

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ МЕТАЛУРГІЇ

Кафедра металургії
(код і назва кафедри)

Кваліфікаційна робота / проект

дружній / магістерський
(тип роботи / курсу)

на тему Аналіз особливостей технології суспензій-ної розливки феросилікомарганцю

Виконав: студент 2 курсу, групи МЕІ-ІВ-1м
Спеціальності ІЗВ-Металургія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Металургія горючих металів
(код і назва освітньої програми)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

Лукашенко Р.В.
(ім'я та прізвище)

Керівник доц. кафедри металургії
канд. техн. наук доцент Воденнікова О.С.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ім'я)

Рецензент доц. кафедри металургії
канд. техн. наук доцент Харченко О.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ім'я)

Запоріжжя
2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Металургії
Кафедра Металургії
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 136 - Металургія
Освітня програма Металургія горних металів
Спеціалізація _____

ЗАТВЕРДЖУЮ Терновий М.Ф.
Завідувач кафедри _____
« _____ » _____ 20 _____ року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Лукашенко Руслана Васильовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи (проекту) Аналіз особливостей технології суспензійної розливки феросилікомарганцю
керівник роботи Воденнікова Оксана Сергіївна, канд. техн. наук, доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 10 » березня 20 19 року № 15041-є

1 Строк подання студентом роботи 28.12.2019р

Вихідні дані до роботи Науково-технічна література, статті у фахових виданнях, тези, доповіді на міжнародних та всеукраїнських конференціях, матеріали статей та справів, патентів, НД, Укрпатент

3 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Створення умовні позначки. Аналіз суспензійної технології виробництва феросилікомарганцю. Вибір матеріалів та об'єкту вивчення методик дослідження. Дослідження технології суспензійної розливки феросилікомарганцю. Охорона праці та технічна безпека. Загальні висновки. Перелік джерел посилання

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

Титульний лист - 1. Мета роботи. Завдання роботи - 2. Об'єкт дослідження. Предмет дослідження. Методи дослідження - 1. Кінематичний експеримент. Температурний інтервал плавлення та щільність марганцевих сплавів. Характеристика розливочної машини типу МЗМ-31-1. Схема устаткування для поразки некондукційної дроби при розливці на розливочних машинах. Температурні характеристики марганцевих сплавів. Щільність марганцевих сплавів у твердому стані - 2.

Зміна температури розливу силікокартанцю марки МПІ-3
Теплотехнічні характеристики марганцових сплавів. Взаємоді-
юва допустима маса додавки некондиційної дрібниці
у бізотелу від маси рідкого сплаву при суспензійній розливці
марганцевих сплавів. Вплив температури перебування силікокартанцю марки
МПІ-3 на масу додавки некондиційної дрібниці при розливці. Зміна
температури шибелу у некондиційній дрібниці при фракційній марганцевій ситві
Посліди дрібниці змелів марганцевих сплавів, обриває при зварюванні та суспензій-
ній розливці. Фракційно-примісний склад дрібниці, що утворюється при фракційній
марганцевій ситві. Вплив дрібної фракції змелу на температуру в зоні зливу
5 Консультанти розділів роботи при суспензійній розливці марганцевих сплавів.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Аналіз сучасного стану виробництва феросилікокартанцю	Воденнікова О.С.	11.09.2019р	11.09.2019р
2. Видір матеріалів та обривкування методика дослідження	Воденнікова О.С.	11.09.2019р	11.09.2019р
3. Дослідження технології суспензійної розливки феросилікокартанцю	Воденнікова О.С.	11.09.2019р	11.09.2019р
4. Охорона праці та технологія безпеки	Воденнікова О.С.	11.09.2019р	11.09.2019р

6 Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Скорочення та ушукні подання. Вступ	11.09.2019р 14.09.2019р	
2	Аналіз сучасного стану виробництва феросилікокартанцю	15.09.2019р 23.09.2019р	
3	Видір матеріалів та обривкування методика дослідження	24.09.2019р 30.09.2019р	
4	Дослідження технології суспензійної розливки феросилікокартанцю	01.10.2019р 31.10.2019р	
5	Охорона праці та технологія безпеки	01.11.2019р 22.11.2019р	
6	Загальні висновки. Перелік джерел посилань	23.11.2019р 03.12.2019р	
7	Групування звіту	08.12.2019р 28.12.2019р	

Студент Р.В. Лукашенко (підпис)
 Керівник роботи (проєкту) О.С. Воденнікова (підпис)
 Нормоконтроль пройдено
 Нормоконтролер С.В. Башой (підпис)

АНОТАЦІЯ

Лукашенко Р.В. Аналіз особливостей технології суспензійної розливки феросилікомарганцю.

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 136 – Metallurgy, науковий керівник О.С. Воденнікова. Запорізький національний університет. Інженерний інститут. Факультет металургії, кафедра металургії, 2020.

Визначено теплофізичні характеристики марганцевих сплавів. Проведено дослідження кінетики твердіння та показників дробимості марганцевих сплавів при звичайній та суспензійній розливці. Запропонована технологія утилізації некондиційної дрібниці фракції < 20 мм вуглецевого феромарганцю марки ФМн75 та силікомарганцю марки МнС17 при їх суспензійній розливці на конвеєрних машинах.

Ключові слова: МАРГАНЦЕВІ СПЛАВИ, ЗВИЧАЙНА ТА СУСПЕНЗІЙНА РОЗЛИВКА, ТЕХНОЛОГІЯ УТИЛІЗАЦІЇ, СИЛКОМАРГАНЕЦЬ, ФЕРОМАРГАНЕЦЬ, НЕКОНДЕКЦІЙНА ДРІБНИЦЯ, ДРОБИМІСТЬ, ФРАКЦІЮВАННЯ.

ABSTRACT

Lukachenko R.V. The Feature Analysis of Ferrosilicomanganese Slurry Casting Technology.

Qualification work for obtaining a master's degree in higher education by specialty 136 – Metallurgy, scientific supervisor O.S. Vodennikova. Zaporizhzhia National University. Engineering Institute. Faculty of Metallurgy, Department of Metallurgy, 2020.

The thermophysical characteristics of manganese alloys were determined. The kinetics of curing and fracture indices of manganese alloys during conventional and slurry casting were investigated. The technology of disposal of substandard detail of fraction < 20 mm of carbon ferromanganese of brand ФМн75 and silicomanganese of brand МнС17 at their sliding casting on conveyor machines is proposed.

Keywords: MANGANESE ALLOYS, CONVENTIONAL AND SLURRY CASTING, UTILIZATION TECHNOLOGY, SILICOMANGANESE, FERROMANGANESE, SUBSTANDARD TRIFLE, CRUNCHINESS, FRACTIONATION.

АННОТАЦИЯ

Лукашенко Р.В. Анализ особенностей технологии суспензионной разливки ферросиликомарганца.

Квалификационная работа на получение степени высшего образования магистра по специальности 136 – Metallургия, научный руководитель О.С. Воденникова. Запорожский национальный университет. Инженерный институт. Факультет металлургии, кафедра металлургии, 2020.

Определены теплофизические характеристики марганцевых сплавов. Проведены исследования кинетики твердения и показателей дробимости марганцевых сплавов при обычной и суспензионной разливке. Предложена технология утилизации некондиционной мелочи фракции < 20 мм углеродистого ферромарганца марки ФМн75 и силикомарганца марки МнС17 при их суспензионной разливке на конвейерных машинах.

Ключевые слова: МАРГАНЦЕВЫЕ СПЛАВЫ, ОБЫЧНАЯ И СУСПЕНЗИОННАЯ РАЗЛИВКА, ТЕХНОЛОГИЯ УТИЛИЗАЦИИ, СИЛИКОМАРГАНЕЦ, ФЕРРОМАРГАНЕЦ, НЕКОНДЕКЦИОННАЯ МЕЛОЧЬ, ДРОБИМОСТЬ, ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ.....	8
ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ВИРОБНИЦТВА ФЕРОСИЛІКОМАРГАНЦЮ.....	12
1.1 Характеристика марганцевих руд і концентратів.....	12
1.2 Фізико-хімічні основи процесу виплавки силікомарганцю.....	14
1.3 Шихтові матеріали та вибір печі для виплавки феросилікомарганцю.....	17
1.4 Технологія виплавки феросилікомарганцю.....	19
1.5 Способи розливання і оброблення феросплавів.....	21
1.6 Висновки.....	23
2 ВИБІР МАТЕРІАЛІВ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	25
2.1 Матеріали та методика проведення дослідження.....	25
2.2 Висновки.....	29
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СУСПЕНЗІЙНОЇ РОЗЛИВКИ ФЕРОСИЛІКОМАРГАНЦЮ.....	30
3.1 Шляхи утилізації некондиційної дрібниці марганцевих сплавів.....	30
3.2 Особливості методу суспензійної розливки.....	31
3.3 Визначення теплофізичних характеристик марганцевих сплавів.....	33
3.3.1 Температурний інтервал плавлення (кристалізації).....	33
3.3.2 Визначення питомої теплоємності.....	35
3.3.3 Визначення питомої теплоти плавлення.....	36
3.4 Дослідження температурного режиму випуску та розливки феросилікомарганцю.....	37

3.5	Визначення маси добавки некондиційній дрібниці при суспензійній розливці марганцевих плавів.....	39
3.6	Дослідження процесу твердіння зливків марганцевих сплавів при суспензійній розливці.....	40
3.7	Дослідження дробимості зливків марганцевих сплавів, отриманих при звичайній та суспензійній розливці.....	42
3.8	Визначення основних параметрів технології утилізації некондиційної дрібниці марганцевих сплавів при суспензійній розливці.....	43
3.9	Організація та витрати на виконання науково-дослідної роботи.....	48
3.9.1	Організація на виконання НДР.....	49
3.9.2	Витрати на виконання НДР.....	51
3.10	Висновки.....	59
4	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	60
4.1	Аналіз потенційно-небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища лабораторії.....	60
4.2	Заходи з поліпшення умов праці.....	61
4.3	Електробезпека.....	63
4.4	Заходи з пожежної та техногенної безпеки.....	64
4.5	Розрахунок захисного заземлення контуру в лабораторії.....	65
4.6	Висновки.....	68
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	68
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	69

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

MnC25, MnC20, MnC17, MnC14 та MnC12 – силікомарганець з вмістом кремнію 25%, 20%, 17%, 14% та 12% відповідно;

РКЗ-16,5 – руднотермічна кругла закрита піч з номінальною потужністю 16,5 МВ·А;

РПЗ-63 – руднотермічна прямокутна закрита піч з номінальною потужністю 63 МВ·А;

АТ – акціонерне товариство;

ОКГ – оптичний квантовий генератор;

КЗ – контрольний зливоч;

ДЗ – дослідний зливоч;

НДР – науково-дослідна робота;

ФОП – фонд оплати праці;

ЗП – заробітна плата;

ЄСВ – соціальний внесок;

ППФО – податок на прибуток фізичних осіб;

ПЩ – пожежні щити;

ЗЗ – захисне заземлення.

ВСТУП

На сьогоднішній день актуальна розробка та впровадження ефективних безвідходних технологій металургійного виробництва [1]-[4], що дозволяють найраціональніше використовувати сировинні та енергетичні ресурси країни. Особливо гостро ця проблема стоїть в металургії марганцю. Так тільки 40% марганцю, здобутого з надр землі, переходить в готову продукцію, при цьому загальні втрати марганцю при виплавці марганцевих феросплавів складають 28,1%. Одним з видів втрат марганцю у феросплавному виробництві є утворення некондиційної дрібниці при розливці, дробленні і сортуванні марганцевих сплавів. Так кількість дрібниці марганцевих сплавів фракції < 20 мм зростає до 40%, не знаходить попиту і стає, таким чином, некондиційною дрібницею, що вимагає утилізації на феросплавних підприємствах.

Найбільш перспективним і технологічним напрямом утилізації некондиційної дрібниці, що утворюється при фракціонуванні марганцевих сплавів, є її переплав в процесі розливки за рахунок фізичного тепла перегрітого рідкого сплаву (так звана суспензійна розливка) [5, 6].

Мета і задачі роботи. Визначення оптимальної технології утилізації некондиційної дрібниці марганцевих сплавів при суспензійній розливці.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити наступні теоретичні та прикладні завдання:

- проаналізувати сучасний стан технологічних можливостей виробництва силікомарганцю;
- визначити теплофізичні характеристики і показники дробимості силікомарганцю марки MnC17;
- визначити температурний режим випуску і розливки силікомарганцю марки MnC17;
- провести дослідження кінетики твердіння і дробимості марганцевих сплавів при звичайній та суспензійній розливці;

– проаналізувати потенційно-небезпечні та шкідливі фактори в процесі суспензійної розливки марганцевих сплавів.

Об'єкт дослідження: феромарганець марки ФМн75 та силікомарганець марки МнС17.

Предмет дослідження: технологія звичайної та суспензійної розливки марганцевих сплавів.

Методи дослідження: дослідження хімічного складу марганцевих сплавів проводили за допомогою хімічного аналізу; обробку експериментальних даних проводили з використанням персонального комп'ютера.

Наукова новизна одержаних результатів. Запропонована технологія утилізації некондиційної дрібниці фракції < 20 мм вуглецевого феромарганцю марки ФМн75 та силікомарганцю марки МнС17 при їх суспензійній розливці на конвеєрних машинах.

Практичне значення одержаних результатів. Результати дослідних випробувань можуть бути використані при розливці марганцевих сплавів, зокрема феромарганцю марки ФМн75 та силікомарганцю марки МнС17, в промислових умовах.

Особистий внесок дослідника. Основні результати, наведені в кваліфікаційній роботі магістра, отримані автором особисто. Ним виконано постановку завдань дослідження, обрано методику експериментальних досліджень, проаналізовано та узагальнено результати досліджень, сформульовано загальні висновки.

У роботах, опублікованих у співавторстві, автором досліджено особливості технології утилізації неконденційної дрібниці при суспензійній розливці марганцевих сплавів [1, 2].

Апробація результатів роботи. Основні висновки та результати кваліфікаційної роботи магістра доповідалися та обговорювалися на: XXIV науково-технічній конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів ІІ ЗНУ (Запоріжжя, 26–29 листопада 2019 р.);

наукових семінарах кафедри металургії Інженерного інституту Запорізького національного університету (Запоріжжя, 2019 р.).

Публікації. Основні результати роботи знайшли відображення у 2 публікаціях, серед них: 1 стаття у збірнику наукових праці магістрантів факультету металургії та 1 теза доповіді на конференцію.

Структура і обсяг роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, переліку джерел посилання. Загальний обсяг роботи становить 73 сторінки, з них 15 таблиць, 7 рисунків, 44 джерела посилання.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА

1. Лукашенко Р. В., Воденнікова О. С., Воденнікова Л. В. Дослідження технології утилізації неконденційної дрібниці при суспензійній розливці марганцевих сплавів. *Збірник наукових праць магістрантів факультету металургії.* Запоріжжя: ІІ ЗНУ, 2019. Випуск 1 (15). С. 73–78.

2. Лукашенко Р. В., Воденнікова О. С., Воденнікова Л. В. Дослідження технології суспензійної розливки марганцевих сплавів. Матеріали ХХІV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів (Запоріжжя, 26–29 листопада 2019 р.). Том І. Металургія як основа сучасної промисловості. Запоріжжя: ІІ ЗНУ. 2019. С. 36–37.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ВИРОБНИЦТВА ФЕРОСИЛКОМАРГАНЦЮ

1.1 Характеристика марганцевих руд і концентратів

За походженням розрізняють наступні промислові типи родовищ марганцевих руд:

- океанічні;
- осадові морські;
- контактово метасоматичні;
- гідротермальні.

На сьогоднішній день в Російській федерації розвідане 6,1 % запасів марганцевих руд, в Україні - 82,4%, в Грузії - 8,9%, у Казахстані - 2,6% [7].

Основна кількість марганцевих руд здобувається в марганцеворудному Нікопольському басейні (~ 80 %). Найбільш поширені карбонатні і змішані марганцеві руди (70,3 % від загальних запасів); оксидні складають 28,3 %. Запаси окислених руд (1,1 %) і залізомарганцевих (0,3 %) обмежені [8].

