

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
 ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ**

Металургія
 (повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проект)

дружній (Молодший)
 (рівень вищої освіти)

на тему «Дослідження термобих ефектів матеріалів в лазерній
 селі виробу метал»

Виконав: студент II курсу, групи 8.136Р.47003
 спеціальності 136 Металургія
 (код і назва спеціальності)

спеціалізації _____
 (код і назва спеціалізації)

освітньої програми Металургія та машинобудування
 (назва освітньої програми)

Григорій Сергійович
 (ініціали та прізвище)

Керівник доцент, к.т.н., р.о.ч., Москаленко І.В.
 (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент доцент, к.т.н., р.о.ч., Волосин Р.М.
 (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
 2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут _____
Кафедра металургії
Рівень вищої освіти організації металургії
Спеціальність 136 металургії
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма металургія горючих металів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____
« 1 » Вересня 20 20 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Григорій Михайлович Векієв
(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи (проекту) Дослідження теплових ефектів
створення в подвійній обробці сталі
- керівник роботи Мосійко Ю. В., в. пер. н. р. р. ч.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
- затвержені наказом ЗНУ від « 1 » 10 20 20 року № 1586-с
- Строк подання студентом роботи 01.11.2020 р.
- Вихідні дані до роботи Дослідження впливу теплових
ефектів в подвійній обробці сталі
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат. Вплив і мінералогічний стан з
дослідженням газів з Оксидом вуглецю ч Оксидом
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Мосейко Ю. В.	16.09.20 - 15.09.20	
2	Мосейко Ю. В.	29.09.20 - 19.10.20	
3	Мосейко Ю. В.	15.10.20 - 10.11.20	

7 Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вступ. Реферат	05.09.20 - 15.09.20	
2.	Літературний огляд	16.09.20 - 25.09.20	
3.	Експериментальна робота	24.09.20 - 18.10.20	
4.	Охоронка реферату	15.10.20 - 30.10.20	
5.	Графічна робота	01.12.20 - 10.12.20	

Студент (підпис) Чушкіна М. С. (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту) (підпис) Мосейко Ю. В. (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер (підпис) Волар Р. М. (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Чуніхін М.Є. Дослідження теплових ефектів матеріалів в позапічній обробці сталі.

Кваліфікаційна робота здобувача ступеня вищої освіти «магістр» зі спеціальності 136 «Металургія» за освітньо-професійною програмою «Металургія чорних металів», науковий керівник доц., к.т.н. О. В. Харченко. Інженерний навчально-науковий інститут Запорізького національного університету, кафедра Металургії, 2020.

Виконано дослідження дослідження теплових ефектів феросплавів при розкисленні та легуванні сталі з використанням ентальпійної теплової моделі, що є невід'ємною частиною термодинамічної моделі системи «метал-шлак-газ». Для вирішення даної задачі використовували метод хімічних потенціалів Гіббса, який дозволяє описувати хімічні процеси у будь-яких системах без попереднього їх представлення у вигляді стехіометричних реакцій і дає можливість найпростіше пояснити суть будь-якого завдання в термінах безпосередньо вимірюваних величин, таких як температура, тиск, хімічний склад, об'єм, маса та ін., тобто величин, якими технолог керується у своїй роботі.

Ключові слова: ГІББС, ЕНТАЛЬПІЙНА МОДЕЛЬ, РОЗКИСЛЕННЯ, ЛЕГУВАННЯ, МЕТАЛ, ШЛАК, ГАЗ, СТЕХІОМЕТРИЧНА РЕАКЦІЯ, ТИСК, ТЕМПЕРАТУРА, МАСА.

ABSTRACT

CHUNIKHIN M. E. Investigation of thermal effects of materials in out-of-furnace steel processing.

Qualification work for the degree of higher education "Master" in the specialty 136 "Metallurgy" in the educational and professional program "Metallurgy of ferrous

metals", scientific adviser A.V. Kharchenko. Engineering Educational and Scientific Institute of Zaporizhia National University, Department of Metallurgy, 2020.

A study of the thermal effects of ferroalloys in the deoxidation and alloying of steel using the enthalpy thermal model, which is an integral part of the thermodynamic model of the system "metal-slag-gas". To solve this problem we used the method of chemical potentials of Gibbs, which allows us to describe chemical processes in any system without their prior presentation in the form of stoichiometric reactions and makes it possible to explain the essence of any problem in terms of directly measurable quantities such as temperature, pressure, chemical composition, volume, mass, etc., ie the quantities by which the technologist is guided in his work.

Key words: GIBBS, ENTALPINE MODEL, OXIDATION, ALLOYING, METAL, SLAG, GAS, STOICHIOMETRIC REACTION, PRESSURE, TEMPERATURE, MASS.

АННОТАЦИЯ

Чунихин М.Е. Исследование тепловых эффектов материалов в внепечной обработке стали.

Квалификационная работа получателя степени высшего образования «магистр» по специальности 136 «Металлургия» по образовательно-профессиональной программе «Металлургия черных металлов», научный руководитель доц., к.т.н. А. В. Харченко. Инженерный учебно-научный институт Запорожского национального университета, кафедра Metallургии, 2020.

Выполнены исследования исследования тепловых эффектов ферросплавов при раскислении и легировании стали с использованием энтальпийного тепловой модели, является неотъемлемой частью термодинамической модели системы «металл-шлак-газ». Для решения данной задачи использовали метод химических

потенциалов Гиббса, который позволяет описывать химические процессы в любых системах без предварительного их представления в виде стехиометрических реакций и дает возможность проще объяснить суть любой задачи в терминах непосредственно измеряемых величин, таких как температура, давление, химический состав, объем, масса и др., то есть величин, которыми технолог руководствуется в своей работе.

Ключевые слова: ГИББС, ЭНТАЛЬПИЙНАЯ МОДЕЛЬ, РАСКИСЛЕНИЕ, ЛЕГИРОВАНИЯ, МЕТАЛЛ, ШЛАК, ГАЗ, СТЕХИОМЕТРИЧЕСКАЯ РЕАКЦИЯ, ДАВЛЕНИЕ, ТЕМПЕРАТУРА, МАССА.

ВСТУП

Наявність автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУТП), стає нормою в сучасному сталеплавильному виробництві. У той же час, коло завдань, що вирішуються цими системами, часто обмежений автоматизацією елементарних технологічних операцій, інформаційним супроводом процесів і статистичною обробкою даних. Побудова ефективних систем управління без вирішення цих завдань, звичайно, неможливо, але можливості сучасної науки, апаратних і програмних засобів набагато ширше

Потреби сучасного виробництва і можливості металургійної науки ставлять завдання оперативного моделювання процесів виплавки та обробки сталі і сталеплавильного виробництва в цілому системами управління.

Одним із актуальних завдань в сталеварінні - прогнозування хімічного складу і температури металу. Саме адекватний прогноз дозволяє ефективно вирішувати завдання безпосереднього управління, а також все коло супутніх завдань, призначених для підвищення ефективності роботи металургійного агрегату, цеху і підприємства в цілому.

Вивчення на ЕОМ складних фізико-хімічних моделей багатокomпонентних систем становить найбільший інтерес у наукових та практичних додатках хімічної термодинаміки як нове, перспективний засіб досліджень. Тільки через відсутність програмних комплексів універсального призначення витрачаються величезні кошти на проведення дорогих експериментальних та дослідно-технологічних робіт, які зараз можуть бути успішно, набагато швидше, і з мінімальними витратами виконані фізико-хімічними моделюванням на комп'ютерах. Машинні експерименти, що проводяться з метою відшукування оптимальних параметрів, дозволяють різко скоротити число натурних експериментів, а також скласти обґрунтований план проведення досвідчених плавок в промисловому агрегаті або на лабораторній установці. Машинні експерименти в поєднанні з натурними особливо ефективні при введенні будь-яких змін в технологію плавки, а також при створенні

абсолютно нових процесів і агрегатів. Але було б методологічною помилкою обмежувати значення фізико-хімічного моделювання тільки можливістю заміни безпосереднього експерименту експериментом на ЕОМ. Існує безліч завдань, єдино прийнятним і доступним способом постановки та вирішення яких є фізико-хімічне моделювання на ЕОМ

Будь-яке управління пов'язане з необхідністю передбачення, передбачення результатів тих чи інших можливих впливів на технологічний процес. У разі таких складних технологій, який є металургійна плавка, завдання передбачення є вузловою, зосереджує в собі найбільш важливі проблеми, лімітуючі розвиток таких систем управління

РОЗДІЛ 1

ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1.Метод Гіббса

Метод Гіббса дозволяє описувати хімічні процеси в будь-яких системах без попереднього їх представлення у вигляді стехіометричних реакцій. Більш того, феноменологічна (класична, формальна, макроскопічна) термодинаміка Гіббса дає саме ту мову, за допомогою якого можна найбільш просто пояснити сутність будь-якої задачі виключно в термінах безпосередньо вимірюваних величин, таких як температура, тиск, хімічний склад, об'єм, маса та ін., тобто величин, якими керується технолог в своїй роботі. За своєю математичною структурою термодинаміка Гіббса - це класична механіка (статика суцільних середовищ) з тією різницею, що механіка вивчає системи, здатні обмінюватися тільки роботою і речовиною, а термодинамічні системи обмінюються ще й теплом. Для цього в вихідні рівняння механіки Гіббс вводить додаткову змінну, що характеризує здатність системи віддавати або поглинати тепло - ентропію. Таким чином, термодинаміка набуває зовсім строгої математичної структури механіки. Термодинаміку Гіббса можна розглядати як узагальнення механіки на реальні системи, рух яких завжди супроводжується тепловими явищами [4].

При цьому виявляється, що багато емпіричних законів і правил хімії (зокрема закон діючих мас) закономірно впливають з первинних постулатів термодинаміки у вигляді різних приватних випадків, але вже у формі строгих математичних залежностей. Стає очевидною некоректність широко поширеної думки про те, що класична термодинаміка описує лише рівноваги, а розрахунок швидкостей і інших характеристик процесів потребує особливої системи уявлень і понять.

Механіка виходить з положення, що стан (повна сукупність властивостей) системи взаємопов'язаних тіл при відсутності зовнішніх полів повністю визначено в будь-який момент її руху (існування), якщо відомий вид зв'язку між тілами, що утворюють систему, і задані значення двох параметрів, що характеризують загальну кількість речовини системи та її здатність обмінюватися роботою - в простому випадку маса (m) и об'єм (V) — в один із моментів.

Математично цей постулат виражається рівнянням

$$f(V, m) = 0 \quad (1.1)$$

При переході до більш загального випадку термодинамічних систем вводиться ентропія (S), як певний параметр, що характеризує здатність системи віддавати чи отримувати тепло

$$f(S, V, m) = 0 \quad (1.2)$$

Цей вислів лежить в основі технічної термодинаміки, що має справу з речовиною постійного складу. Термодинаміка Гіббса стає хімічною в результаті заміни загальної маси (m) до масами k компонентів, що утворюють систему

$$f(S, V, m_1, m_2, \dots, m_k) = 0 \quad (1.3)$$

Ентропія, обсяг і маса, що входять в ці вирази, представляють мінімально необхідний набір первинних понять, не інтерпретуються на рівні феноменологічної (макроскопічної) теорії. Всі інші властивості, що розглядаються в термодинаміці, є їх похідними (як у звичайному, так і математичному сенсі цього слова), утворюючи специфічну мову термодинаміки з його жорсткою логічною структурою.

Так, внутрішня енергія системи (як і будь-яке інше її властивість) є деякою функцією цих змінних

$$U = U(S, V, m_1, \dots, m_k). \quad (1.4)$$

Диференціал внутрішньої енергії як функції декількох змінних має вигляд

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial S} \right)_{V, m_i} dS + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_{S, m_i} dV + \sum_{i=1}^k \left(\frac{\partial U}{\partial m_i} \right)_{S, V, m_{j \neq i}} dm_i. \quad (1.5)$$

Похідні цього виразу можуть розглядатися як визначення температури, тиску і хімічних потенціалів компонентів

$$\left(\frac{\partial U}{\partial S} \right)_{V, m_i} = T, \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_{S, m_i} = -p, \left(\frac{\partial U}{\partial m_i} \right)_{S, V, m_{j \neq i}} = \mu_i. \quad (1.6)$$

Таким же чином визначається теплоємність $c_p = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V$, модуль пружності

$$K_T = -V \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T \text{ та інші параметри, які складають мову термодинаміки.} \quad 3$$

урахуванням позначень (1.6) вираз (1.5) приймає вигляд

$$dU = TdS - PdV + \sum_{i=1}^k \mu_i dm_i. \quad (1.7)$$

Цей вираз являє одну із загальних форм фундаментального рівняння, яке при певному вигляді функції (1.4) дозволяє виконувати практичні розрахунки. Перетворенням рівняння (1.7) можна отримати іншу його форму

$$SdT - VdP + \sum_{i=1}^k m_i d\mu_i = 0 \quad (1.8)$$

Вирази (1.7) і (1.8) можна представити у вигляді

$$\frac{dU}{d\tau} = T \frac{dS}{d\tau} - P \frac{dV}{d\tau} + \sum_{i=1}^k \mu_i \frac{dm_i}{d\tau}, \quad (1.9)$$

$$S \frac{dT}{dx} - V \frac{dP}{dx} + \sum_{i=1}^k m_i \frac{d\mu_i}{dx} = 0 \quad (1.10)$$

де τ – час;

x — просторова координата.

Ці вирази пов'язують узагальнені потоки і сили, що дозволяє систематизувати завдання кінетики та термодинаміки необоротних процесів в термінах єдиної макроскопічної мови.

Щоб перейти до вирішення практичних завдань, потрібно визначити конкретний вид функцій (1.4) для фаз, що беруть участь в процесі. Для цього необхідно використовувати знання про властивості частинок, що утворюють речовину, хімічного зв'язку, про форми існування компонентів у металі і шлаку, дифузійної рухливості частинок і т.д. і т.ін., що призводить до практично необмеженого обсягу інформації, який представляє погано організоване безліч фактів, їх тлумачень, гіпотез, специфічних понять і ін. Знову виникає проблема систематизує мови, оскільки поняття класичної термодинаміки (температура, тиск, ентропія та ін) У застосуванні до явищ мікросвіту позбавлені сенсу, а також проблема інтерпретації результатів мікроскопічного розгляду властивостей речовини на мові феноменологічної термодинаміки. Цю функцію виконує спеціально створений розділ механіки, названий статистичної механікою.

В роботі[12] описані особливості цього методу, враховані при отриманні конкретного виду функції (1.4) для металургійних розплавів. Істотні відмінності від відомих залежностей при цьому отримані для шлакової фази. Особливості цих функцій зводяться до наступного:

1) компонентами всіх конденсованих фаз вважаються елементи періодичної системи;

2) при підрахунку статистичної суми одиницями теплового руху вважаються атоми (кістяки) хімічних елементів, що утворюють фазу, і електрони;

3) число компонентів дорівнює кількості елементів, що утворюють фазу, - електрони не є незалежними компонентами, фаза в цілому залишається електронейтральною.

