5);
- 2) з фторидів і оксидів (АНФ-6, АНФ-7, АНФ-8 та ін.);
- 3) тільки з оксидів (АН-29, АН-292).

Найбільше практичне застосування отримали шлаки на основі фторидів і оксидів.

На рис. 1.6 показана залежність електропровідності деяких флюсів ЕШП від температури.



Флюси: 1 - АНФ-6; 2 - АН-29; 3 - АН-292

Рисунок 1.6 – Залежність електропровідності флюсів ЕШП від температури

Як випливає з рис. 1.6, електропровідність визначається складом шлаку. При виборі хімічного складу шлаку для ЕШП керуються різними міркуваннями, пов'язаними з металургійними, енергетичними та іншими особливостями процесу. Кількість основних компонентів в шлаках для ЕШП змінюється від 1 (чистий CaF_2) до 4-5 (табл. 1.1) [15]. Насправді в складі шлаків ЕШП присутні також оксиди або інші сполуки, які потрапляють з шихтових матеріалів з металу, що переплавляється або утворюються в результаті хімічних реакцій.

Електропровідність шлаків ЕШП при температурах від 1600 до 1900 °С змінюється від 0,1 до 10 $(\text{Ом}\cdot\text{см})^{-1}$. Вона збільшується при добавці фторидів, а також оксидів лужних металів, але зменшується при введенні оксидів, що утворюють складні, малорухливі аніони (SiO_2 , Al_2O_3 і ін.)

В'язкість шлаків істотно впливає на формування злитка при ЕШП - при інших рівних умовах, ніж «коротше» шлак, тим товщі шар гарнісажу і тим гірше поверхня злитка.

1.4 Неметалеві включення при ЕШП

Неметалеві включення (НВ) в металу, що переплавляється представлені в основному оксидами, сульфідами, частково оксісульфідними НВ. При прокатці, в залежності від ступеня пластичності НВ, вони або зберігають форму, будучи концентраторами напружень (кристалічні), або витягуються вздовж напрямку прокатки. Наявність таких НВ значно погіршують механічні властивості металу, особливо його пластичні властивості.

Оцінку забрудненості металу НВ зазвичай виробляють в балах, найменша забрудненість відповідає балу 1, найбільша - 5 [1, 7].

У злитку ЕШП вміст НВ в 2-3 рази менше, ніж в електроді, що переплавляють, причому видаляються практично всі великі НВ від другого до п'ятого бала, а залишаються в незначній кількості представлені дрібними і рівномірно розподіленими включеннями середнім балом менше одиниці.

Зазначені закономірності характерні як для оксидних, так і для сульфідних НВ.

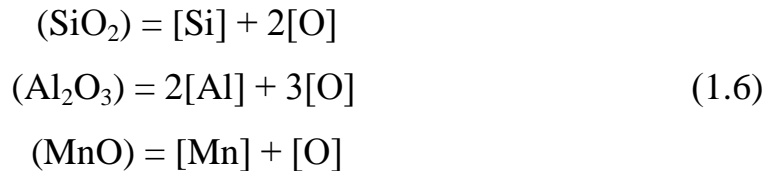
Таким чином, найважливіша характеристика електрошлакового металу полягає в низькому вмісті НВ, їх дрібнодисперсності і рівномірному розподілі. По питанню про механізм видалення оксидних НВ при ЕШП існують різні точки зору.

Згідно з однією з них, в процесі оплавлення торця електрода НВ частково переходять в шлак, а що залишилися, перенесені з краплями в рідку ванну металу, можуть спливати в ній і приєднуватися до шлаку. Відповідно до закону Стокса, швидкість спливання неметалевих включень (v , м/с) визначається в основному їх крупністю [5].

За інших рівних умов, чим більше НВ, тим швидше воно спливає і асимілюється шлаком, причому залежність швидкості спливання НВ від його радіуса - параболічна. Встигають спливати і приєднатися до шлаку ті НВ, швидкість спливання яких перевищує швидкість наплавлення злитка.

Відповідно до сучасних поглядів, в процесі ЕШП усі НВ, які були в електроді, розкладаються і розчиняються в рідкому металі.

Наприклад, оксиди кремнію, алюмінію і марганцю можуть диссоціювати в рідкому металі по реакціях:



В результаті змінюється вміст і активність кисню в плівці рідкого металу на торці електрода. У краплях металу, що стікають з торця електрода і проходять через шар шлаку, вміст кисню і кількості НВ змінюється вже незначно, тому що час контакту крапель металу зі шлаком в 10-20 разів менше, ніж час контакту зі шлаком рідкої плівки металу на торці електрода.

Затвердіння металевої ванни супроводжується значним зниженням температури, утворенням двофазної зони, ліквідацією домішок і зрушенням рівноваги реакцій в бік утворення НВ. За рахунок взаємодії розчинених елементів з киснем в цих умовах відбувається утворення силікатів, корунду і ін. оксидних НВ. Через швидку кристалізацію і понижений вміст кисню кількість НВ в затверділому металі менше, вони більш дрібні і рівномірно розподілені в металі. В цьому випадку слід вважати, що НВ в зливку ЕШП утворюються при затвердінні металу в кристалізаторі.

Зміни в складі НВ визначаються:

- складом сталі, що переплавляють;
- способом її розкислення при виготовленні електродів;
- типом застосовуваного шлаку.

На цьому принципі заснований варіант технології подвійного переплаву, коли при першому переплаві застосовують флюс з високою здатністю, що обезсірковує, а при другому - флюс, який добре видаляє НВ

(АНФ-6). Метод подвійного ЕШП застосовується для отримання металу, з якого виготовляють деталі особливо відповідального призначення машин і механізмів, призначених для експлуатації в екстремальних умовах.

Висновки до розділу 1

1. Представлено схеми установок електрошлакового переплаву, встановлено їх переваги та недоліки.

2. Проведено аналіз фізико-хімічних процесів окислення шлаку, утворення газових виділень, формування флюсів для електрошлакового переплаву.

3. Встановлено склад флюсів та їх основні функції, представлено варіанти флюсів на основі фторидних, фторидно – оксидних та оксидних з'єднань.

4. Проведено аналіз утворення неметалевих включень, визначено їх вплив на властивості сталей.

РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА СТАЛІ МЕТОДОМ ЕШП

2.1 Особливості виплавки вихідного металу для ЕШП

Робочий процес ЕШП поділяють на формування шлакової ванни, сталій процес наплавлення злитка і виведення усадочної раковини. При роботі на рідкому старті першого етапу немає.

До допоміжних операцій вимкненої печі відносяться [8]:

- 1) охолодження злитка в печі до затвердіння шлакової шапки;
- 2) витягання зливка і шлаку з кристалізатора;
- 3) очищення кристалізатора і піддону;
- 4) видалення недогарка електрода, що витрачається і електродотримача;
- 5) установка нового електрода;
- 6) установка на піддоні затравки з електропровідним флюсом і стружкою;
- 7) засипка робочого флюсу.

Принципове значення для ЕШП має розкислення вихідної сталі і особливо вміст у ній алюмінію. Як правило, норма присадок алюмінію в метал, призначеного для ЕШП, збільшується на 50-100%, конкретний вміст алюмінію в сталі визначається складом флюсу, що застосовується при ЕШП, маркою сталі яку переплавляють, технологічними параметрами переплавки [5].

У вихідній сталі збільшують, як правило, вміст кремнію (якщо не очікують його відновлення з шлаку) на 0,03-0,08%, титану - на 0,05-0,15%, ванадію - на 0,02%, марганцю - на 0,03-0,05% при його вмісті до 1% і на 0,1-0,2% в високомарганцевих сталях.

У разі підвищених вимог до складу сталей ЕШП за вмістом азоту, водню, кисню при їх виплавці посилюють технологічні параметри плавки або

передбачають позапічну обробку сталі синтетичним шлаком, інертним газом, вакуумом [9].

2.2 Вимоги до якості електродів

Не допускаються до ЕШП електроди з рванина, поперечними тріщинами, а також заворотами кірки, полон, ознаками відшарування.

Кривизна заготовок не повинна перевищувати 5 мм на метр довжини електрода. Підвищення хімічної однорідності і зниження технологічного обрізу при переділі (на 12-18%) досягаються застосуванням литих електродів замість кованих або катаних [4].

2.3 Наведення шлакової ванни

Величину струму в період наведення шлакової ванни підтримують на 25-60% нижче, ніж по ходу плавки. Тривалість періоду - 15-60 хв залежно від маси зливка і марки сталі, що переплавляють. Завдання періоду - швидкий розігрів шлакової ванни і виведення процесу на робочі параметри. Режим розведення процесу і розміри затравки істотно впливають на структуру нижньої частини злитка.

2.4 Процес наплавлення злитка

Якість металу, що переплавляється багато в чому залежить від теплового стану металевої і шлакової ванни. До числа факторів, що впливають на температурне поле, відносяться діаметр електрода, склад флюсу, сила струму і напруга. Одним з найважливіших параметрів ЕШП є глибина рідкої металевої ванни. Для отримання високого ступеня рафінування вихідного металу, а також осьової або радіально-осьової кристалічної структури злитка доцільно мати неглибоку і пологу рідку ванну,

що призводить до низької швидкості наплавлення злитка. Для отримання однорідної мікроструктури злитка надзвичайно важливо сталість параметрів переплавки. Вибір режиму переплаву ведуть виходячи з максимальної але допустимої глибини рідкої металевої ванни і максимально допустимої швидкості наплавлення. Програма зміни електричних параметрів (сили струму і напруги) в загальному випадку розрахована на отримання оптимального обсягу і форми металевої ванни в кожен даний момент плавки.

Технологічні параметри ЕШП окремих марок сталі в залежності від типорозміру кристалізатора і марки сталі наведені в таблиці 2.1 [5, 11].

Таблиця 2.1 – Технологічні параметри електрошлакового переплаву*

Марка сталі	Розмір кристалізатора, мм	Розмір квадратного електроду, мм	Марка флюсу	Кількість флюсу на злиток, кг	Електричний режим		
					Час, год	Напруга, В	Струм, кА
ШХ15, ШХ15СГ, Х18Н9Т, Х17Н13М2Т	390-425	220	АНФ-6	50-60	1,0	46-49	9,5- 10,5
					1,0 решта	42-46 39-42	
12Х2Н4А	390-425	220	АН-291	60-70	1,0 1,0 решта	52-56 49-52 40-49	6,5-7,5
1Х17Х2, 0-4ХС3, 40ХНВА, 38Х, ХВГ, 18ХН3МА	390-425	300	АНФ-6	50-60	0,5	46-49	10,5- 12
					1,0 решта	42-46 39-42	
ШХ15, ШХ15СГ, ХВГ, 60, 38ХА, 20ХН3А, 60ХФА	390	270	АНФ-7	80-90	0,5	49-54	13,0
					1,0	46-50	12,8
					1,0	43-47	12,5
					1,0 решта	40-44 37-41	12,0 11,5

* При тимчасовому (до 5 хв) відхиленні робочої напруги від заданих меж коригування не проводиться. Допускаються короточасні кидки струму до 15% від фактичного значення.

2.5 Виведення усадочної раковини

Зміна режиму переплаву в кінці плавки відразу відбивається на умовах кристалізації і тому не завжди виправдано. У тому випадку, коли зміна структури злитка допустима, на дрібних зливках (1-2 т) виключення усадочних дефектів досягають поступовим (за 20-15 хв) зменшенням швидкості плавлення і підігрівом шлаку (величину струму знижують до 30-50% від робочого струму при одночасному зниженні напруги). При переплаві великих злитків, не відключаючи живлення установки, припиняють подачу електрода і витримують його до оплавлення зануреної в шлак частини, що супроводжується поступовим зниженням сили робочого струму до нуля. Завдяки тепловій інерції шлакової ванни можна отримати практично рівну поверхню верхньої частини злитка [7].

2.6 Особливості ЕШП деяких марок сталей

1. Шарикопідшипникова сталь. З огляду на високу схильність до ліквідації ШХ сталей, важливо забезпечити хімічну однорідність металу по перетину великого злитка, виключити перерозподіл вуглецю, фосфору, сірки.

Це досягається застосуванням електродів, відлитих на МБЛЗ, обмеженням перетину кристалізатора (не більше 600×600 мм) і швидкості переплаву.