Відомо більше 150 мінералів марганцю, що знаходяться в основному у вигляді кисневих та сульфідних з'єднань і карбонатів. Формули для деяких мінералів (манганіту, брауніту, гаусманіту та ін.) умовні, оскільки не дають уявлення про валентний стан іонів марганцю. Хоча брауніт і гаусманіт в рудах осадового генезису не зустрічаються, з'ясування цього питання має важливе значення, оскільки, наприклад, гаусманіт – одна з важливих мінеральних фаз марганцевого агломерату. Деякі вважають, що манганіт не є моногідратом оксиду марганцю ($Mn^{3+}O_3 \cdot H_2O$), а представляє змішанно-ковалентне з'єднання $Mn^{2+} + Mn^{2/4} + O_3 \cdot H_2O$. Особливо важливою і найменш вивченою групою оксидних мінералів є мінерали псиломеланового типу. З них виділено декілька самостійних різновидів: криптомелан, голландін та інші, які можуть бути описані загальною формулою $A_{2-y}B_8X_{16}$ (А - іони типу

Ba^{2+} , P^{2+} K^{+} ; В - іони Mn^{2+} , Mn^{4+} , Fe^{3+} ; Х - іони O^{2-} та OH^{-}) [9].

Марганцеворудні мінерали, як і концентрати, представляють складну мінеральну сировину, вивчення якої необхідне не тільки для вирішення завдань збагачення, але і для розробки найбільш раціональних параметрів спікання агломерату і виплавки марганцевих феросплавів. Марганцеві руди основних родовищ характеризуються порівняно високим вмістом фосфору (0,2-0,3%). Більшість дослідників вважають, що відособлені фосфовмісні речовини, що зустрічаються, представлені курскітом $Ca_3(PO_4) \cdot CaO_3$, франколітом $Ca_{10}F_2CO_3 \cdot O_{24} \cdot H_2O$, вівіанітом ($FePO_4$) та іншими фосфатами.

У Нікопольському та Чіатурському басейнах ведеться відробіток в основному оксидних марганцевих руд, хоча попутно здобуваються і карбонатні руди [10].

За вмістом рудоутворюючих мінералів окислені руди підрозділяються на наступні види:

- манганіт - псиломеланові з домішкою піролюзиту;
- піролюзит - псиломеланові з домішкою манганіту;
- піролюзит - псиломеланові.

Щільність зразків оксидних руд змінюється від 2,1 г/см³ до 4,2 г/см³, пористість - від 3% до 47 %. Карбонатні руди відносяться до ізоморфного ряду манганокальцит-кальцієвий родохрозит. Останній містить в середньому від 80% $MnCO_3$ до 86% $MnCO_3$; від 14% $CaCO_3$ до 20% $CaCO_3$ і від 39,8% Mn до 42% Mn. Манганокальцит має змінний склад: від 28% $MnCO_3$ до 58% $MnCO_3$; від 42% $CaCO_3$ до 56% $CaCO_3$; від 13% Mn до 30% Mn.

Нерудні мінерали в марганцевих рудах представлені кварцом, польовим шпатом, опалом, халцедоном, глауконітом.

Марганцева руда, що здобувається з надр, піддається збагаченню наступними методами:

- промивкою;
- гравітаційним методом;
- магнітним методом;

– флотацією.

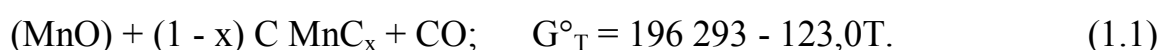
При цьому в отримуваних концентратах збільшується вміст марганцю в результаті відділення великої кількості порожньої породи. Використання збагачених марганцевих руд (концентратів) знижує питому витрату електроенергії, підвищує витягання марганцю і покращує техніко-економічні показники виробництва марганцевих феросплавів в електропечах [11].

Нормативною документацією, що діє на сьогоднішній день, якість товарних марганцевих концентратів Нікопольському басейну регламентується вмістом марганцю та діоксиду кремнію, а також кількістю вологи в кожному сорті. Оскільки в рудних мінералах міститься фосфор, після збагачення марганцевих руд його вміст в товарних концентратах (співвідношення концентрацій фосфору і марганцю) практично не змінюється. В процесі промивки марганцевої оксидної руди у відмиті шлами витягується до 35 % фосфору від загальної його кількості в початковій руді [10].

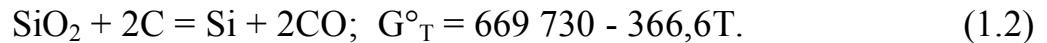
1.2 Фізико-хімічні основи процесу виплавки феросилікомарганцю

Феросилікомарганець - багатокомпонентний сплав системи Mn - Si - Fe - C - P. Оскільки утворення стандартного за кремнієм сплаву відбувається у напрямі поступового збагачення вуглецевих частинок металу відновлюваним кремнієм, постійно змінюється склад частинок сплаву. Це ускладнює точний опис хімічної суті процесу отримання силікомарганцю за допомогою стехіометричної реакції. В зв'язку з цим нижче показана послідовність хімізму стадій складного процесу утворення силікомарганцю.

На першій стадії розвиваються процеси відновлення вищих оксидів марганцю агломерату за участю монооксиду вуглецю, а потім оксиду марганцю MnO за реакцією прямого відновлення до карбїду:



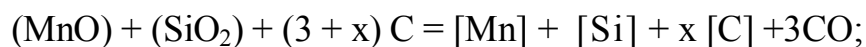
Умови $G^{\circ}_T = 0$ виконуються при $P = 101$ кПа і $T = 1597$ К. У зоні високих температур помітний розвиток отримує реакція відновлення кремнезему. Наявність металевого розплаву термодинамічно полегшує процес відновлення кремнію:



і утворення силікомарганцю, що може бути описане хімічною схемою:



Теоретична температура початку протікання цієї реакції визначається вмістом кремнію в сплаві. У загальному вигляді процес отримання силікомарганцю можна представити сумарною реакцією:

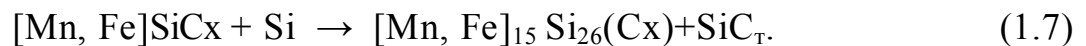
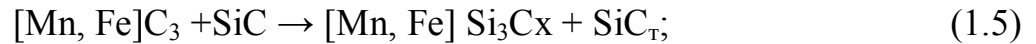


$$K = \frac{[\text{Mn}]^a [\text{Si}]^a [\text{C}]^{p3} \text{CO}}{(\text{MnO})^a (\text{SiO})^a}. \quad (1.4)$$

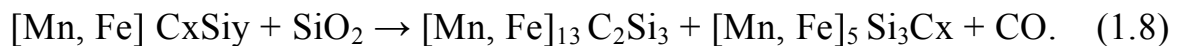
При аналізі відновних реакцій виплавки силікомарганцю з різним вмістом кремнію слід мати на увазі, що до 23,5% Si рівноважною фазою з цими сплавами є графіт, тоді як при >23,5% Si тільки карбід кремнію. Ця залежність підтверджується експериментально.

Розплави силікомарганцю із вмістом кремнію до 23 % знаходяться в рівновазі з графітом, а зверху - з карбідом кремнію. Якщо в локальних зонах ванни печі і створюються умови відновлення SiO_2 кварциту до карбиду кремнію, то у контакті з металевою фазою (розплавом силікомарганцю марки MnC12 - MnC20) нерівноважний карбід кремнію руйнуватиметься. Послідовність процесів взаємодії металевих насичених

вуглецем розплавів з карбідом кремнію і кремнієм, може бути представлена наступними хімічними схемами:



Ймовірніше, що підвищення концентрації кремнію в сплаві досягається завдяки відновленню кремнію на межі розділу фаз оксидний насичений кремнеземом шлаковий розплав - вуглецевий відновник, а також внаслідок взаємодії вуглецю, розчиненого в перших краплях сплаву, з SiO_2 за схемою:



Аналіз багатокомпонентної шлакової системи при виплавці силікомарганцю показує, що масовий вміст в шлаку від 46% SiO_2 до 48% SiO_2 близько до насичення і, отже, $a(\text{SiO}_2)=1$. Враховуючи, що процес ведеться при атмосферному тиску ($P_{\text{CO}} = 0,1$ МПа), константа рівноваги, або точніше характеристика рівноваги сумарної реакції, матиме вигляд:

$$K_{\text{MnSi}} = a[\text{Mn}]a[\text{Si}]a(\text{MnO}) = [\text{Mn}] \cdot f[\text{Si}] f(\text{MnO}), \quad (1.9)$$

де $[\text{Mn}]$ і $[\text{Si}]$ – масовий вміст марганцю і кремнію в сплаві, %;

(MnO) – масовий вміст MnO в шлаку, %;

f – коефіцієнти активності марганцю, кремнію в сплаві та MnO в шлаку з

урахуванням впливу інших компонентів сплаву і шлаку [12].

Сплави складів, відповідних промисловим маркам силікомарганцю, що закристалізувалися, MnC12 - MnC20, містять різну кількість карбосиліциду і силікокарбиду (фази Новотного), що і визначає різний рівень концентрації вуглецю в силікомарганці відповідних марок. У висококрем'янистому силікомарганці MnC25 основною структурною складовою є фаза Новотного, рівноважна концентрація вуглецю в якій при 23,5% Si складає 0,16 % [13].

1.3 Шихтові матеріали та вибір печі для виплавки феросилікомарганцю

Виробництво феросилікомарганцю на території України зосереджене на двох феросплавних заводах – АТ «Нікопольський завод феросплавів» та АТ «Запорізький завод феросплавів». Цей сплав отримують в рудовідновлювальних прямокутних закритих електропечах типу РПЗ-63 і РПЗ-63М2 з потужністю трансформатора 63000 кВА і круглих закритих печах РКЗ-16,5 з потужністю трансформатора 16500 кВА, в круглій печі типу РКЗ-75. Фактична потужність печі типу РПЗ-63 складає від 56 МВт до 57 МВт, печі РКЗ-16,5 - \approx від 13,1МВт до 13,6 МВт, а РКЗ-75 - не вище 46 МВт. Добове виробництво силікомарганцю в печі РПЗ-63 досягає від 320 т до 340 т, що в межах від 3 разів до 3,5 разів вище, ніж в менш могутніх круглих печах типу РКЗ-16,5. Електропечі типу РПЗ-63 обладнані установкою подовжньо-ємкісної компенсації, що забезпечує підвищення коефіцієнта потужності ($\cos \varphi$) до меж від 0,9 до 0,92.

Система газоочищення печі РПЗ-63М2 складається з шести типових самостійних ліній і одній загальною газодувки. Для охолодження і очищення газу витрачається до 50 м³/г води. Зазвичай працює п'ять ліній при одній резервній. На виході з системи газоочищення в газі міститься до 20 мг/м³ пилу, що дозволяє спалювати його в топках казанів. Ванна печі

декілька поглиблена, завдяки чому зменшилася запилена колошникового газу від 2 разів до 2,5 разів [14].

Всі рудовідновні електропечі обладнані безперервними електродами, що самоспекаються. Для виплавки силікомарганцю на всіх заводах застосовують марганцеві окисні концентрати, кварцит, вуглецевий відновник і флюси, частіше доломіт. Назва цієї гірської породи, як відомо, залежить від величини відношення CaO/MgO . У чистому доломіті ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) міститься 30,4 % CaO ; 21,8 % MgO ; 47,8 % CO_2 , тобто CaO/MgO складає 1,45. Розрізняють магнезитовий доломіт ($\text{CaO/MgO} = 0,8-1,7$), нормальний ($\text{CaO/MgO} = 1,4-1,7$), вапняний ($\text{CaO/MgO} = 1,7-3$) і доломітизовані вапняки ($\text{CaO/MgO} = 3-10$). Вимоги до якості металургійного доломіту регламентуються ГОСТ 10375-63 (вміст MgO - не менше 17, а SiO_2 - не більше 5 %).

У шихту для виплавки силікомарганцю використовують необпалений доломіт фракції від 25 мм до 80 мм, що має наступний хімічний склад: від 33,6% CaO до 35,7% CaO ; від 16% MgO до 18,2% MgO ; від 1,1% SiO_2 до 1,3% SiO_2 ; від 0,6% Al_2O_3 до 0,8% Al_2O_3 ; від 0,1% Fe_2O_3 до 0,3% Fe_2O_3 ; від 0,005% P до 0,0008% P ; 0,03% S ; від 45% н.п.п. до 46% н.п.п. В деяких випадках використовують вапняк складу: 54,6% CaO ; 0,49% MgO ; 1,67% SiO_2 ; 0,2% Fe_2O_3 ; 1,5% Al_2O_3 ; 0,005% P ; 0,04% S та 41,3% н.п.п.

При підготовці шихти для виплавки силікомарганцю застосовуються автоматичні дозатори безперервної дії. Упроваджена самоналагоджувальна система управління автоматичними дозаторами безперервної дії. Точність підтримки заданого співвідношення компонентів складає від 1% до 1,5%. Система доповнена пристроєм автоматичної корекції маси коксу залежно від його вологості. Оскільки основна кількість силікомарганцю виплавляється з вмістом фосфору більше 0,35%, нижче розглянуті питання, пов'язані з виробництвом цього сплаву [15].

Для виплавки силікомарганцю використовують марганцеві концентрати I і II сорту (співвідношення приблизно 1 : 1). При виплавці товарного силікомарганцю в печах типу РКЗ-16,5 і РПЗ-63 (вторинна напруга

для печі РПЗ-63 складає від 193 В до 223,5 В, для печі РКЗ-16,5 складає від 185 В до 168 В, сила струму - відповідно 90 кА і 55 кА) з використанням тільки агломерату техніко-економічні показники роботи печей погіршуються. Оптимальним співвідношенням агломерату і марганцевого концентрату в шихті є 1 : 1.

Шихту складають з розрахунку витрати компонентів на 1 т силікомарганцю в наступних кількостях: 1025 кг агломерату з суміші І і ІІ сортів (45 % Mn); 946 кг концентрату марганцевого І сорту (45 % Mn); 470 кг кварциту овручського (97% SiO₂); 486 кг коксиду (сухого) та 171 кг доломіту [10].

1.4 Технологія виплавки феросилікомарганцю

Виплавка феросилікомарганцю ведеться безперервно. Шихта завантажується в піч самоплив по трубопроводам з бункерів. Робочі кінці електродів, занурені в шихту, утримують від подину на відстані від 900 мм до 1200 мм. Тиск газу під зведенням повинен бути від 2,8 до 4,9 Па при температурі 750 °С, у газозоді - температура не вище 300 °С. Допустимий вміст водню в газі не вище 8%, від 70% окислів вуглецю до 80% окислів вуглецю та кисню - не більше 1 %. Кількість колошникового газу для печей типу РКЗ-16,5 складає від 2500 м³/г до 3200 м³/г, а для печей типу РПЗ-63 - до 8000 м³/г [10, 16].

При пониженому вмісті кремнію в сплаві шихта коректується добавкою від 400 кг до 600 кг кварциту з коксом, при підвищеній концентрації кремнію - добавкою від 500 кг до 700 кг марганцевого концентрату з коксом.

Випускають сплав і шлак з печі РПЗ-63 через 2 години після початку роботи печі. Льотки відкривають за допомогою машини. Ковші для прийому сплаву місткістю 8м³ футерують шамотом. Шлак випускають в сталеві ковші місткістю 11м³. Тривалість випуску – від 20 хв. до 40 хв. Льотки закривають вогнетривкою глиною в суміші з коксовою дрібницею. Ківш з

металом і шлаком викочують в розливний проліт. Перед розливанням сплаву зливають шлак так, щоб виключити втрати силікомарганцю. Шлак, що залишився в ковші над металом, загущають піском з метою запобігання попаданню кислого шлаку, що погано відділяється, в зливки сплаву при розливці. Розливають силікомарганець на розливній машині, характеристика якої приведена в табл. 1.1

Таблиця 1.1 – Характеристика розливної машини типу М720-1і

Параметр	Величина
Кількість конвеєрів, шт.	2
Швидкість руху конвеєрів, м/хв.	3,25; 5; 7; 10
Довжина по зірочках, м	70,4
Загальна кількість виливниць, шт.	725
Кут нахилу того, що кантує, град.	100
Вантажопідйомність гідроциліндрів пристрою кантування, кН	842,8

Машини такого типу використовуються також для розливання феромарганцю та малофосфорного шлаку.

Середня витрата виливниць складає 5,14 кг/т сплаву. З метою зменшення витрати виливниць розроблені та упроваджені нові склади чавунів і конструкції виливниць. Зливки силікомарганцю, як і всі сплави системи Mn - Si, мають низькі характеристики міцності, що приводить до утворення некондиційної дрібниці.