Введення електронів в якості самостійної одиниці теплового руху дозволило виключити необхідність написання рівнянь реакцій в конденсованих фазах і одноманітно описати електрохімічні, поверхневі явища, а також явища, що вивчаються в теорії напівпровідників. При цьому вираз для хімічного потенціалу компонента конденсованої фази має наступний вигляд

$$\mu_i = \mu_i^0 + RT \ln x_i + RT \ln \psi_i + v_i \mu \quad (1.11)$$

де x_i — атомная доля елемента i ;

ψ_i — коефіцієнт активності елемента i без урахування електронного вкладу;

v_i — валентність елемента i ;

μ — хімічний потенціал електронів в шлаку (рівень Ферми), який зручно виразити, наприклад, через активність (парціальний тиск) будь-якого елемента системи, зокрема кисню

$$\mu = \mu^0 - \frac{1}{4} RT \ln P_{O_2} \quad (1.12)$$

У випадку металів член $v_i\mu$ у виразі (1.11) - електронний вклад - мало змінюється зі складом, тому при розрахунках рівноваги з цілком достатньою точністю можна використовувати звичайне вираження

$$\mu_{[i]} = \mu_{[i]}^0 + RT \ln x_{[i]} \gamma_{[i]}, \text{ при цьому } \gamma_{[i]} = \psi_{[i]} \quad (1.13)$$

Тепер рівноважний коефіцієнт розподілу домішкового елемента i між металом і шлаком може бути отриманий з простої рівності хімічних потенціалів цього елемента в обох фазах:

$$\mu_{(i)} = \mu_{[i]} \quad (1.14)$$

Підставивши значення для хімічних потенціалів з (1.11) - (1.13) у вираз (1.14), отримуємо для коефіцієнта розподілу елемента i між металом і шлаком

$$l_i = \frac{x_{(i)}}{x_{[i]}} = K_i P_{O_2}^{v_i/4} = K_i' [O]^{v_i/2} \quad (1.15)$$

Аналогічно розглянувши розподіл сірки між шлаком і газовою фазою, приходимо до широко відомому рівнянню сорбційної здатності шлаку по відношенню до сіри

$$C_s = (\%S) P_{S_2}^{-1/2} P_{O_2}^{-1/2} \quad (1.16)$$

Різко спрощується опис рівноваг в разі фаз складного складу, включаючи і виробничі розплави. Так, для розрахунку кількості і складу продуктів, які утворюються при проплавленні завалки відомого складу, записуються рівняння матеріальних балансів розподілу елементів по фазам, які утворюються (для простоти припустимо, що утворюються тільки дві фази - метал і шлак):

$$m_i = m_{[i]} + m_{(i)}, \quad (1.17)$$

де m_i — маса елемента i , яка поступила з шихтою (задана);

$m_{[i]}$, $m_{(i)}$ — маси елемента i (требується определити).

Всього є k (число компонентів) таких рівнянь, в яких міститься $2k$ невідомих. Записуємо далі до умов рівноваги (1.14). Таким чином, отримуємо $2k$ рівнянь і $2k$ невідомих, крім того, необхідно задати температуру і тиск системи, оскільки вони входять у вирази для хімічних потенціалів. Отримані маси компонентів металу і шлаку дають повну інформацію про склад і кількість цих фаз. Розбивши плавку на періоди між добавками і повторюючи розрахунок, можна простежити за змінами складу металу і шлаку протягом усієї плавки в рівноважному наближенні. Облік кінетичних зрушень реального процесу входить у функції системи адаптації до конкретних умов та враховує ту обставину, що відхилення від рівноваги носять систематичний характер (зміщення в бік вихідного стану). На цій основі було створено пакет прикладних програм «Excalibur», що дозволяє імітувати плавку в наукових і навчальних цілях [6].

1.2 Використання ентальпійної теплової моделі

Рівняння теплового балансу засновано на I і II засадах термодинаміки, згідно з якими, зокрема, при ізобаричному процесі зміна ентальпії системи дорівнює поглиненій кількості теплоти Q :

$$\Delta H_p = H(T) - H_0 = Q_E - Q_L, \quad (1.18)$$

де $H(T)$ – ентальпія системи в кінцевому стані;

H_0 – ентальпія системи в початковому стані;

Q_E – прихід тепла от енергоносіїв;

Q_L – тепловитрати;

У всіх розрахунках ентальпія обчислюється одним з наступних еквівалентних способів:

1) По рівнянню Гіббса-Гельмгольца: $H = G - T(\partial G / \partial T)_p$;

2) По рівнянню Вант-Гоффа: $H = (\partial(G/T) / \partial(1/T))_p$.

Крім того, парціальну мольну ентальпію змішування можна обчислити ще двома відомими способами [4]:

3) По відомій активності: $h_i^M = -RT^2(\partial \ln a_i / \partial T^2)_p$;

4) По відомому коефіцієнту активності: $h_i^M = R(\partial \ln \gamma_i / \partial(1/T))_p$.

Теплоємності (у тому числі стандартна і змішання) обчислюються за рівнянню:

$$C_p(T) = -T \frac{\partial^2 G(T)}{\partial T^2} = \frac{\partial H(T)}{\partial T} \quad (1.19)$$

Таким чином, ентальпійна теплова модель є невід'ємною і узгодженою частиною будь якої термодинамічної моделі, що лежить в основі рівноважних розрахунків і заснованої на методі хімічних потенціалів Гіббса.

У початковому стані система може складатися з розплавленої системи «метал-шлак» і будь-яких завантажуваних шихтових і легуючих матеріалів (брухту, чавуну, вапна, феросплавів і т. д.). У процесі плавки або на випуску з печі, або тільки з завантажуваних шихтових матеріалів - на початку плавки. Крім того, в систему потрапляє матеріал футеровки печі або ковша, кількість якого визначається статистично. В кінцевому стані система має температуру T і в загальному випадку складається з розплавлених металу, шлаку і газової фази.

Електроенергія, яка вноситься зручно вважати матеріалом з нульовою масою, але зі стандартною ентальпією, рівної кількості внесених в систему джоулів тепла на 1 кВт * год. Для більш точних розрахунків можна також врахувати, що, якщо електроенергія надходить через графітові електроди, то в систему вноситься деяка кількість вуглецю, тобто матеріал «електроенергія» містить вуглець і власне енергію. Аналогічно можна поступити і з іншими енергоносіями.

У кожен момент часу, або по завершенню якої-небудь операції введення матеріалів та енергії, система вважається закритою з матеріального балансу, але відкритою для енергії, яка надходить та теплових втрат. При безперервному введенні матеріалів та енергії загальний час розбивається на короткі періоди, протягом яких відбувається проплавлення матеріалів, які надійшли. При цьому розглядається послідовність початкових і кінцевих станів системи.

З урахуванням визначення енергоносіїв як специфічних матеріалів, рівняння теплового балансу запишеться наступним чином:

$$F(T)=H(T)-H_0+Q_L=0 \quad (1.20)$$

З огляду на те, що розглянута система «метал-шлак-газ» є гетерогенною, існує проблема вибору єдиного стандарту для вираження термодинамічних функцій в різних фазах. Енергія Гіббса системи в стандартному стані «рідкий метал» має вигляд [6]:

$$G = \sum_{i=1}^k n_i \mu_{[i]}^{\circ} + RT \sum_{i=1}^k [n_{[i]} \ln x_{[i]} \gamma_{[i]} + n_{(i)} (\ln x_{(i)} \gamma_{(i)} - \ln K_{[i]}) + n_{\{i\}} (\ln x_{\{i\}} \gamma_{\{i\}} - \ln K_{\{i\}})] \quad (1.21)$$

де n_i , $n_{[i]}$, $n_{(i)}$, $n_{\{i\}}$ – числа молей i -го елемента в системі, в металі, шлаку і газі;

$x_{[i]}$, $x_{(i)}$, $x_{\{i\}}$ – мольні долі i -го елемента в металі, шлаку і газі;

$g_{[i]}$, $g_{(i)}$, $g_{\{i\}}$ – коефіцієнти активності i -го елемента в металі, шлаку і газі, які розраховуються у відповідних термодинамічних моделях фаз.

Величини $\ln K_{[i]}$, $\ln K_{\{i\}}$ визначені наступним чином:

$$\begin{aligned} \ln K_{[i]} &= (\mu_{[i]}^{\circ} - \mu_{(i)}^{\circ}) / RT \\ \ln K_{\{i\}} &= (\mu_{\{i\}}^{\circ} - \mu_{(i)}^{\circ}) / RT \end{aligned} \quad (1.22)$$

де $\mu_{[i]}^{\circ}, \mu_{(i)}^{\circ}, \mu_{\{i\}}^{\circ}$ - стандартні мольні енергії Гіббса i -го елемента в металі, шлаку і газі.

При використанні єдиного стандарту енергії Гіббса переходу атомів з інших фаз в фазу, прийняту за стандарт, необхідним чином стають частиною функцій змішання. При цьому повні (абсолютні) активності елементів в стандартному стані «рідкий метал» виражаються наступним чином:

$$\ln a_{[i]} = \ln x_{[i]} \gamma_{[i]}; \quad (1.23)$$

$$\ln a_{(i)} = \ln x_{(i)} \gamma_{(i)} - \ln K_{[i]}; \quad (1.24)$$

$$\ln a_{\{i\}} = \ln x_{\{i\}} \gamma_{\{i\}} - \ln K_{[i]}. \quad (1.25)$$

Таким чином, при виборі будь-якого стандартного стану енергія Гіббса системи в термінах повних (абсолютних) активностей буде мати вигляд:

$$G = \sum_{i=1}^k n_i \mu_i^{\circ} + RT \sum_{i=1}^k (n_{[i]} \ln a_{[i]} + n_{(i)} \ln a_{(i)} + n_{\{i\}} \ln a_{\{i\}}), \quad (1.26)$$

де μ_i° - мольна енергія Гіббса i -го елемента у вибраному стандартному стані.

З моменту вибору єдиного стандартного стану будуть виконуватися наступні співвідношення, що спрощують термодинамічний формалізм:

$$\mu_{[i]}^{\circ} = \mu_{(i)}^{\circ} = \mu_{\{i\}}^{\circ} = \mu_i^{\circ} \quad (1.27)$$

$$h_{[i]}^{\circ} = h_{(i)}^{\circ} = h_{\{i\}}^{\circ} = h_i^{\circ} \quad (1.28)$$

З наведених рівнянь зрозуміло, що не існує принципової різниці у виборі єдиного стандарту, якщо розглядається тільки система «метал-шлак-газ» при високій температурі у вигляді розплаву металу, шлаку та газової фази.

Традиційно в якості єдиного стандарту вибирають рідкий метал, так як саме метал є переважаючим і кінцевим продуктом якого сталеплавильного процесу.

В кінцевому стані система «метал-шлак-газ» з температурою T має інтегральну ентальпію:

$$H(T) = H^\circ(T) + H^M(T) = H_m(T) + H_s(T) + H_g(T) \quad (1.29)$$

де $H^\circ(T)$ – стандартна інтегральна ентальпія системи;

$H^M(T)$ – інтегральна ентальпія змішення системи;

$H_m(T)$ – інтегральна ентальпія кінцевого метала;

$H_s(T)$ – інтегральна ентальпія кінцевого шлаку;

$H_g(T)$ – інтегральна ентальпія кінцевого газу.

Ентальпії металу, шлаку і газу складаються з ентальпій в стандартному стані і ентальпій змішування:

$$H_m(T) = H_m^\circ(T) + H_m^M(T); \quad (1.32)$$

$$H_s(T) = H_s^\circ(T) + H_s^M(T); \quad (1.33)$$

$$H_g(T) = H_g^\circ(T) + H_g^M(T); \quad (1.34)$$

де $H_m^\circ(T), H_s^\circ(T), H_g^\circ(T)$ - інтегральні ентальпії фаз у стандартному стані;

$H_m^M(T), H_s^M(T), H_g^M(T)$ - інтегральні ентальпії змішення фаз.

Інтегральні ентальпії, в свою чергу, обчислюються через парціальні величини. Відповідно з єдиним стандартом

$$h_{[i]}^\circ = h_{(i)}^\circ = h_{\{i\}}^\circ = h_i^\circ, \text{ тому}$$

$$H^\circ(T) = H_m^\circ(T) + H_s^\circ(T) + H_g^\circ(T) = \sum_{i=1}^k [n_{[i]} h_{[i]}^\circ(T) + n_{(i)} h_{(i)}^\circ(T) + n_{\{i\}} h_{\{i\}}^\circ(T)] = \sum_{i=1}^k n_i h_i^\circ(T), \quad (1.35)$$

де $h_{[i]}^{\circ}(T), h_{(i)}^{\circ}(T), h_{\{i\}}^{\circ}(T)$ - парціальні стандартні ентальпії в металі, шлаку і газу при температурі T ;

$h_i^{\circ}(T)$ - парціальні стандартні ентальпії i -го елемента в будь-якій фазі, яка прийнята за стандарт.

Аналогічно, інтегральна ентальпія змішування системи дорівнює сумі ентальпій змішування фаз і виражається через відповідні парціальні величини:

$$H^M(T) = H_m^M(T) + H_s^M(T) + H_g^M(T) = \sum_{i=1}^k [n_{[i]} h_{[i]}^M(T) + n_{(i)} h_{(i)}^M(T) + n_{\{i\}} h_{\{i\}}^M(T)]. \quad (1.36)$$

У початковому стані система «метал-шлак-матеріали» має інтегральну ентальпію:

$$H_0 = H_0^{\circ} + H_0^M = H_{ms0}(T_0) + \sum_{j=1}^M H_j(T_j). \quad (1.37)$$

де H_0° - інтегральна стандартна ентальпія системи в початковому стані;

H_0^M - інтегральна ентальпія змішування системи в початковому стані;

$H_{ms0}(T_0)$ - інтегральна ентальпія підсистеми вихідних металу і шлаку, які мають температуру T_0 ;

$H_j(T_j)$ - інтегральна ентальпія j -го матеріалу, що має температуру T_j .

При обчисленні термодинамічних функцій початкового стану підсистема «метал-шлак» і кожен матеріал розглядаються в загальному випадку як незалежні термодинамічні системи «метал-шлак-газ», які не обов'язково знаходяться в рівновазі. Іноді буває зручно вихідні метал і шлак представити в якості особливого матеріалу з фіксованою масою.

Термодинамічні функції вихідних металу і шлаку обчислюються так само, як і для кінцевого стану, але при відомій температурі T_0 . Для інтегральної стандартної ентальпії підсистеми «метал-шлак» маємо:

$$H_{ms0}^{\circ}(T_0) = H_{m0}^{\circ}(T_0) + H_{s0}^{\circ}(T_0) = \sum_{i=1}^k [n_{[i]0} h_{[i]}^{\circ}(T_0) + n_{(i)0} h_{(i)}^{\circ}(T_0)] = \sum_{i=1}^k n_{i0} h_i^{\circ}(T_0). \quad (1.38)$$

Інтегральна ентальпія змішування підсистеми «метал-шлак» дорівнює:

$$H_{ms0}^M(T_0) = H_{m0}^M(T_0) + H_{s0}^M(T_0) = \sum_{i=1}^k [n_{[i]0} h_{[i]}^M(T_0) + n_{(i)0} h_{(i)}^M(T_0)]. \quad (1.39)$$

Якщо довольний матеріал знаходиться в рідкому, газоподібному або змішаному стані, його стандартна ентальпія дорівнює:

$$H_j^{\circ} = \sum_{i=1}^k [n_{[ij]} h_{[i]}^{\circ}(T_j) + n_{(ij)} h_{(i)}^{\circ}(T_j) + n_{\{ij\}} h_{\{i\}}^{\circ}(T_j)] = \sum_{i=1}^k n_{ij} h_i^{\circ}(T_j). \quad (1.40)$$

де $n_{[ij]}$, $n_{(ij)}$, $n_{\{ij\}}$, n_{ij} - число молей i -го елемента в j -ом матеріалі, відповідно в металевій частині, неметалевій частині, в газовій фазі і в цілому.

Тут парціальні стандартні ентальпії мають таке ж значення, що і для підсистеми «метал-шлак».

Інтегральна ентальпія змішування довольного j -го матеріалу у твердому, рідкому, газоподібному або гетерогенному стані дорівнює:

$$H_j^M = \sum_{i=1}^k [n_{[ij]} h_{[i]}^M(T_j) + n_{(ij)} h_{(i)}^M(T_j) + n_{\{ij\}} h_{\{i\}}^M(T_j)]. \quad (1.41)$$

Для j -го матеріалу в твердому стані стандартна ентальпія обчислюється таким чином:

$$H_j^{\circ} = \sum_{i=1}^k [n_{[ij]} h_{[i]}^{\infty}(T_j) + n_{(ij)} h_{(i)}^{\infty}(T_j)] = \sum_{i=1}^k n_{ij} h_i^{\infty}(T_j), \quad (1.42)$$

де $h_{[i]}^{\infty}(T_j), h_{(i)}^{\infty}(T_j)$ - парціальні стандартні ентальпії i -го елемента в металевій та неметалевій частинах.

Термодинамічні функції елементів в стандартному стані обчислюються відповідно до базами даних Астра [8].

Термодинамічні функції змішування багатокомпонентної конденсованої фази обчислюються відповідно до модифікованої МКЕ [9].

Стосовно до шлакової фази використовується параметризація у вигляді [6]:

$$\varepsilon_{(ij)} = (\sqrt{k_i} - \sqrt{k_j})^2, \quad (1.43)$$

де k_i - атомні енергетичні параметри, що мають розмірність кДж/моль.

В принципі можна використовувати будь-яку іншу термодинамічну модель фази, що забезпечує виконання граничного закону Рауля, рівнянь Гіббса-Дюгема і Гіббса-Гельмгольца.