Для отримання високої чистоти металу по НВ вихідний метал повинен містити 0,05-0,06% Al, мати мінімальну забрудненість включеннями на основі магнезійної шпінелі ($MgO-Al_2O_3$) і нітридів титану.

2. Конструкційні і високоміцні сталі. Вихідний метал повинен бути добре розкислен і містити оптимальну кількість алюмінію (в залежності від застосовуваного флюсу). Доцільна обробка вихідного металу синтетичним шлаком, вакуумом або продування інертним газом.

ЕШП здійснюють з високими швидкостями наплавлення (крім сталей з 0,35-0,45% С). В кінці переплавки важливо своєчасно і якісно провести виведення усадочної раковини, щоб знизити дефектну зону злитка і виключити утворення світлого контуру і грубої пошарової кристалізації.

При переплавці сталей, легованих кремнієм (1-2% Si), для придушення процесів відновлення алюмінію з шлаку і утворення нітридів алюмінію, зниження тріщиночутливості сталі необхідна заміна частини глинозему у флюсі АНФ-6 кремнеземом.

З метою попередження утворення флокенів в великому злитку обмежують (до 4-5 см³/100 г) вміст водню в вихідному металі шляхом розжарювання флюсу і контролем за складом атмосфери, обмежують надходження водню в процесі переплавки, збільшують тривалість охолодження злитка після переплавки.

3. Нержавіюча сталь. По теплофізичним властивостям і схильності до ліквідації елементів нержавіючі сталі займають проміжне положення між підшипниковими і конструкційними, тому і режими переплаву і швидкості наплавлення також характеризуються проміжними значеннями. Труднощі переплавки виникають у зв'язку з обмеженням надходження в метал або видаленням азоту, з обмеженням чаду Ti і, навпаки, пригару Si в металу, що переплавляється, з необхідністю збереження особливо низького вмісту вуглецю в деяких марках сталі. Якщо метал спеціально не легований азотом, присутність нітридів (в кількості 0,03-0,08% в перерахунку на азот) значно погіршує поліруємість і щільність металу. У сталях цього типу, призначених для ЕШП, обмежується вміст азоту. Зниження швидкостей окислення або відновлення складових металевої ванни досягають розкисленням шлаку або, навпаки, зміною його складу добавками елементів, що окислюються.

При обмеженні вмісту вуглецю в сплаві обмежують вміст його у флюсі (<0,03%).

Висновки до розділу 2

1. Визначено вимоги до електродів для проведення режимів електрошлакового переплаву. Вимоги встановлюють граничні значення по тріщинам, відшаруванням, по хімічній однорідності, геометричній точності.

2. Розроблено процес напівки злитка та представлено технологічні параметри електрошлакового переплаву для різних марок сплавів низько-, середньо- та високолегованих.

3. Запропоновано варіанти виключення усадочних раковин для шарико - підшипникових сплавів та нержавіючих сталей.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ОТРИМАННЯ СТАЛІ ШХ-15 МЕТОДОМ ЕШП

3.1 Методи визначення складу і структури включень у сталі і сплавах

Достовірне визначення складу і структури неметалевих включень в сталі і сплавах вимагає зазвичай застосування цілого комплексу досить складних і трудомістких методик. Нові прилади і методи, створені в останні роки, значно полегшують це завдання і дозволяють швидко і з достатнім ступенем точності визначати склад включень розміром > 1 мкм і структуру включень практично будь-якого розміру.

Склад включень визначається найкраще мікрорентгеноспектральним методом за допомогою приладів, відомих під назвою «мікрозонд». Структура включень, що представляють собою кристалічні фази, визначається або локальним рентгеноструктурним аналізом, або на електронних мікроскопах з мікродифракцією. Однак перераховані методи мають ще досить мале поширення внаслідок значної дорожнечі приладів. У зв'язку з цим в даний час для визначення складу і структури включень часто користуються металографічними і іншими простішими методами.

У комплекс методів визначення складу і структури включень входять металографічний аналіз з визначенням мікротвердості включень, рентгеноструктурний, мікрорентгеноспектральний (мікрозонд), електронно-мікроскопічний і електронографічний, мікроспектральний, петрографічний і в окремих випадках мікрохімічний методи.

При визначенні включень не завжди використовують весь наведений комплекс методів, визначення відомих включень або включень значних розмірів може бути виконано одним або двома методами. Однак в деяких випадках необхідно застосовувати майже всі перераховані методи.

Поєднання металографічного методу з мікрорентгеноспектральним і локальним рентгеноструктурним для кристалічних фаз дозволяє обійтися без інших методів.

Металографічний метод дослідження включень на шліфах є найбільш зручним і простим. Застосування металографічного методу доцільно в кожному випадку вивчення включень, так як цей метод дозволяє спостерігати на шліфах включення, що не піддавалися будь-якої попередньої хімічної обробки.

При вивченні включень на металографічному мікроскопі використовуються поляризоване світло, світле і темне поле. Перегляд шліфів з включеннями під мікроскопом дозволяє визначити ряд ознак включень, за якими можна з достатньою в ряді випадків ступенем точності встановити структуру і склад включень. Визначаються наступні ознаки включень: форма, колір і прозорість, ступінь анізотропії, дія хімічних реактивів, деформованість, розташування їх у литий структурі, мікротвердість і ін.

Зіставлення даного включення за його ознаками із зразками включень на шліфах або на фотографіях, при використанні класифікаційних таблиць дозволяє віднести спостережуване включення до одного з відомих включень.

Якщо включення має своєрідні особливості, що не дозволяють віднести його к відомих стандартам, дослідження доповнюють застосуванням інших методів.

Для визначення особливостей поведінки включень в металі успішно застосовують високотемпературну обробку зразків. Вивчення впливу на включення термічної обробки при 1000-1350 °С допомагає встановлювати вид включень. Тривалість термообробки залежить від виду включень і може змінюватися від 10 хвилин до 10 годин. В результаті високотемпературної термообробки одні включення розчиняються, інші розшаровуються, треті зберігаються незмінними і т.д. Ці властивості включень допомагають встановити їх природу.

При вивченні металографічним методом включень в литому металі застосовують теплове травлення шліфів, яке дозволяє встановити розташування включень по відношенню до дендритних структур.

Визначення розташування включення по відношенню до дендритних структур дозволяє судити про походження і тип даного включення.

Петрографічний метод може бути застосований для вивчення осаду включень, виділених загальним або локальним електролізом, а в деяких випадках - і для визначення оптичних констант включень на шліфах.

Петрографічний аналіз виділених включень дає можливість визначити морфологічні ознаки включень (форму, забарвлення, розмір, прозорість, плеохроїзм) і їх оптичні константи (показник заломлення, двоприменезаломлення, анізотропність, осність).

Корисним удосконаленням петрографічного методу є розробка методу локального виділення включень. Застосування цього методу дозволяє встановити чіткий зв'язок металографічних ознак включення з його оптичними константами. Метод заснований на анодному розчиненні невеликої ділянки шліфа з включенням або групою включень, видимих в мікроскоп.

Рентгеноструктурний метод визначення включень дозволяє встановити структуру і за довідковими таблицями або порівнянням з еталонами - склад включень. Об'єктами рентгеноструктурного дослідження можуть бути металографічні шліфи, осади включень і поодинокі включення.

Дослідження включень на шліфі звичайним рентгеноструктурним методом можливо в тому випадку, якщо площа, зайнята включеннями, становить не менше 5% площі шліфа. Використання спеціальних камер для локального рентгеноструктурного аналізу дозволяє отримувати рентгенограми від окремих включень розміром 80 мкм і більше або від групи дрібних включень.

Електронографічний метод зручний для визначення кристалічної структури включень в осаді при малій кількості виділених включень.

Отримання чіткої електронограми залежить від чистоти осаду.

Електронографічним методом можуть бути отримані відображення від включень в шліфах. В цьому випадку шліф повинен бути підготовлений так, щоб включення декілька виступали із площини шліфа (наприклад, протравлений після полірування).

Електронномікроскопічний метод придбав велике значення при дослідженні неметалічних включень, що мають малі розміри (< 1 мкм), структуру яких не можна визначити іншими способами.

Мікрорентгеноспектральному методу визначення складу включень із застосуванням мікрозондів належить перше місце в сучасних методах визначення включень. Конструкції сучасних мікрозондів дозволяють визначати швидко і з високим ступенем точності утримання всіх компонентів, що входять до складу включень. Висока вартість приладів цілком окупається отриманням точних даних про склад включень протягом нетривалого часу.

Мікрохімічний метод визначення складу включень в виділених осадах може давати найбільш точні результати за загальною кількістю включень і по їх складу в тому випадку, якщо в осаді є включення одного або двох видів.

Методи виділення та хімічного аналізу включень значно удосконалені і в ряді випадків дають задовільні результати.

Короткий огляд існуючих методів визначення складу і структури включень, особливо складних або нових видів включень може бути достовірно виконаний при правильному виборі методів дослідження і при поєднанні декількох методів. Перелік існуючих методів наведено в табл. 3.1.

При виборі методів дослідження складу і структури включень рекомендується керуватися наступними міркуваннями.

Для вивчення включень у сталі, отриманої будь-яким з існуючих способів, необхідне застосування металографічного методу, так як він дозволяє визначити розміри, форму, розташування включень і інші їх ознаки.

Таблиця 3.1 – Методи визначення складу і структури включень

Метод визначення	Об'єкти вивчення включень	Границі розмірів визначених включень, мкм	Визначувана характеристика
Металографічний	шліф	$\geq 0,5$	структура і склад
Мікрозонд	шліф окреме включення	$\geq 1,0$ $\geq 1,0$	склад
Рентгеноструктурний: мікроприцельний локальний загальний	шліф окреме включення осад	$\geq 60,0$ $\geq 30,0$ $\geq 1,0$	структура і склад
Петрографічний	осад окреме включення	$\geq 3,0$ $\geq 10,0$	структура і склад
Електронографічний	шліф осад	$\geq 10,0$ $\geq 1,0$	структура і склад
Електронікроскопічний	шліф злом осад	0,005-1,0 0,005-1,0 0,005-1,0	структура і склад
Мікроспектральний	шліф злом осад	$\geq 50,0$ $\geq 1,0$ плівки	склад
Мікрохімічний	шліф окреме включення	$\geq 1,0$ $\geq 30,0$	склад

На підставі результатів попереднього металографічного дослідження може бути встановлена доцільність застосування інших методів. Включення в сталі, виплавленої в конвертері, основний електродугової і мартенівської печі, мають такі градації за розмірами: > 20 мкм (одиночні включення і скупчення) і $0,1 - 10$ мкм. Перша градація характерна для екзогенних включень або скупчень включень в місцях ліквідації. Для вивчення цих включень додатково к металографічному методу можна рекомендувати мікроприцельний або локальний рентгеноструктурний метод, визначення складу мікрозондом і петрографічний метод.

Визначення включень розміром $1-10$ мкм найбільш ефективно може бути виконано мікрозондом, петрографічним і електроннографічним методами.

Для металу, отриманого методами рафінуючих переплавок (електрошлакового, вакуумно-дугового, електроннопроменевого і ін.) характерні включення розміром < 10 мкм (головним чином < 5 мкм).

Найбільш прийнятним для їх дослідження є мікрозонд (для включень розміром понад 3 мкм), рентгеноструктурний і електроннографічні методи і, особливо, електронномікроскопічний метод з мікродифракцією.

3.2 Екзогенні кисневі включення в сталі

Неметалеві включення в сталі утворюються і видозмінюються під впливом різних умов виплавки, розливання і кристалізації. При цьому часто умови утворення носять метастабільний характер. Тому вивчення процесів утворення неметалевих включень є складним завданням.

Найбільш складним є вивчення кисневих включень, так як в процесі плавки рідкий метал знаходиться в постійному контакті з вогнетривами, шлаком і газовою фазою, що містить кисень.

Тільки в процесах рафінуючих переплавів усувається контакт металу з вогнетривами (електрошлаковий переплав) або з вогнетривами і шлаком (вакуумно-дугового і електронно-променевого переплави).

Вогнетриви, шлак і газова фаза впливають на склад і кількість неметалевих включень в сталі.

Роботи, виконані на заводі ПАТ «Дніпроспецсталь», дозволяють розглянути питання утворення включень більш конкретно, ніж це може бути зроблено за допомогою тільки термодинамічних методів.