Застосування в шихту малофосфорного шлаку забезпечує отримання силікомарганцю (ДСТУ 3548-97 [17]) з відносно низьким вмістом фосфору.

Відвальний шлак має наступний хімічний склад: від 49% SiO₂ до 49,8% SiO₂; від 12,2% CaO до 14% CaO; від 2,9% MgO до 3,1% MgO; від 3,4% Mn до 15,3% Mn; від 0,002% P до 0,003% P; від 0,5% S до 0,6% S; від 7,2% Al₂O₃ до 8% Al₂O₃.

З метою кращого використання марганцю відвальний шлак частково можна додавати як компонент в шихту при виплавці ливарного і бесемєрівського чавуну в кількості від 22 кг/т чавуну до 25 кг/т чавуну [18].

1.5 Способи розливки та обробки феросплавів

В даний час в практиці феросплавного виробництва знайшли найбільше застосування наступні способи розливки:

- на розливних машинах різного типу;
- в стаціонарні виливниці;
- пошарово в підлогові виливниці методом «плавка на плавку».

Найбільш перспективним вважається розливка феросплавів на конвеєрних машинах. Вони застосовуються для розливання феросиліцію, силікомарганцю, вуглецевого феромарганцю та іноді вуглецевого ферохрому. При цьому значно підвищується механізація і продуктивність праці, поліпшуються його умови в розливному прольоті, оскільки сплави розливають не за допомогою крана, а спеціальними гідравлічними кантувальниками, які поміщені в герметизовані камери. Істотним недоліком машини конвеєрного типу є змінна висота падіння сплаву при розливанні, що викликає сильне його розбризкування. Втрати металу при розливці досягають 3 %, до того ж товарний вид отримуваних злитків значно погіршується із-за обприскування мульд вапняним молоком [19].

Для розливання висококрем'янистих сплавів, модифікаторів і лігатур, а також сплавів, які містять елементи, що легко окисляються, застосовують машини конвеєрно-візкового типу. В порівнянні з конвеєрною ця машина забезпечує зменшення втрат металу при розливанні, поліпшення якості і товарного виду зливків. Машина є замкнутим ланцюгом візків, розміщених на рейковому шляху. На візках знаходяться піддони-виливниці, що забезпечують отримання тонких зливків. Для витягання зливків виливниці або перевертаються, або виштовхуються спеціальним штовхачем. При цьому зливки падають в короб, встановлений під виливницею.

Розливка в стаціонарні чавунні виливниці є застарілим і малопроductивним способом розливання феросплавів, що залишився в основному в цехах з рафінувальними печами і металотермічних цехах. Цей спосіб пов'язаний з підвищеною навантаженою розливних кранів, високою

теплонапругою цеху і необхідністю збільшення його площі для розміщення стаціонарних виливниць [11].

Останніми роками все більш широкого поширення набуває пошарова розливка методом «плавку на плавку». За кордоном цей спосіб застосовується при розливці марганцевих сплавів. Сплав розливають з ковша пошарово в підлогові широкі виливниці, розташовані зовні цеху уздовж стіни розливного прольоту. Пошарова розливка дозволяє різко понизити завантаженість кранів розливного прольоту, тепловиділення в цеху, зменшити розміри будівлі цеху. В цьому випадку розливний проліт використовують тільки для транспортування сплаву і шлаку з цеху. Враховуючи, що потужність феросплавних печей постійно росте, представляється раціональним винести розливку сплаву з плавильного корпусу.

При розливці феросплавів важливе значення має спосіб відділення металу від шлаку. За кордоном є печі з роздільним випуском сплаву і шлаку через дві льотки. У разі печей з однією льоткою продукти плавки випускають з печі в ківш з переливом шлаку через верх ковша або через шлаковіддільний пристрій (скімер). При випуску в ківш з переливом легко регулювати параметри струменя рідкого металу, метал виходить чистіше і щільніше. Проте в цьому випадку необхідні достатня площа для розливної ділянки, мостові крани великої вантажопідйомності, ковшові візки, що пов'язане із значними капіталовкладеннями.

При використанні скімера, який може бути стаціонарним або пересувним, відпадає необхідність в кранах великої вантажопідйомності, додаткові площі потрібні тільки для розміщення скімера і досить довгих жолобів; метал за скімером може бути направлений безпосередньо у виливниці розливної машини. Проте при цьому можливе забруднення шлаком і утворення у випускних жолобах надмірної кількості скрапу, що йде у відвал. Слід зазначити, що у разі розливки сплаву по жолобах з печі через скімер в розливний проліт спрощується компонувальне вирішення цеху, з'являється можливість скоротити ширину будівлі.

Практика показує, що випуск через ківш обов'язковий, якщо сплав надалі йде на рафінування або його для розливання слід видалити від печі на деяку відстань. За кордоном випуск через ківш застосовують для крем'янистих сплавів, а через скімер - для сплавів марганцю. Питання про те, який спосіб випуску сплавів, через ківш або через скімер, переважно, вирішується окремо у кожному конкретному випадку [11].

Обробка феросплавів з метою отримання необхідного розміру шматків включає такі операції, як дроблення і розсівання. Вибір типу дробарки залежить від міцності феросплаву. За кордоном виготовляють тільки фракціоновані феросплави, тобто сортовані на шматки різної фракції.

Використання сплавів певного гранулометричного складу в сталеплавильному виробництві сприяє швидкому засвоєнню легуючих елементів рідкою сталлю, зменшенню тепловтрат металу в ковші.

За кордоном феросплави поставляють в кусковому (>10 мм), зернистому (від 2 мм до 10 мм) і порошкоподібному (<2 мм) вигляді. Розвиток грануляції пов'язаний із збільшенням попиту на феросплави невеликої фракції, які можуть безперервно завантажуватися в сталеплавильні агрегати [20].

1.6 Висновки

1. Проаналізував сучасний стан технологічних можливостей виплавки та розливки феросилікомарганцю встановлено, що на сьогоднішній день силікомарганць марок MnC12 - MnC20 виплавляють на АТ «Нікопольський завод феросплавів» та АТ «Запорізький завод феросплавів» безперервним процесом в печах типу РПЗ-63, РПЗ-63М2, РКЗ-16,5, РКЗ-75 та розливають на розливній машині конвеєрного типу (М720-1i). Визначені основні шихтові матеріали та загальні фізико-хімічні основи процесу виплавки феросилікомарганцю.

2. Визначено основні шихтові матеріали та загальні фізико-хімічні основи процесу виплавки феросилікомарганцю.

2 ВИБІР МАТЕРІАЛІВ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Матеріали та методика проведення дослідження

Визначення теплофізичних характеристик марганцевих сплавів, зокрема вуглецевого феромарганцю марки ФМн75 та силікомарганцю марки МнС17 (табл. 2.1), визначали наступним чином:

- температурний інтервал плавлення (кристалізації) визначали за допомогою високотемпературного диференціального термічного аналізу і установці ВДТА-8М);
- питому теплоємність вимірювали методом температурних хвиль з використанням випромінювання оптичного квантового генератора;
- питому теплоту плавлення визначали методом зміщення за теплотою плавлення чистих компонентів.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад, температурний інтервал плавлення та щільність марганцевих сплавів

Марка сплаву	Хімічний склад, %				Щільність, ρ , кг/м ³	Температурний інтервал плавлення, °С	
	Mn	Si	C	P		t _c	t _л
ФМн75	77,9	1,2	6,5	0,50	7170	1170	1280
МнС17	72,3	18,1	1,4	0,40	6280	1100	1260

Дослідні зразки у вигляді циліндрів шириною 5 мм і заввишки 6 мм, поміщали в термостат в алунових тиглях разом з вольфрамовим еталоном. Нагриваючи і охолодження зразків проводили з постійною швидкістю 80 °С/хв. в атмосфері аргону. Температуру зразків контролювали за допомогою термопари ВР 5/20 із записом диференціальних кривих в процесі нагріву і охолодження. Точність вимірювання температури солідус і ліквідус складала ± 5 °С.

При визначенні питомої теплоємності зразків промислового

феросилікомарганцю та вуглецевого феромарганцю використовували методом температурних хвиль з використанням випромінювання оптичного квантового генератора. Зразки досліджуваних сплавів готували у вигляді плоских дисків завтовшки від 1 мм до 2 мм і діаметром 6 мм. Верхня поверхня проб покривалася тонким шаром графіту, щоб стабілізувати потужність випромінювання, що поглинається. Нагрів проб проводився у вакуумній печі ТВВ-2. Випромінювання оптичного квантового генератора (ОКГ) потрапляло в камеру печі через вікно з монокристала куховарської солі. Температура нижньої поверхні проби, закріпленої між торцями молібденових проволікав, вимірювалася термопарою без спаю. Розрахунок теплоємності проводили по середній температурі зразка після випромінювання. Погрішність вимірювання теплоємності не перевищувала $\pm 5\%$.

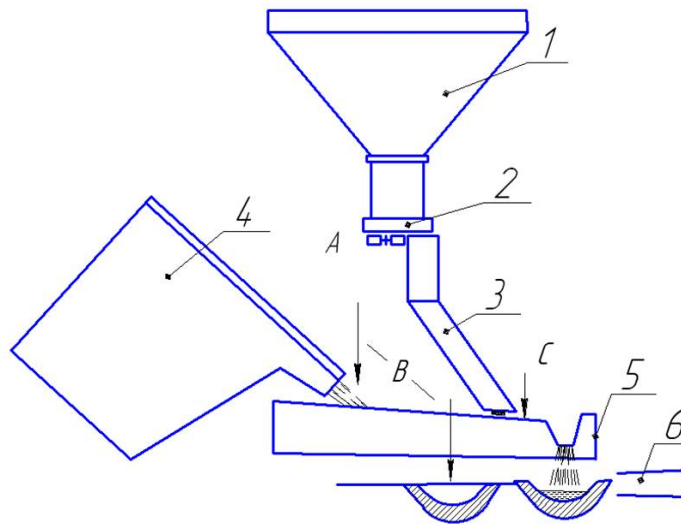
При проведенні практичних теплових розрахунків теплоту плавлення марганцевих сплавів визначали методом змішення за теплотою плавлення чистих компонентів, при цьому значення теплоти плавлення компонентів брали при температурі ліквідус сплаву.

Розробка технології утилізації некондиційної дрібниці при суспензійній розливці включає визначення наступних основних параметрів:

- розміру частинок і кількості дрібниці, що досаджується;
- технології введення дрібниці в розплав.

При розливці марганцевих сплавів з метою визначення місця установки бункера-живильника на розливній машині (рис. 2.1) в лабораторних умовах було випробувано 4 варіанти введення дрібниці в рідкий метал:

- варіант 1 – введення дрібниці на дно мульди під струмінь металу;
- варіант 2 – введення частини дрібниці на струмінь металу на зливний носок, а частини на дно мульди (у співвідношенні 9:1);
- варіант 3 – введення дрібниці на струмінь металу на зливний носок печі;
- варіант 4 – введення дрібниці в ванну рідкого металу в печі за 10 сек. до випуску.



A, B, C – місце та варіант введення некондиційної дрібниці;

1 – бункер; 2 – живильник; 3 – течко; 4 – ківш; 5 – жолоб розливної машини; 6 – лента розливної машини

Рисунок 2.1 – Схема установки для подачі некондиційної дрібниці при розливці на розливних машинах

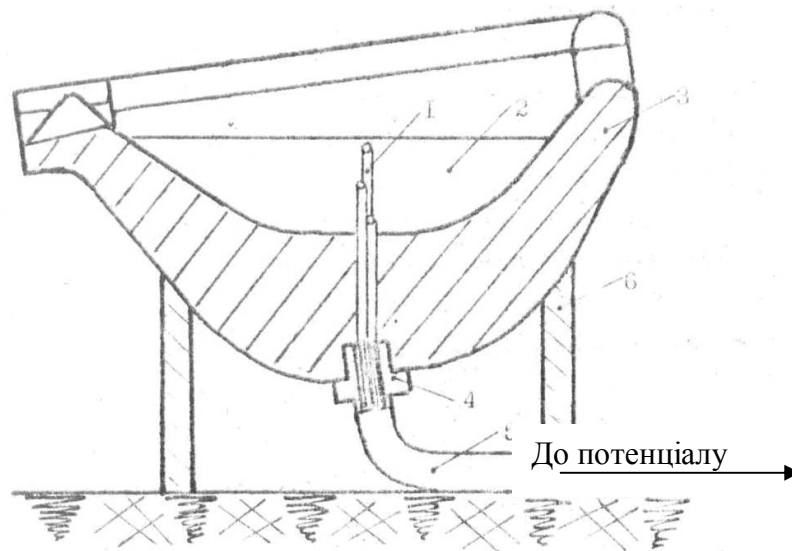
Зливки, отримані при звичайній та суспензійній розливці, піддавалися дробленню в щоківній дробарці з подальшим відсівом фракції < 20 мм.

При дослідженні процесу твердіння злиwkів феросилікомарганцю при суспензійній розливці вивчення кінетики твердіння злиwkів марганцевих феросплавів в чавунних мульдах розливної машини проводили в лабораторних умовах з використанням методики експериментального визначення температурних полів. Схема розташування термопар в мульдї представлена на рис. 2.2. Термопары з незахищеним гарячим спаєм ізолювалися один від одного алуновою соломкою і вмонтовувалися в блоці, закріпленому в крізному свердленні в днищі мульди. У якості реєструючого приладу використовували багатокрапковий автоматичний потенціометр, що проводив автоматичний запис температурних кривих в місцях розташування гарячих спаїв термопар.

Рідкий метал для відливання злиwkів отримували розплавленням шматків марганцевих сплавів валового виробництва в індукційній печі тигля ЛПЗ-37. Рідкий метал заливався в мульду безпосередньо з печі при її нахилі.

Температура металу, що розливається, контролювалася термопарою ВР 5/20 і підтримувалася в межах від 1360°C до 1380°C для силікомарганцю та від 1380°C до 1400°C для вуглецевого феромарганцю. У якості критерію для порівняння варіантів використовували вихід дрібниці фракції <20 мм після дроблення зливків на шоківій дробарці і характер макроструктури в зламі (наявність частинок, що не розплавилася).

Металом заповнювалася тільки центральна частина мульди, обмежена з торців виступами на донній частині і встановленими на них чавунними плитами. Перед заливкою мульда прогрівалася газом до температури від 50°C до 80°C .



- 1 – термопар; 2 – розплав; 3– мульда; 4- перехідний блок;
5 – канал для термопар; 6– опора

Рисунок 2.2 – Схема розташування термопар в мульду розливної машини

Кінетика твердіння зливків при суспензійній розливці вивчалася за допомогою порівняльного дослідження температурних полів зливків, відлитих без присадки дрібниці (контрольний зливков (КЗ)) і зливків, отриманих з присадкою некондиційної дрібниці відповідного сплаву в кількості 7% від маси металу, що розливається (дослідний зливков (ДЗ)). Присадка дрібниці фракції <20 мм, проводилася за допомогою живлячої воронки, укріпленої на

кронштейні над зливною носком печі.

При дослідженні дробимості зливків феросилікомарганцю, отриманих при звичайній та суспензійній розливці, випробування проводили на копрі з вертикально падаючим циліндровим сталевим розбирачем масою 2,4 кг і плоскою ударною поверхнею \varnothing 65 мм. Висота падіння бойок складала 600 мм. Бойок переміщався в товстостінній сталевій трубі. Навішування сплаву масою 50 г фракції від 20 мм до 40 мм поміщалося на сталеву плиту, яка була підставою для труби. Число скидань приймали рівним 10. Після дроблення 5 навішувань відсівали фракцію $< 0,5$ мм на ситі і вимірювали її кількість на об'ємометрі. Коефіцієнт міцності та сплаву визначали за формулою:

$$f=20n/h, \quad (2.1)$$

де n – число скидань при випробуванні одного навішування;

h – висота стовпа дрібної фракції в об'ємометрі після випробування 5 навішувань, мм.

2.2 Висновки

1. Визначено методику дослідження технології утилізації некондиційної дрібниці марганцевих феросплавів, що утворюється при фракціонуванні, шляхом їх суспензійної розливки на конвеєрних машинах.