Тепловий ефект хімічних реакцій, узгоджений з термодинамічною моделлю. Цей ефект дорівнює зміни ентальпії змішування системи із зворотним знаком:

$$Q_r = -\Delta H^M = H_0^M - H^M(T). \quad (1.44)$$

Скориставшись формулами (1.36), (1.39) і (1.41), можна отримати тепловий ефект хімічних реакцій в явному вигляді. Проте слід мати на увазі, що отриманий вираз можна обчислити тільки при відомому кінцевому складі і температурі системи T , тобто не до, а після рішення прямої рівноважної задачі [5].

У багатьох теплових моделях тепловий ефект хімічних реакцій обчислювався за сумою реакцій окиснення як окрема стаття теплового балансу. В рамках даного підходу відсутня необхідність не тільки записувати окремі хімічні реакції, але й особливо виділяти величину Q_r , неявно входить в рівняння теплового балансу (1.20).

1.3. Пряма задача термодинамічної аналізу з використанням теплової моделі

1.3.1. Постановка задачі

В загальному вигляді пряме завдання формулюється у вигляді системи рівнянь щодо рівноважних мас елементів в металі, шлаку і газ:

$$F(m, \bar{m}_{\{l\}}, \bar{m}_{\{o\}}, \bar{m}_{\{g\}}, p, T) = 0 \quad (1.45)$$

де m – вектор мас елементів в системі;

$\bar{m}_{\{l\}}, \bar{m}_{\{o\}}, \bar{m}_{\{g\}}$ – шукані вектори рівноважних мас елементів в металі, шлаку і газ;

p, T – тиск і температура в системі.

Постачальником мас елементів m в систему є рідкі метал і шлак, футеровка печі або ковша, а також різні матеріали, що завантажуються в піч або ківш, в тому числі лом, чавун, феросплави, лігатури, вапно, кокс, кисневе дуття і т.д. [10].

1.3.2. Вибір моделі систем и «метал-шлак-газ».

В якості термодинамічної моделі системи «метал-шлак-газ» (1.45) використовується детермінована фізико-хімічна модель колективізованих електронів МКЕ [11], яка найбільш точно описує процеси, що відбуваються в сталеплавильному агрегаті. Суттєвою характерною особливістю даної моделі є врахування електронного вкладу в хімічний потенціал елементів в шлаку.

Згідно МСЕ, рівновага в термодинамічній системі забезпечується рівністю хімічних потенціалів компонентів у всіх фазах. У системі «металл-шлак-газ» рівновага може бути описано системою рівнянь $2k + 1$ (k - число елементів):

$$\begin{cases} \frac{x_{(i)}}{x_{[i]}} = \frac{K_{[i]}\gamma_i}{\psi_i} \exp(-\mu_e \nu_i), i = 1..k \\ \frac{x_{\{i\}}}{x_{[i]}} = \frac{K_{\{i\}}\gamma_i}{\lambda_i}, i = 1..k \\ \sum_{i=1}^k x_{(i)}\nu_i = 0 \end{cases} \quad (1.46)$$

де $x_{(i)}$ – мольні доліелементів в шлаку;

$x_{[i]}$ – мольні доліелементів в металі;

$x_{\{i\}}$ – мольні доліелементів в газі;

$K_{[i]}$ – константирівноваги «метал-шлак»;

$K_{\{i\}}$ – константирівноваги «метал-газ»;

γ_i – коефіцієнти активності елементів в металі;

ψ_i – коефіцієнти активності елементів в шлаку;

λ_i – коефіцієнти активності елементів в газі;

ν_i – валентностіелементів в шлаку;

μ_e – рівень Ферми електронів в шлаку;

T – температура в системі;

R – універсальна газова постійна.

Дана система $2k+1$ нелінійних рівнянь допускає еквівалентне перетворення до системи трьох нелінійних рівнянь [12]:

$$\begin{cases} F_1 = \sum_{i=1}^k \frac{n_i v_i}{1 + \exp(-A_i + Y + \mu v_i)[1 + \exp(B_i - Z)]} = 0 \\ F_2 = \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{1 + \exp(-A_i + Y + \mu v_i)[1 + \exp(B_i - Z)]} - \frac{N}{1 + \exp(Y)[1 + \exp(-Z)]} = 0 \\ F_3 = \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{1 + [1 + \exp(A_i - Y - \mu v_i)] \exp(Z - B_i)} - \frac{N}{1 + \exp(Z)[1 + \exp(-Y)]} = 0 \end{cases} \quad (1.47)$$

де $A_i = \ln(K_{[i]} \gamma_i / \psi_i)$ – логарифм консолідированої константи рівноваги «метал-шлак»;

$B_i = \ln(K_{[i]} \gamma_i / \lambda_i)$ – логарифм консолідированої константи рівноваги «метал-газ»;

n_i – числа молей i -го елемента в системі;

$Y = \ln(N_m / N_s)$ – логарифм величини, зворотної мольної кратності шлаку;

$Z = \ln(N_m / N_g)$ – логарифм величини, зворотної мольної кратності газу;

Результатом рішення нелінійної системи (1.47) являється набір величин μ_e , Y , Z , по яким визначаються рівноважні змісту (числа молей) елементів в шлаку, газ і металі:

$$\begin{aligned} n_{(i)} &= \frac{n_i}{1 + \exp(-A_i + Y + \mu_e v_i)[1 + \exp(B_i - Z)]}; \\ n_{\{i\}} &= \frac{n_i}{1 + \exp(-A_i - Y - \mu_e v_i)[1 + \exp(Z - B_i)]}; \\ n_{[i]} &= n_i - n_{(i)} - n_{\{i\}} \end{aligned} \quad (1.48)$$

1.3.3. Коефіцієнти активностей металі

Коефіцієнти активності елементів в металі, що входять в рівняння(1.46-1.47), розраховуються відповідно до моделі розведеного розчину. Цього цілком достатньо для адекватного опису рівноважного стану системи.

1.3.4. Коефіцієнти активностей шлаку

Атомні коефіцієнти активності в шлаку, що входять в рівняння (1.46-1.47) розраховувати відповідно до моделі шлаку, прийнятої в МКЕ:

$$\frac{1}{\psi_i} = \sum_{j=1}^k x_{(j)} \exp\left(-\frac{(\sqrt{k_i} - \sqrt{k_j})^2}{RT}\right), \quad (1.49)$$

де k_i — атомний енергетичний параметр i -го елемента [13].

1.3.5. Коефіцієнти активностей газів.

Коефіцієнти активності елементів в газі розраховувати на підставі законів Дальтона і Сівертса по рівноваги в підсистемі «метал-газ». Підхід з використанням елементного складу газу $x_{\{i\}}$, відповідних констант рівноваги «метал-газ» $K_{[i]}$ і коефіцієнтів активності елементів в газі λ_i дозволяє уніфікувати подання хімічних потенціалів і активностей елементів в газі і дає можливість одночасно обчислювати парціальні тиску всіх молекулярних і атомарних складових газової фази [14].

1.4. Зворотна задача термодинамічного аналізу з використанням теплової моделі

1.4.1. Постановка задачі.

Існує нескінченно багато способів ведення плавки, позапічної обробки, легування і розкислення сталі. Кожен з них повинен забезпечувати заданий склад напівпродукту або готової сталі, температурний і шлаковий режим, газонасиченості металу, а також враховувати допустимі параметри металургійного агрегату, дозаторів, фурм і т.д. З усього різноманіття можливих способів досягнення поставленої мети, що відрізняються як кількісними, так і якісними характеристиками, бажано обрати єдиний спосіб, який був би найменш дорогим.

Якщо існує адекватна модель системи «метал-шлак-газ», то в принципі можливо, діючи за принципом «що, якщо?», шляхом перебору величезної кількості варіантів прийти до деякого рішення, яке б відповідало заданим технологічним обмеженням і було найдешевшим з числа розглянутих. На жаль, перебрати всі можливі варіанти немислимо через обмеженість обчислювальних ресурсів і часу.

Неповний же перебір не дає ніякої гарантії, що знайдене рішення оберненої задачі є оптимальним.

Револьюційний крок у вирішенні зворотних завдань був зроблений в 1939 році Л. В. Канторовичем [15], який запропонував симплекс-метод лінійного програмування для широкого класу задач, в яких вектор вихідних параметрів Y лінійно залежить від вектора незалежних змінних X :

$$Y = K + LX, \quad (1.50)$$

де K – вектор констант;

L – лінійний оператор.

За допомогою стандартного алгоритму симплекс-метода знаходиться оптимальний вектор X_3 з урахуванням всіляких обмежень, що накладаються на вектори X , Y_i будь-які лінійні комбінації їх компонентів. Критерієм оптимальності при цьому служить мінімум (максимум) лінійного функціоналу $C^T X$, який можна ототожнити з вартістю варіанту X , якщо C має сенс вектора цін.

У ряді робіт [16, 17, 18, 19] робилися спроби застосувати на практиці лінійне програмування для розв'язання задачі гарантованого забезпечення хімічного складу готової сталі при мінімальній вартості розкислювачів і легуючих матеріалів. Завдання зводилася до складання системи нерівностей щодо шуканого вектора мас шихтових матеріалів (ШМ) X :

$$F^H \leq P + (1/M_{жс}) U B X \leq F^B \quad (1.51)$$

де F^H , F^B – вектори заданого хімічного складу (верхня і нижня межі);

P – вектор вихідного складу напівпродукту;

$M_{жс}$ – маса рідкої сталі;

U – діагональна матриця коефіцієнтів засвоєння елементів в металі;

B – матриця елементного складу ШМ.

Далі ця система нерівностей вирішувалася симплекс-методом. При цьому коефіцієнти засвоєння (КЗ) елементів в металі задавалися, виходячи із середньостатистичних величин, характерних для даних умов плавки, вихідного і заданого хімічного складу сталі, температури і окислення металу, кількості і складу пічного (ковшевого) шлаку.

Проте в реальних системах «метал-шлак-газ» реалізуються хімічні взаємодії між елементами, в силу яких КЗ фактично не є постійними величинами, а істотно залежать від усіх перерахованих факторів. При цьому існують перехресні ефекти впливу добавок одних елементів на утримання інших. Будь-яка термодинамічна

модель системи «метал-шлак-газ», що враховує хімічні взаємодії елементів, в загальному випадку є нелінійною і тому непридатною для розв'язку зворотної задачі засобами лінійного програмування. Нелінійне програмування, яке могло б прийти «на виручку», поки ще швидше мистецтво, ніж чітко розроблена система алгоритмів. Як правило, ці алгоритми складаються для конкретних задач з використанням комбінацій методів можливих напрямів, штрафних функцій, множників Лагранжа з умовами Куна-Таккера. Всі вони працюють при не занадто великій розмірності вихідної задачі. Так зване «прокляття багатовимірності», описане Е. С. Вентцель в роботі [20], зводить нанівець зусилля розробника алгоритмів або нестійкістю роботи в багатовимірних (і найчастіше багатозв'язних) областях зміни параметрів, або непомірно великими обчислювальними витратами, несумісними із застосуванням даного алгоритму в реальних виробничих умовах. Але як раз адекватні моделі реальних систем «метал-шлак-газ» з хімічною взаємодією повинні мати розмірність не менше 10 за кількістю елементів. А кількість видів шихтових матеріалів може вимірюватися десятками і сотнями.

1.4.2. Невизначеність вихідних даних

У реальності всі вихідні величини мають похибку, яка є причиною розкиду вихідних параметрів, таких, як кінцевий хімічний склад і маса фаз. Крім того, існують величини, які безпосередньо або не вимірюються, або їх вимір пов'язано зі значними труднощами. Це - вихідні маси металу і шлаку в металургійному агрегаті; маса футеровки ковша, розмивається в ході випуску рідкого металу, знос льотки і пов'язане з цим потрапляння надлишкової кількості пічного шлаку в ківш і т. п. Середні значення таких величин і діапазон їх зміни доводиться оцінювати статистично.

В рамках розробленого методу розв'язання оберненої задачі всі згадані раніше змінні, за винятком шуканого вектора X , поділяються на два класи: нижній (з індексом «н») і верхній (з індексом «в»), відповідно до реального діапазону їх зміни. В результаті, оперуючи довірчими інтервалами значень на вході, отримуємо довірчі інтервали (тобто «вилки») по очікуваному хімічному складом і масам фаз на виході. Такий підхід дозволяє гарантувати отримання необхідних технологічних параметрів строго в заданих межах.

1.5. Теплові режим в сталеплавильному виробництві

Сталь, що випускається з конвертера, повинна бути нагріта до температури 1600-1660 °С, у той час як заливається в кисневий конвертер чавун зазвичай має температуру 1300-1450 °С. Джерелом тепла для нагріву стали, шлаку, відведених газів, а також для компенсації тепловтрат при плавці є тепло, що виділяється при окисленні домішок чавуну. Величини теплових ефектів реакцій окиснення складових рідкого металу наведено в табл. 1.1.

Розрахунки теплового балансу і практика показують, що загальна кількість тепла, що виділяється при окисленні домішок чавуну при будь-якому його складі, значно перевищує потребу в теплі для нагріву стали до температури випуску і для компенсації тепловтрат. Якщо в конвертері переробляти один чавун, то температура металу в кінці продувки була б 1850-1900 ° С, що неприпустимо. Тому при киснево- конвертерної плавці завжди застосовують охолоджувачі (зазвичай сталевий брухт). Витрата охолоджувачів визначають на підставі розрахунку теплового балансу плавки; він повинен бути таким, щоб поглиналося все надлишкове тепло і при цьому забезпечувалося б отримання необхідної температури металу перед випуском з конвертера.

Таблиця 1.1. Теплові ефекти реакцій окиснення розчинених у залозі елементів

Реакція	Тепловий ефект ¹	
	—H, Дж/моль	кДж/л кг елемента
$[\text{Si}] + \text{O}_2 = \text{SiO}_2$	745800	26640
$[\text{Mn}] + 1/2\text{O}_2 = \text{MnO}$	385140	7000
$\text{Fe} + 1/2\text{O}_2 = \text{FeO}$	265680	4740
$2\text{Fe} + 1 1/2\text{O}_2 = \text{Fe}_2\text{O}_3$	820900	7330
$2[\text{P}] + 1 1/2\text{O}_2 = \text{P}_2\text{O}_5$	1190980	19210
$[\text{C}] + 1/2\text{O}_2 = \text{CO}$	133120	11090

• Стандартний тепловий ефект окислення з урахуванням теплоти розчинення рідкого елемента в рідкому залозі.

У табл. 1.2 наведені дані про тепловому балансі конвертерних плавов при використанні в якості охолоджувача сталевого брухту. Основні прибуткові (що вносять тепло) статті теплового балансу - це фізичне тепло рідкого чавуну і тепло екзотермічних реакцій окислення; трохи тепла дають екзотермічні реакції шлакоутворення (реагування CaO з SiO₂ і CaO з P₂O₅). З урахуванням того, що близько 50 % внесеного тепла припадає на частку рідкого чавуну, дуже важливо проведення заходів щодо збільшення температури що заливається чавуну. З екзотермічних реакцій окислення перше місце за кількістю внесеного тепла займає реакція окислення вуглецю (незважаючи на те, що близько 30 % цього тепла несеться з конвертера газоподібними продуктами реакції -CO і CO₂), на другому місці стоїть реакція окислення кремнію, на третьому - реакції окислення заліза в шлак ; роль окислення інших складових металу менш значна.

Таблиця 1.2. Співвідношення між прибутковими та видатковими статтями теплового балансу

Прихід тепла	Прихід тепла, %	Витрата тепла	Витрата тепла, %
Фізичне тепло чавуну	49-53	Фізичне тепло сталі	69-72
Тепло реакцій окиснення	45-49	У тому числі на нагрів і розплавлення	15-21
У тому числі:		Фізичне тепло шлаку	12-17
• Вуглецю до CO	17-22	Фізичне тепло газів	6,5-9,5
• Вуглецю до CO ₂	6-7,5	Тепло, що буря плавильної пилом	1,5-2,0
• кремнію	6,5-10,5	Втрати тепла	1,8-3,0
• марганцю	0,6-2,5	У тому числі:	
• заліза	5-8	• через корпус	0,3-0,7
• фосфору	0,5-1,5	• з водою фурми	0,4-0,7
Тепло реакцій шлакоутворення	2,5-5	• через горловину випромінюванням і конверцією	1,1-2,0
всього	100	всього	100

Примітка. Загальний прихід (витрата) тепла становить 180-200 МДж // 100 кг шихти.