Вивчення процесу утворення включень ускладнюється тим, що включення досліджуються в затверділій сталі і поки немає прямих методів, що дозволяють вивчати включення в рідкій сталі. Застосування розробленої методики виявлення дендритної структури, особливо при використанні теплового травлення, дозволило ближче підійти до з'ясування умов утворення включень.

Методика теплового травлення шліфів для виявлення дендритної структури сприяла встановленню моменту утворення включень. Основна перевага цього методу в порівнянні з іншими методами виявлення дендритної структури (зокрема, кислотними) полягає в тому, що теплове і взагалі кольорове (плівкове) травлення дозволяє виявити дендритну будову, не витравлюючи і не спотворюючи неметалевих включень. Включення поділяють на екзогенні та ендогенні. До екзогенних включень відносять зазвичай шматки або затверділі краплі вогнетривів і шлаку, шлакові шматки, що вносяться з феросплавами, ошлаковані або окислені скрапіни металу і ін.

До ендогенних відносять включення, що утворюються в результаті реакцій компонентів сталі (в тому числі розкислювачів, десульфураторів і т. д.) з розчиненими в металі киснем, сіркою і азотом.

Включення, що утворюються при контакті металу з повітрям (при зливі з печі і розливання) або з газовою атмосферою (при розливанні в атмосфері газу або при нагріванні злитків або заготовок в печах, опалювальних газом з

високим вмістом сірки), являють собою продукт реакції компонентів сталі з киснем, азотом або сіркою. За складом і структурою такі включення (кисневі, сульфідні і нітридні), цілком ймовірно, правильніше відносити до ендогенних включень, хоча вони і утворюються в результаті поверхневих реакцій і часто мають значні розміри (скупчення).

До включень такого типу можуть бути віднесені включення Al_2O_3 , що утворюються на поверхні металу при підвищеній концентрації алюмінію в металі.

Підрозділ включень на екзогенні та ендогенні умовний, так як шматочки або краплі шлаку або вогнетривів, зважені в металі, піддаються впливу компонентів рідкої сталі і видозмінюються, наближаючись за складом до ендогенних. Прикладом такої взаємодії може служити реакція включень шамотних вогнетривів з алюмінієм, в результаті якої утворюються скупчення корунду, іноді зі склом. При реакції алюмінію з краплями шлаку, що містять силікати магнезю, утворюється магнезійна шпінель і т.д. При високій концентрації кисню в металі і при відсутності сильних розкислювачів, в результаті реакції оксидів заліза з MgO може виникати магнезіоферит, а в результаті реакції з кремнеземом - файяліт і т.д.

При такій взаємодії екзогенні включення можуть змінюватися частково або повністю з утворенням нових видів включень, а також металевих домішок або оксидів, які переходять в рідку сталь. Прикладами такого додаткового розчинення в рідкій сталі компонентів, що утворилися в результаті реакції розкислення з вогнетривами або шлаком, може служити насичення магнієм сталі з високим вмістом алюмінію при контакті її з вогнетривами, що містять MgO , або поглинання рідкою сталлю з високим вмістом алюмінію нижчих оксидів кремнію при контакті цієї сталі з шамотом і т. д.

Оскільки при виплавці і розливанні рідка сталь контактує головним чином з вогнетривами, шлаком, що складаються переважно з оксидів, то

екзогенні включення зазвичай є кисневими включеннями. До ендогенних включень відносяться кисневі, сульфідні і нітридні включення.

Екзогенні кисневі включення зазвичай мають більші розміри в порівнянні з ендогенними. Значна кількість екзогенних включень, що потрапляють в рідку сталь, спливає. Під час плавки сталі частки подини або подварки, що відірвалися, утворюють екзогенну зваж і частково спливають в шлак. Відносно невелика щільність MgO і можливість утворення з CaO і SiO₃ легкоплавких з'єднань (температура плавлення CaO-MgO-2SiO₂ 1360 °C, а CaO-MgO-SiO₂ - 1440 °C), а також значна тривалість плавок, сприяють видаленню в шлак більшої частини цих включень.

У вигляді зависі можуть залишатися лише включення, що мають незначні розміри (< 10 мкм), і включення, що потрапили в рідку ванну на кінцевій стадії плавки.

При зливанні сталі в ківш кількість екзогенних включень сильно збільшується, так як в рідкий метал при зливці потрапляє шлак.

Частково шлакова суспензія спливає, частково залишається в металі при зливці його в виливниці. Після зливу в виливниці триває процес спливання екзогенних включень.

Спливання екзогенних включень проходить інтенсивно в разі, якщо вони мають значні розміри або знаходяться в рідкому стані. Легко спливаючі екзогенні включення розташовуються на поверхні злитків, під плаваючими або тонучими корочками затверділого металу, в нижній і осьовій частині злитків, в тих випадках, коли спливання затримується металом, що закристалізувався. У період перебування у вигляді зависі в рідкій сталі екзогенні включення піддаються впливу компонентів рідкої сталі і змінюються за складом.

Грубі скупчення включень, які виявляються найчастіше ультразвуковим методом, розташовуються часто в нижній або середній частині злитків. Ці скупчення утворюються внаслідок того, що спливання щодо великих включень ускладнюється якою-небудь перешкодою.

Перешкодою можуть бути розвинені стовпчасті кристали, що створюють як би міст над зоною ще напіврідкого металу. Такий міст може ускладнювати спливання включень в верхню частину злитків. Ще більшого значення для утворення скупчень мають кірки металу, що утворилися на поверхні верхнього рівня металу, які заповнили виливницю, корки тонуть і, опускаючись, стають пастками для спливаючих включень.

На нижній поверхні таких корок, якщо вони не встигають повністю розплавитися, виявляється шар неметалевих включень переважно екзогенного походження. У разі, якщо потоплена корочка встигає розплавитися, в місці її розташування виявляється зона скупчення включень.

Іноді пасткою для спливаючих включень є нижні кірки металу, які утворюються в перший момент заповнення виливниць металом і під дією струменя металу (при сифонному розливанні) відштовхуються від дна виливниці і іноді пристивають до її країв.

Дослідження ступеня забрудненості сталі екзогенними включеннями показали, що кількість екзогенних включень, джерелом яких служать вогнетриви печі, шлак, вогнетриви ковша і сифонного припасу, може коливатися в широких межах для різних плавок в залежності від складу шлаку, вогнетривів, від температури і розкисленням металу та інших чинників. Врахувати ці фактори в ряді випадків важко, так як зазвичай в плавкових картах недостатньо повно фіксуються параметри, пов'язані зі станом вогнетривів.

У дослідженнях виявлено, що $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ в основному є продуктом розкислення, але може потрапляти в сталь і з вогнетривів. Включення α -кварцу в основному потрапляють з вогнетривів, але можуть бути також і продуктом розкислення, що утворюється в процесі затвердіння і охолодження рідкої сталі.

На підставі вивчення включень у сталевих злитках встановлено, що $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ є виключно продуктом розкислення, а не продуктом руйнування вогнетривів. Джерелом частинок кварцу служить розмив вогнетривів, а

кристобаліт є перехідним продуктом кварцу. Ці оксиди не утворюються в результаті розкислення сталі кремнієм. Утворення силікатних стеклол може бути віднесено і до реакції розкислення кремнієм і до ерозії вогнетривів.

Було встановлено, що на поверхні безперервних злитків утворюються шлакові включення внаслідок затягування в кристалізатор шлаку з поверхні рідкого металу в проміжному ковші. Досліди із застосуванням цирконового концентрату при кладці проміжного ковша показали, що однією з найважливіших причин появи шлакових включень є руйнування вогнетривких матеріалів проміжного ковша.

Введенням цирконового концентрату в пічний шлак була доведена можливість часткового потрапляння пічного шлаку з сталерозливного ковша в проміжний ківш і кристалізатор. Важливим джерелом забруднень є також окислення сталі в процесі розливання.

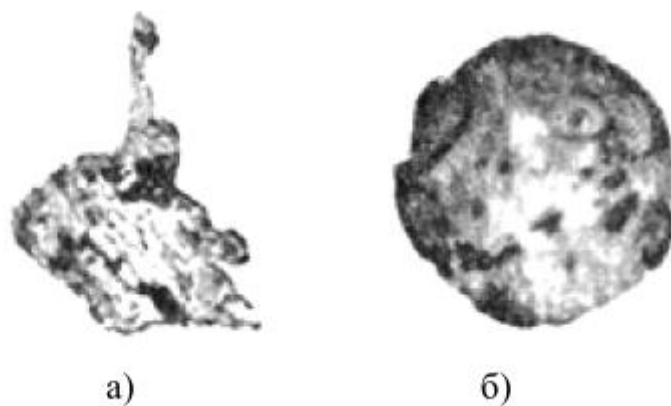
Було показано, що присутність в сталі марганцю і алюмінію призводить до сильного роз'їданню футерування, що складається з SiO_2 . При цьому сталі з алюмінієм руйнують футеровку інтенсивніше, ніж сталі з марганцем. Зменшення ерозії футеровки може бути досягнуто підвищенням вмісту в металі кремнію.

Досліджували вплив пічного шлаку на забрудненість сталі ШХ15 неметалевими включеннями з застосуванням радіоактивних ізотопів. На підставі результатів радіометричного аналізу було встановлено, що кількість включень пічного шлаку від загальної кількості включень становить в середньому 2,6%, в окремих плавках ця величина досягає 11%.

Дослідження із застосуванням радіоактивного ізотопу кальцію на сталі ШХ15 показали значну роль основного пічного шлаку в забрудненні електросталі. Частка включень пічного шлаку в загальному балансі кисневих включень в більшості випадків не перевищує 1%, але в окремих плавках досягає 25%. При збільшенні кількості пічного шлаку в металі зростає бал по напівкрихким включенням.

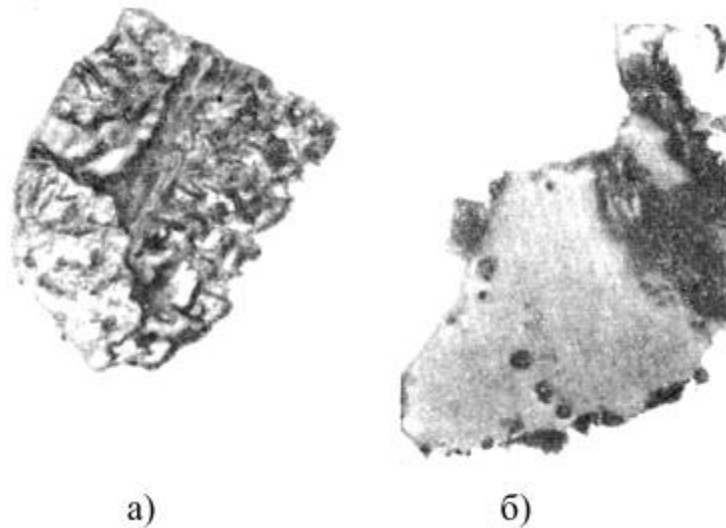
Дослідження фазового складу великих неметалевих включень в сталі ШХ15 проводили методом рентгеноструктурного аналізу, окремого включення на шліфі і доповнювали комплексом інших методів. Сталь ШХ15 з високим вмістом вуглецю, ретельним розкисленням рафінувальним шлаком і додатковим розкисленням перед випуском і в ковші алюмінієм, має незначну забрудненість неметалевими включеннями. Однак в шліфах цієї сталі при контролі на неметалеві включення зустрічаються іноді окремі великі включення (рис. 3.1, 3.2) або скупчення включень, що призводять до забракованих плавок.

Піддавалися дослідженню неметалеві включення розміром 40-150 мкм, виявлені металографічним методом, і більші, виявлені ультразвуковим контролем. На рис. 3,1, 3,2 показані деякі включення, склад яких був встановлений.