2. Визначено методику дослідження дробимості зливків феросилікомарганцю, отриманих при звичайній і суспензійній розливці.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СУСПЕНЗІЙНОЇ РОЗЛИВКИ ФЕРОСИЛКОМАРГАНЦЮ

3.1 Шляхи утилізації некондиційної дрібниці марганцевих сплавів

На сьогоднішній день на АТ «Нікопольський завод феросплавів» відносно невелика кількість дрібниці фракції <20 мм, що утворюється при підготовці продукції на експорт і контрольних розсіваннях, переплавляється разом з шихтою в рудовідновлювальних електропечах. У міру накопичення на складах готової продукції ця дрібниця вивозиться на пункти дозувань в бункери для оборотних відходів, звідки по тракту шихтоподачі подається до печей. У якості оборотних відходів в шихту задають 2,4% дрібниць вуглецевого феромарганцю і 6,2% дрібниць силікомарганцю. За даними балансових плавок засвоєння марганцю з відходів складає від 90 % до 95%. Втрати марганцю пов'язані з розсіпом дрібниці на тракті шихтоподачі та її окисленням на колошнику. На даному етапі переплав дрібниці разом з шихтою дозволяє достатньо задовільно вирішити проблему її утилізації. Проте слід відзначити, що з переходом на випуск фракціонованих феросплавів, коли масова частка дрібниці < 20 мм зростає до 40%, такий шлях представляється неперспективним. Річ у тому, що вже при нинішній відносно невеликій частці металевих оборотних відходів в шихті помітно знижується витягання марганцю з початкової марганецьвмісної сировини внаслідок підвищення електропровідності шихти. Подальше підвищення частки металевих відходів в шихті може привести до серйозного розладу ходу печей із-за зменшення глибини посадки електродів [1].

За даними ДП «УкрНІСпецсталь» пряма переплавка дрібниці без шихти в спеціальній електропечі неефективна із-за високого вигару марганцю, що становить від 18 % до 24 %. До того ж така переплав вимагає виділення спеціальній печі і додаткових витрат електроенергії від 800 кВт·год./т до 1000 кВт·год./т.

Можливе брикетування дрібниці марганцевих феросплавів. За кордоном піддають брикетуванню фракції < 10 мм, а фракцію $+10$ мм упаковують в банки. Випробування методу брикетування дрібниці марганцевих сплавів в нашій країні показало, що необхідний додатковий її помел до фракції < 2 мм в газозахисній атмосфері і до того ж ця фракція вибухонебезпечна [2].

Найбільш перспективним і технологічним напрямом утилізації некондиційної дрібниці, що утворюється при фракціонуванні марганцевих феросплавів, є її переплав в процесі розливання за рахунок фізичного тепла перегрітого рідкого сплаву. Данний метод отримав назву «Суспензійного розливання» і був успішно випробуваний при виробництві сортового 45%-го феросиліцію на «Єрмаковському заводі феросплавів» (Казахстан) [5].

3.2 Особливості методу суспензійної розливки

Метод суспензійної розливки є новим напрямом в технології ливарного виробництва, що дозволяє істотно підвищити якість литих заготовок [5]. Суть методу полягає у введенні в рідкий метал в процесі його розливання дисперсних частинок, які грають роль додаткових центрів кристалізації і забезпечують збільшення швидкості кристалізації та диспергування структури литого металу. При цьому введені частинки акумулюють тепло розплаву, що твердіє, та яке витрачається на їх нагрів і плавлення.

Крім отримання дисперсної структури важливою перевагою суспензійної розливки є можливість утилізації металовідходів для використання їх у якості дисперсних частинок, що дозволяє реалізувати маловідхідні технології отримання відливань і зливків.

З погляду максимального теплотехнічного ефекту необхідно, щоб дисперсні частинки повністю розплавлялися до моменту досягнення розплавом температури ліквідус. Розрахунок часу плавлення сферичної частинки в розплаві того ж хімічного складу може бути проведений за формулою [10]:

$$\tau_{пл} = \frac{0,493 \cdot L \cdot R}{\alpha_{рід} \cdot C_{рід} (t_p - t)}, \quad (3.1)$$

де L – теплота плавлення, частинок, Дж/кг;

R – радіус частинок, мм;

$\alpha_{рід}$ – температуропровідність розплаву, м²/с;

$C_{рід}$ – теплоємність розплаву, Дж/(кг·град.);

t_p – температура розливання, °С;

t_l – температура ліквідус, °С.

Зазвичай при суспензійній розливці радіус дисперсних частинок складає від 0,5 мм до 3 мм і час їх плавлення не перевищує меж від 3 секунд до 5 секунд.

Максимально допустима кількість дисперсних частинок, яку можна розплавити в рідкому металі того ж складу, визначається в основному величиною перегріву розплаву над температурою ліквідусу і розраховується з рівняння теплового балансу процесу:

$$\frac{m}{M} = \frac{C_{p_{рід}} (t_{роз} - t_l) \cdot 100}{C_{p_{ме}} (t_c - t_{поч}) + \lambda + \frac{C_{p_{ме}} + C_{p_{рід}}}{2} (t_l - t_c)}, \quad (3.2)$$

де m – маса дисперсних частинок, кг;

M – маса розплаву, кг;

$t_{роз}$ – температура розливання, °С;

t_l, t_c – температура ліквідус і солідус, °С;

$t_{поч}$ – початкова температура дисперсних частинок, °С;

λ – теплота плавлення частинок, кДж/кг;

$C_{p_{рід}}, C_{p_{тв}}$ – теплоємність розплаву і дисперсних частинок, кДж/(кг·град.).

Зазвичай при суспензійній розливці чавуну і сталі величина перегріву

складає від 50 °С до 100 °С і частку дисперсних частинок не перевищує 5% від маси розплаву.

Тип отримуваної макроструктури литого металу визначається відносною кількістю введених дисперсних частинок (табл. 3.1.)

Таблиця 3.1 – Варіанти взаємодії частинок з розплавом при суспензійному розливанні

Кількість введених частинок, %	Взаємодія частинок з розплавом
<10	Повне розплавлення частинок
10-20	Часткове оплавлення частинок
> 20	Змерзання частинок в матричний метал

Некондиційна дрібниця марганцевих феросплавів задовольняє всім вимогам до дисперсної добавки для суспензійної розливки. За хімічним складом вона відповідає стандартному металу, хоча і містить від 1,0 % до 2,0 % неметалічних домішок у вигляді вапняного пилу. Контрольне розсівання дрібниці проведене ДП «УкрНІСпецсталь» показав, що частка щодо крупних частинок фракції від 10 мм до 20 мм складає тільки 13 % для силікомарганцю та 16,0% для вуглецевого феромарганцю. Для обох сплавів в дрібниці переважає фракція < 5 мм насипна маса дрібниці фракції < 20 мм складає 3,5 т/м³.

Таким чином, основним питанням при використанні методу суспензійної розливки для утилізації некондиційної дрібниці при розливанні марганцевих феросплавів є визначення максимально допустимої кількості дрібниці, що проплавляється, на основі вивчення теплофізичних характеристик сплавів марганцю і температурного режиму їх розливки в заводських умовах.

3.3 Визначення теплофізичних характеристик марганцевих сплавів

3.3.1 Температурний інтервал плавлення (кристалізації)

На відміну від чистих металів плавлення і кристалізація сплавів

відбуваються в певному інтервалі температур, обмеженому температурами солідус та ліквідус.

Визначення теплофізичних характеристик марганцевих сплавів проводили згідно методики [21, 22].

Експериментальні значення запису кривих нагріву приведені на рис. 3.1. Температурний інтервал плавлення фіксувався на кривих нагріву, а на кривих охолодження – температура початку кристалізації.

Слід зазначити, що зафіксовані на кривих охолодження температури початку кристалізації сплавів (1230°C для феромарганцю та 1215°C для силікомарганцю) значно (від 45°C до 50°C) менше, ніж температури ліквідус. Це свідчить про кристалізацію проб з переохолодженням.

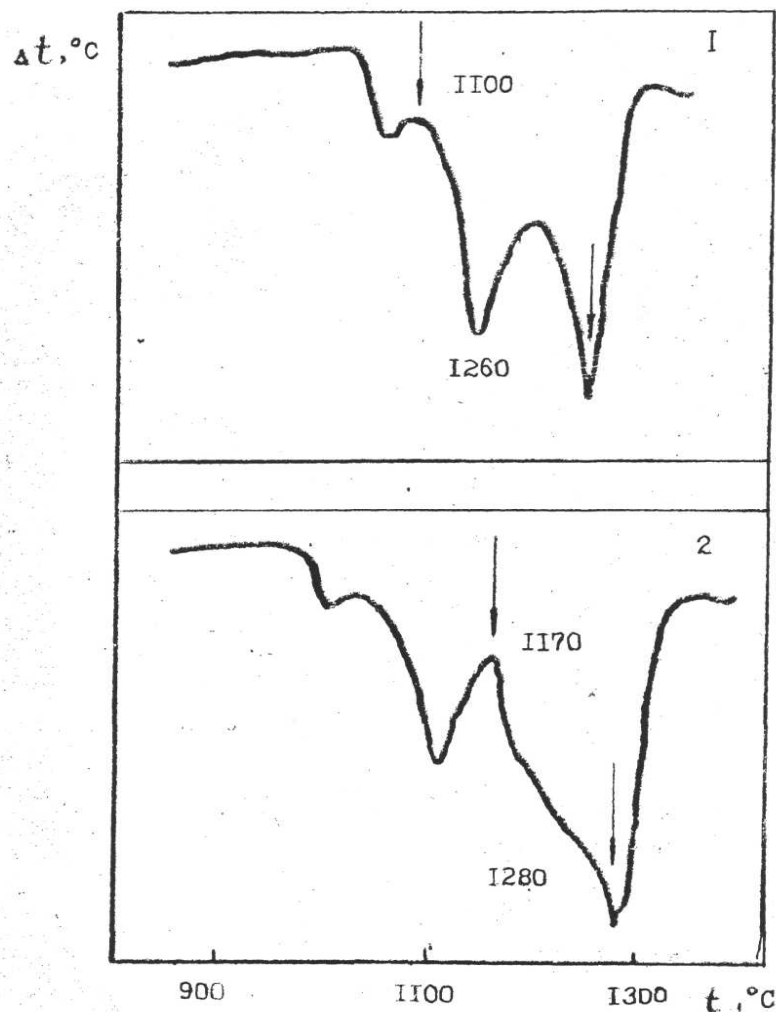


Рисунок 3.1 – Диференціальні термічні криві силікомарганцю (1) та вуглецевого феромарганцю (2)

Отримані значення температури солідус та ліквідус сплавів марганцю валового виробництва АТ «Нікопольський завод феросплавів» помітно відрізняються від приведених в монографії Дуррера і Фолькерта (від 1070 °С до 1260 °С для вуглецевого феромарганцю та від 1070 °С до 1320 °С для силікомарганцю) [20].

3.3.2 Визначення питомої теплоємності

Визначення питомої теплоємності марганцевих феросплавів проводили методом температурних хвиль з використанням випромінювання оптичного квантового генератора [21].

Експериментально отримані значення теплоємності дослідних зразків феросплавів приведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Теплоємність марганцевих сплавів у твердому стані

Феромарганець марки ФМн75		Силікомарганець марки МнС17	
t, °С	Cp, Дж/кг·град	t, °С	Cp, Дж/кг·град
20,8	725	21,6	692
222	742	245	708
516	768	600	724
765	780	812	745
Середнє значення:	754	Середнє значення:	717

У дослідженому інтервалі температур температурна залежність питомої теплоємності марганцевих феросплавів описується рівняннями:

– силікомарганець марки МнС17:

$$C_p = 690,6 + 0,067 \cdot t, \text{ Дж/кг} \cdot ^\circ\text{С}, \quad (3.3)$$

– вуглецевий феромарганець марки ФМн75:

$$C_p = 723,4 + 0,074 \cdot t, \text{ Дж/кг} \cdot ^\circ\text{С}, \quad (3.4)$$

Слід зазначити, що отримані значення теплоємності для обох сплавів добре узгоджуються з розрахованими по методу змішення на основі теплоємностей для чистих компонентів. Це дозволило розрахувати величину теплоємності сплавів марганцю в рідкому стані (при температурі ліквідус). Значення теплоємності силікомарганцю і вуглецевого феромарганцю в рідкому стані виявилися близькими і рівними відповідно 891 Дж/кг·град і 896 Дж/кг·град.

3.3.3 Визначення питомої теплоти плавлення

Коректування значення теплоти плавлення компонентів марганцевого сплаву проводиться за рівнянням:

$$\lambda_i = T_{л.спл.} \cdot \Delta S_{пл. i}, \quad (3.5)$$

де λ_i - скоректована теплота плавлення речовини у сплаві, Дж/кг;

$T_{л.спл.}$ - температура ліквідус сплаву, К;

$\Delta S_{пл. i}$ - значення ентропії плавлення речовини i , Дж/кг·К.

Приймаючи табличні значення ентропії плавлення для чистих компонентів Mn, Si та Fe, відповідно $\Delta S_{пл. Mn.} = 176,5$ Дж/кг·К, $\Delta S_{пл. Si.} = 982$ Дж/кг·К та $\Delta S_{пл. Fe.} = 12,89$ Дж/кг·К), знаходимо скоректовані значення їх теплоти плавлення при температурі ліквідус відповідного сплаву. Для силікомарганцю ($T_{л.} = 1533$ К) отримаємо:

$$\lambda_{Mn} = 1533 \cdot 176,5 = 270574,5 \text{ Дж/кг};$$

$$\lambda_{Si} = 1533 \cdot 982,2 = 1505712 \text{ Дж/кг};$$

$$\lambda_{Fe} = 1533 \cdot 12,89 = 19760,4 \text{ Дж/кг}.$$

Для досліджуваного складу силікомарганцю, перерахованого на 100% за вирахуванням вуглецю, знаходимо:

$$\lambda_{Si-Mn} = 0,733 \cdot 270574,5 + 0,184 \cdot 1505712 + 0,083 \cdot 19760,4 = 477022 \text{ Дж/кг} = 477,02 \text{ кДж/кг.}$$

Виконавши аналогічний розрахунок для вуглецевого феромарганцю ($T_{л} = 1533 \text{ К}$) скоректованого складу (83,3% Mn; 1,3% Si; 15,4% Fe), отримаємо:

$$\lambda_{Mn} = 1533 \cdot 176,5 = 274104,5 \text{ Дж/кг};$$

$$\lambda_{Si} = 1533 \cdot 982,2 = 1525356 \text{ Дж/кг};$$

$$\lambda_{Fe} = 1533 \cdot 12,89 = 20018,2 \text{ Дж/кг};$$

$$\lambda_{Fe-Mn} = 0,833 \cdot 274204,5 + 0,013 \cdot 1525356 + 0,154 \cdot 20018,2 = 251241 \text{ Дж/кг} = 251,2 \text{ кДж/кг.}$$

Отримані значення теплоти плавлення феромарганцю узгоджується з приведеним даними робіт Б. Хан ($\lambda_{Fe-Mn} = 64 \text{ Кал/г} = 268 \text{ кДж/кг}$) [26].

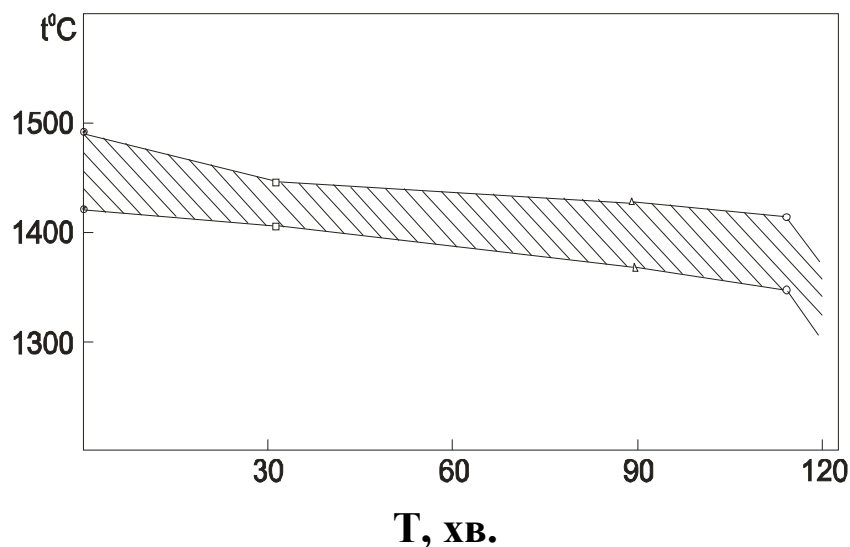
3.4 Дослідження температурного режиму випуску і розливки феросилікомарганцю

З метою визначення фактичного значення перегріву металу при розливанні марганцевих феросплавів досліджували температурний режим випуску і розливки феросилікомарганцю.