Особливо слід підкреслити роль зміни кількості кремнію в переробляється чавуні. Оскільки тепловий афект реакції окислення кремнію великий, зміна його вмісту в чавуні дуже сильно впливає на величину приходу тепла і температурні умови плавки (кінцеву температуру металу і витрата охолоджувачів).

Основні витратні статті теплового балансу: тепло, що буря рідкої сталлю і шлаком, а також конвертерний газами; із загальної кількості тепла, що йде на нагрів сталі (69-72 %) 15-21 % витрачається на нагрів і розплавлення сталевого брухту. До основних видів втрат тепла відносяться втрати в навколишнє атмосферу через корпус конвертера, температура якого становить 120-350 ° С; втрати з охолоджувальною фурму водою ; втрати на нагрів футеровки, що охолоджується в межпродувочние періоди, які можна підрахувати як суму втрат

випромінюванням через горловину конвертера і в результаті вільної конвекції повітря в порожнині конвертера. Необхідно підкреслити, що при збільшенні простоїв конвертера між плавками тепловтрати випромінюванням і конвекцією сильно зростають.

Охолоджувачі конвертерної плавки. В якості охолоджувачів можна використовувати сталевий брухт, залізну руду, вапняк, окалину, залізорудні агломерат і окатиші, доломіт та ін. Зазвичай використовують сталевий брухт. Це пояснюється тим, що він заміняє значну частину дорогого чавуну, знижуючи вартість сталі ; крім того, при зниженні витрати чавуну відпадає необхідність у додаткових потужностях з виплавки чавуну, виробництва коксу, видобутку і збагачення залізних руд. При використанні сталевих брухту надлишкове тепло процесу витрачається на його нагрівання і розплавлення, охолоджуюча здатність 1 кг брухту становить 1410 кДж (при 1620 ° С); витрата брухту за умовами теплового балансу не перевищує 25-27 % від маси металевих шихти

Залізну руду, окалину, окатиші, вапняк, іноді вапно та інші добавки зазвичай використовують для коригування температури металу - вводячи невеликими порціями по ходу продувки або в її кінці у разі отримання на тій чи іншій плавці надмірної температури металу. Руду, окалину, котуни та агломерат, що містять оксиди заліза, іноді застосовують також для прискорення шлакоутворення, завантажуючи в конвертер на початку продувки. При використанні руди надлишкове тепло витрачається на її нагрівання і відновлення заліза з оксидів ; відновлене залізо трохи підвищує вихід придатної сталі. Охолоджувальний вплив руди в 3,0-3,8 рази вище охолоджувальної дії рівної кількості брухту.

При використанні як охолоджувачів вапняку і доломіту тепло витрачається на розкладання CaCO_3 і MgCO_3 . Рідке використання цих охолоджувачів пов'язано з тим, що вони не збільшують вихід придатного металу [21].

1.6. Висновки

Метод Гіббса дозволяє описувати хімічні процеси в будь-яких системах без попереднього їх представлення у вигляді стехіометричних реакцій. Більш того, феноменологічна (класична, формальна, макроскопічна) термодинаміка Гіббса дає саме ту мову, за допомогою якого можна найбільш просто пояснити сутність будь-якої задачі виключно в термінах безпосередньо вимірюваних величин, таких як температура, тиск, хімічний склад, об'єм, маса та ін., тобто величин, якими керується технолог в своїй роботі.

Ентальпійна теплова модель є невід'ємною і узгодженою частиною будь-якої термодинамічної моделі, що лежить в основі рівноважних розрахунків і заснованої на методі хімічних потенціалів Гіббса.

У початковому стані система може складатися з розплавленої системи «метал-шлак» і будь-яких завантажуваних шихтових і легуючих матеріалів (брухту, чавуну, вапна, феросплавів і т. д.). У процесі плавки або на випуску з печі, або тільки з завантажуваних шихтових матеріалів - на початку плавки. Крім того, в систему потрапляє матеріал футеровки печі або ковша, кількість якого визначається статистично. В кінцевому стані система має температуру T і в загальному випадку складається з розплавлених металу, шлаку і газової фази.

РОЗДІЛ 2

ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1. Вибір об'єкту дослідження

Група сталей для дослідження в роботі вибирається так, щоб охопити спокійні, напівспокійні, киплячі і низьколеговані сталі. В дипломній роботі досліджені 6 марок сталі: 15кп, 4пс, 25ХГСА, 09Г2св, 08пс, 3псв.

Сталь 15кп - конструкційна вуглецева якісна.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі 15кп, мас. %

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	As	N	Cu
0,07 - 0,14	≤0,07	0,25 - 0,50	≤0,040	≤0,035	≤0,15	≤0,30	≤0,08	≤0,008	≤0,30

Застосовується для деталей, що працюють при температурі до 450 ° С, до яких пред'являються вимоги високої пластичності, а також втулки, вушка, шайби, гвинти та інші деталі, до яких пред'являються вимоги високої поверхневої твердості і зносостійкості при невисокій міцності серцевини.

Сталь 4пс - конструкційна вуглецева звичайної якості

Таблиця 2.2 – Хімічний склад сталі 4пс, мас.%

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	As	N	Cu
0,18-0,27	0,05 -0,15	0,4 -0,7	≤0,05	≤0,04	≤0,3	≤0,3	≤0,080	≤0,008	≤0,3

Застосовується для зварних і болтових конструкцій підвищеної міцності у вигляді сортового, фасонного та листового прокату, а також для малонавантажених деталей.

Сталь 25ХГСА – конструкційна легована.

Таблиця 2.3 – Хімічний склад сталі 25ХГСА, мас. %

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu
0,22 - 0,28	0,90 - 1,20	0,80 - 1,10	≤0,025	≤0,025	0,80 - 1,10	≤0,30	≤0,30

Застосовується для відповідальних зварних і штампованих деталей, які використовують в покращеному стані: ходові гвинти, осі, вали, черв'яки, шатуни, колінчасті вали, штоки та інші деталі.

Сталь 08пс - сталь конструкційна вуглецева якісна.

Таблиця 2.4 – Хімічний склад сталі 08пс, мас. %

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu
0,05 - 0,11	≤ 0,05	0,35 - 0,65	≤0,04	≤0,035	≤ 0,1	≤0,30	≤0,30

Застосовується для виготовлення прокладок, шайб, вилок, труб, а також деталей, що піддаються хіміко-термічній обробці – втулок.

Сталь 3псв - конструкційна вуглецева звичайної якості

Таблиця 2.5 – Хімічний склад сталі 3псв, мас.%

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	As	Cu
0,14 – 0,21	≤0,15	0,3- 0,65	≤0,05	≤0,04	≤0,30	≤0,30	≤0,08	≤0,30

Застосовується для виготовлення несучих та ненесучих елементів зварних та незварних конструкцій і деталей, що працюють при позитивних температурах. Фасонний і листовий прокат (5-й категорії) товщиною до 10 мм для несучих елементів зварних конструкцій, що працюють при змінних навантаженнях в інтервалі від -40 до +425 ° С. Прокат від 10 до 25 мм - для несучих елементів зварних конструкцій, що працюють при температурі від -40 до +425 ° С.

Сталь 09Г2С - конструкційна низьколегована сталь.

Таблиця 2.6 – Хімічний склад сталі 09Г2С, мас. %

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	As
≤0,12	0,17-0,37	1,4 – 1,8	≤ 0,30	≤0,04	≤ 0,035	≤ 0,30	≤0,30	≤ 0,08

Використовується для виготовлення різних деталей і елементів зварних металоконструкцій, працюючих при температурі від -70 до +425 °С під тиском.

2.2. Обчислювальний експеримент з використанням програми «Excalibur»

2.2.1. Методика проведення обчислювального експерименту

З метою формування масиву даних для подальшого їх використання при аналізі впливу різних теплоенергетичних параметрів плавки формувалися паспорти розкислення-легування. Для кожної марки сталі, кожної температури і тиску паспорти розкислення-легування містять наступну інформацію:

1) Основні показники:

- тиск, атм

- температура навколишнього середовища, $^{\circ}\text{C}$
- початкова температура, $^{\circ}\text{C}$
- задана температура, $^{\circ}\text{C}$
- кінцева температура, $^{\circ}\text{C}$
- початкова маса металу, т
- задана маса металу, т
- кінцева маса металу, т
- початкова маса шлаку, т
- задана маса шлаку, т
- кінцева маса шлаку, т
- задана основність шлаку, т
- кінцева основність шлаку, т
- задана маса газу, т
- кінцева маса газу, т
- кінцевий об'єм газу, м^3
- фактична маса матеріалів, т
- фактична вартість матеріалів, у.е.

2) Матеріали. По кожному із матеріалів приводилися наступні дані:

- фактична маса, т;
- оптимальна маса, т;
- рекомендована маса, т;
- обов'язкова маса, т;
- мінімальна маса, %;
- максимальна маса, %.

3) Система «метал-шлак-газ». По кожному елементу в кожній з трьох фаз приводяться наступні дані:

- початковий вміст, %;
- заданий мінімальний, максимальний, середній вміст, %;
- кінцевий мінімальний, максимальний, середній вміст %;

- кінцевий мінімальний, максимальний і середній вміст, кг.

4) Термодинамічні функції по кожному елементу:

- коефіцієнт активності при нескінченному розведенні в металі;
- коефіцієнт активності в металі;
- коефіцієнт активності в шлаку;
- коефіцієнт активності в газовій фазі;
- активність в металі;
- активність в шлаку;
- активність в газовій фазі;
- стандартна парціальна ентальпія в металі;
- парціальна ентальпія змішування в металі;
- парціальна ентальпія змішування в шлаку;
- парціальна ентальпія змішування в газовій фазі.

5) Тиск газів:

- мінімальний тиск по кожному компоненту;
- максимальний тиск по кожному компоненту;
- сумарний тиск;
- об'єм при поточній температурі.

6) Властивості матеріалів. Для кожного з використовуваних матеріалів наводяться такі дані:

- температура;
- агрегатний стан;
- приналежність до фази;
- термічний коефіцієнт;
- ентальпія, в тому числі стандартна і змішувана;
- теплова енергія, яка необхідна для нагріву матеріалів до поточної температури системи.

2.3. Методика роботи с програмою «Майстер»

Програма "Майстер" є головним компонентом програмного комплексу "Майстер" для розрахунку оптимальних кількостей розкислювачів і легуючих матеріалів при виробництві сталі в мартенівському цеху ВАТ "Запоріжсталь".

По своєму функціональному призначенню програма "Майстер" є порадиником майстра печі.

Основні завдання, що вирішуються програмою "Майстер", - це оптимізація мас матеріалів, що віддаються в ківш для розкислювання і легування сталі, і прогнозування хімічного складу ковшевої проби.

Критерієм оптимальності служить мінімум вартості набору матеріалів, що забезпечують виконання усіх заданих обмежень по хімічному складу сталі, окисленности металу в ковші, масі газу, масам матеріалів.

У розрахунках, вироблюваних програмою "Майстер", враховуються наступні чинники, що впливають на засвоєння елементів з феросплавів :

- тепловий баланс;
- температура металу перед випуском з печі і в ковші після випуску;
- маса і хімічний склад металу, включаючи окисленность, перед випуском з печі і в ковші після випуску;
- взаємний вплив добавок і змісту одних елементів на засвоєння і зміст усіх інших елементів;
- маса і середньостатистичний хімічний склад пічного шлаку, що потрапляє в ківш;
- хімічний склад використовуваних матеріалів;
- склад і кількість газу, що виділяється в об'ємі металу.

2.3.1. Режими роботи програми

Програма "Майстер" має два режими роботи: операційний і режим перегляду плавок. Операційний режим є основним. З його допомогою майстер виконує наступні дії:

- вибирає піч і плавку;
- вибирає марку сталі, призначення сталі та ДСТУ (ТУ);
- коригує при необхідності температуру металу;
- оптимізує маси матеріалів;
- вводить маси матеріалів і "проплавляє" їх, т. е. робить розрахунок хімічного складу готового металу;
- вводить зауваження по плавці;
- приймає плавку (заносить інформацію у базу даних).

Операційний режим роботи доступний майстрові тільки для активних (тобто не прийнятих) плавок. Через 2 години після випуску якої-небудь плавки відображення інформації про неї можливе тільки в режимі перегляду, в якому майстер має можливість виконувати наступні дії:

- вибрати піч і плавку;
- здійснити пошук плавок по датах;
- оптимізувати маси матеріалів;
- вводити маси матеріалів і "проплавляти" їх.

2.3.2 Порядок роботи

Основні компоненти програми "Майстер" представлені на головній формі. Типовий вид головної форми програми приведений на рис 2.4

МАСТЕР - операционный режим

Печь 1 Печь 2 **6** Печь 5 Печь 6 Печь 7 Печь 8 Печь 10 Печь 11 Печь 12

Пл. 0141960 **5**

Выпуск - факт
07.06.14 04:50

Ковш 1	План	Факт	Выбор
Ст.	08КП	08КП	08КП 11
Назн.	ЭКСП.РУЛ	ЭКСП.РУЛ	ЭКСП.РУЛ
ГОСТ	2	1050-88	1050-88

08.06.14
22:47:50

Мастер **8**
Акчурин

Печь	04:54	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	O	7 t°C	Пр
Проба 4		0,10	0,04		0,032					207	1633	
Прогноз		0,086	0,036		0,032					378	1636	
Ковш	Макс 1	0,12	0,50	0,03	0,040	0,035	0,10	0,25	0,30	650		План
	Мин	0,05	0,25							250		08КП
	Прогноз	0,07	0,33	0,009	0,029					460	1574	Факт
	Факт	0,07	0,33	0,01	0,027	0,011	0,02	0,02	0,02			240,9 т

Оптим	FeMn	SiMn	FeSi	Кокс	АВ-87	Окал.	Оптимизировать
Селох	1000						4 Оптимизировать
Х/анализ	1020		3	40			Проплавить
Прогноз	1100			50			Текущая плавка
Факт	1250					150	Принять

График Выпуск Чугун Зам. **10**

Текущий прогноз температуры металла в печи, С **9** Газ: 273 кг Т = 1624С 9954

Рисунок 2.1 - Головна форма програми "Майстер" в операційному режимі

У таблиці хімічних складів (рис 2.4 поз. 1) є наступні рядки: час приходу експрес-аналізу проби металу або виміру Селох, Проба № або Селох, Макс / Мін, Прогноз, Факт. Усі хімічні склади вимірюються у відсотках по масі.

Наведенням покажчика миші на клітину таблиці хімічних складів Проба № і вибором з випадного меню, що автоматично з'являється, можна переглядати усі попередні проби металу по цій плавці. Час вступу і номера попередніх проб виділяються синім кольором. Через 15с після перегляду попередніх проб в таблиці автоматично відновлюються дані про останню пробу.

Прихід даних про експрес-аналіз проби металу або вимір окисленості Селох супроводжується звуковим сигналом. При цьому впродовж 2 хвилин блимає

боковик рядка хімічного аналізу проби - зеленим кольором при приході даних з хімлабораторії і синім кольором при вимірі окисленості за допомогою Celox.


Таблиця планових і фактичних значень плавки (рис.2 1, поз. 2) служить для відображення марки сталі, призначення сталі і стандарту - ДСТУ або ТУ.

У верхній лівій клітині цієї ж таблиці відображається номер ковша. Ця ж клітина служить також кнопкою для перемикання між ковшами.

Рядок матеріалів (рис 2.4, поз.3) є багатофункціональним елементом форми, що складається з шести полів редагування і відображення мас матеріалів в кілограмах.

В результаті оптимізації в цих полях відображається оптимальний набір матеріалів, які є рекомендацією для майстра. Якщо програма не знаходить оптимального набору матеріалів, поля матеріалів і рядок прогнозу очищаються.

Блок управління (рис 2.4, поз.4) містить великі кнопки, за допомогою яких майстер виконує основні дії при роботі з програмою.

Панель пошуку плавок (рис 2.4, поз.5) містить випадний список номерів плавок, поле для відображення дати і часу випуску плавки і кнопку  для пошуку плавок по даті випуску і іншим атрибутам.

Залежно від того, випущена плавка або ні, відображається або фактичний, або плановий час випуску. Відповідно ярлик дати і часу має текст Випуск - факт або Випуск - план.