а – збільшення 100; б – збільшення 320

Рисунок 3.1 – Окремі великі включення складу $MgO \cdot Al_2O_3$ в сталі ШХ15

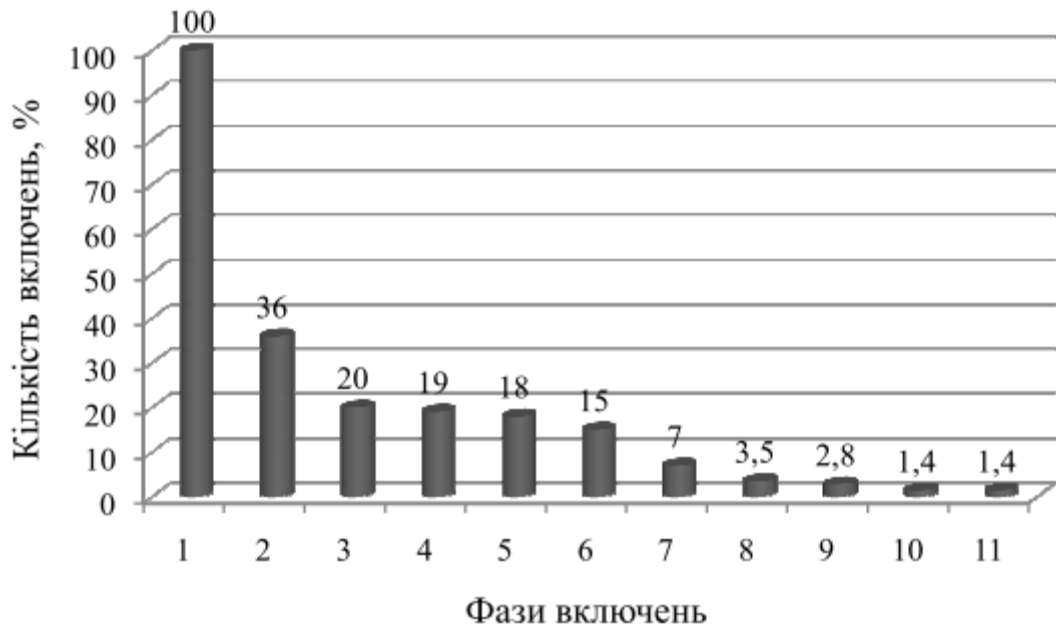


а – корунд $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$; б – муліт і кремнезем

Рисунок 3.2 – Окремі великі включення в сталі ШХ15 - х320

Для включень характерна насамперед багатофазність. Однофазними з 257 досліджених включенні виявилися тільки 19 (7,4%). Крім того, характерною особливістю вивчених включень є присутність в кожному з них магнезійної шпінелі $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$. На рисунку 3.3 зроблений графічний аналіз повторюваності фаз в складі включень.

Найбільш часто шпінелі супроводжують кальцієві алюмінати з різними коефіцієнтами $n \text{CaO} \cdot m \text{Al}_2\text{O}_3$ (32% всіх включень); кліноенстатит MgO-SiO_2 (21%); монтічеліт – CaO-MgO-SiO_2 (19%); оксиди кремнію - модифікації β -кристобаліт і α -кварц (19%); сульфід кальцію – CaS (16%); геленіт - $2\text{CaO-Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ (7%).



1 – $MgO \cdot Al_2O_3$; 2 – $n CaO m Al_2O_3$; 3 – $MgO \cdot SiO_2$;
 4 – $CaO \cdot MgO \cdot SiO_2$; 5 – SiO_2 ; 6 – CaS ; 7 – $2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$;
 8 – FeO ; 9 – CaF_2 ; 10 – $MgO \cdot Fe_2O_3$; 11 – Al_2O_3

Рисунок 3.3 – Повторюваність окремих фаз в великих включених, виявлених в сталі ШХ15

Значно менша частка включень містить в якості супутніх магнезіальні шпінелі фази CaF_2 , FeO , $MgO-Fe_2O_3$ (від 4 до 1,5%). Інші супутні фази ($\alpha-Al_2O_3$; $3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot CaF_2 \cdot MgO$; MgF_2 ; Ca_3SiO_5 ; $2CaO \cdot MgO \cdot Fe_2O_3$) спостерігалась у 1-2 з 257 досліджених включень.

Отримані дані підтверджуються рентгеноспектральним, петрографічним і хімічним методами. Встановлений фазовий склад включень дозволяє аналізувати різні можливі джерела попадання в сталь щодо великих неметалевих включень. Присутність у всіх включеннях з'єднань магнію вказує на те, що джерелом утворення цих включень є футеровка електропечі, основу якої складають магнезитові і хромомагнезитові вогнетриви.

Незважаючи на те, що джерелом утворення включень є футеровка печі, вони мають різний склад і шляхи їх утворення можуть бути різними. Можна розглянути кілька основних моментів утворення цих включень.

1. Завись в металі, що утворюється шляхом відриву зерен футерування печі під час плавки і особливо при зливі.

2. Завись в металі, що утворюється шляхом емульгування рідких і твердих частинок шлаку.

3. Продукти розкислення, що утворюються при кінцевому розкисленні сталі алюмінієм.

Основна фаза великих включень сталі ШХ15, шпінель $MgO \cdot Al_2O_3$ характерна як для основних шлаків, так і для вогнетривів періклазошпінелідного типу, що входять в пічну футеровку. Можливе утворення цієї фази також в результаті взаємодії алюмінію в рідкому металі з киснем і з'єднаннями магнію. У зв'язку з цим присутність шпінелі $MgO \cdot Al_2O_3$ у включеннях не дозволяє встановити однозначно шляхи їх утворення, хоча і вказує на те, що джерелом цих включень є магнезитове футерування печі.

Типова багатофазність і досить великі розміри більшості досліджених включень (80-150 мкм) вказують на те, що ці включення є продуктами не тільки розкислення. Вони могли лише змінити свій склад під впливом розкислення алюмінієм, або бути центрами (підкладками) для протікання реакції розкислення на їх поверхні при введенні розкислювача і зниженні температури металу.

3.3 Дослідження неметалічних включень у сталях після рафінуючих переплавів

В оптимальних умовах електрошлакової переплавки значно знижується вміст кисневих і сульфідних включень і в деякій мірі нітридних включень. За оптимальних умов вакуумно-дугового переплаву значно знижується вміст кисневих включень, дещо менше – нітридних і сульфідних. Електронно-променевий переплав при оптимальних умовах знижує вміст кисневих, сульфідних і нітридних включень.

При невиконанні оптимальних умов метал після переплаву може мати таку ж або навіть більшу забрудненість, ніж вихідний.

До технологічних факторів, що мають важливе значення для отримання високої якості металу, відносяться спосіб виплавки електродів, конструкції установок, розміри кристалізаторів, розрідження при вакуумних переплавах, склад шлаку при електротрошлякових переплавах, електричні режими переплаву і ін.

Найбільш широко поширений електрошлаковий переплав, дещо менше вакуумний дуговий і ще в стадії випробування знаходиться електронно-променевий переплав.

Існують різні пояснення зниження забрудненості сталі при вакуумно-дуговому і електронно-променевому переплаві. Вважається, що видалення кисню частково відбувається завдяки випаровуванню газоподібних оксидів при проходженні металу через вакуумовану зону, а також внаслідок випаровування з поверхні розплавленого металу. Припускають також, що має місце процес спливання включень на поверхню металеві ванни і дисоціація їх на цій поверхні.

Видалення сірки при електрошлаковому переплаві пояснюють зв'язуванням її з компонентами шлаку, а при електронно-променевому переплаві - випаровуванням.

Найбільше зниження вмісту азоту спостерігається при електронно-променевому переплаві, передбачається, що видалення азоту пов'язано з випаровуванням його в вакуумі.

При електрошлаковому переплаві нітридні включення (нітриди титану) частково спливають в зону шлаку і внаслідок цього вміст нітридів в сталі дещо знижується.

Для з'ясування умов утворення включень в сталі після рафінуючих переплавів розглянемо результати досліджень забрудненості включеннями сталі після переплавів.

Електрошлаковий переплав застосовують для сталей багатьох марок, в яких присутність волосовін небажано. Досліди по електрошлаковому переплаву сталі ШХ15 були проведені під флюсом, що містить CaF_2 .

Шлакова ванна була захищена аргоном. При переплаві вміст сірки понизився з 0,013-0,015% до 0,008-0,009%.

Істотне поліпшення було відзначено при контролі металу на волосовини і на неметалеві включення (табл. 3.2). Поверхня злитків була чистою і не вимагала обдирання. Сталь мала підвищену пластичність і ударну в'язкість на зразках, вирізаних поперек волокна. Більші включення витягуються з металу швидше, ніж дрібні. Чим вищий вміст включень, тим швидше віддаляються вони з металу. У великих краплях вміст включень зменшується повільніше, ніж в дрібних. Транспортування включень в поверхневий шар відбувається завдяки вихроподібним потокам металу всередині рухомої краплі. Включення, які опинилися на межі шлак-метал, поглинаються шлаком.

Вивчаючи вплив кисневого потенціалу в газовій фазі на видалення сірки і неметалевих включень при електрошлаковій переплаві, встановили умови видалення сірки і, зокрема, визначили, що основним видом включень в сталі ШХ15, переплавленої під шлаком системи $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaF}_2$, є високодисперсні частки глинозему. Включення віддаляються шляхом спливання.

Таблиця 3.2 - Неметалеві включення і волосовіни в заготовках діаметром 120 мм сталі ШХ15 після електрошлакового переплаву

Спосіб виплавки	Оцінка неметалевих включень в максимальних балах		Оцінка волосовін на ступінчастій обточці	
	оксидів	сульфідів	число	сумарна протяжність, мм
Основна електропіч	4,5	1,0	3	17
Електрошлаковий переплав	1,0	1,0	0	0

Видалення зі сталі неметалевих включень при вакуумно-дуговому переплаві відбувається внаслідок їх спливання. При швидкості наплавлення злитка 40 см/г включення діаметром 8 мкм і менше не встигають спливати.

Цим пояснюється присутність включень таких розмірів в сталі з вакуумно-дугової печі. Включення, що спливли утворюють на поверхні розплавленого металу шлак. Шар його може досягати такої товщини, що ускладнює горіння дуги.

Дані таблиці 3.3 показують, що при електрошлаковому переплаві об'ємна частка включень зменшується. Ще більшою мірою зменшується об'ємна частка включень після вакуумного переплаву. Розподіл включень по групам розмірів дозволяє зробити висновок, що в металі після переплавок, так само як і в початковому металі, переважна кількість включень має розміри <6 мкм.

Електрошлаковий переплав істотно знижує вміст сірки (на 10-60%), дещо знижує вміст кремнію (на 5-30%). Ці зміни залежать від складу шлаку.

Вакуумно-дуговий переплав трохи знижує вміст марганцю (на 5-25%) і сірки (до 20%). Для отримання низького вмісту сірки в металі вакуумно-

дугового переплаву використовують для електродів метал, який містить понад 0,006% S.

Таблиця 3.3 – Об’ємна доля і розподіл за розміром кисневих включень в злитках сталі ШХ15, виплавленої різними способами

Спосіб виплавки	Об’ємна частка включень, %	Кількість включень, % за розмірами, мкм		
		< 6	6 - 12	> 12
Основна електропіч	0,0126	93,9	5,6	0,5
Електрошлаковий переплав	0,0084	98,0	1,9	0,1
Вакуумно-дуговий переплав	0,0032	96,2	3,8	0,0

Мінімальний врахований розмір включень 1,7 мкм

Електронно-променевий переплав істотно знижує вміст марганцю (на 50-80%), сірки (на 20-60%) і дещо знижує вміст хрому (на 5-15%). Вміст кисню при всіх способах переплавки (при оптимальній технології) знижується: після електрошлакового переплаву на 30-60%; вакуумно-дугового - на 50-70% і електронно-променевого - на 50- 80%.

Вміст азоту зменшується помітно тільки при електронно-променевому переплаві (на 50-80%). Після електрошлакового і вакуумно-дугового переплаву вміст азоту знижується на 10-30%.

При вакуумно-дуговому переплаві і особливо при електронно-променевому переплаві вміст таких домішок, як свинець, олово, сурма, цинк знижується приблизно на порядок (з тисячних до десятитисячних доль відсотка).

Для визначення забрудненості металу використовувалися плавки масового поточного виробництва. Результати такого, дослідження наведені в таблиці 3.4 для прутків розміром 20-40 мм. Дані показують, що електрошлаковий переплав повністю усуває оцінки великими балами, характерними для металу звичайних плавок.