Експериментально встановлено, що температура феросилікомарганцю

випуску змінюється від 1430 °С до 1500 °С при середньому значенні 1470 °С. Таким чином, на випуску перегрів сплавів над температурою ліквідус складає в середньому 210 °С для феросилікомарганцю.

Динаміку зміни температури сплавів в ковші до початку розливання визначали шляхом періодичного занурення термопари ВР 5/20 з комбінованим чохлам з графітової оболонки і алундового наконечника в об'єм рідкого металу на глибину від 200 мм до 250 мм. Графік зміни температури металу від кінця випуску до початку розливання представлений на рис. 3.2. Встановлено, що швидкість охолодження металу в ковші змінюється від 1,5 до 3°С/хв. залежно від маси металу, причому швидкість охолодження зростає із зменшенням цієї маси.



- – кінець випуску; □ – злив шлаку; Δ – загушення шлаку;
- – температура у ковші на розливному стенді

Рисунок 3.2 – Зміна температури феросилікомарганцю в процесі розливки

За даними дослідів, при вимірюваннях температура розливки феросилікомарганцю коливається від 1270 °С до 1370 °С. Таким чином, перегрів металу, що розливається, над температурою ліквідус складає від 10 °С до 110°С для силікомарганцю.

Значення перегріву сплавів на початку розливки, отриманні у ході досліджень, відповідають прийнятій на заводі практиці, коли загальний час

очікування розливання, включаючи злив шлаку і загушення його залишків, складає порядку 120 хв. з погляду підвищення ефективності технології утилізації дрібниці при суспензійній розливці, при чому процес слід починати при вищих температурах за рахунок скорочення часу витримки сплавів в ковші перед розливкою.

3.5 Визначення маси добавки некондиційній дрібниці при суспензійній розливці марганцевих сплавів

З теплотехнічної точки зору максимально допустима маса некондиційної дрібниці, яку можна розплавити за рахунок тепла перегрітого розплаву при розливці, розраховується з рівняння теплового балансу.

Використовуємо для розрахунку теплотехнічні характеристики марганцевих сплавів, отримані в даній роботі (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Теплотехнічні характеристики марганцевих сплавів

Марка сплаву	Температурний інтервал плавлення, °С		Питома теплоємність, кДж/кг·град.		Питома теплота плавлення, λ , кДж/кг
	t_c	t_l	у твердому стані, $C_{p_{тв}}$	у рідкому стані, $C_{p_{рід}}$	
ФМн75	1100	260	0,717	0,896	477,022

Приймаючи початкову температуру дрібниці $t_{поч} = 20$ °С, розраховуємо відносну масу присадки дрібниці для величини перегріву сплаву:

$$\Delta t_{п} = t_p - t_{л}, \quad (3.6)$$

рівною відповідно 50 °С, 100 °С, 150 та 200 °С.

Результати розрахунку зводимо в табл. 3.4.

Таким чином, при існуючій технології розливки сплавів марганцю, коли перегрів металу над температурою ліквідус не перевищує 100°С, максимально допустима маса дрібниці, що досаджується, складає 7,4% для феромарганцю

та 6,5% для феросилікомарганцю, проте при розливці більш гарячого металу частка дрібниці, що задається, може бути значно підвищена. У кожному конкретному випадку відносна маса присадки дрібниці визначається величиною перегріву рідкого металу, яка встановлюється за даними температурних вимірювань за допомогою термопари або оптичного пірометра.

Таблиця 3.4 – Розрахункова допустима маса добавки некондиційній дрібниці при суспензійній розливці марганцевих сплавів

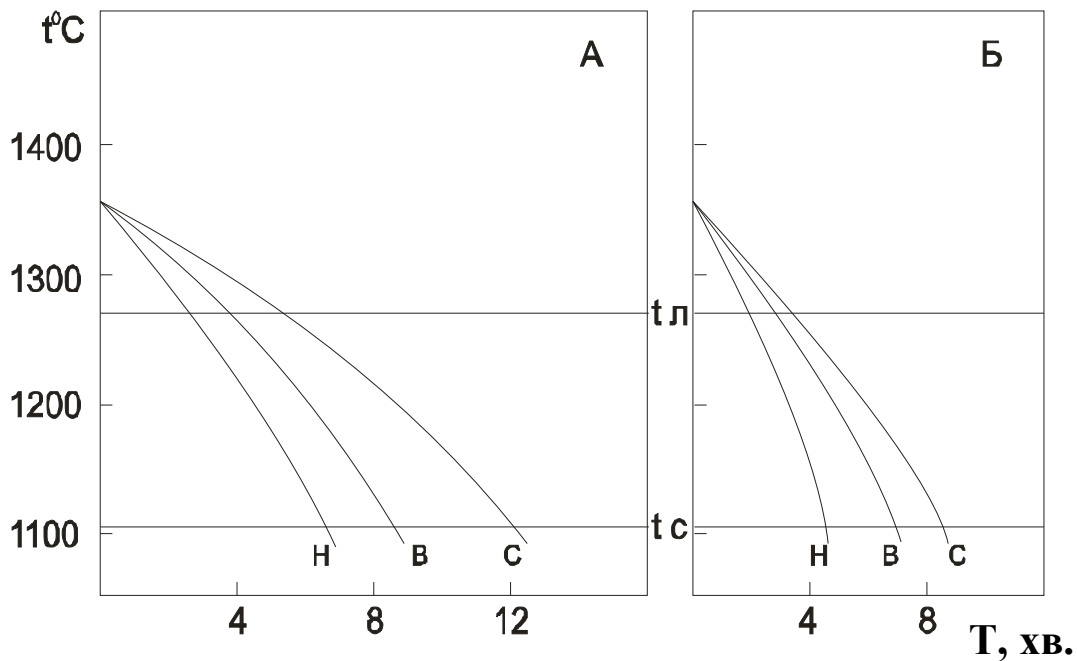
Перегрів сплаву при розливці, °С	50	100	150	200
Допустима маса присадки дрібниці в %-му відношенні від маси рідкого сплаву:				
ФМн75	3,68	7,37	11,06	14,74
МнС17	3,25	6,49	9,74	12,98

3.6 Дослідження процесу твердіння зливків марганцевих сплавів при суспензійній розливці

За технологією, що діє на сьогоднішній день, розливка феросилікомарганцю і вуглецевого феромарганцю проводиться в чавунні мульди конвеєрної машини. Товщина зливків, що відливаються, коливається в межах від 70 мм до 90 мм. Швидкість руху конвеєра прийнята рівною від 7 м/хв. до 10 м/хв.

Вивчення кінетики твердіння зливків марганцевих феросплавів в чавунних мульдах розливної машини проводили в лабораторних умовах з використанням методики експериментального визначення температурних полів.

Експериментально отримані криві охолодження контрольних і дослідних зливків феросилікомарганцю і вуглецевого феромарганцю на всіх трьох горизонтах представлені на рис. 3.3. Час початку і кінця твердіння зливка на відповідному горизонті визначалося в результаті перетину температурних кривих з горизонталями, відповідними температурі солідус і ліквідус даного сплаву. Отримані таким чином експериментальні дані про кінетику твердіння зливків приведені в табл. 3.5.



А – звичайний зливоч;

Б – зливоч від суспензійної розливці

Рисунок 3.3 – Зміна температури металу у виливниці під час твердіння у виливниці

Таблиця 3.5 – Кінетика твердіння злиwkів марганцевих сплавів при суспензійній розливці в мульди конвеєрної машини

Контролюємий горизонт зливка	Час початку твердіння, хв.				Час кінця твердіння, хв.			
	ФМн75		МнС17		ФМн75		МнС17	
	КЗ	ДЗ	КЗ	ДЗ	КЗ	ДЗ	КЗ	ДЗ
Низ зливка	2,0	2,0	2,0	2,0	7,0	5,0	6,0	5,0
Центр зливка	7,5	7,5	6,0	4,5	15,0	10	12,0	8,5
Верх зливка	3,0	3,0	3,0	2,0	8,0	7,0	8,0	7,5

Аналіз даних табл. 3.6. показує, що добавка некондиційній дрібниці в рідкий сплав при розливанні приводить до зменшення часу початку і особливо кінця твердіння на всіх горизонтах для обох сплавів. Особливо чітко цей ефект виявляється в центральній частині зливка, де час повного твердіння скорочується приблизно на 30 %. У зламі дослідних злиwkів не виявлено металевих макровключень, що свідчить про повне засвоєння дрібниці рідким металом.

Представляє інтерес порівняння експериментально встановленого часу

повного твердіння зливків при звичайному розливанні з розрахунковим часом кристалізації зливків, що визначається вибраною швидкістю руху конвеєра розливної машини. Насправді, неважко бачити, що розрахунковий час кристалізації обох сплавів забезпечує повне твердіння тільки верхньої і нижньої частин зливків, тоді як центральна частина зливків ще повністю не затверділа. Для повного твердіння центру зливка обох сплавів необхідно ще близько 5 хв., що може бути забезпечене зупинкою конвеєра після заповнення мульд металом. Іншим рішенням може бути застосування суспензійного розливання, що забезпечує практично повне твердіння центральної частини зливка в розрахунковий час кристалізації [23, 24].

3.7 Дослідження дробимості зливків марганцевих сплавів, отриманих при звичайній та суспензійній розливці

Постачання марганцевих феросплавів у фракціонованому вигляді передбачає дроблення і грохочення зливків, отриманих на конвеєрній машині. При цьому вихід некондиційної дрібниці < 20 мм залежить від механічної міцності зливків сплаву, яка у свою чергу визначається природою сплаву і макроструктурою зливка.

Відомо, що сплави марганцю належать до достатніх твердих, але крихких матеріалів. Для крихких матеріалів, що піддаються подрібненню, введений коефіцієнт міцності (ГОСТ 21153.1-75 [25]).

Експериментальні дослідження дробимості зливків феросилікомарганцю показали, що в зіставних умовах більшого ступеня дроблення піддається феросилікомарганець ($f = 4,0$ проти 4,8 для вуглецевого феромарганцю). Ці висновки узгоджуються з результатами контрольного розсівання марганцевих сплавів при фракціюванні (табл. 3.6). З даних табл. 3.6 видно, що вихід дрібниці всіх фракцій при дробленні і грохоченні силікомарганцю в середньому на рівні від 3 % до 4% вище, ніж для вуглецевого феромарганцю.

З метою з'ясування впливу суспензійної розливки на механічну міцність

сплавів марганцю визначали коефіцієнт міцності зливків силікомарганцю і феромарганцю, отриманих в лабораторних умовах при звичайній та суспензійній розливці (табл. 3.7).

Таблиця 3.6 – Вихід некондиційної дрібниці при фракціонуванні промислових марганцевих феросплавів (за даними ДП «УкрНІІСпецсталь»)

Клас розміру, що виділяється	Масова частка в % до ваги переробленого сплаву					
	феросилікомарганець марки МнС17 фракції, мм			вуглецевий феромарганець марки ФМн75 фракції, мм		
	<20	<10	<5	<20	<10	<5
III (100-20 мм)	17,6	16,0	11,2	14,8	12,0	8,8
IV (50 - 20 мм)	26,4	23,0	15,8	21,3	19,6	12,5

Таблиця 3.7 – Показники дроблення зливків марганцевих сплавів, отриманих при звичайній та суспензійній розливці

Показники дроблення	Силікомарганець марки МнС17		Феромарганець марки ФМн75	
	звичайна розливка	суспензійна розливка	звичайна розливка	суспензійна розливка
Коефіцієнт міцності	3,8	4,1	4,6	4,8
Вихід фракції <20 мм, %	20,6	16,9	18,1	15,5

Таким чином, присадка при розливці марганцевих сплавів некондиційної дрібниці в кількості 7 % від маси рідкого металу забезпечила помітне збільшення коефіцієнта міцності для обох сплавів і зменшення виходу фракції < 20 мм в середньому на 3% абс. [23].

3.8 Визначення основних параметрів технології утилізації некондиційної дрібниці марганцевих сплавів при суспензійній розливці

Максимально допустимий розмір частинок, що досаджуються при суспензійній розливці, можна встановити, визначивши тривалість плавлення частинок і порівнявши її з часом досягнення температури ліквідус на осі зливка. Час досягнення температури ліквідус на осі зливка (час початку твердіння) за даними справжньої роботи складає мінімум 2 хв.

Тривалість плавлення частинок може бути розрахована за рівнянням (3.1), для частинок максимального розміру у складі некондиційної дрібниці.

Гранулометричний склад дрібниці, що утворюється при фракціонуванні марганцевих сплавів, приведено в табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Гранулометричний склад дрібниці, що утворюється при фракціонуванні марганцевих феросплавів (за даними ДП «УкрНІСпецсталь»)

Сплав	Масова частка фракцій, %				
	10-20	5-10	2-5	1-2	<1
Силікомарганець марки МнС17	10,8	24,5	32,0	16,9	16,8
Феромарганець марки ФМн75	15,9	28,1	25,7	16,3	14,0

З даних табл. 3.8 видно, що частка найбільш крупних частинок фракції від 10 мм до 20 мм відносно велика. Проте можливість розплавлення цих частинок протягом 2 хв. повинна бути перевірена розрахунком.

Виконаємо, як приклад, розрахунок для сферичної частинки діаметром 20 мм феросилікомарганцю. Питому теплопровідність сплаву визначаємо за формулою:

$$\alpha = \frac{\lambda}{C_p \cdot \rho}, \text{ м}^2/\text{с}, \quad (3.7)$$

де λ – питома теплопровідність сплаву, Вт/(м·К);

C_p – питома теплопровідність сплаву, Дж/(кг·К);

ρ – щільність сплаву, кг/см².

Приймаючи для силікомарганцю $\lambda = 22,4$ Вт/(м·К) і підставляючи отримані в справжній роботі значення C_p та ρ , отримаємо:

$$\alpha_{\text{pid}} = \frac{22,4}{896 \cdot 6280} = 3,96 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}.$$

Тоді час плавлення частинки радіусом 10 мм при величині перегріву дорівнює:

$$\Delta T_{\text{пл}} = t_p - t_l, \quad (3.8)$$

Приймаємо $\Delta T_{\text{пл}} = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$, тоді:

$$\tau_{\text{пл}} = \frac{0,493 \cdot L \cdot R^2}{\alpha_{\text{рід}} \cdot C p_{\text{рід}} (t_p - t_l)}, \quad (3.9)$$

$$\tau_{\text{пл}} = \frac{0,493 \cdot 2,51 \cdot 10^5 \cdot 10^{-4}}{3,96 \cdot 10^{-6} \cdot 896 \cdot 100} = 35 \text{ с},$$

що значно менше часу почала твердіння на осі зливка (120 с).

Таким чином, час плавлення частинок невеликий і при введенні в розплав їх повне розплавлення закінчується до моменту почала твердіння зливка.

Максимально допустима маса присадки некондиційної дрібниці визначається для кожного сплаву з рівняння теплового балансу (2.2.) залежно від величини перегріву металу, що розливається, над температурою ліквідус. Ця залежність описується наступними рівняннями:

– для феросилікомарганцю марки МнС17:

$$m = 0,065 \cdot \Delta T, \quad (3.10)$$

– для вуглецевого феромарганцю марки ФМн75:

$$m = 0,074 \cdot \Delta T, \quad (3.11)$$

де m – масова частка дрібниці в % від ваги рідкого металу;

ΔT – перегрів металу, що розливається, $^{\circ}\text{C}$.

Для практичного використання ці рівняння зручно представити у вигляді графіка, за яким для експериментально встановленого перегріву визначається допустима маса дрібниці (рис. 3.4).