За допомогою випадного списку плавок можна перейти до будь-якої плавки за останні три доби. Доступна інформація про вибрану таким чином плавку відображається на формі. Режим відображення плавки залежить від того, чи була прийнята ця плавка майстром або ні.

Елемент управління "вкладки" (рис 2.4, поз. 6) служить для перемикання між печами шляхом наведення на них покажчика миші і натиснення лівої кнопки.

У редаговане поле Т-ра (рис 2.4, поз. 7) поступають дані про безперервні і разові виміри температури на момент відбору проби металу. При натисненні лівої кнопки миші на написи Графік з'являється графік температури і хімічного складу проб по вуглецю, марганцю і сірці, як показано на рис 2.5 і фіолетові та жовті

квадратні значки – відповідно марганець і сірка. Чорні і сині квадратики відповідають вимірам вуглецю за даними хімічної лабораторії і приладу Celox. Червоні кружки (лінії) - разові (безперервні) виміри температури. Сині кружки відповідають вимірам температури за допомогою приладу Celox.

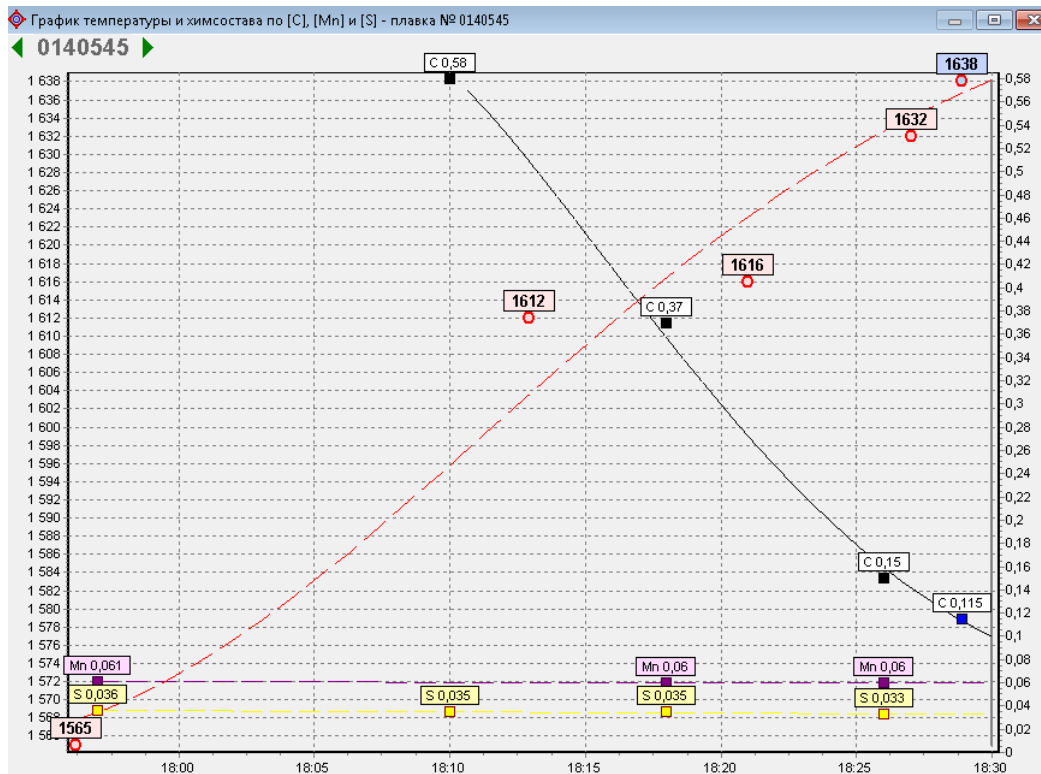


Рисунок 2.2 - Графік температури і хімічного складу проб по вуглецю, марганцю і сірці

Випадний список майстрів печей (рис 2.4, поз. 8) активний при роботі з програмою "Майстер" в операційному режимі. Цей список формується службами АСУТП.

Рядок стану (рис 2.4, поз. 9) служить для відображення підказок по елементах форми програми, на які наведений покажчик миші. У ній відображається також службова інформація про плавку: маса газу (кг), що утворюється в ковші, температура металу в ковші (°C) без урахування теплових втрат, вартість легування (грн).

Якщо у майстра є які-небудь зауваження по плавці, які прямо або побічно впливають на результат оптимізації матеріалів і прогноз хімічного складу, він заносить їх в редаговане поле Зам (рис 2.4, поз. 10) перед прийняттям плавки.

У правій верхній частині форми розташований хронометр (рис 2.4, поз. 11), що показує поточну дату і поточний час.

2.4. Одержані результати

Термічний ефект ΔT матеріалу визначається як зміна температури системи при додаванні безкінечно малої кількості даного матеріалу в точці поточної термодинамічної рівноваги: $\Delta T = \frac{\partial T}{\partial m_j}$. Для отримання значущих величин

термічний ефект визначається з розрахунку задання 1т матеріалу, хоча мається на увазі мала його кількість. Це пов'язано з тим, що задання будь-якої відчутної кількості матеріалу в систему «метал-шлак-газ» зміщує термодинамічну рівновагу і саму величину термічного ефекту.

2.4.1. Дослідження впливу частки внесених феросплавів на термічний ефект

2.4.1.1. Сталь 15кп

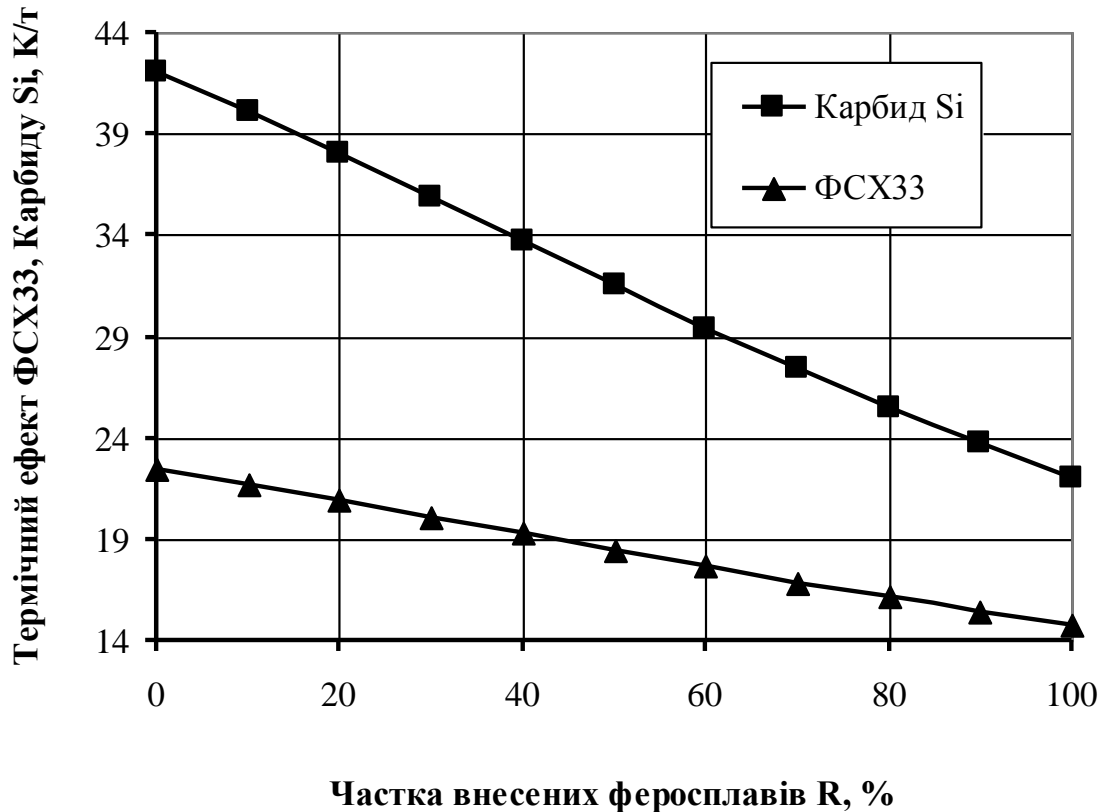


Рисунок 2.3 – Вплив частки внесених феросплавів на термічний ефект, феросилікохрому, карбид кремнію

Дослідження впливу частки внесених феросплавів на термічний ефект феросилікохрому та карбид кремнію показує зниження цього показника при збільшенні частки внесених феросплавів.

Це обумовлено тим, що в міру внесення феросплавів вміст кисню в металі знижується, таким чином знижується відносна кількість кремнію в складі цих феросплавів, який міг б взаємодіяти з киснем з екзотермічним ефектом. При цьому загальний рівень термічного ефекту карбиду кремнію значно більше ΔT феросилікохрому за рахунок більш високого вмісту кремнію.

2.4.1.2. Сталь 4пс

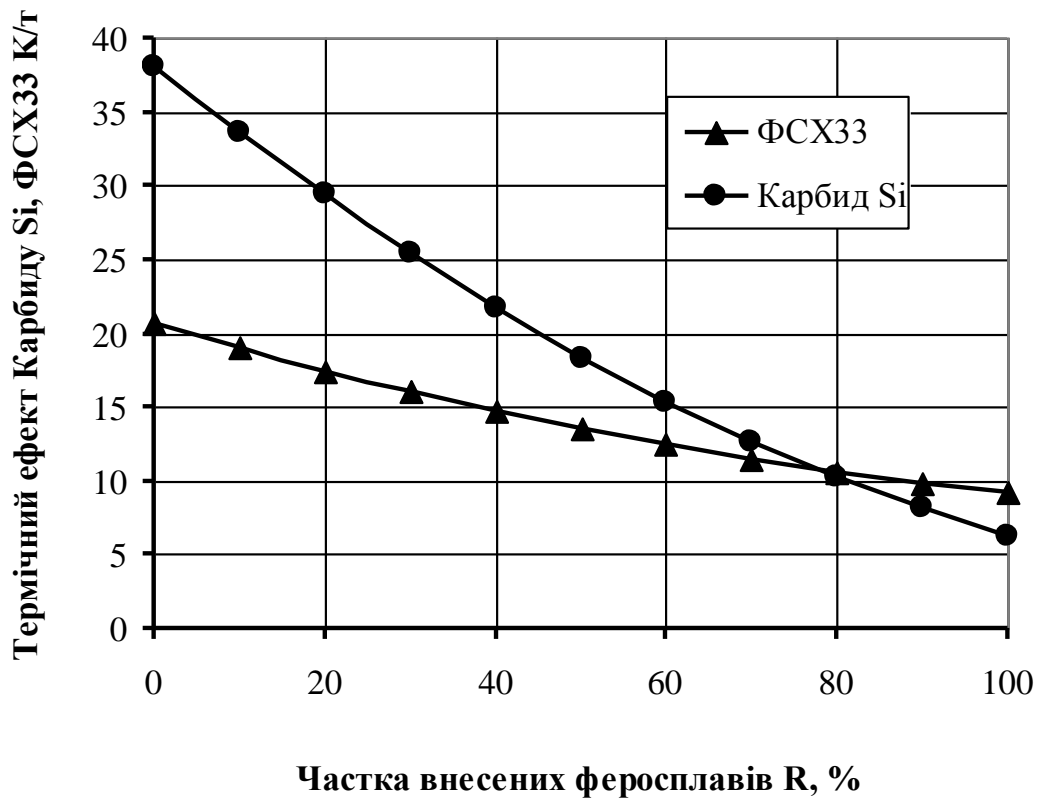


Рисунок 2.4 – Вплив частки внесених феросплавів на термічний ефект феросилікохрому, карбид кремнію

Дослідження впливу частки внесених феросплавів на термічний ефект феросилікохрому та карбид кремнію показує зниження цього показнику при збільшенні частки внесених феросплавів.

Це обумовлено тим, що в міру внесення феросплавів вміст кисню в металі знижується, таким чином знижується відносна кількість кремнію в складі цих феросплавів, який міг б взаємодіяти з киснем з екзотермічним ефектом. При цьому загальний рівень термічного ефекту карбиду кремнію значно більше ΔT феросилікохрому за рахунок більш високого вмісту кремнію.

2.4.1.3. Сталь 25ХГСА

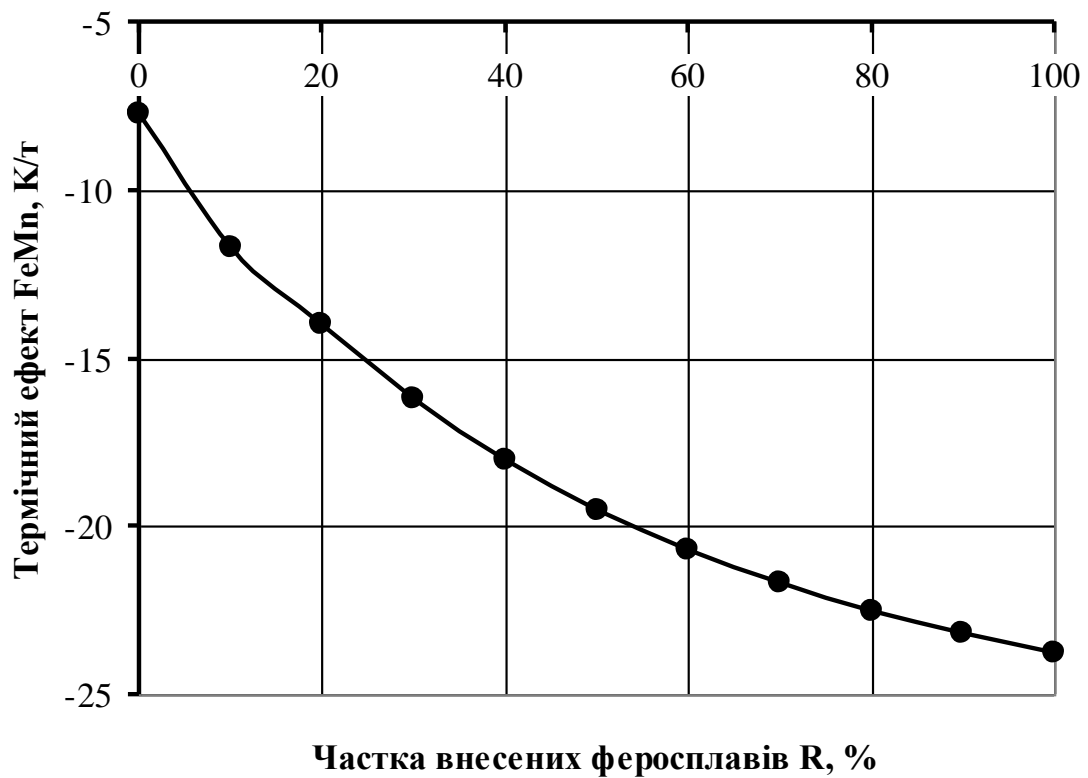


Рисунок 2.5– Вплив частки внесених феросплавів на термічний ефект феромарганцю

Термічний ефект феромарганцю при розкисленні будь якої сталі являється від'ємною величиною за рахунок вмісту в ньому приблизно 7% вуглецю і слабого екзотермічного ефекту взаємодії марганцю з киснем, який міститься в металі.

На початку процесу розкислення (до внесення будь яких феросплавів) вміст кисню в металі максимальний, відповідно термічний ефект феромарганцю складає приблизно (-7:-8 К/т). При збільшенні частки внесених феросплавів до 100% термічний ефект знижується в результаті підсумовування двох протилежних процесів:

1. Взаємодія марганцю з киснем, розчиненим в металі, з подальшим утворенням оксиду (MnO), що переходить до шлаку. Цей процес є екзотермічним.

2. Реакція утворення газової фази (в основному CO) при взаємодії вуглецю у складі феромарганцю з киснем, розчиненим в металі. Цей процес є ендотермічним.

Крім того, при додаванні феросплавів спостерігається збільшення теплоємності усієї системи метал-шлак-газ за рахунок збільшення її маси. В загальному випадку це призводить до зниження температури системи.