Таблиця 3.4 – Неметалеві включення в металах з основної електропечі і після електрошлакового переплаву

Спосіб виплавки	Число зразків	Вид включень	Кількість зразків (%), забруднених включеннями, бал								
			0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Основна електропеч	300	Оксиди	0	0	18,0	26,0	45,3	5,3	2,0	2,7	0,7
		Сульфідни	0	0	30,3	49,0	20,7	0	0	0	0
		Глобули	0	45,5	19,3	15,7	15,3	2,3	0,3	0,7	1,01
Електрошлаковий переплав	180	Оксиди	0	61,2	35,5	3,3	0	0	0	0	0
		Сульфідни	61,1	37,3	1,7	0	0	0	0	0	0
		Глобули	0	82,7	16,7	0,6	0	0	0	0	0

Істотно знижуються і середні бали (підраховані з максимальних оцінок на шліфах) для оксидних, сульфідних і глобулярних включень. Особливо значно знижуються бали по сульфідам: при збільшенні 100 сульфідні включення на 61,1% шліфів невиразні і оцінюються балом 0. Таким чином, електрошлаковий переплав усуває скупчення включень і окремі включення, які оцінюються балом > 2.

Дослідження включень в сталі ШХ15 дозволило також виявити особливості утворення включень в металі при рафінуючих переплавах.

У таблиці 3.5 наведено розподіл полів зору, забруднених включеннями, відокремленими і комплексними.

Дані показують, що в плавці основної дугової печі з числа полів зору, мають включення оксидів (232 поля зору), 40% містять включення оксидів і сульфідів, 12% містять включення оксидів, сульфідів і нітридів, тобто можна з упевненістю вважати, що не менше 52% оксидних включень розташовані в міжвісьних просторах.

Для плавки електрошлакового переплаву відповідно не менше 46% оксидів для однієї плавки і 37% оксидів для іншої розташованих в міжвісьних ділянках. Нітридні включення (нітрид титану) також часто

розташовані в міжвісьних ділянках, так як із загального числа полів зору з включеннями нітридів титану частка полів зору, в яких нітрид розташовується разом з сульфідами і оксидами, становить для основної електродугової плавки 48%, а для електрошлакового переплаву 25 і 50% відповідно.

Таблиця 3.5 – Розподіл оцінок полів зору по типам включень

Спосіб виплавки	Число переглянутих полів зору	Число полів зору з різними типами включень					
		оксидами	нітридами	оксидами і сульфідами	оксидами і нітридами	сульфідами і нітридами	нітридами і сульфідами
Основна електропіч	1065	110	36	93	1	28	5
Електрошлаковий переплав	690	32	4	16	1	3	1

Дані про розміри включень і розташуванні їх по відношенню до дендритних структур дозволяють дати загальні уявлення про процес утворення включень при рафінуючих переплавах. Прийнято вважати, що при рафінуючих переплавах сталь очищається внаслідок спливання включень.

Слід зауважити, що спливати можуть тільки екзогенні включення, якщо вони є в металі електрода. Що стосується основної маси включень, що мають в основному розміри до 6 мкм, то ці включення, мабуть, в рідкому металі відсутні і утворюються під час кристалізації злитків з розчиненого в рідкій сталі кисню і присутніх в сталі розкислювачів або легуючих компонентів.

Електрошлаковий, вакуумно-дуговий і електронно-променевий способи переплавки підвищують чистоту сталі в 1,5-4 рази, але ступінь

зменшення забрудненості для кожного методу може коливатися в значних межах.

Порівняння однократних переплавок показує, що найбільш чистий метал може бути отриманий при оптимальних варіантах електронно-променевого переплаву. Результати показують оптимальні варіанти електрошлакового переплаву. Дещо гірше метал вакуумно-дугового переплаву (дослідні плавки). Найменшу забрудненість мають вакуумно-дугова і електронно-променева сталі, переплавлені з електродів електрошлакової. При електрошлаковому і електронно-променевому переплавах значно знижується вміст оксидних і сульфідних включень, дещо зменшується вміст нітридів. При вакуумнодуговому переплаві значно знижується вміст оксидів, трохи - сульфідів і нітридів.

3.4 Вплив технологічних факторів на характер включень і властивості сталі

Дослідження проводили на лабораторній установці і на промисловій установці заводу ПАТ «Дніпрспецсталь». Вивчали температурний режим, механізм взаємодії рідкої сталі зі шлаком і вплив окремих технологічних факторів на якість сталі. Застосовували флюс АНФ-6.

Крапельна обробка сталі шлаками забезпечує практичну відсутність в ній грубих кисневих включень - повністю зникають рядки глинозему і шпінелі, різко подрібнюються силікатні глобулярні включення. Вміст кисню, яке визначається вакуум-плавленням, і стійких оксидних включень, що виділяються при електролітичному розчиненні, знижується в 1,6-2 рази.

Дослід показав, що незалежно від ступеня забруднення оксидними включеннями витрачених електродів для цієї сталі завжди характерний високий і стабільний рівень чистоти. При цьому вміст кисню для сталі різних марок зазвичай становить 0,002-0,003%. Відсутність спадковості в

забрудненості кисневими включеннями при переплаву має велике практичне значення і є одним з істотних переваг електрошлакової плавки.

При електрошлаковому переплаві температура металу і шлаку значно вище, ніж при всіх відомих сталеплавильних процесах. Високі ступені перегріву металу (265-490 °С) і шлаку (425-565 °С) обумовлюють енергетичну та металургійну ефективність процесу і відкривають необмежені можливості для подальшого поліпшення якості сталі.

Електрошлакова сталь відрізняється щільною й однорідною структурою, високим ступенем чистоти по неметалевим включенням (особливо сульфідним) і ізотропним механічними властивостями. Неметалеві включення подрібнені і дезорієнтовані. У катаній і кованій сталі такі включення розташовані так само, як і в литій, на значній відстані один від одного, без орієнтації в напрямку деформації.

Велика частина включень є кристалічні зерна корунду і нітридів. Вимірювання температур робочого шлаку спеціальної термопарою занурення (високоглиноземний наконечник в графітовому чохлі) показали, що ці температури для кожної марки сталі строго визначені і не залежать від температури ліквідусу (табл. 3.6).

Таблиця 3.6 – Температура електрошлакового переплаву

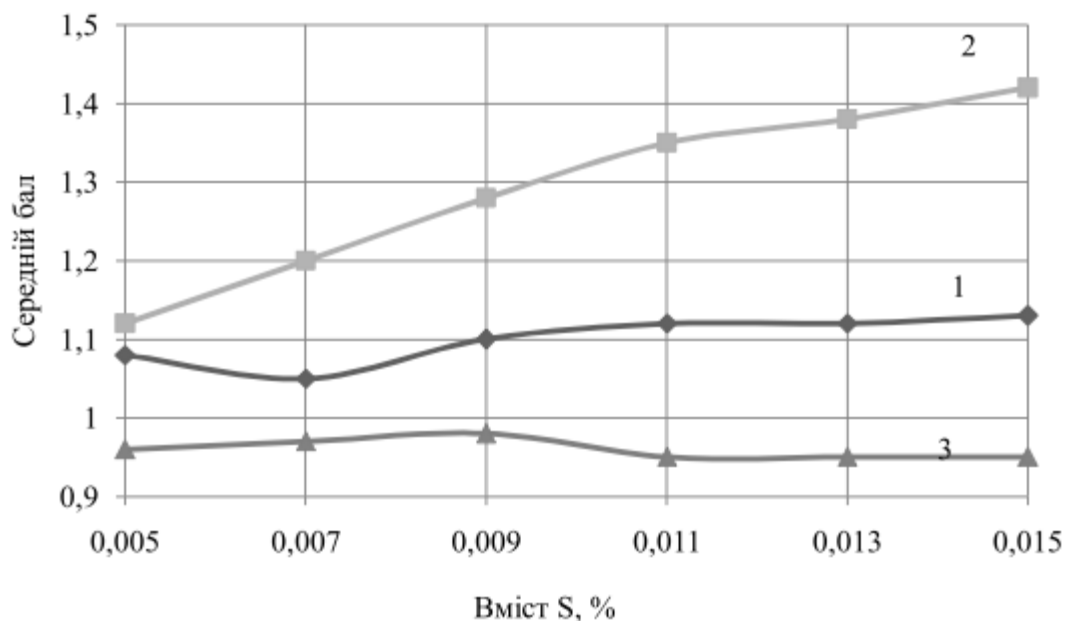
Марка сталі	Температура °С			
	ліквідусу сталі	робочого шлаку	перегріву	
			сталі	шлаку*
45	1495	1760	265	460
ШХ18СГ	1450	1725	275	425
ШХ15	1455	1750	295	450
12Х2Н4А	1499	1760	265	460
1Х13А	1503	1775	270	475
12Х18Н9Т	1452	1850	398	550
1Х18Н22В2Т2	1374	1865	490	565

Ступінь перегріву сталі та шлаку збільшується з підвищенням легування. Це пояснюється зміною поверхневої енергії на межі метал - шлак, що впливає на роботу утворення і відриву краплі від електрода.

Величина міжфазної контактної поверхні метал-шлак була вище 300 м²/т сталі. Якщо врахувати, що при дифузійному розкисненні в сучасних дугових електропечах місткістю 10-80 т міжфазна поверхня метал - шлак відповідно становить 0,7-0,3 м²/т, то стає зрозуміло, чому ефективність рафінування при електрошлаковому процесі так висока.

Встановлено однозначну залежність між вмістом сірки у вихідній заготовці і сульфідних включень в електрошлаковій сталі (рис. 3.4). Зі зниженням вмісту сірки чистота сталі по сульфидам різко збільшується.

При переплаві шарикопідшипникової сталі слід застосовувати електроди, що витрачаються, з вмістом сірки не вище 0,006%.



а - оксиди; б - сульфіди; в - глобулі

Рисунок 3.4 – Вплив вмісту сірки в електродах, що витрачаються, на чистоту електрошлакової сталі по включенням

Можливості забезпечення такою вихідною заготовкою на електрометалургійних заводах підтверджуються аналізами рядових шарікоподшипникових плавок з 30-50-т електропечач – більше 20% всіх плавок вкладається в цю межу.

При переплаві шарікопідшипникової сталі ступінь десульфурації становить 25-30% і кінцевий вміст сірки пропорційно вихідному. Відсутність впливу вмісту сірки на оксидні і глобулярні включення підтверджує їх чисто кисневе походження, без участі сульфідної складової.

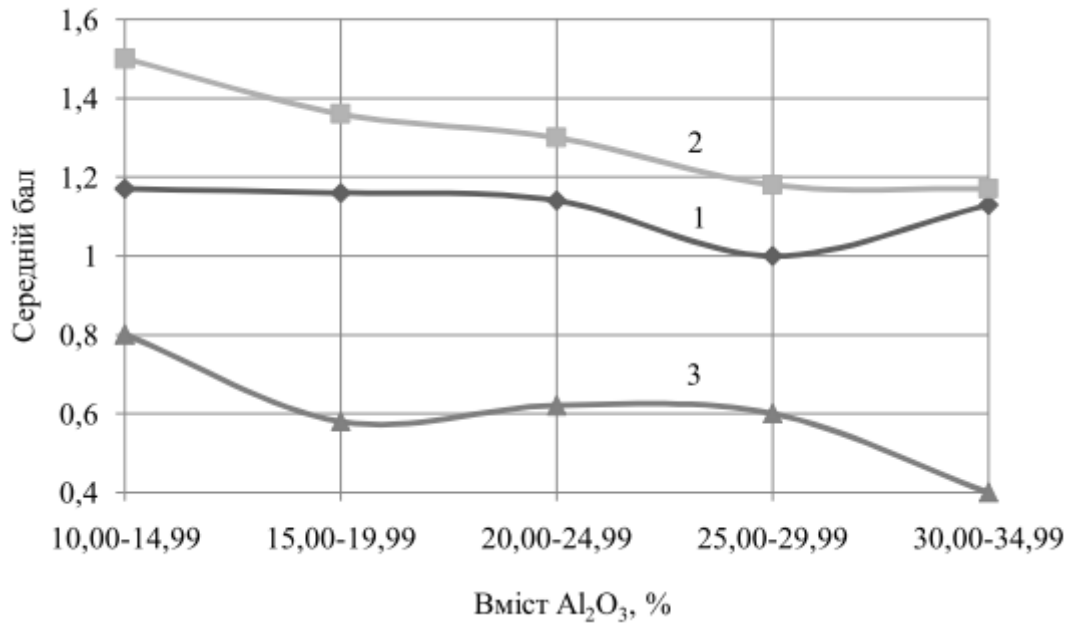
На лабораторній установці в 100-мм кристалізаторі були виплавлені дослідні плавки по вихідній заготовці, що містить до 0,005% S. Після переплавки вміст сірки знизився до 0,003%, тобто до межі, близької до розчинного у твердій сталі. У кованому гатунку діаметром 40 і 25 мм видимих сульфідних включень практично не було. Істотний вплив на чистоту сталі надає склад флюсів.