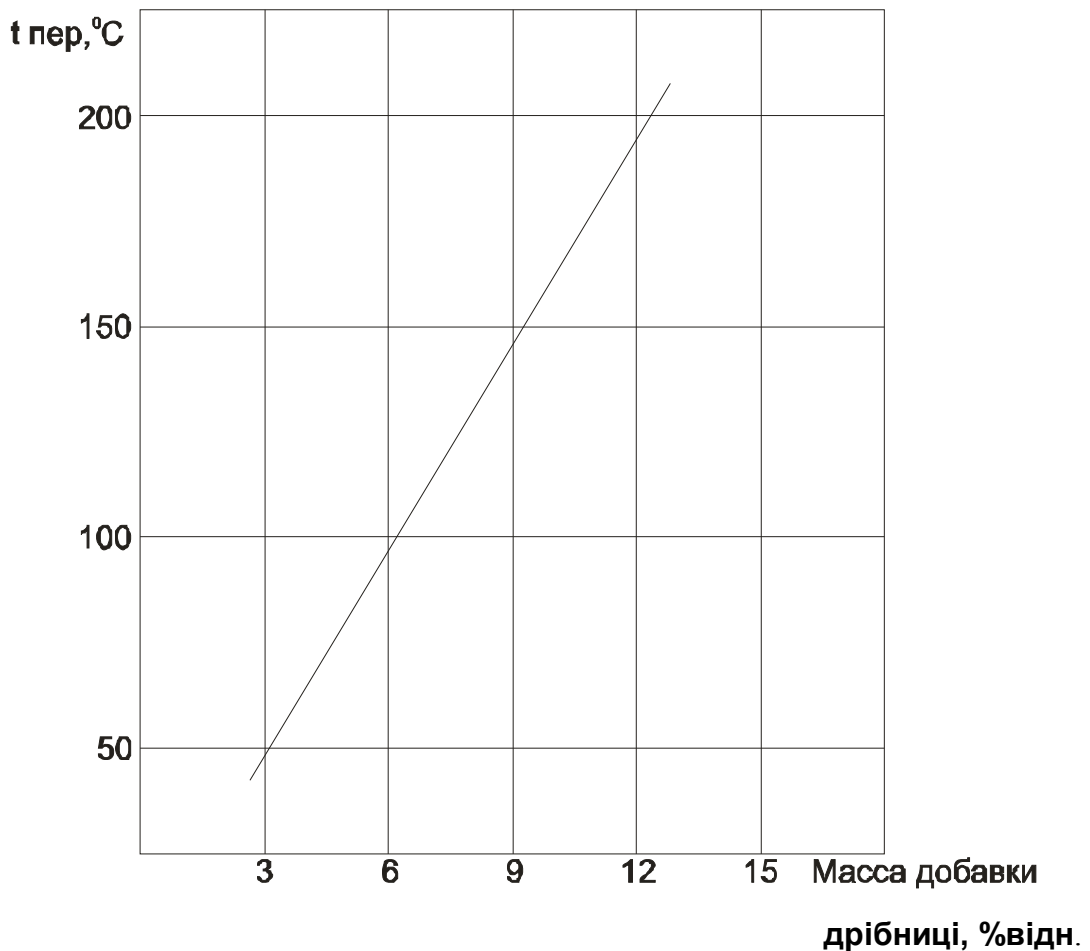


Рисунок 3.4 – Вплив температури перегріву феросилікомарганцю на масу добавки некондиційній дрібниці при розливці

Ефективність суспензійної розливки значною мірою визначається методом введення дисперсних частинок в рідкий метал. Метод введення дисперсних частинок повинен забезпечувати стабільне і рівномірне введення частинок та їх достатньо повне засвоєння рідким металом в процесі заливки виливниці, бути простим у виготовленні і експлуатації.

Для випадку суспензійної розливки марганцевих феросплавів на конвеєрних машинах найбільш простим і технологічним методом введення некондиційної дрібниці в рідкий метал є використання бункера-живильника, змонтованого на машині. Цей бункер повинен забезпечувати безперервну

регульовану подачу дрібниці в метал, що розливається (рис. 2.2).

З метою визначення місця установки бункера-живильника на машині в лабораторних умовах були випробувані 4 варіанти введення дрібниці в рідкий метал, описані в розділі 2.

Отримані експериментальні данні виходу дрібниці фракції < 20 мм і характер макроструктури в зламі зливка при суспензійній розливці марганцевих сплавів представлені в табл. 3.9.

Таблиця 3.9 – Вихід дрібниці фракції < 20 мм і характер макроструктури в зламі зливку при суспензійній розливці марганцевих сплавів

Марка сплаву	Вихід дрібниці фракції < 20 мм, %				Характер макроструктури в зламі			
	варіанти введення дрібниці				варіанти введення дрібниці			
	1	2	3	4	1	2	3	4
ФМн75	29,1	16,0	15,5	14,5	-	+	+	+
МнС17	35,6	17,2	16,9	15,6	-	+	+	+

Примітка: Знак (+) – повне розплавлення частки, (-) – часткове розплавлення частки або вмерзання частки в матричний метал.

Введенні дрібниці на дно мульди під струмінь металу (варіант 1) дав незадовільних результатів: отримані зливки мали, особливо на нижній поверхні, частково оплавлені і вмерзлі частинки дрібниці. Введення на дно мульди відносно невеликої частини присадки дрібниці (10% від загальної навіски) забезпечило повне засвоєння частинок рідким металом. Найкращі результати були отримані за варіантами 3 і 4. Варіант 3 моделював присадку дрібниці на жолоб розливної машини, а варіант 4 – в копильник цієї машини. З погляду збільшення часу плавлення частинок в рідкому металі доцільна раніше присадка дрібниці по тракту подачі рідкого металу при розливці. Цій умові повною мірою задовольняє введення дрібниці в копильник на струмінь сплаву з ковша (варіант 2) [23, 24].

Отже остаточний вибір методу введення дрібниці може бути проведений за наслідками промислового випробування технології суспензійної розливки марганцевих сплавів.

3.9 Організація та витрати на виконання науково-дослідної роботи

Науково-дослідна робота (НДР) – робота наукового характеру, пов'язана з науковим пошуком, проведенням досліджень, експериментами з метою розширення наявних та отримання нових знань, перевірки наукових гіпотез, встановлення закономірностей, що виявляються в природі [26].

Науково-дослідні роботи проводять за тематичними планами наукових досліджень установи, які, як правило, структурно складаються за такими розділами [27]:

- державна тематика;
- програмно-цільова і конкурсна тематика НАН України;
- відомча тематика (відомче замовлення) НАН України;
- пошукова тематика;
- договірна тематика.

При виконанні НДР виділяють наступні основні етапи:

1. Формулювання теми, визначення мети, завдань, об'єкта і предмета дослідження.
2. Складання концепції, програми і плану дослідження.
3. Розробка системи методів дослідження і прийомів їх ефективного застосування.
4. Збір, систематизація та аналіз емпіричного матеріалу. Експериментальні дослідження. Перевірка і уточнення гіпотези.
5. Аналіз і оформлення результатів дослідження.
6. Впровадження результатів і визначення економічної ефективності.

Основними завданнями науково-дослідної роботи магістрантів (дослідників) є:

- оволодіння студентами науковим методом пізнання, поглиблене і творче освоєння навчального матеріалу;
- навчання методології і засобів самостійного вирішення наукових завдань;

– прищеплення навичок роботи в наукових колективах, ознайомлення з методами і прийомами організації НДР.

Тема НДР повинна мати наступні характеристики:

– актуальність - цінність теми на даний момент часу для прогресу науки і техніки;

– наукова новизна - тема в такій постановці ніколи не розроблялася і не розробляється в даний час, тобто дублювання виключається;

– економічна ефективність - запропоновані в результаті наукового дослідження рішення повинні бути ефективніше вже існуючих рішень;

– практична значущість - можливість використання результатів наукового дослідження для вирішення актуальних проблем і завдань, як на виробництві, так і в суміжних або міждисциплінарних дослідженнях.

– відповідність профілю наукового колективу (організації) [28, 29].

Написання та оформлення звіту по науково-дослідній роботі здійснювали згідно ДСТУ 3582: 2013 [30], ДСТУ 1.5:2015 [31], ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 [32] та ДСТУ 3008:2015 [33].

3.9.1 Організація виконання НДР

Для виконання науково-дослідної роботи за темою «Аналіз особливостей технології суспензійної розливки феросилікомарганцю» протягом 01.10.2019 р. - 31.10.2019 р. приймаємо 5-ть етапів НДР, які приведені у табл. 3.10.

Керівником науково-дослідної роботи обираємо інженера, студент-магістрант виступає виконавцем (дослідником) НДР.

Приймаємо, що над виконанням науково-дослідної роботи працює 6 чоловік (табл. 3.11) чоловік протягом 30 календарних днів з посадовим окладам згідно тарифній ставці (не менше 22,41 грн./год.). Нарахування заробітної плати здійснюється 2 рази на місяць - з 16 по 22 число за першу половину поточного місяця та з 01 по 07 число місяця наступного та обраховується за його другу половину.

Таблиця 3.10 – Перелік етапів НДР за темою «Аналіз особливостей технології суспензійної розливки феросилікомарганцю»

№ етапу	Етап НДР	Зміст етапу
1	Літературний огляд і постановка завдання дослідження	1.1 Видача завдання. Формулювання теми, визначення мети, завдань, об'єкта і предмета дослідження. 1.2 Складання плану дослідження. 1.3 Виявлення можливих напрямків дослідження. 1.4 Аналіз сучасного стану виробництва феросилікомарганцю. 1.5 Підбір складу виконавців НДР.
2	Теоретичні дослідження	Розробка та обґрунтування методики дослідження.
3	Експериментальні дослідження	3.1 Шляхи утилізації некондиційної дрібниці марганцевих сплавів. 3.2 Особливості методу суспензійної розливки. 3.3 Визначення теплофізичних характеристик марганцевих сплавів. 3.4 Дослідження температурного режиму випуску та розливки феросилікомарганцю. 3.5 Визначення маси добавки некондиційній дрібниці при суспензійній розливці марганцевих сплавів. 3.6 Дослідження процесу твердіння зливків марганцевих сплавів при суспензійній розливці. 3.7 Дослідження дробимості зливків марганцевих сплавів, отриманих при звичайній та суспензійній розливці. 3.8 Визначення основних параметрів технології утилізації некондиційної дрібниці марганцевих сплавів при суспензійній розливці.
4	Узагальнення і оцінка результатів дослідження	4.1 Аналіз та обробка результатів дослідження. 4.2 Виконання графічної частини.
5	Заключний	5.1 Приймання науково-дослідної роботи. 5.2 Захист звіту з науково-дослідної роботи.

Для визначення трудомісткості запланованих робіт найчастіше застосовується метод ймовірнісних оцінок (безпосередній виконавець робіт оцінює максимальну і мінімальну трудомісткість роботи) [54].

Приймаємо наступну оцінку трудомісткості роботи:

- 1-й етап роботи від 6 чоловік до 10 чоловік (приймаємо 7 чоловік);
- 2-й етап роботи від 5 чоловік до 9 чоловік (приймаємо 5 чоловік);
- 3-й етап роботи від 22 чоловік до 29 чоловік (приймаємо 22 чоловік);

- 4-й етап роботи від 8 чоловік до 11 чоловік (приймаємо 8 чоловік);
- 5-й етап роботи від 5 чоловік до 7 чоловік (приймаємо 6 чоловік).

Таблиця 3.11 – Кількість виконавців НДР

№ п/п	Виконавець НДР	Кількість днів, що працює виконавець над НДР					Всього, днів
		1 етап	2 етап	3 етап	4 етап	5 етап	
1	Дослідник	3	3	8	5	3	22
2	Інженер	1	-	1	1	1	4
3	Розливник феросплавів	-	-	2	-	-	2
4	Майстер	-	-	2	-	-	2
5	Фахівець	2	1	3	1	1	8
6	Лаборант	1	1	6	1	1	10
Всього: 6 осіб		7	5	22	8	6	48

При невеликій кількості запланованих робіт та відповідно невеликій кількості їх виконавців (6 чоловік) основним документом планування виконання НДР є стрічковий (ступінчатий) графік [34], який передбачає вихід працівників у різний час групами або поодинці. Відрізком горизонтальної прямої показується тривалість етапу роботи від першого до останнього дня роботи. Загальна тривалість робіт складає 31 календарний (або 22 робочих) день при 8-ми годинному робочому дні (табл. 3.12).

3.9.2 Витрати на виконання НДР

Кошторисну калькуляцію на виконання науково-дослідної роботи складають на весь об'єм робіт за темою НДР [35].

Для визначення витрат для проведення дослідження необхідно розрахувати:

- витрати на основні матеріали;

Таблиця 3.12 – Стрічковий графік проведення НДР за темою «Аналіз особливостей технології суспензійної розливки феросилікомарганцю» протягом 01.10.2019 р.-31.10.2019 р.

Етапи	Трудомісткість, чол.·днів	Кількість виконавців, чол.	Тривалість етапів, днів	Виконання робіт у робочі дні																																	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
1	7	4	3	р	р	р																															
2	5	3	3				р	х	х	р	р																										
3	22	6	8								р	р	р	х	х	р	р	р	р	р	р	х															
4	8	4	5																			х	р	р	р	р	р	р	р	х							
5	6	4	3																														х	р	р	р	х

Примітка: х – вихідний день, р - робочий день

- витрати на додаткові матеріали;
- витрати на фонд оплати праці (ФОП);
- відрахування на відрядження;
- витрати на комунальні послуги;
- витрати на наукові публікації;
- транспортні витрати;

В статтю «Витрати на основні матеріали» входять «Витрати на основні шихтові матеріали» і «Витрати на основне та допоміжне устаткування».

До статті «Витрати на основні матеріали» входять ($B_{\text{матеріалів}}$):

- силікомарганець марки МнС17;
- вуглецевий феромарганець марки ФМн75;
- інші матеріали.

До статті «Витрати на основне та допоміжне устаткування» ($B_{\text{устаткування}}$):

- установка для подачі некондиційної дрібниці при розливці на розливних машинах, що вміщує в себе бункер, живильник, течко, ківш, жолоб розливної машини та ленту розливної машини) – 1 шт.;
- вакуумна піч ТВВ-2– 1 шт.;
- установка ВДТА-8М;
- ємності для зберігання зразків марганцевих сплавів – 6 шт.;
- термopapa BP 5/20 – 2 шт.;
- шокова дробарка;
- ноутбук ASUS F542UQ-DM060 – 1 шт.;
- інше обладнання.

Загальні «Витрати на основні матеріали» по науково-дослідній роботі становлять:

$$B_{\text{заг}} = B_{\text{матеріалів}} + B_{\text{устаткування}} \quad (3.12)$$

Приймаємо, що вище зазначене обладнання, окрім ноутбука, вже

встановлено в лабораторії, тому при складанні кошторису витрат на проведення науково-дослідної роботи в статті «Витрати на матеріали» ціна обладнання не враховується, а розраховуються тільки витрати в статті «Амортизація основних засобів».

Приймаємо вартість основних матеріалів $B_{\text{матеріалів}} = 5000 \text{ грн.}$

Витрати на статтю «Амортизація основних засобів» визначаються за формулою [35]:

$$S_{\text{ам}} = \sum_{i=1}^N \frac{\alpha_{\text{ам},i}}{100} \cdot K_{\text{уст},i} \cdot \frac{T_{\text{вик},i}}{T_{\text{можл},i}}, \quad (3.13)$$

де $\alpha_{\text{ам},i}/100$ – норма амортизаційних відрахувань для даного виду устаткування або приладу;

$K_{\text{уст},i}$ – вартість устаткування або приладу i -го вигляду, грн;

$T_{\text{вик},i}$ – тривалість використання даного i -го виду устаткування або приладу в дослідницькій роботі, год.;

$T_{\text{можл},i}$ – можливе число годин використання i -го виду устаткування або приладів на протязі року;

N – кількість устаткування, шт.

На сьогоднішній день норма амортизації основних засобів від вартості устаткування у відповідність з Законом України «Про оподаткування прибутку підприємств»_ прийнята для різних груп основних засобів від 1% до 10 % [36].

Приймаємо витрати на статтю «Амортизація основних засобів»

для основного та допоміжного обладнання $A_{\text{обладнання}} = 100 \text{ грн.}$

В розрахунок ФОП виконавців НДР входять наступні статті:

1. Основна заробітна плата наукових, інженерно-технічних і допоміжних працівників, зайнятих виконанням робіт по темі.

2. Додаткова заробітна плата, що включає виплати по оплаті чергових і додаткових відпусток, на виконання державних і суспільних доручень,

винагороди.

3. Доплата за роботу в вечірній та нічний час.
4. Доплата за переробку графіка.
5. Премії, заохочення, компенсаційні виплати, надбавки та інше.
6. Доплата за додаткові свята.