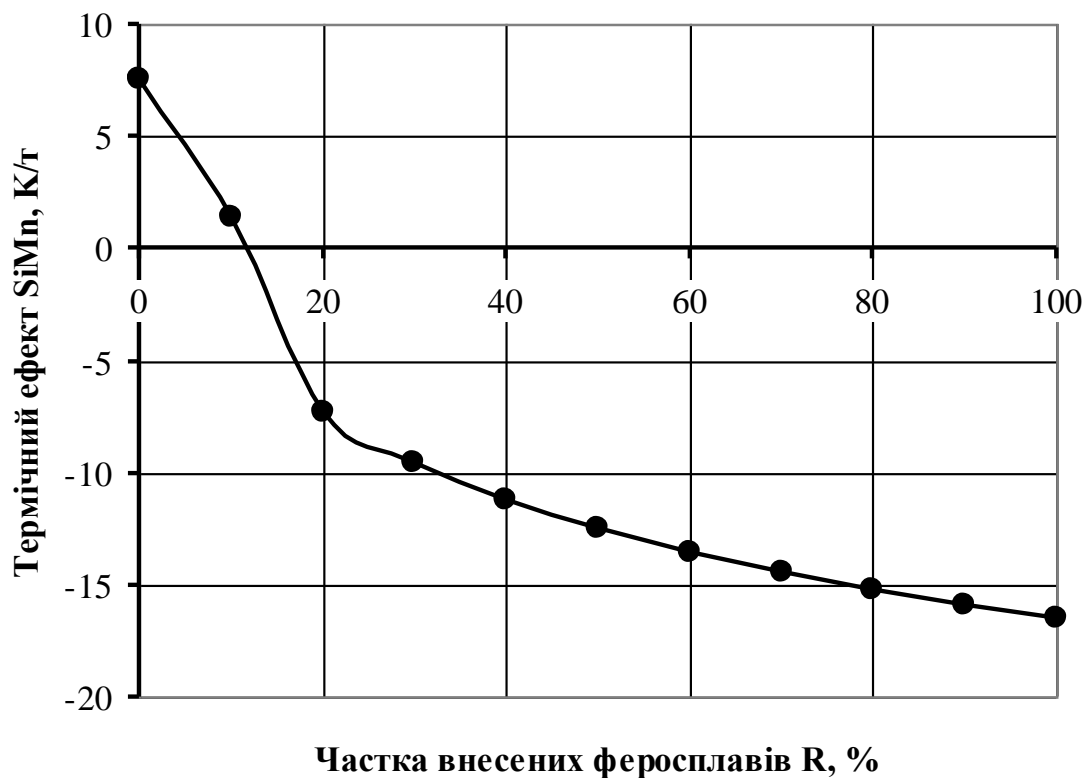


Рисунок 2.6 – Вплив частки внесених феросплавів на термічний ефект силікомарганцю

При розкисленні-легуванні сталі 25ХГСА зберігаються загальні закономірності, що притаманні залежності ΔT від частки внесених феросплавів для інших марок сталі.

При збільшенні частки внесених феросплавів ΔT знижується. Разом з тим, при розкисленні спокійної сталі 25ХГСА на кривій ΔT (частка внесених феросплавів) спостерігається характерний злам.

При $R < 20\%$ спостерігається крута несхідна ділянка цієї кривої, що відповідає киплячому стану металу. При цьому зниження термічного ефекту обумовлене в основному зниженням вмісту кисня, який при взаємодії з кремнієм дає екзотермічний ефект.

При $R > 20\%$ спостерігається заспокоєння металу і вміст кисню далі знижується незначно. На цій ділянці кривої зниження термічного ефекту силікомарганцю пояснюється зниженням парціальної ентальпії кремнію в залізному розчині при збільшенні його вмісту.

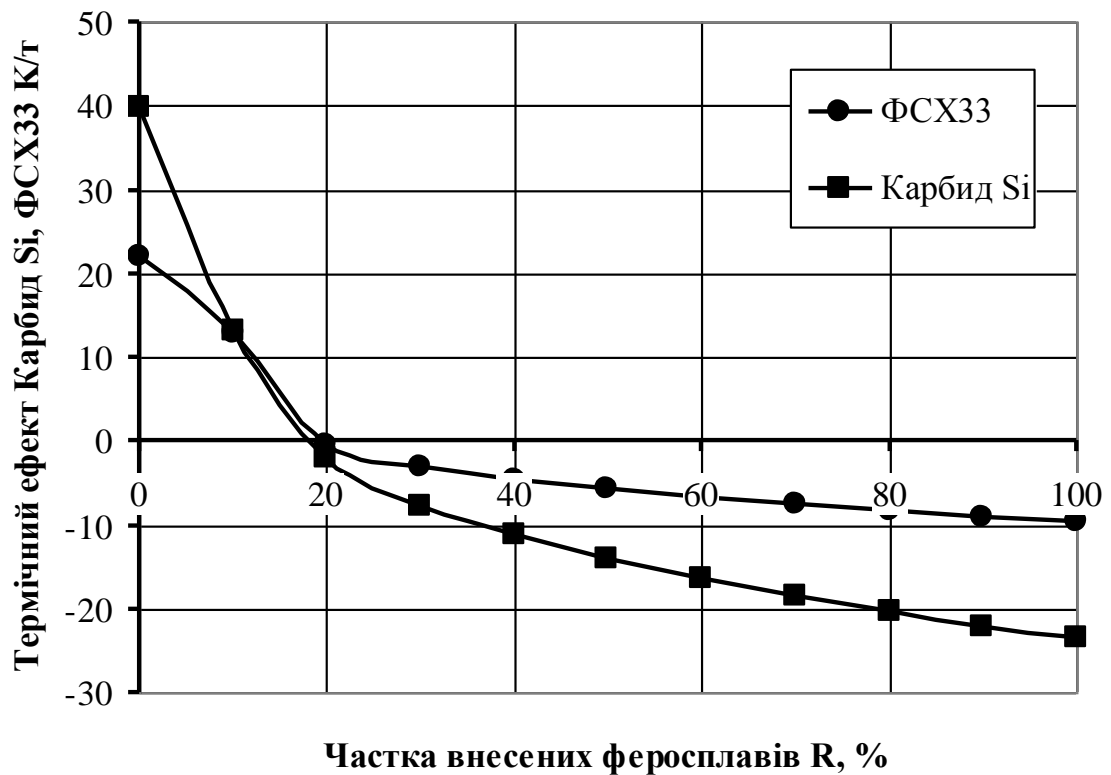


Рисунок 2.7 – Вплив частки внесених феросплавів на термічний ефект феросилікохрому, Карбид кремнію

При розкисленні-легуванні сталі 25ХГСА зберігаються загальні закономірності, що притаманні залежності ΔT від частки внесених феросплавів для інших марок сталі.

При збільшенні частки внесених феросплавів ΔT знижується. Разом з тим, при розкисленні спокійної сталі 25ХГСА на кривій ΔT (частка внесених феросплавів) спостерігається характерний злам.

При $R < 20\%$ спостерігається крута несхідна ділянка цієї кривої, що відповідає киплячому стану металу. При цьому зниження термічного ефекту обумовлене в основному зниженням вмісту кисня, який при взаємодії з кремнієм дає екзотермічний ефект.

При $R > 20\%$ спостерігається заспокоєння металу і вміст кисню далі знижується незначно. На цій ділянці кривої зниження термічного ефекту силікомарганцю пояснюється зниженням парціальної ентальпії кремнію в залізному розчині при збільшенні його вмісту.

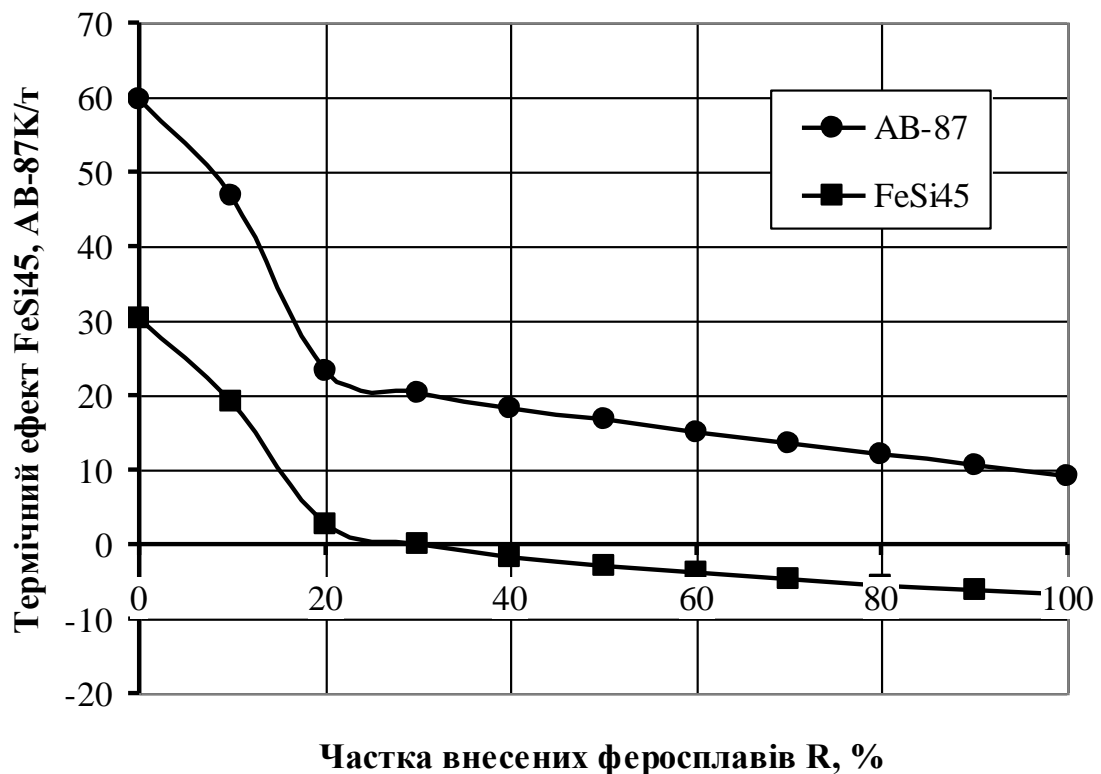


Рисунок 2.8 – Вплив частки внесених феросплавів на термічний ефект АВ-87, FeSi45

При розкисленні-легуванні сталі 25ХГСА зберігаються загальні закономірності, що притаманні залежності ΔT від частки внесених феросплавів для інших марок сталі.

При збільшенні частки внесених феросплавів ΔT знижується. Разом з тим, при розкисленні спокійної сталі 25ХГСА на кривій ΔT (частка внесених феросплавів) спостерігається характерний злам.

При $R < 20\%$ спостерігається крута несхідна ділянка цієї кривої, що відповідає киплячому стану металу. При цьому зниження термічного ефекту обумовлене в основному зниженням вмісту кисня, який при взаємодії з кремнієм дає екзотермічний ефект.

При $R > 20\%$ спостерігається заспокоєння металу і вміст кисню далі знижується незначно. На цій ділянці кривої зниження термічного ефекту силікомарганцю пояснюється зниженням парціальної ентальпії кремнію в залізному розчині при збільшенні його вмісту.

2.4.1.4. Сталь 09Г2св

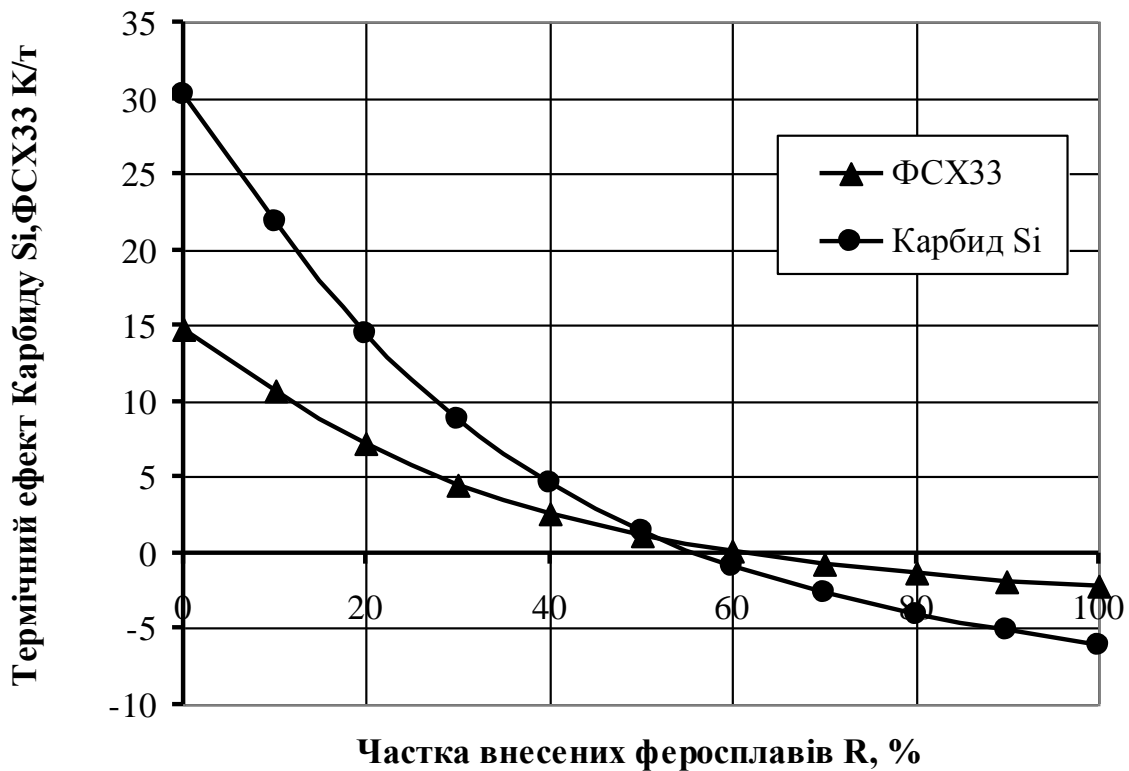


Рисунок 2.9 – Вплив частки внесених феросплавів на термічний ефект карбид кремнію, феросилікохрому

Дослідження впливу частки внесених феросплавів на термічний ефект феросилікохрому та карбид кремнію показує поступове зниження цього показника при збільшенні частки внесених феросплавів.

Це обумовлено тим, що в міру внесення феросплавів вміст кисню в металі поступово знижується. Таким чином, знижується кількість кремнію в складі цих феросплавів, який міг би взаємодіяти з киснем з екзотермічним ефектом. При цьому загальний рівень термічного ефекту карбиду кремнію значно більше ΔT феросилікохрому за рахунок більш високого вмісту кремнія.

2.4.2. Дослідження впливу ефективного тиску на термічні ефекти

2.4.2.1. Сталь 15кп

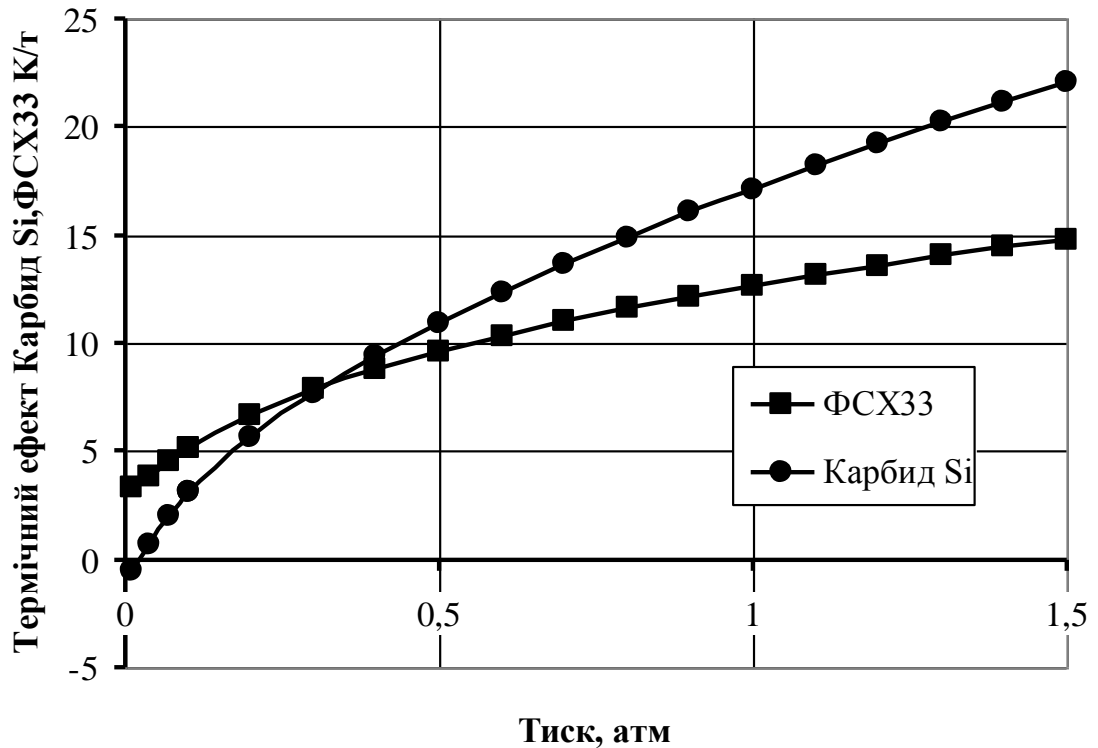


Рисунок 2.10 – Вплив ефективного тиску на термічний ефект карбид кремнію, феросилікохрому

Зниження тиску в системі «метал-шлак-газ» завжди супроводжується вакуумно-вуглецевим розкисленням металу, що призводить до зниження вмісту як кисню, так і вуглецю. Зниження вмісту кисня в свою чергу призводить к зниженню екзотермічних ефектів при його взаємодії з кремнієм, який міститься в складі карбиду кремнію і феросилікохрому. Таким чином, ΔT карбиду кремнію знижується з 22-23 К/т до нуля, а ΔT феросилікохрому з 15К/т до 3К/т. Відносно більш різке зниження ΔT карбиду кремнію в порівнянні з феросилікохромом пояснюється більш високим вмістом його у складі кремнію. Крім того, у складі

карбиду кремнію присутній вуглець, який також знижує термічний ефект при зниженні тиску.