Статистична обробка 500 плавок (2955 зразків) шарікопідшипникової сталі, виплавленої на флюсах з вмістом глинозему від 14,8 до 32,9%, показала однозначну залежність підвищення чистоти сталі, особливо по сульфидам і глобулах, у міру збільшення вмісту глинозему (рис. 3.5).

Відомо, що з підвищенням вмісту глинозему в вапняно-глиноземистому шлаку збільшується його десульфуруюча здатність, що сприяє отриманню більш чистої по сульфидам сталі. Зниження вмісту сірки (до 0,006%) в електродах, що витрачаються, і підвищення вмісту глинозему у флюсі АНФ-6 дозволили значно підвищити чистоту підшипникової сталі.

Досліджували вплив складу флюсів на ступінь чистоти сталі по включенням. Застосовували флюси АНФ-6, АНФ-8Г АНФ-19 і АН-29 (табл. 3.7). Кращі результати були отримані на флюсі АНФ-6, найбільш забруднена включеннями сталь була отримана на флюсі АН-29.

Ступінь чистоти електрошлакової сталі по неметалевим включенням ілюструють дані таблиці 3.8.



а - оксиди; б - сульфідни; в - глобулі

Рисунок 3.5 – Вплив вмісту глинозему у флюсі АНФ-6 на чистоту електрошлакової сталі по включенням

Таблиця 3.7 – Хімічний склад флюсів

Марка флюсів	Хімічний склад, %								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	S	CaF ₂
АНФ-6	1,48	29,15	0,24	1,11	0,06	2,03	0,94	0,073	65,75
АНФ-8	0,86	18,95	0,25	0,16	0,14	16,82	2,43	0,060	58,40
АНФ-19	0,58	14,00	0,58	0,11	0,06	3,10	1,10	0,018	80,12
АН-29	0,98	40,00	0,60	0,10	0,08	39,8	1,16	0,021	17,56

Таблиця 3.8 – Забруднення включеннями шарикопідшипникової сталі звичайної та електрошлакової плавки

Електросталь	Число зразків	Забрудненість, середній бал		
		оксиди	сульфіди	глобулі
Звичайна	5260	2,26	2,10	0,80
Електрошлакова	660	1,19	1,32	0,53
	1072	1,08	1,06	0,45

Слід, однак, відзначити, що ніякими балами не можна оцінити перевага цієї сталі, так як в ній всі види включень дезорієнтовані і практично відсутні волосовини.

При збільшенні вище 500 значна частина дезорієнтованих, так званих точкових, включень мала яскраво виражений кристалічний характер.

Кристали кубічної системи типу NaCl, із золотистою і оранжевим забарвленням мали всі характерні ознаки нітридів і карбонітридів титану.

Останні включення представляли собою кристали корунду - зерна сульфідів марганцю і дуже рідко правильної форми силікати (глобулі) розміром до 20 мк.

Вивчали кількісний розподіл неметалевих включень в електрошлаковій сталі. Для цього визначали ступінь забрудненості методом підрахунку.

Контролю піддавали рядові плавки, виплавлені на флюсі АНФ-6, на вихідній заготовці, що містить 0,006% S.

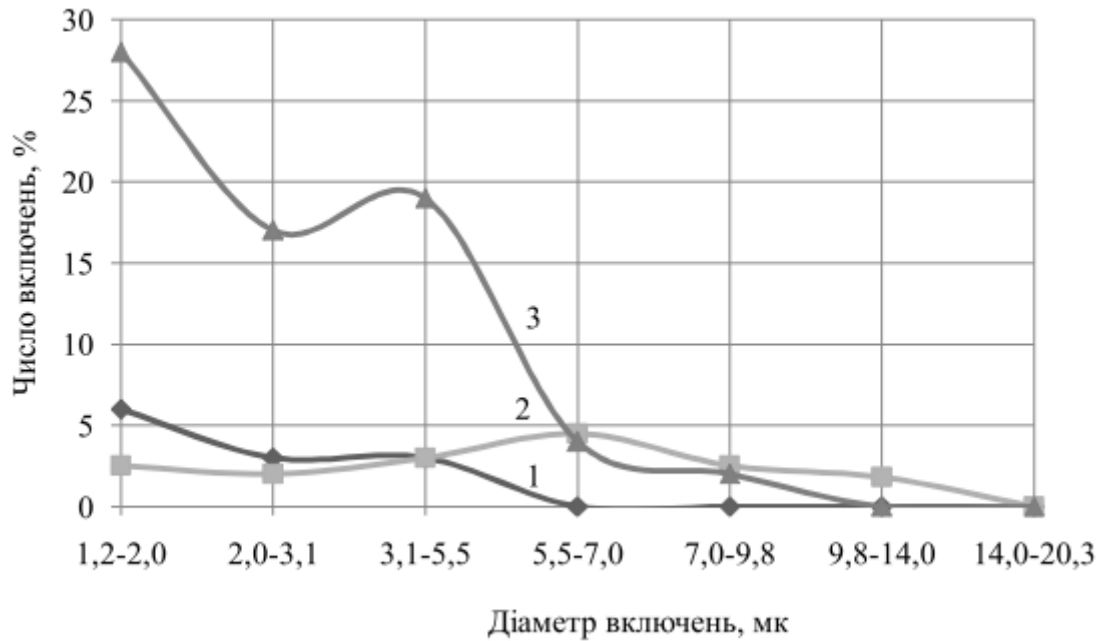
З кожної плавки переглядали не менше 300 полів зору при збільшенні 320. У кожному полі зору враховували всі видимі включення, вимірювали їх за допомогою окулярної шкали і відносили до однієї з трьох груп (оксиди, сульфідів, нітриди). Приймали, що форма всіх включень - кругла. Глобулярні включення відносили до оксидів.

Дані дослідження представлені в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Розподіл включень за розмірами і групам

Діаметр включень, мкм	Кількість включень, %			Всього, %
	оксиди	сульфіди	нітриди	
1,2-2,0	2,95	2,65	29,20	37,80
2,1-3,1	3,08	2,01	17,00	22,09
3,2-5,5	3,17	2,06	19,20	24,43
5,6-7,0	0,20	3,38	4,50	8,08
7,1-9,8	-	2,20	2,20	4,40
9,9-14,0	-	1,80	0,20	2,00
14,1-20,3	0,10	0,20	-	0,30
20,4-28,9	-	-	-	-
Всього, %	12,50	15,20	72,30	100,00

Більшу частину включень становили нітриди і карбонітриди титану, потім сульфідів і оксидів. Розподіл включень за видами - групам і розмірами наведено на частотній діаграмі (рис. 3.6). Розміри включень були наступними: 75,% до 5,5мк; 0,3% від 14 до 20 мк; включення більш 20 мк не зустрічалися. В інших плавках було приблизно таке ж розподілення включень.



а - оксиди; б - сульфідів; в - нітриди

Рисунок 3.6 – Частотна діаграма розподілу неметалевих включень за видами і розмірами

Загальна ваговий вміст неметалевих включень, визначений підрахунком, склав 0,018872% (оксиди 0,0008, сульфідів 0,00742, нітриди і карбонітриди 0,01065).

У таблиці 3.10 наведені дані, отримані при порівнянні чистоти по неметалевим включенням двох сталей. Одна сталь (I) - результат електрошлакової переплавки електродів, отриманих з мартенівської сталі, виплавленої в 30-т основній мартенівській печі, обробленої в ковші синтетичним шлаком. Мартенівська сталь містила 0,005% S, 0,007% N і сліди титану.

Плавки відрізнялися відносно високим ступенем чистоти по неметалевим включенням. Інша сталь (II) була отримана шляхом електрошлакової переплавки рядової електросталі з 0,005% S і 0,0125% N.

Переплав вели в промисловій електрошлаковій печі (кристалізатор діаметром 300 мм) і лабораторній (кристалізатор діаметром 100 мм).

Контролю піддавали круглі заготовки після прокатки і кування (діаметр 30 і 25 мм).

Таблиця 3.10 – Чистота по неметалевим включенням до і після електрошлакової переплавки (чисельник – максимальні, знаменник – середні бали)

Тип сталі	Діаметр кристалізатора, мм	Бали				
		оксиди	сульфіди	силікати	глобулі	точкові
I	до переплаву	1,0/0,9	2,0/1,6	3,0/2,2	6,0/3,4	4,0/3,2
	300	2,0/0,9	1,0/0,5	1,0/0,2	2,0/1,5	2,0/1,4
	100	0,5/0,5	0,5/0,5	1,0/0,1	1,0/0,6	1,5/0,8
II	до переплаву	4,0/3,5	4,0/3,5	6,0/3,0	4,0/3,6	4,0/3,2
	300	2,0/1,5	2,0/1,5	0,5/1,0	2,0/1,9	3,0/2,5
	100	1,0/0,7	0,5/0,5	0,5/0,5	2,0/1,2	3,0/2,1

Вихідна мартенівська сталь, оброблена синтетичним шлаком, мала в основному дезорієнтовані включення корунду, сульфідів, нітридів і відрізнялася великою чистотою. Однак в окремих полях зору (приблизно в одному на сто) зустрічалися поодинокі глобулярні анізотропні включення, до 30 мк. Після переплавки великих включень не було, фон шліфів був чистим з одиничними точковими включеннями. Розміри точкових включень не перевищували 2-3 мк. По точковим включенням електрошлакова мартенівська сталь була значно чистіше звичайної електрошлакової, що пояснюється приблизно в 2 рази нижчим вмістом в ній азоту. Інша важлива перевага такої сталі - високий ступінь чистоти по сульфідним включенням.

На більшій частині шліфів при збільшенні 100 сульфідів практично не спостерігалися.

Кількісний розподіл включень визначали методом підрахунку.

Переглядали не менше 300 полів зору на 10 шліфах від кожної плавки при збільшенні 320 і підраховували по групам і розмірам кількість включень, що припадає на 100 мм² площі шліфа.

Після переплавки з мартенівської сталі були видалені всі включення > 10 мкм і більше половини включень з розмірами 6-10 мкм. Дані дослідження наведені в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Порівняльна оцінка чистоти мартенівської та електросталі

Сталь	Число включень в 100 мм ² площі шліфа при їх розмірі, мкм			
	6	6-10	10-20	>20
Мартенівська:				
до переплаву	1482	136	16	2
після переплаву	1297	61	-	-
Електросталь:				
до переплаву	1754	368	61	2
після переплаву	1532	108	7	-

Кількісний розподіл включень по групах добре узгоджується з даними газового аналізу і металографічним контролем. Нітридів та сульфідів електрошлакової мартенівської сталі приблизно в 5 разів менше, ніж в електрошлаковій звичайній (з електросталі). По об'ємному відсотку включень індекс порівняльної чистоти розглянутих плавок можна оцінити такими коефіцієнтами:

Звичайна електросталь.....	1,0
Мартенівська, оброблена синтетичним шлаком.....	0,54
Електрошлакова з електросталі.....	0,45
Електрошлакова мартенівська.....	0,32

Однак, якщо при цьому враховувати не тільки кількість, але і розміри включень, то переваги електрошлакової сталі набагато вище.

Дослідження показали, що один з важливих чинників подальшого підвищення якості шарикопідшипникової сталі - зниження вмісту азоту.

Не менш перспективним є використання для електрошлакової переплавки конвертерної сталі з верхнім кисневим дуттям, обробленої синтетичним шлаком.

Висновки до розділу 3

1. Надано аналіз методів визначення складу та структури неметалевих включень в сталях та сплавах. До числа розглянутих методів відносяться мікроскопічний, мікрозондовий, рентгеноструктурний, петрографічний, мікроспектральний.

2. Представлено хімічний, структурний та фазовий аналіз різних включень в заготовках сплавів електрошлакового переплаву. Визначено кількісний склад влючень за величиною ефективного діаметру.

3. Визначено вплив рафінуючи переплавів на види та кількість неметалевих включень. Представлена кількісна оцінка включень на основі оксидів та сульфідів.