При виконанні поточної НДР при нарахування ФОП статті №4-6 не враховуються.

Згідно таблицю обліку робочого часу виконавців НДР приймаємо, що протягом 01.10.2019 р. – 30.10.2019 р. не було відряджень, лікарняних, відпусток, тимчасово неієздатних працівників та інше.

При нарахуванні ФОП приймаємо, що усі 6 виконавців НДР не відносяться до пільгових категорій людей (інваліди, багатодітні, учасники АТО, пенсіонери та інше), тому згідно до Закону «Про оплату праці» заробітна плата (ЗП) виконавців НДР розраховується за формулою [37, 38]:

$$ЗП_{\text{основна}}^i = \frac{ЗП_{\text{оклад}}^i}{T_{\text{місяць}}} \cdot T_{\text{етапу}} \quad (3.14)$$

де $ЗП_{\text{оклад}}^i$ – посадовий оклад, грн.;

$T_{\text{місяць}}$ – кількість робочих днів в місяці, днів;

$T_{\text{етапу}}$ – тривалість певного етапу, днів.

Основна заробітна плата інженера становить:

$$ЗП_{\text{основна}}^{\text{інженера}} = \frac{12700}{22} \cdot 4 = 2309,09 \text{ грн.}$$

Аналогічно розраховуємо заробітну плату для інших виконавців НДР та заносимо у табл. 3.13.

Загальний фонд заробітної плати розраховується з урахуванням фонду заробітної плати, преміального фонду і додаткової заробітної плати виконавців.

Додаткова заробітна плата виконавців розраховується у розмірі 10 % від фонду заробітної плати [37, 38]:

Таблиця 3.13 – Заробітна плата виконавців НДР за темою «Аналіз особливостей технології суспензійної розливки феросилікомарганцю»

№ п/п	Посада виконавця	К-ть, чол.	Оклад, грн.	Тривалість, дні	Доля ставки, %	Основна заробітна плата, грн.	Додаткова заробітна плата, грн.
1	Дослідник	1	6900	22	1,00	6900	690
2	Інженер	1	12700	4	0,18	2309,09	230,91
3	Розливник феросплавів	1	12000	2	0,09	1090,91	109,09
4	Майстер	1	17000	2	0,09	1545,45	154,55
5	Фахівець	1	5400	8	0,36	1963,64	196,36
6	Лаборант	1	4173	10	0,45	1896,82	189,68
Всього		6			2,18	15705,91	1570,59

$$ЗП_{\text{додаткова}}^i = \frac{ЗП_{\text{основна}}^i \cdot 10}{100}, \quad (3.15)$$

$$ЗП_{\text{додаткова}}^i = \frac{20315 \cdot 10}{100} = 2031,5 \text{ грн}$$

Приймаємо, що за період проведення НДР протягом 01.10.2019 р.- 30.10.2019 р. доплати (за роботу в вечірній та нічний час, за переробку графіка, за додаткові свята, премії, заохочення, компенсаційні виплати, надбавки та інше) виконавцям НДР не передбачені.

Загальний фонд заробітної плати складе [37, 38]:

$$ЗП_{\text{заг}} = ЗП_{\text{основна}}^i + ЗП_{\text{додаткова}}^i + З_{\text{доплати}}^i \quad (3.16)$$

$$ЗП_{\text{заг}} = 1570591 + 157059 + 0 = 172765 \text{ грн}$$

Єдиний соціальний внесок (ЄСВ) складає 22% від ФОП:

$$ЄСВ = \frac{ЗП_{\text{заг}}}{100} \cdot 22, \quad (3.17)$$

$$ЄСВ = \frac{17276,5}{100} \cdot 22 = 3800,83 \text{ грн.}$$

Утримання із заробітної плати виконавців НДР становлять:

- тимчасово непрацездатний 2,9% (501,02 грн.);
- фонд безробіття 2% (345,53 грн.);
- податок на прибуток фізичних осіб (ППФО) 18% (3109,77 грн.);
- воєнний збір 1,5% (259,15 грн.);
- профспілковий фонд 1% (172,765).

Тариф на електроенергію в 2019 р. для підприємств та юридичних осіб за цінами ПАТ «Запоріжжяобленерго» становить:

- 1 клас напруги 172,072 коп/кВт·год. (без ПДФ);
- 2 клас напруги 214,336 коп/кВт·год. (без ПДФ).

Вартість електроенергії, що витрачається на проведення дослідження визначають за формулою:

$$S_e = \sum_{i=1}^N T_e \cdot N_{a,i} \cdot T_{\text{вик},i} \cdot m_i, \quad (3.18)$$

де T_e – тариф за кожен споживаний кВт·год., грн.;

$N_{a,i}$ – середня споживана потужність i -го виду устаткування, кВт;

$T_{\text{вик},i}$ – тривалість використання i -го виду устаткування або приладу, год.;

m_i – кількість устаткування i -го вигляду, шт.

Для пошуку інформації в мережі Internet, обробки експериментальних даних, написання звіту з НДР, оформлення нормативної та допоміжної документації використовували ноутбук HP Pavilion Gaming 15-bc504ur (7DT87EA).

Прийється, що є особистою власністю студента-магістранта, тому його вартість не враховували в статті «Витрати на матеріали».

У розрахунку враховується амортизацію ноутбука, що становить 2% від вартості устаткування (для групи 4 основних фондів та інших необоротних активів)):

$$A_{\text{комп'ютера}} = \frac{B_{\text{комп'ютера}} \cdot 2}{100}, \quad (3.19)$$

де $B_{\text{комп'ютера}}$ – вартість ноутбука HP Pavilion Gaming 15-bc504ur (7DT87EA), приймаємо 16000 грн.

$$A_{\text{комп'ютера}}^{\text{заг}} = \frac{16000 \cdot 2}{100} = 320 \text{ грн.}$$

З урахуванням загального строку експлуатації ноутбука протягом 7 років

(61320 годин роботи) та експлуатації при виконанні НДР протягом 40 годин отримуємо:

$$A_{\text{компьютера}} = \frac{320 \cdot 40}{61320} = 0,2 \text{ грн.}$$

Загальні витрати на статтю «Амортизація основних засобів» складуть:

$$A_{\text{загальні}} = A_{\text{обладнання}} + A_{\text{компьютера}} \quad (3.20)$$

$$A_{\text{загальні}} = 100 + 0,2 = 100,2 \text{ грн.}$$

При розрахунку статті «Витрати на електроенергію» приймаємо потужність ноутбука рівною 0,5 кВт·год., тоді витрата електроенергії від роботи ноутбука складе:

$$V_{\text{елек-ї}}^{\text{компьютер}} = 2,16 \cdot 40 \cdot 0,5 = 43,2 \text{ грн.}$$

Приймаємо витрати електроенергії від роботи іншого обладнання рівними 518,4 грн. Тоді загальні витрати електроенергії складуть:

$$V_{\text{елек-ї}}^{\text{загальні}} = V_{\text{елек-ї}}^{\text{компьютер}} + V_{\text{елек-ї}}^{\text{інше обладнання}},$$

$$V_{\text{елек-ї}}^{\text{загальні}} = 42,3 + 518,4 = 561,6 \text{ грн.}$$

Кошторис загальних витрат на НДР за темою «Аналіз особливостей технології суспензійної розливки феросилікомарганцю» визначається на весь об'єм робіт за період 01.10.2019 р.- 30.10.2019 р. (табл. 3.14).

Таким чином, приведено організацію виконання НДР за темою «Аналіз особливостей технології суспензійної розливки феросилікомарганцю» запропоновано етапи НДР та приведено кошторис загальних витрат на її проведення.

Таблиця 3.14 – Кошторис загальних витрат на проведення науково-дослідної роботи за темою «Аналіз особливостей технології суспензійної розливки феросилікомарганцю»

№ з/п	Статті витрат	Всього витрат	
		грн.	%
1	Витрати на шихтові матеріали	5000	16,393
2	Витрати на устаткування	0	0
3	Амортизація основних засобів	100,02	0,328
4	Фонд оплати праці:		
	– основна заробітна плата	15705,91	51,495
	– додаткова заробітна плата	1570,59	5,149
5	ЄСВ (22 %):	3800,83	12,462
6	Витрати на електроенергію	561,6	1,841
7	Витрати на комунальні послуги (за винятком витрат на електроенергію)	1200	3,934
8	Витрати на наукові публікації	1000	3,279
9	Транспортні відрахування	100	0,328
10	Витрати на канцелярію	500	1,639
11	Інші витрати	961,05	3,151
Всього		30500	100,000

3.10 Висновки

1. Встановлено, що при суспензійній розливці марганцевих сплавів, зокрема феромарганцю марки ФМн75 та силікомарганцю марки МнС17, допустима маса некондекційної дрібниці, що досаджується, визначалася величиною перегріву металу та при максимальному фактичному перегріві 100 °С складала в середньому 7% від маси рідкого металу, що забезпечило помітне збільшення коефіцієнта міцності для обох сплавів і зменшення виходу фракції <20 мм в середньому на 3% абс.

2. Дослідження технології утилізації некондиційній дрібниці марганцевих сплавів при суспензійній розливці показали, що повне засвоєння дрібниці фракції < 20 мм рідким металом забезпечується шляхом введення її в струмінь металу на жолобі розливної машини.

3. Приведено організацію виконання НДР за темою «Аналіз особливостей технології суспензійної розливки феросилікомарганцю» запропоновано етапи НДР та приведено кошторис загальних витрат на її проведення.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційно-небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища лабораторії

При дослідженні технології суспензійної розливки феросилікомарганцю в лабораторних умовах основними потенційно-небезпечними та шкідливими факторами виробничого середовища є [39]:

- підвищена температура (35°C при нормі від 15°C до 26°C);
- запиленість (фактична концентрація пилу 16 мг/м^3);
- високий рівень промислових шумів (86 дБА при нормі 80 дБА);
- звисокий рівень загальної вібрацій (96 дБ при нормі 92 дБ);
- недостатнє природне або технічне освітлення в робочих приміщеннях.

Одним з небезпечних виробничих факторів при дробленні марганцевих феросплавів в шоковій дробарці є пил, шум та вібрація.

Тривале роздратування пилом слизуватої носу може привести до виникнення хронічної запальної реакції. При вдиханні більших кількостей пилу можуть розвиватися катарі верхніх дихальних шляхів і бронхів. Особливо слід підкреслити, що частки виробничого пилу із вдихуванним повітрям заносяться в альвеоли легенів, де викликають реакцію запального процесу, який залежить як від хімічного складу пилу, так і від кількості пилу, що залишився в альвеолах. Розвивається картина легеневого фіброзу – пневмоконіоз.

Шум викликає зміни в нервовій системі, впливає на психіку людини, серцево-судинну систему, травлення, погіршує сон. Робота в умовах сильного шуму може викликати головний біль, запаморочення, ослаблення уваги. Тривалість впливу надмірного шуму супроводжується стійкими поразками й порушеннями функцій слухових органів. Шум є причиною швидкого розвитку стомлення й зниження працездатності. Шум може бути причиною нещасного випадку.

Вплив вібрації викликає спазми судів, які розвиваються з кінцевих

фаланг пальців, поширюються на всю кисть, передпліччя, охоплюють судини серця. Вібрація впливає на нервову систему, шлунково-кишковий тракт, м'язи, кістково-суглобний апарат, зір, слух. Тривалий вплив вібрації може привести до важко виліковної вібраційної хвороби [40].

Джерелами інтенсивних теплових випромінювань в лабораторії є розплавлений рідкий феросилікомарганець, що подається на суспензійну розливку.

Через високі температури повітря відбувається збіднення організму працюючих водою, що викликає згущення крові, порушення діяльності серцево-судинної системи. Для відновлення порушеного водного балансу в організмі робітників постачають (крім питної води) підсолону [41].

4.2 Заходи з поліпшення умов праці

Для поліпшення умов праці в лабораторії та захисту від теплового впливу можна застосовують механічну вентиляцію, яку встановлюють над піччю.

Для видалення надлишків тепла використовують аерацію. Для аерації влаштовують отвори в поздовжніх стінах будинку: нижній ряд (для припливу повітря в теплий період року) – на рівні не більш 1,8 м; верхній ряд (для припливу повітря взимку та влітку) – на рівні не менш 4 м. На дахи будинку встановлюють аераційний ліхтар.

В лабораторії використовується природне та штучне освітлення. Особливо важливе на робочих місцях природне освітлення, тому що денне світло по гігієнічних якостях значно вище штучного. Освітленість може бути недостатня через сильне забруднення скла. Тому скляні поверхні світлових прорізів слід чистити регулярно за графіком – не рідше чотирьох раз у рік, тому що на ділянці є значні виділення пилу, диму, кіптяви.

Роботи в лабораторії з виплавки феросилікомарганцю відносяться до VIII розряду зорової роботи, до підрозряду А. Нормативна освітленість дорівнює 200 лк.

Для штучного освітлення застосовують лампи розжарювання й лампи ДРЛ (дросельно-ртутні). Лампи ДРЛ-400 застосовуються для загального освітлення пічного прольоту. Місцеве освітлення інших виробничих приміщень виконується лампами розжарювання.

Висота підвісу світильників над рівнем підлоги (майданчика) з урахуванням забезпечення електробезпеки та обмеження осліплення ухвалюється не менш 4 м при лампах потужністю до 200 Вт і менш, від 3 м до 6 м – при лампах потужністю більше 200 Вт. Світильники місцевого освітлення найкраще розташовувати на висоті не вище 1 м від робочої поверхні.

Для забезпечення електробезпеки в місцях з підвищеною вологістю застосовуються світильники переносного освітлення з напругою 12 В.

У цеху виплавки малофосфористого шлаку та металевого марганцю є перевищення шуму, тому необхідно прибгати до захисту органів слуху від шуму. Шум впливає на слуховий апарат і на нервову систему людини, викликаючи слухове стомлення, а при тривалому впливі – приглухуватість або повній глухоті, тому в якості індивідуальних засобів захисту виробничого шуму працюючі повинні застосовувати антифони, навушники або беруши-вкладиши.

В умовах лабораторії шкідливим фактором також є вібрація. Для ослаблення вібрації всі агрегати, що створюють вібрації встановлені на самостійних фундаментах, віброізованих від підлоги й інших конструкцій будинків. Зменшення інтенсивності вібрації деталей агрегати здійснюється шляхом облицювання цих поверхонь або заповнення спеціально передбачених повітряних порожнин у них матеріалами, що демпфують.

На робочих місцях, де є перевищення концентрації пилу, газів застосовують індивідуальні засоби захисту органів подиху: протипилові респіратори ШБ-1 «ПЕЛЮСТКА».

Багато операцій сполучені з небезпекою механічного ушкодження або

хімічної поразки ока. Для запобігання очних травм застосовують окуляри, щитки, маски, екрани.

Заходами захисту від теплових випромінювань є місцева приточна вентиляція (повітряне душивання).

Для зменшення випромінювання навколо колошника встановлюють металеві щити, що охолоджуються водою, або штори, що обертаються навколо вертикальної осі або шихти, що нахиляються на час завантаження. Крім того, на колошниковий майданчик за допомогою потужних вентиляторів типу «Сирокко» нагнітається очищене від пилу охолоджене повітря. Навколо печі в зоні роботи плавильників улаштовують кілька виводів обдувної вентиляції [41].

4.3 Електробезпека

По мірі небезпеки поразки людей електричним струмом феросплавна лабораторія відноситься до категорії - особливо небезпечні приміщення, оскільки в ній використовується багато електроустаткування; виробничі приміщення характеризуються підвищеною температурою повітря, значним вмістом в ній провідного пилу; підлоги володіють струмопровідними властивостями; є постійна небезпека одночасного зіткнення людини з металоконструкціями і частинами електроустановок.

Для живлення виробничого устаткування в лабораторії застосовують чотирихпроводну мережу трифазного струму із глухозаземленою нейтраллю напругою 380/220 В.

Особливо важливе значення в лабораторії має захист від переходу напруги на металеві неструмоведучі частини. Для захисту робітників від поразки електрострумом всі неструмоведучі частини електроустаткування в цеху обладнані захисним заземленням в мережах напругою до 1000 В змінного струму - трифазні трипровідні з ізолюваною нейтраллю. До системи захисного заземлення підключають також всю освітлювальну арматуру, металеві коробки перемикачів, кожухи

розподільних щитів та ін. [42, 43].