2.4.2.2. Сталь 4пс

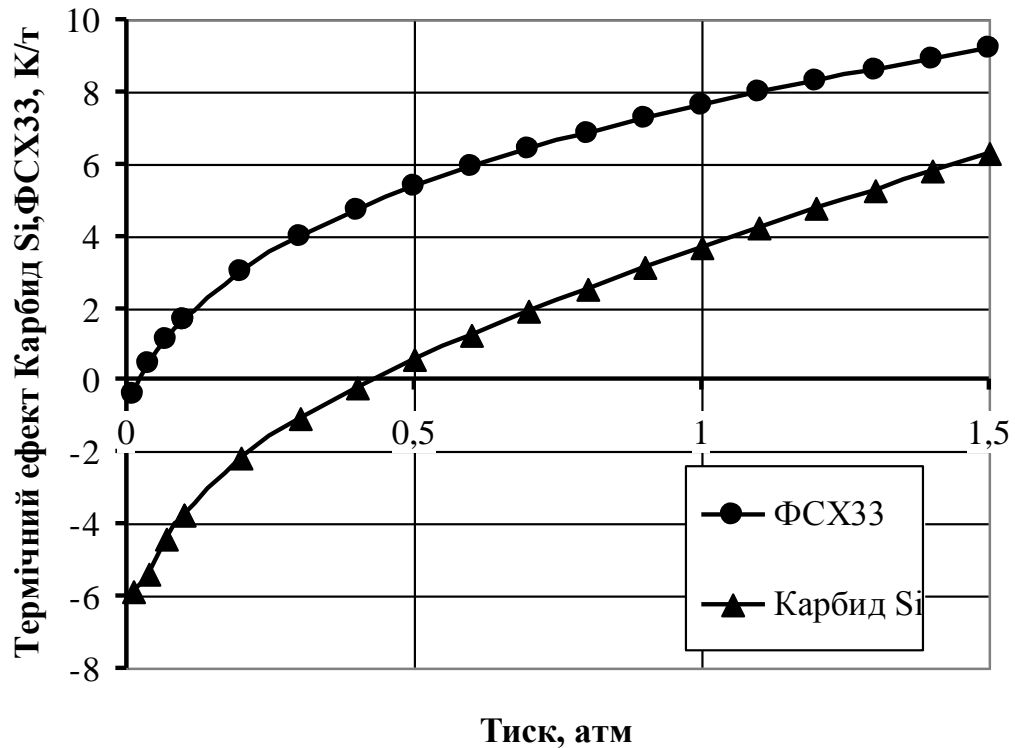


Рисунок 2.11 – Вплив ефективного тиску на термічний ефект карбид кремнію, феросилікохрому

Зниження тиску в системі «метал-шлак-газ» завжди супроводжується вакуумно-вуглецевим розкисленням металу, що призводить до зниження вмісту як кисню, так і вуглецю. Зниження вмісту кисня в свою чергу призводить к зниженню екзотермічних ефектів при його взаємодії з кремнієм, який міститься в складі карбиду кремнію і феросилікохрому. Таким чином, ΔT карбиду кремнію знижується з 22-23 К/т до нуля, а ΔT феросилікохрому з 15К/т до 3К/т. Відносно більш різке зниження ΔT карбиду кремнію в порівнянні з феросилікохромом пояснюється більш високим вмістом його у складі кремнію. Крім того, у складі карбиду кремнію присутній вуглець, який також знижує термічний ефект при зниженні тиску.

Порівнюючи сталь 4пс з іншими марками, спостерігається більш низький рівень термічних ефектів усіх феросплавів при розкисленні цієї сталі. Це пов'язано з тим, що сталь 4пс має у своєму складі високий вміст вуглецю, як до розкислення, так і після.

2.4.2.3. Сталь 08пс

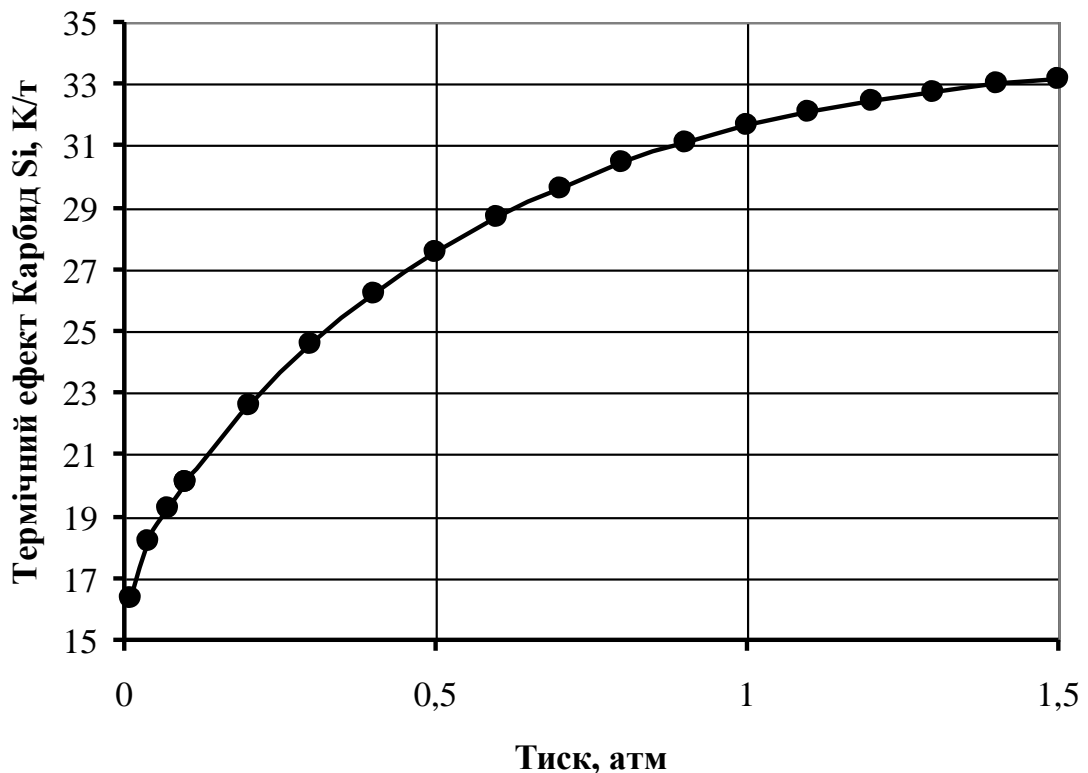


Рисунок 2.12 – Вплив ефективного тиску на термічний ефект карбид кремнію

Зниження тиску в системі «метал-шлак-газ» завжди супроводжується вакуумно вуглецевим розчиненням металу, що призводить до зниження вмісту як кисню так і вуглецю. Зниження вмісту кисня в свою чергу призводить к зниженню екзотермічних ефектів при його взаємодії з кремнієм, який міститься в складі карбид кремнію. Таким чином ΔT карбид кремнію знижується з 33К/т до 16К/т, а ΔT феросилікохрому з 6К/т до -6К/т.

2.4.2.4. Сталь 3пссв

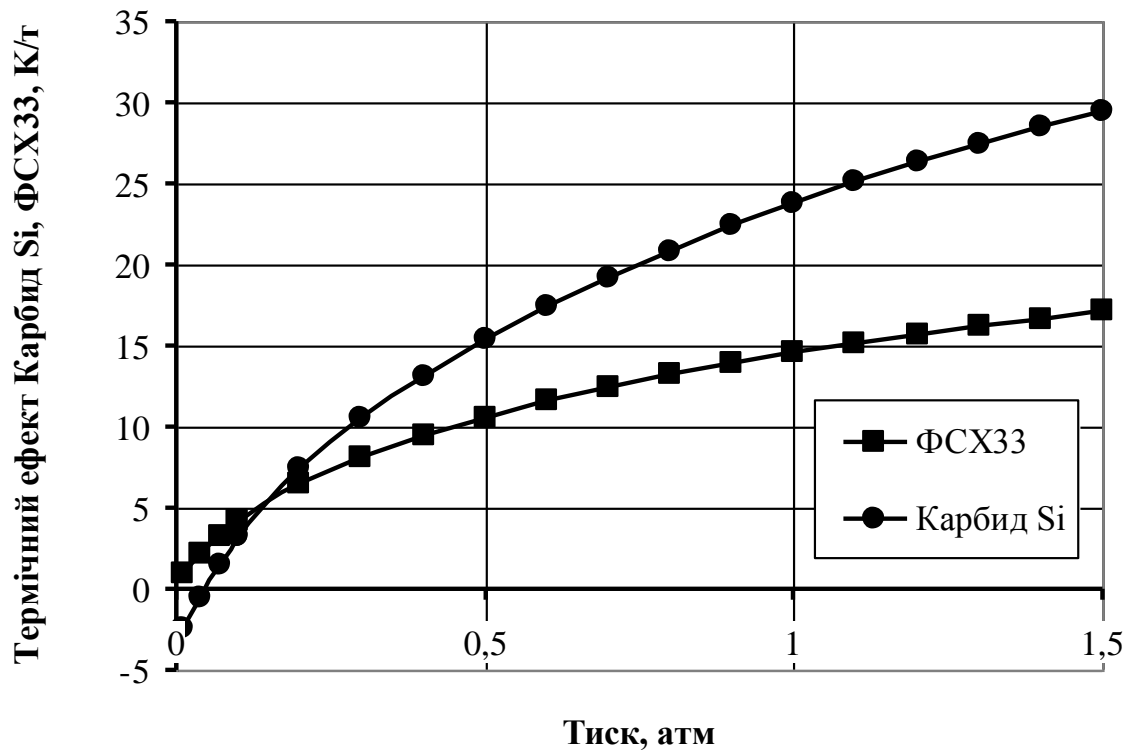


Рисунок 2.13 – Вплив ефективного тиску на термічний ефект феросилікохрому, карбид кремнію

Зниження тиску в системі «метал-шлак-газ» завжди супроводжується вакуумно вуглецевим розчиненням металу, що призводить до зниження вмісту як кисню так і вуглецю. Зниження вмісту кисня в свою чергу призводить к зниженню екзотермічних ефектів при його взаємодії з кремнієм, який міститься в складі карбид кремнію і феросилікохрому. Таким чином ΔT карбид кремнію знижується з 30К/т до -5К/т, а ΔT феросилікохрому з 16К/т до нуля.

Відносно більш різке зниження ΔT карбид кремнію в порівнянні з феросилікохромом пояснюється високим вмістом у його складі кремнію. Крім

цого в складі карбид кремнію присутній вуглець, який також знижує термічний ефект при зниженні тиску.

2.4.2.5. Сталь 09Г2св

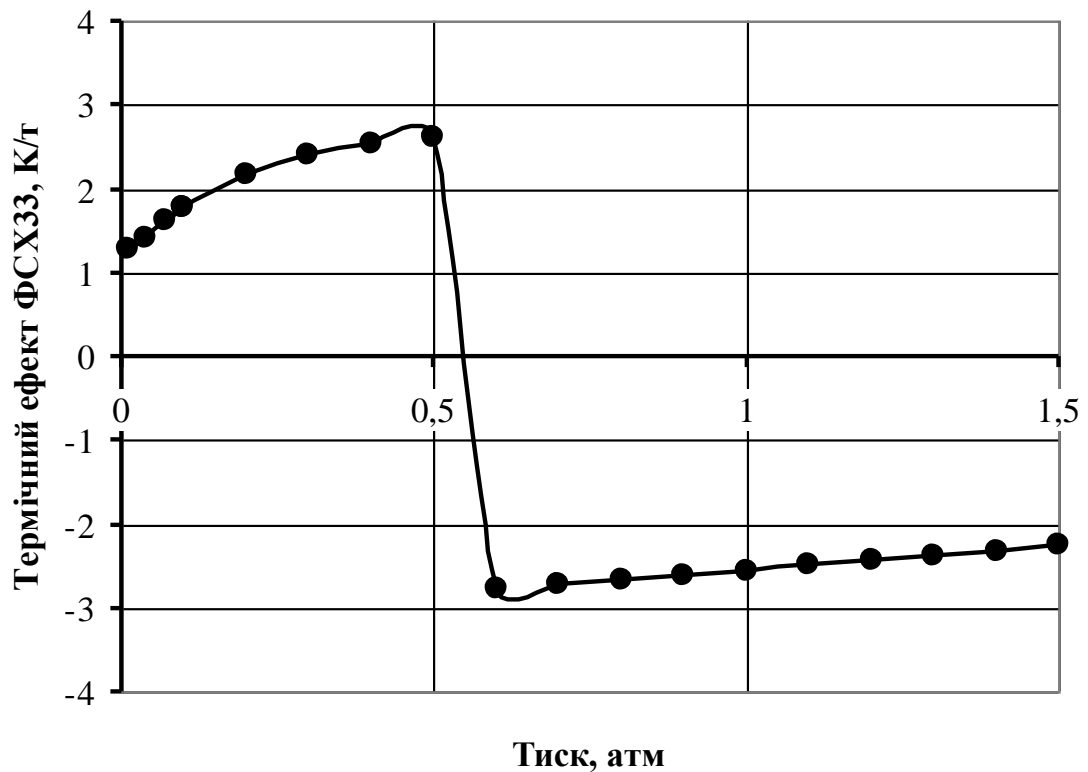


Рисунок 2.14 – Вплив ефективного тиску на термічний ефект феросилікохрому

На кривій залежності термічного ефекту феросилікохрому від тиску для сталі 09Г2св спостерігається значний розрив при $P=0,5-0,6$ атм. При цьому при тиску менше 0,05 атм поведінка кривої $\Delta T(P)$ співпадає з поведінкою цієї кривої для інших марок сталі. При $P > 0,6$ атм сталь переходить з киплячого стану в спокійне і хід кривої значно змінюється. При таких тисках термічний ефект значно знижується за рахунок різкого зменшення кисню в металі.