4. Показано перевагам електршлакового переплаву перед різними способами отримання шарикопідшипникових та нержавіючих сталей.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів електросталеплавильного цеху

Електросталеплавильне виробництво характеризується складністю й різноманітністю технологічного процесу, різноманітністю механічного устаткування, у зв'язку із чим, у виробничому середовищі мають місце небезпечні фізичні й фізико-хімічні фактори. Це може бути причиною нещасних випадків і професійних захворювань. Інструкція з охорони праці для робітників цеху, встановлює вимоги безпеки при виконанні робітниками та службовцями покладених на них обов'язків, а також безпечного поведіння на робочих місцях і території цеху.

У повітря робочої зони при плавленні та розливанні сталі можуть потрапляти газоподібні речовини: CO, SO₂, NO₂ тощо.

При виконанні деяких операцій електросталеплавильного процесу можливе виникнення шуму механічного, аеродинамічного і термічного походження (рух електромостових кранів, машин завалень, рух газових потоків по газопроводах та ін.). Вібрацію можуть створювати ті ж агрегати, які є джерелами шуму.

Пічний і розливний прольоти є джерелами інтенсивних теплових випромінювань, а також відділення роздягання злитків. Із-за наявності в електросталеплавильному цеху великих кількостей надлишкового тепла відбувається значне підвищення температури повітря. Підвищена теплова дія на організм людини призводить до перенапруження його терморегуляторних функцій і може спричинити порушення теплового балансу організму.

Аналіз шкідливих факторів виробничого середовища, дозволяє зробити наступний висновок про умови праці сталевара:

1) оцінка технічного й організаційного рівня відповідає технологічному регламенту й організації праці на робочому місці.

2) робоче місце має в наявності 4 фактори 1 ступеня, 7 факторів 3 ступеня. За показниками робоче місце варто вважати з особливо шкідливими й особливо важкими умовами праці, що відповідає показникам списку № 1 пункту 1. Відповідно до гігієнічної класифікації праці сталеварові дається 30 днів додаткової відпустки, надбавка до зарплати - 24 % і виділяється молоко.

4.2 Заходи, щодо захисту від шкідливих і небезпечних чинників електросталеплавильного цеху

Умови праці в цеху характеризуються впливом на багатьох робочих місцях таких факторів виробничого середовища, як підвищена температура повітря, інфрачервоне й ультрафіолетове випромінювання, забруднення повітря токсичними речовинами й пилом, утворення електричних і магнітних полів. Виконання ряду операцій пов'язане з важкою фізичною працею, а на автоматизованих виробництвах - з обслуговуванням пультів керування. Є ділянки, де утворюється інтенсивний шум.

У цехах, особливо в перехідний і зимовий періоди року, робітники піддаються впливу більших температурних перепадів, сильних потоків гарячого й холодного повітря.

Досягненню нормативних показників сприяють інженерні рішення, що забезпечують комфортні умови праці та дозволяють безпечно експлуатувати технологічне обладнання.

В цеху пил виділяється в шихтових і плавильних відділеннях. При ремонтних роботах виділяється пил вогнетривів, що може викликати силікоз і містить 65-97 % сполук кремнію, у тому числі 70 % діоксиду кремнію. Пил виділяється при збиванні, навантаженні, транспортуванні футеровки, під час ремонту ковшів, склепінню печей. Концентрація пилу перебуває, як правило, на рівні 25- 40 мг/м³.

Джерелом шуму є технологічні гази, що рухаються, при подачі їх у комунікації, вдмухуванні в печі, крани що рухаються, транспортери, поїзди й ін. Рівні шуму на робочих місцях досягають 90дБА.

Вібрація спостерігається в кабінах крановиків, при зачищенні металу й деяких інших операцій.

Шкідливості, що супроводжують процес підготовки шихти, плавки, випуску й розливання сталі є: оксид вуглецю; пил, що виділяється при підготовці шихти й завантаженню її в піч та при плавленні; теплове випромінювання; сухе повітря; шум і вібрація.

4.3 Виробнича санітарія основного приміщення цеху, побутових та допоміжних приміщень

Всі працівники цеху безкоштовно забезпечені спецодягом, спецвзуттям і засобами індивідуального захисту (ДНАОП 0.00-3.01-98).

При відсутності засобів захисту шкідливості спричиняють появу окремих ознак профзахворювань (силікоз, глухота), а також приводять до зросту патології з короткочасною втратою працездатності (теплові удари).

Мікроклімат оцінюється наступними параметрами: температура, відносна вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання.

Він підтримується за рахунок використання вентиляції і опалення в холодний та перехідний період року. Залежно від способу переміщення повітря розрізняють природну й механічну вентиляцію. Для усунення осідання пилу в приміщенні, зменшення її концентрації в повітрі, все устаткування закрито зонтами (витяжна вентиляція), з'єднаними за допомогою повітроводів із пристроями для очищення повітря, що видаляється.

Також біля печей використовують природну вентиляцію. Тепле повітря надходить і видаляється через вікна, двері, ворота, ліхтарі.

Опалення побутових приміщень здійснюється за допомогою панелей (батарей), у яких як теплоносії використовують пару. Опалення побутових приміщень здійснюється від цеху тепловодопостачання.

Ефективним засобом забезпечення необхідних гігієнічних якостей повітря, що сприяють нормальній роботі, і відповідають санітарним вимогам передбачена місцева вентиляція деяких робочих місць.

Для забезпечення допустимих умов праці використовують колективні і індивідуальні засоби захисту.

Для створення сприятливих умов праці важливе значення має раціональне освітлення. Незадовільне освітлення утрудняє проведення робіт, веде до зниження продуктивності праці й працездатності очей і може бути причиною нещасних випадків й захворювань.

Для ремонту устаткування передбачене штучне освітлення. На промислових підприємствах штучне освітлення підрозділяється на робоче (для проведення робіт у темний час доби або в місцях без достатнього природного освітлення), аварійне. У цьому випадку проводяться роботи при аварійному відключенні робочого освітлення. Евакуаційне освітлення застосовують для евакуації людей із приміщення при аварійному відключенні робочого освітлення. Охоронне освітлення використовують у неробочий час. Штучне освітлення використовується двох систем: загальне (рівномірне або локалізоване з урахуванням розташування робочих місць) і комбіноване, коли до загального освітлення додається місцеве. Застосування одного місцевого освітлення не допускається, тому що різкий контраст між яскраво освітленими й неосвітленими місцями стомлює очі, сповільнює швидкість роботи й нерідко є причиною нещасних випадків. Застосовуються дугові ртутні лампи (ДРЛ-1000) та світильники типу Астра.

Згідно БНіП II-4-79 для приміщень, у яких проводяться роботи IV розряду, тобто спостереження за ходом виробничого процесу, передбачається сумісне освітлення.

Природне освітлення нормується. Основним показником нормування служить коефіцієнт природної освітленості (КПО).

Освітленість повинна бути забезпечена не менш 75% максимуму, що досягається застосуванням комбінованого освітлення.

В цеху розташовано різноманітне обладнання, в якому при роботі виникає шум. За походженням шум буває механічний, виникаючий у результаті тертя вузлів і деталей механізмів і машин на холостому й робочому ході; аерогідродинамічний, що виникає при більших швидкостях руху потоків повітря, газів, рідин; імпульсний, виникаючий в результаті зіткнення твердих тіл; термічний, генеруємий при згоранні газоподібного палива в горілках і форсуночних пристроях.

Шум різної інтенсивності й частоти, довгостроково впливаючи на працюючих, приводить до зниження гостроти слуху, а згодом до розвитку професійної глухоти. Шум також негативно впливає на фізіологічні функції організму людини. Будучи зовнішнім подразником, що сприймається й аналізується корою головного мозку, шум приводить до перенапруги центральної нервової системи й розладу функцій внутрішніх органів і систем людини. Для зменшення шуму в джерелі його утворення заміняють ударні взаємодії деталей безударними, зворотно-поступальні рухи - обертальними.

Демпфірують коливання співударних деталей й окремих вузлів агрегату шляхом зчленування їх з матеріалами, що мають велике внутрішнє тертя: гумою, пробкою, бітумом, повстю, азбестом й ін.; зменшують інтенсивність вібрацій деталей агрегатів шляхом облицювання цих поверхонь (ДСТУ 12.1.029-80 ССБП).

Часто шум виникає внаслідок вібрацій машин і механізмів. Для ослаблення вібрацій всі агрегати, де виникають коливання (діючі машини, двигуни, вентилятори й т.п.), встановлюють на самостійних фундаментах,

віброізованих від підлоги й інших конструкцій будинків, або на спеціально розрахованих амортизаторах зі сталевих пружин або пружних матеріалів. Для ослаблення передачі вібрацій і шуму по повітроводах і

трубопроводах приєднання їх до вентиляторів і насосів виробляється за допомогою гнучкої вставки із прогумованої тканини або гумового патрубку.

4.4 Заходи з електробезпеки

Електроустаткування цеху різноманітно. Сюди входять синхронні й асинхронні електродвигуни змінного струму й інше устаткування напругою вище 1000 В, а також електродвигуни, апаратура керування, кранове електроустаткування, внутрішньоцехові електромережі напругою до 1000 В.

До основного електроустаткування відносяться автоматичні вимикачі, пічні трансформатори, коротка мережа, автоматичні регулятори пересування кисневої фурми та ін.

Небезпека електричних поразок в цеху створює різне устаткування: електричний привід (включаючи пускорегулюючу апаратуру), електроустаткування підйомно-транспортних пристроїв, електрифікований внутрізаводський транспорт, зварювальні апарати, освітлювальні установки, електричний ручний інструмент і т.д.

При експлуатації електродвигунів замкнутого типу можливий випадковий дотик до проводів, що підводять електрострум, виводи яких знаходяться на сполучних клеммах клемної коробки на корпусі електродвигуна, у разі її незахищеності. На особливу увагу заслуговують переносні електродвигуни, які вживаються при експлуатації різних переносних електроінструментів. Якщо корпус такого електродвигуна опиняється під напругою, то внаслідок щільного контакту з великою поверхнею зіткнення створюється небезпека важкої поразки електричним струмом працюючих [21, 27].

При напрузі до 1000В в цеху застосовуємо чотирьопровідну з глухозаземленою нейтраллю схему мереж трифазного струму (напругою 380/220В). При напрузі вище 1000В застосовуємо трипровідну з ізольованою нейтраллю схему трифазних мереж.

Захисні засоби від електроструму: ізолюючі штанги - використовують при проведенні робіт під напругою з роз'єднувачами високої напруги; ізолюючі кліщі для включення запобіжника; діелектричні килимки із спеціальної гуми завтовшки 3-5 мм для установок до 1000 В і 7-8 мм понад 1000 В.

Для зменшення небезпеки поразки електричним струмом усі металеві частини конструкцій заземлюємо [27].

4.5 Пожежна безпека

Цех за пожежонебезпекою має категорію Г (негорючі речовини в гарячому стані). Адміністративна будівля цеху відноситься до III ступеня вогнестійкості (будівля з несучими конструкціями, що огорожені, із природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону із застосуванням листових і плитових негорючих матеріалів) згідно ДБН 1.1.-7.2002.

Межі вогнестійкості конструкцій:

- несучі й сходові клітки – 1 год.;
- самонесучі – 0,5 год.;
- зовнішні несучі - 0,25 год.;
- внутрішньо несучі - 0,25 год.;
- колони - 1 год.;
- сходові площадки, щаблі, балки, марші сходових кліток - 0,5 год.;
- плити, настили й ін. несучі конструкційні перекриття - 0,75 год..

До первинних засобів пожежогасіння в цеху відносять: вогнегасники ВП-10 (5 шт.), ВВ-2 (14 шт.), ВВП-1Д (8 шт.), пожежний інвентар (покривало з негорючого теплоізоляційного полотна, ящики з піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати); пожежний інвентар (багри, лом, сокири й ін.). Цех має внутрішній протипожежний водопровід з пожежними кранами й рукавами.

На території цеху забороняється:

- закривати й захищувати проїзди, під'їзди й підходи до будівлі, водопровідним і пожежним гідрантам;
- виключати окремі ділянки водогінної мережі, внутрішні пожежні крани, знижувати встановлений тиск у мережах;
- допускати до вогневих робіт осіб, які не пройшли інструктаж пожежного технімуму;
- користуватися водою з пожежних водойм і засобами пожежогасіння не за прямим призначенням;
- застосовувати відкритий вогонь при огляді устаткування й комунікацій.