4.4 Заходи з пожежної та техногенної безпеки

До основних вимог пожежної безпеки до утримання приміщень (лабораторії) слід віднести:

- лабораторія повинна своєчасно очищатися від сміття, відходів і постійно утримуватися в чистоті;

- розміщення в лабораторії меблів та обладнання слід здійснювати таким чином, щоб забезпечувався вільний прохід до дверей у випадку евакуації персоналу; навпроти дверного отвору слід залишати прохід шириною не менше одного метра;

- евакуаційні шляхи (проходи та коридори) і виходи також повинні нічим не зашарашуватися;

- не допускається знімати з дверей пристрої для самозачинення, зберігати інвентар та різні матеріали у тамбурах виходів, у шафах (нішах) для інженерних комунікацій, закривати двері на замки та інші пристрої, які важко відчинити зсередини;

- у разі необхідності встановлення металевих ґрат на вікнах приміщень, в яких перебувають люди, вони повинні розкриватися, розсуватися або зніматися;

- пожежні крани, які є в приміщенні лабораторії, повинні бути укомплектовані пожежними рукавами і стволами;

- згідно з вимогами Правил пожежної безпеки в Україні всі приміщення повинні бути забезпечені необхідною кількістю вогнегасників, які встановлюються в легкодоступних та помітних місцях. зачиненими, з зазначенням місцезнаходження ключів від них [42].

Пожежна безпеку лабораторії забезпечується відповідно ДБН В.1.1.7-2016 [44].

Необхідна кількість первинних засобів пожежогасіння визначається

окремо по кожному поверху і приміщенню, а також етажеркам відкритих установок. Вибір типу вогнегасника (пересувний або переносний) обумовлений розмірами можливих вогнищ пожеж, при їх збільшених розмірах рекомендується використовувати пересувні вогнегасники. Для гасіння пожежі передбачено два пожежні щити (ПЩ), два вуглекислотні вогнегасники ОУ-80, два повітряно-пінні вогнегасники ОВП-10, чотири порошкові вогнегасники ОПС-10.

Для ліквідації пожежі в самий момент його виникнення на ряді з вогнегасниками використовують такі засоби як пісок, цебра з водою, гідропульпи [41].

4.5 Розрахунок захисного заземлення контуру в лабораторії

Захисне заземлення (33) - це електричне з'єднання з землею або її еквівалентом, металічних неструмопровідних частин, які можуть опинитися під напругою.

Мета захисного заземлення - понизити струм, який протікає через людину ($I_{\text{через людину}}$) при дотику до заземленого корпусу пристрою діагностики, коли там виникне $U_{\text{дотику}}$ напруга дотику ($U_{\text{дотику}}$) у результаті пошкодження або пробою ізоляції струмо- провідних частин.

Розрахунок контуру у лабораторії зводиться до визначення числа вертикальних заземлювачів та довжини сполучної смуги. За правилами опір контуру заземлення не повинний перевищувати 4 Ом для напруги живлення до 1000 В. За найнесприятливіх умов опір одиночного заземлювача визначимо за формулою:

$$R_{\text{од.заземлювача}} = 0,366 \frac{\rho}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4H+l}{4H-l} \right), \quad (4.1)$$

$$R_{\text{од.заземлювача}} = 0,366 \frac{10^2}{1,5} \left(\lg \frac{2 \cdot 1,5}{0,016} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 0,85 + 1,5}{4 \cdot 0,85 - 1,5} \right) = 60 \text{ Ом},$$

де l – довжина стержня, приймаємо 1,5 м;

d – діаметр стержня, приймаємо 0,016 м;

H – відстань від поверхні землі до половини довжини стержня, приймаємо 0,85 м;

ρ – питомий опір ґрунту, приймаємо 10^2 Ом·м з урахуванням кліматичного коефіцієнту.

Кількість одиночних заземлювачів розрахуємо за формулою:

$$n = \frac{R_{\text{од.заземлювача}}}{r_{\text{н.з.}} \cdot \eta_{\text{од.заземлювача}}}, \quad (4.2)$$

$$n = \frac{60}{4 \cdot 0,66} \approx 22 \text{ шт.},$$

де $r_{\text{н.з.}}$ – значення контурного заземлення, що нормує, приймаємо 4 Ом;

$\eta_{\text{од.заземлювача}}$ – коефіцієнт використання одиночного заземлювача, приймаємо для стержнів 0,66.

Опір сполучної смуги, що з'єднує одиночні заземлювачі, визначимо за формулою:

$$R_{\text{пит}} = 0,366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{2l^2}{bH}, \quad (4.3)$$

$$R_{\text{пит}} = 0,366 \frac{10^2}{79,2} \lg \frac{2 \cdot 79,2^2}{0,04 \cdot 0,1} = 3 \text{ Ом};$$

де a – відстань між стержнями, приймаємо 2,6 м;

H – глибина закладення смуги, приймаємо 0,1 м.

l – довжина смуги, приймаємо $l = a \cdot n = 2,6 \cdot 22 = 79,2 \text{ м}$.

Опір штучного контурного заземлення визначимо за формулою:

$$R_{з.к.} = \frac{R_{од.заземлювача} \cdot R_{пит}}{R_{од.заземлювача} \cdot R_{пит} + n \cdot R_{пит} \cdot \eta_{од.заземлювача}}, \quad (4.4)$$

$$R_{з.к.} = \frac{60 \cdot 3}{60 \cdot 0,4 + 22 \cdot 3 \cdot 0,66} = 2,66 \text{ Ом},$$

де $\eta_{кор}$ – коефіцієнт використання з'єднуючої полоси в контурі із вертикальних електродів, приймаємо 0,4;

Отже розраховане значення опору заземлюючого контуру (рис. 4.1) задовольняє вимогам електробезпеки [41].

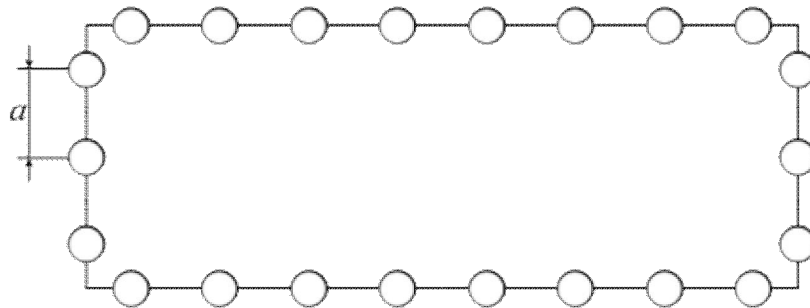


Рисунок 4.1 – План заземлюючого контуру

4.6 Висновки

1. Приведено характеристику потенційно-небезпечних та шкідливих факторів лабораторії.
2. З метою ефективного способом захисту людини від ураження електричним струмом при дотику до металевих поверхонь приведено розрахунок захисного заземлення контуру лабораторії.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проаналізував сучасний стан технологічних можливостей виплавки та розливки феросилікомарганцю встановлено, що на сьогоднішній день силікомарганць марок МнС12 - МнС20 виплавляють на АТ «Нікопольський завод феросплавів» та АТ «Запорізький завод феросплавів» безперервним процесом в печах типу РПЗ-63, РПЗ-63М2, РКЗ-16,5, РКЗ-75 та розливають на розливній машині конвеєрного типу (М720-1і).

2. Встановлено, що при суспензійній розливці марганцевих сплавів, зокрема феромарганцю марки ФМн75 та силікомарганцю марки МнС17, допустима маса некондекційної дрібниці, що досаджується, визначалася величиною перегріву металу та при максимальному фактичному перегріві 100 °С складала в середньому 7 % від маси рідкого металу, що забезпечило помітне збільшення коефіцієнта міцності для обох сплавів і зменшення виходу фракції < 20 мм в середньому на 3% абс.

3. Дослідження технології утилізації некондиційної дрібниці марганцевих сплавів при суспензійній розливці показали, що повне засвоєння дрібниці фракції < 20 мм рідким металом забезпечується шляхом введення її в струмінь металу на жолобі розливної машини.

4. Приведено характеристику потенційно-небезпечних та шкідливих факторів лабораторії. З метою ефективного способом захисту людини від ураження електричним струмом при дотику до металевих поверхонь приведено розрахунок захисного заземлення контуру лабораторії.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Матвиенко В. А., Грабекли А. А., Грищенко С. Г. Пути использования марганецсодержащих отходов, образующихся при выплавке марганцевых ферросплавов. *Бюллетень научно-технической информации черной металлургии*. 1984. Вып. 9. С. 3–12.
2. Эйдельман Л. П. Брикетирование мелких фракций марганцевых ферросплавов. *Бюллетень научно-технической информации черной металлургии*. 1980. № 21. С. 8–12.
3. Вейник А. И., Лазнев В. К., Рогачев И. П. Экспериментальное исследование теплопроводности сплавов на основе марганца. Физико-химические процессы в электротермии ферросплавов. М.: Наука, 1981. С. 71–73.
4. Ярошенко Ю. Г., Гордон Я. М., Ходоровская И. Ю. Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии черной металлургии; под ред. Ю.Г. Ярошенко. Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2012. 670 с.
5. Производство сортированного 45%-ного ферросилиция и использование некондиционной мелочи при суспензионной разливке на машинах / Д. А. Парфенов и др. *Сталь*. 1975. №3. С. 234.
6. Затуловский С. С. Суспензионная разливка. Киев: Наукова думка, 1981. 260 с.
7. Воскобойников В. Г., Кудрин В. А., Якушев А. М. Общая металлургия: учебн. для вузов. 4-е издание, перераб. и доп. Москва: Металлургия. 1985. 480 с.
8. Еднерал Ф. И. Электрометаллургия стали и ферросплавов. Москва: Металлургия. 1977. 488 с.
9. Севрюков Н. Н., Кузьмин Б. А., Челищев Е. В. Общая металлургия: учебн. для неметаллургич. спец. вузов. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Металлургиздат. 1962. 583 с.
10. Металлургия марганца Украины/ Б. Ф. Величко и др. Киев: Техника,

1996. 472 с.

11. Украинская ассоциация сталеплавателей. Информационный портал о чёрной и цветной металлургии. URL: <http://uas.su/articles/articles.php> (дата звернення 10.12.2019).

12. Рысс М. А. Производство ферросплавов. Москва: Металлургия. 1985. 244 с.

13. Щедровицкий Я. С. Высококремнистые ферросплавы. Свердловск: Отделение ГНТИ Лит. по черн. и цвет. мет. 1961. 256 с.

14. Гасик М. И., Емлин Б. И. Электрометаллургия ферросплавов: учебн. для вузов. Киев; Донецк: Вища школа, Головное изд-во. 1983. 376 с.

15. Лейкин М. Е., Сахарчук П. А. Электрометаллургия стали и ферросплавов. Москва: Металлургиздат. 1960. С. 501–520.

16. Гасик М. И. Электротермия марганца. Киев: Техника, 1979. 196 с.

17. ДСТУ 3548-97. Феросилікомарганець. Загальні технічні умови. Введений 01.07.1998 р. Чинний від 06.05.1997 р. № 245.

18. Гасик М.И. Теория и технология производства ферросплавов / М.И. Гасик, Н.П. Лякишев, Б.И. Емлин. - М. : Металлургия, 1988.- 784с.

19. Строганов А.И. Производство стали и ферросплавов / А.И. Строганов, М.А. Рысс. – М.: Металлургия, 1979. – 540 с.

20. Дуррер Р. Металлургия ферросплавов (пер. с нем) / Р. Дуррер, Г. Фолькерт. – М.: Металлургиздат, 1956.

21. Ивлиев А. Д., Зиновьев В. Е. Измерение температуропроводности и теплоемкости методом температурных волн с использованием излучение СКГ и следящего амплитудно-фазового приемника. *Теплофизика высоких температур*. 1980. № 3. Т. 18. С. 532.

22. Вейник А. И., Лазнев В. К., Рогачев И. П. Экспериментальное исследование теплопроводности сплавов на основе марганца. Физико-химические процессы в электротермии ферросплавов. Москва: Наука. 1981. С. 71–73.

23. Лукашенко Р. В., Воденнікова О. С., Воденнікова Л. В. Дослідження

технології утилізації неконденційної дрібниці при суспензійній розливці марганцевих сплавів. *Збірник наукових праць магістрантів факультету металургії*. Запоріжжя: П ЗНУ, 2019. Випуск 1 (15). С. 73–78.

24. Лукашенко Р. В., Воденнікова О. С., Воденнікова Л. В. Дослідження технології суспензійної розливки марганцевих сплавів. Матеріали ХХІV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів (Запоріжжя, 26–29 листопада 2019 р.). Том І. Металургія як основа сучасної промисловості. Запоріжжя: П ЗНУ. 2019. С. 36–37.

25. ГОСТ 21153.1-75. Породы горные. Метод определения коэффициента крепости по Протоdjяконову; ведён в действие постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 25.09.1975 г. N 2491. Москва: Издательство стандартов. 1982.

26. Далингер В.А., Толпелкина Н. В. Организация и содержание поисково-исследовательской деятельности. Омск: Изд-во ОмГПУ. 2004. 263 с.

27. Постанова Президії НАН України «Про затвердження Порядку формування тематики та контролю за виконанням наукових досліджень в Національній академії наук України» від 13.04.2011 р. Київ: Національна академія наук України. 2011. № 111.

28. СОУ НАН 73.1-001:2011. Організація і проведення науково-дослідних робіт/ Розробники: Ю. Поліщук, Л. Топалова. Київ: Національна академія наук України. 2011. 28с.

29. Студопедия. URL: <https://studopedia.org/6-84954.html> (дата звернення 10.12.2019).

30. ДСТУ 3582: 2013. Національний стандарт України. Інформація та документація. Бібліографічний опис скорочення слів і словосполучень українською мовою. Загальні вимоги та правила; прийнято чинності наказом Мінекономрозвитку України від 22.08.2013 р. №1010. Київ: Мінекономрозвитку України. 2014. 14 с.

31. ДСТУ 1.5:2015. Національна стандартизація. Правила розроблення,

викладання та оформлення національних нормативних документів; прийнято наказом ДП «УкрНДНЦ» від 29.08.2016 р. №254 та надало чинності від 01.02.2017. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2016. 60 с.

32. ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. Бібліографічний запис, бібліографічний опис. Загальні вимоги та правиласкладання: Методичні рекомендації з впровадження / Укладачі О. К. Галевич, І. М. Штогрин. Львів. 2008. 20 с.

33. ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення; прийнято наказом ДП «УкрНДНЦ» від 22.06.2015 р. №61 та надало чинності від 01.07.2017 р. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2016. 25 с.

34. Гринчуцький В. І., Карапетян Е. Т., Погріщук Б. В. Економіка підприємства: навч. посібн. Київ: Центр учбової літератури. 2010. 304 с.

35. Иващенко О. В. Конспект лекцій по дисципліне «Економіка підприємства (промисленности)» для студентів заочної форми обучения спеціальностей 090218 и 090402. Запорозьке: Издательство ЗГИА. 2001. 68 с.

36. Яркіна Н. М. Економіка підприємства: навч. посібн. Вид. 2-ге перероб. і доп. Київ: Видавництво Ліра-К. 2017. 600 с.

37. Небава М. І., Адлер О. О., Лесько О. Й. Економіка та організація виробничої діяльності підприємства. Ч.1. Економіка підприємства: навч. посібн. Вінниця: ВНТУ. 2011. 117 с.

38. Калініченко О. В., Плотнік О. Д. Економіка підприємства. Практикум: навч. посібн. Київ: Кондор. 2012. 600 с.

39. Служба охорони праці. URL: <https://www.sop.com.ua> (дата звернення 10.12.2019).

40. Ефанов П. Д., Берг А. И. Охрана труда и техника безопасности в сталеплавильном производстве. Москва: Металлургия. 1987. 230 с.

41. Бринза В. Н., Зиньковский М. М. Охрана труда в черной металлургии. Москва: Металлургия. 1982. 335 с.

42. Долин П. А. Основы техники безопасности в электроустановках: учебн. пособ. для вузов. Москва: Энергоатомиздат. 1984. 448 с.

43. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ-2017); затверджено та

надано чинності Наказ Міненерговугілля України від 21.07.2017р. №476. Київ: Міненерговугілля України. 2017. 760 с.

44. ДБН В.1.1.7-2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги; затверджено та наказом Мінрегіоном України від 31.10.2016 р №237 та введений в дію з 01.06.2017 р. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. 2017. 35 с.