Створення оптимальних метеорологічних й екологічних умов на робочій площадці цеху є складним завданням, рішення якого йде в наступних напрямках:

- раціональне розміщення обладнання;
- використання водорозпилю для зниження викидів пилю при роботі печей;
- розробки засобів захисту навколишнього середовища від забруднення шумом (звукоізоляційні огорожі, кожухи);
- покращення герметизації джерел шкідливих викидів;
- широке використання природної і штучної вентиляції [25, 28].

4.6 Розрахунок витяжного зонту дугової печі

Робота електросталеплавильних печей супроводжується інтенсивним виділенням газів з високим вмістом пилю. У період розплавлення металу на якісний склад газів значний вплив робить чистота скрапу. У період розплавлення металу вміст пилю в газах, що відходять, відносно невеликий, а розміри порошин досить значні.

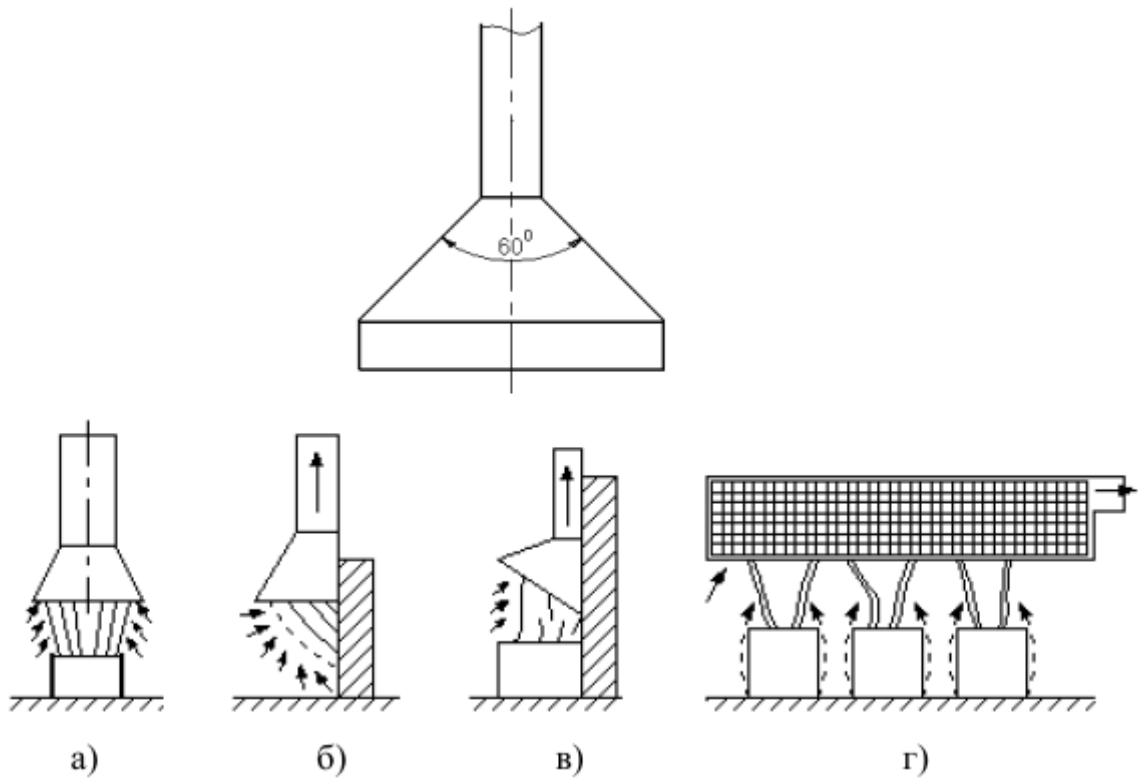
Для вловлювання неорганізованих виділень передбачається пристрій зонти під перекриттям цеху. Зонт, розділений на дві половини, для того щоб при випуску шлаків або сталі система працювала з 50% навантаженням.

Обидва відсіки працюють тільки під час подачі кисню у ванну або під час завалки печі.

При здійсненні системи аспірації за схемою рекомендується пічний проліт повністю виділяти від суміжних прольотів. Цим досягається запобігання поширення шуму із грубого в інші прольоти, а також проникнення пилу із шихтового прольоту в пічний.

У розглянутій схемі передбачається автоматичне регулювання режимів роботи системи залежно від технологічних вимог. Практично виключається збіг однакових періодів роботи двох печей, тому рекомендується поєднувати по дві печі в одну систему.

Для зменшення бічних підсмоктувань повітря рекомендується встановлювати бічні навіси (рис. 4.1).



а; б – над джерелом шкідливих речовин; в – біля проїому печі;
г – над кількома джерелами.

Рисунок 4.1 - Витяжний зонт для неорганізованих викидів.

Висновки до розділу 4

1. Проведено аналіз потенційно шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища електросталеплавильного цеху. Розроблено заходи захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища електросталеплавильного цеху.

2. Встановлено технічні рішення по охрані праці, гігієні праці і виробничій санітарії в електросталеплавильного цеху, освітленні виробничих приміщень, електробезпеки, пожежної безпеки, мікроклімату.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз фізико-хімічних процесів окислення шлаку, утворення газових виділень, формування флюсів для електрошлакового переплаву. Проведено аналіз утворення неметалевих включень, визначено їх вплив на властивості сталей.

2. Представлено схеми установок електрошлакового переплаву, встановлено їх переваги та недоліки. Визначено вимоги до електродів для проведення режимів електрошлакового переплаву.

3. Розроблено процес напівки злитка та представлено технологічні параметри електрошлакового переплаву для різних марок сплавів низько-, середньо- та високолегованих.

4. Надано аналіз методів визначення складу та структури неметалевих включень в сталях та сплавах. Представлено хімічний, структурний та фазовий аналіз різних включень в заготовках сплавів електрошлакового переплаву. Визначено кількісний склад включень за величиною ефективного діаметру.

5. Визначено вплив рафінуючи переплавів на види та кількість неметалевих включень. Представлена кількісна оцінка включень на основі оксидів та сульфідів.

6. Показано перевагам електршлакового переплаву перед різними способами отримання шарикопідшипникових та нержавіючих сталей.

7. Проведено аналіз та розроблено заходи захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища електросталеплавильного цеху. Встановлено технічні рішення по охрані праці, гігієні праці і виробничій санітарії в електросталеплавильного цеху, освітленні виробничих приміщень, електробезпеки, пожежної безпеки, мікроклімату.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Грум-Гржимайло В.Е. Производство стали / В.Е. Грум-Гржимайло // - М., ОНТИ НКТП СССР, 1931. с. 408.
2. Кон И. Производство качественных сталей в мартеновских печах на основном подду / И. Кон // М. – Л., Госмашметиздат, 1932. с. 157.
3. Гостев К.М. Практика производства электростали / К.М. Гостев // - М. – Л., Госмашметиздат, 1934. с. 234.
4. Голубев С.Н. Влияние метода производства и состава комплексногораскислителя на свойства стали / С.Н. Голубев // – В.кн.: Производство стали. - М., Metallurgizdat, 1956. с. 153.
5. Соколов Г.А. Производство стали. -М.: Metallurgiya, 1982. – 145с.
6. Непрерывная разливка стали /А. П. Огурцов, А. Г. Величко, Е. И. Исаев, А. В. Гресс /Днепродзержинск 1999 г. – 302 с.
7. Власов Н. Н. Розливання чорних металів / Власов Н. Н., Корроль В. В., Радя В. З. – М.: Metallurgiya, 1986 р. – 286 с.
8. Розливання і кристалізація сталі: навч. посіб. / [В.І. Баптизманський, Л.С. Рудой, Є.І. Ісаєв та ін.]. – К.: Вища шк., 1993. – 226 с.
9. Якушев А. М. Проектирование сталеплавильных і доменнихцехів. М.: Metallurgiya, 1984. – 216 с.
10. Процессы непрерывной разливки. /Смирнов А. Н., Пилющенко В. Л., Минаев А. А., Момот С. В., Белобров Ю. Н. – Донецк: 2002 г. – 390 с.
11. Трубин К. Г. Metallurgiya стали /Трубин К. Г., Ойкс Г. Н. – М.: Metallurgiya, 1964 г. – 710 с.
12. Основи металургійного виробництва металів і сплавів: [підруч.] / [Чернеча Д.Ф., Богусhevський В.С., Готвянський Ю.Я. та ін.]; за ред. Д.Ф. Чернеги, Ю.Я. Готвянського. – К.: Вища шк., 2006. – 503 с.
13. Сталеплавильне виробництво: навч. посіб. / [В.І. Баптизманський, Б.М. Бойченко, О.Г. Величко та ін.]. – К.: ФЗМН, 1996. – 400 с.

14. Кудрин В.А. Теория и технология производства стали: [учеб. для вузов] / Виктор Александрович Кудрин. – М.: Мир, ООО «Издательство АСТ», 2003. – 528 с.
15. Начала металлургии: [учеб. для вузов] / [В.И. Коротич, С.С. Набойченко, А.И. Сотников и др.]. – Екатеринбург: УГТУ, 2000. – 392 с.
16. Воскобойников В.Г. Общая металлургия [текст]: [учеб. для вузов] / Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушев А.М. - [6-изд., перераб. и доп.]. М.: ИКЦ «Академкнига», 2002 – 768 с.
17. Яковлев Ю.Н. Расчет и проектирование кислородно – конверторных цехов / Ю.Н. Яковлев, М.А. Тарапай. – Днепропетровск, 1975. – 68 с.
18. Технология производства стали в современных конвертерных цехах / С.В. Колпаков, Р.В. Староев, В.В. Смоктий. – М.: Машиностроение, 1991. - 464 с.
19. Кудрин В.А. Металлургия стали: [учебное пособие] / Виктор Александрович Кудрин. – М.: Металлургия, 1981. – 528с.
20. Линчевский Б.В. Металлургия черных металлов / Б.В. Линчевский, А.А. Соболевский, А.А. Кальменев. - М.: Металлургия, 1986. – 360с.
21. Баптизманский В.И. Конвертерные процессы производства стали / В.И. Баптизманский, М.Я.Меджибонский, В.Б. Охотский. – Киев, 1984. – 343 с.
22. Кудрін В.А. Технологія одержання якісної сталі / В.А. Кудрін, В.Парма. - М.: Металургія, 1984. – 320 с.
23. Бойченко Б.М. Конвертерне виробництво сталі: теорія, технологія, якість сталі, конструкція агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія: [підруч.] / Б.М. Бойченко, В.Б. Охотський, П.С. Харлашин. – Дніпропетровськ: РВА «Дніпро – ВАЛ», 2004. – 454 с.
24. Лахтін Ю.М. Матеріалознавство: [підруч. для студ. вищих навч. закл.] / Ю.М. Лахтін, В.П. Леонтєва. - М.: Машинобудування, 1980. – 493с.
25. Гаврилко С.О. Теорія і технологія сталеплавильного виробництва: [методичний посібник для виконання інженерних розрахунків і курсовому

проектуванні для студентів ЗДІА] / С.О. Гаврилко, В.Г. Чуб, О.І. Казачков. – Запоріжжя: ЗДІА, 2008. – 132 с.

26. Голубев С.Н. Влияние метода производства и состава комплексного раскислителя на свойства стали / С.Н. Голубев // – В.кн.: Производство стали. - М., Metallurgizdat, 1956. с. 153.

27. Курнаков Н.С. Электрметаллургия стали, чугуна и ферросплавов / Н.С. Курнаков // Л., Metallurgizdat, 1934. с. 257.

28. Поволоцкий Д.Я. Электрметаллургия стали и ферросплавов / Д.Я. Поволоцкий, В.Е.Рошин, М.А.Рысс // Учебник для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Metallurgiya, 1984. – 568с.

29. Поволоцкий Д.Я. Раскисление стали / Д.Я. Поволоцкий // – М.: Metallurgiya, 1972. – 208с.

30. Термодинамические расчёты в металлургии. Справочник / Под ред. Морачевского А.Г., Сладкова И.Б. – М: Metallurgiya, 1985. – 137 с.

31 Якушев А.М. Исследование раскисления стали комплексными раскислителями / А.М. Якушев, Э.Н. Михайлов, В.А. Кудрин // В кн.: Производство стали и стального литья. - Тр. Московского веч. мет. инс-та. М.: Metallurgiya, 1969, вып.9, с. 153-170.