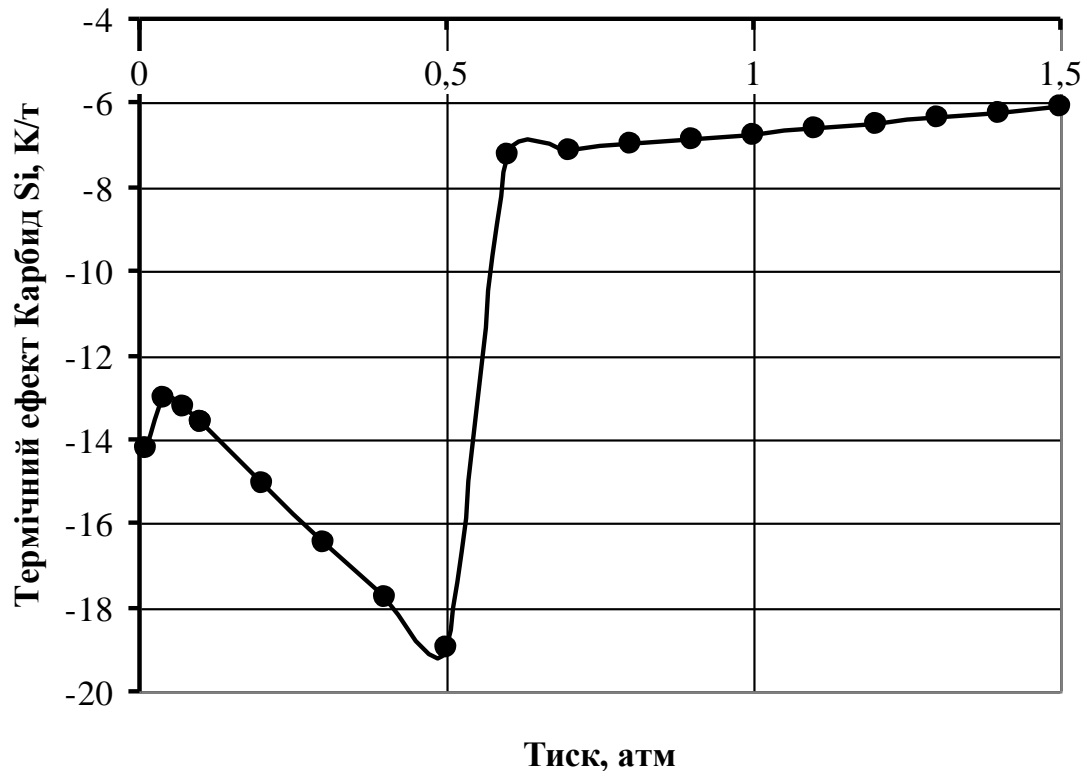


Рисунок 2.15 – Вплив ефективного тиску на термічний ефект карбид кремнію

В порівнянні з термічним ефектом феросилікохрому поведінка ΔT карбид кремнію в області киплячого стану сталі пояснюється збільшення вмісту вуглецю. За інших рівних умов завжди знижується термічний ефект матеріалу, в склад яких він входить.

2.4.2.6. Сталь 25ХГСА

Дослідження впливу ефективного тиску не виявило помітного впливу на термічний ефект, тому дана залежність графічно не відображалася.

2.4.3. Дослідження впливу вмісту кисня на термічні ефекти феросплавів

2.4.3.1. Сталь 15кп

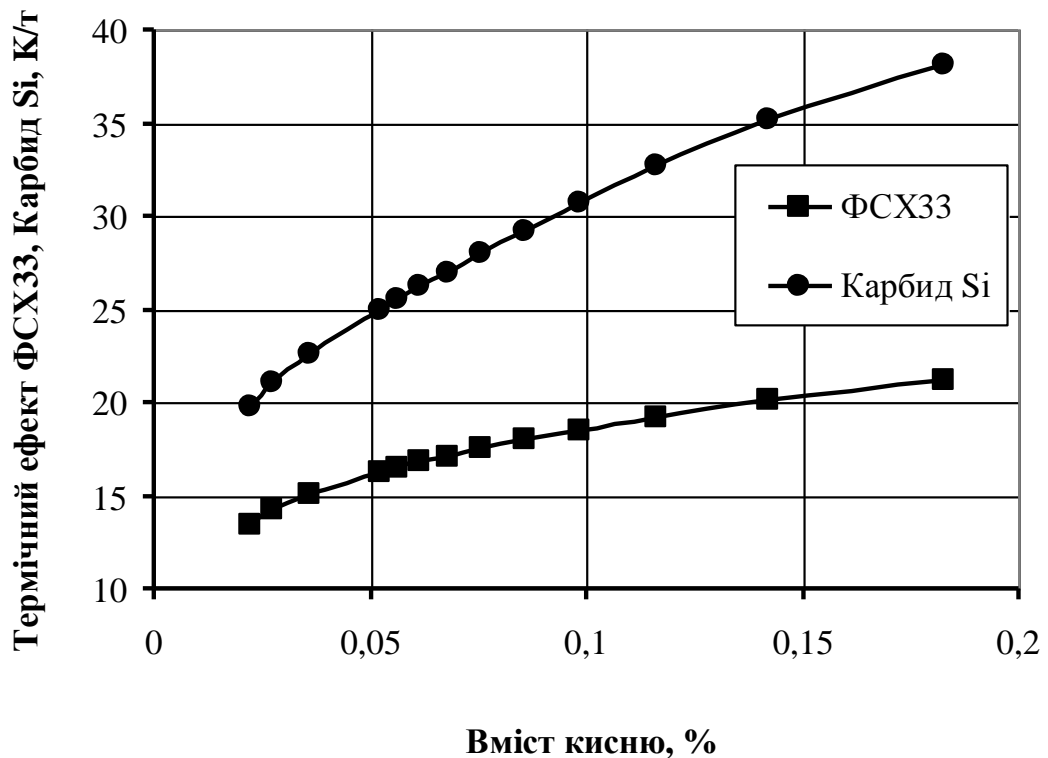


Рисунок 2.16 – Вплив вмісту кисня на термічний ефект феросилікохрому, карбид кремнію

Зниження тиску в системі «метал-шлак-газ» завжди супроводжується вакуумно вуглецевим розчиненням металу, що призводить до зниження вмісту як кисню так і вуглецю. Зниження вмісту кисня в свою чергу призводить к зниженню екзотермічних ефектів при його взаємодії з кремнієм, який міститься в складі карбид кремнію і феросилікохрому. Таким чином ΔT карбид кремнію знижується з 37К/т до 20К/т, а ΔT феросилікохрому з 22К/т до 13К/т.

Відносно більш різке зниження ΔT карбид кремнію в порівнянні з феросилікохромом пояснюється високим вмістом у його складі кремнію. Крім цього в складі карбид кремнію присутній вуглець, який також знижує термічний ефект при зниженні тиску

2.4.3.2. Сталь 4пс

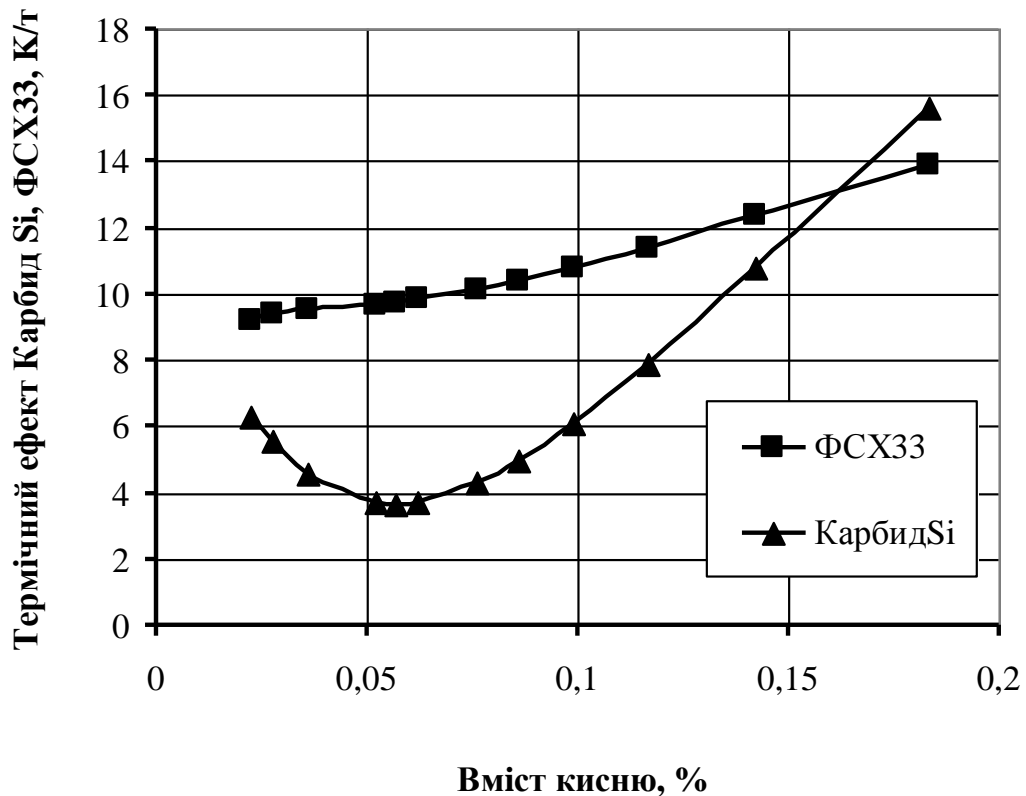


Рисунок 2.17 – Вплив вмісту кисню на термічний ефект феросилікохрому, карбид кремнію

Зниження тиску в системі «метал-шлак-газ» завжди супроводжується вакуумно вуглецевим розчиненням металу, що призводить до зниження вмісту як кисню так і вуглецю. Зниження вмісту кисню в свою чергу призводить к зниженню екзотермічних ефектів при його взаємодії з кремнієм, який міститься в складі карбид кремнію і феросилікохрому. Таким чином ΔT карбид кремнію знижується з 15К/т до 7К/т, а ΔT феросилікохрому з 14К/т до 9К/т.

Відносно більш різке зниження ΔT карбид кремнію в порівнянні з феросилікохромом пояснюється високим вмістом у його складі кремнію. Крім цього в складі карбид кремнію присутній вуглець, який також знижує термічний ефект при зниженні тиску

2.4.3.3. Сталь 08пс

Дослідження впливу ефективного тиску не виявило помітного впливу на термічний ефект, тому дана залежність графічно не відображалася.

2.4.3.4. Сталь 3пссв

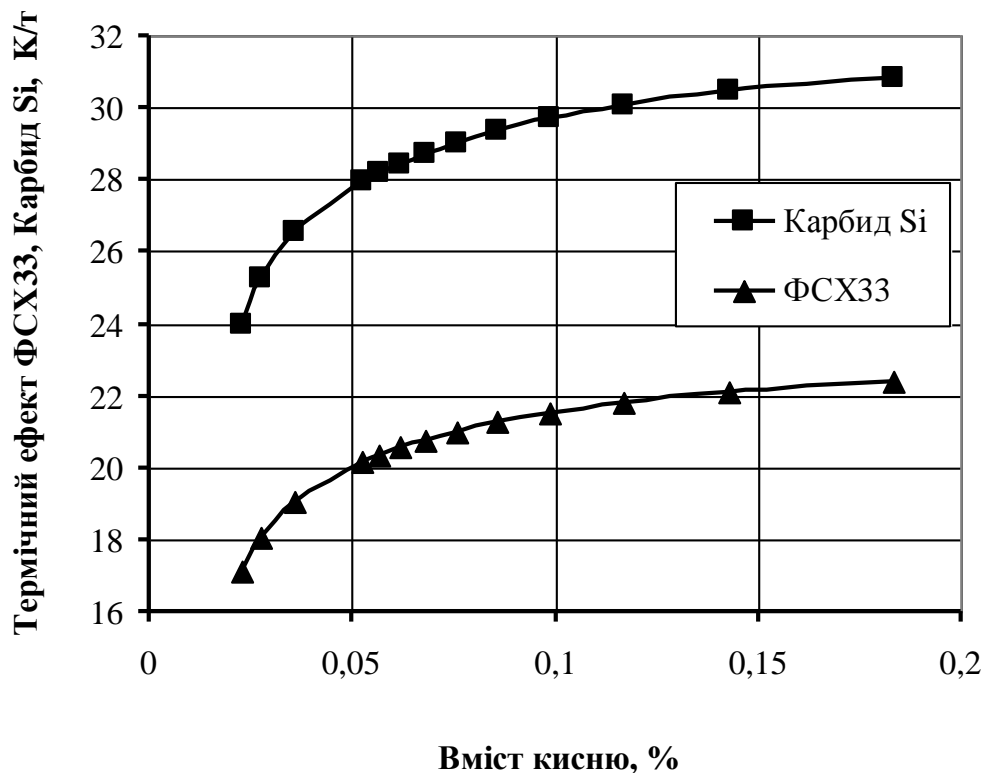


Рисунок 2.18 – Вплив вмісту кисню на термічний ефект феросилікохрому, карбид кремнію

Зниження тиску в системі «метал-шлак-газ» завжди супроводжується вакуумно вуглецевим розчиненням металу, що призводить до зниження вмісту як кисню так і вуглецю. Зниження вмісту кисню в свою чергу призводить к зниженню

екзотермічних ефектів при його взаємодії з кремнієм, який міститься в складі карбид кремнію і феросилікохрому. Таким чином ΔT карбид кремнію знижується з 31К/т до 24К/т, а ΔT феросилікохрому з 23К/т до 17К/т.

Відносно більш різке зниження ΔT карбид кремнію в порівнянні з феросилікохромом пояснюється високим вмістом у його складі кремнію. Крім цього в складі карбид кремнію присутній вуглець, який також знижує термічний ефект при зниженні тиску

2.4.3.5. Сталь 09Г2св

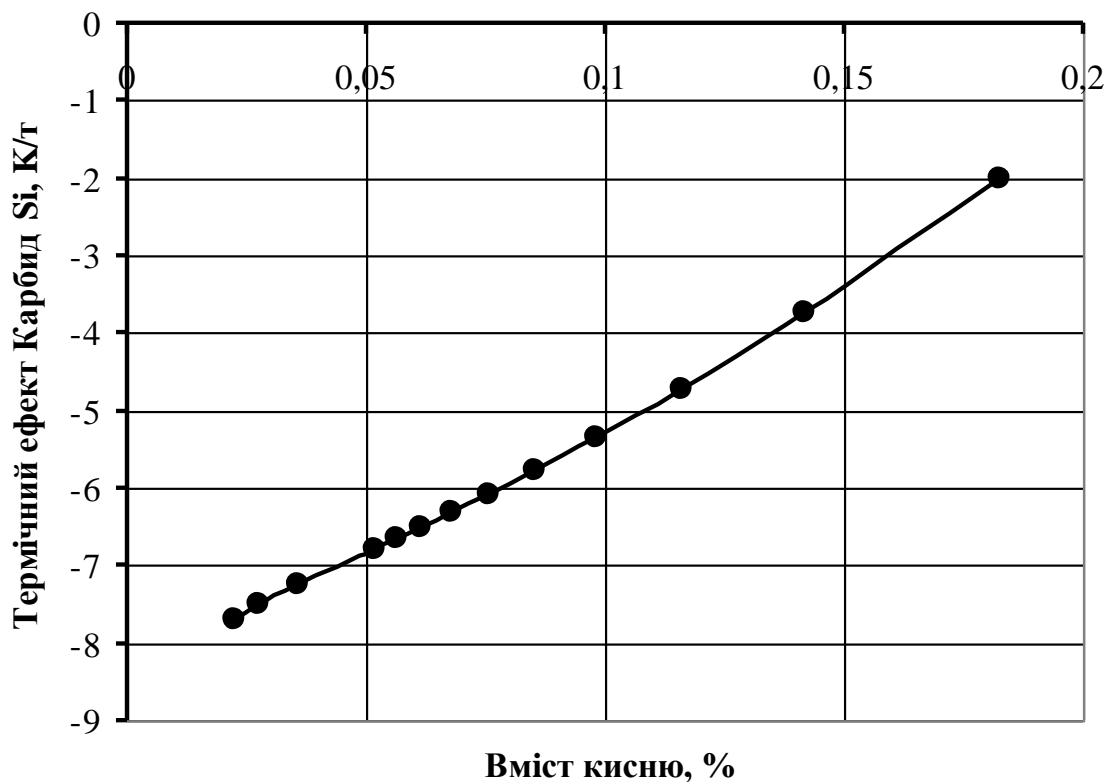


Рисунок 2.19 – Вплив вмісту кисня на термічний ефект карбид кремнію

Зниження вмісту кисню в системі «метал-шлак-газ» завжди супроводжується вакуумно вуглецевим розчиненням металу, що призводить до зниження вмісту як кисню так і вуглецю. Зниження вмісту кисню в свою чергу призводить к зниженю екзотермічних ефектів при його взаємодії з кремнієм, який міститься в складі карбид кремнію. Таким чином ΔT карбид кремнію знижується з -2К/т до -7:-6К/т.

2.4.3.6. Сталь 25ХГСА

Дослідження впливу вміста кисню не виявило помітного впливу на термічний ефект, тому дана залежність графічно не відображалася.

2.4.6. Дослідження впливу відношення маси шлаку до маси металу на термічні ефекти феросплавів

2.4.4.1. Сталь 15кп

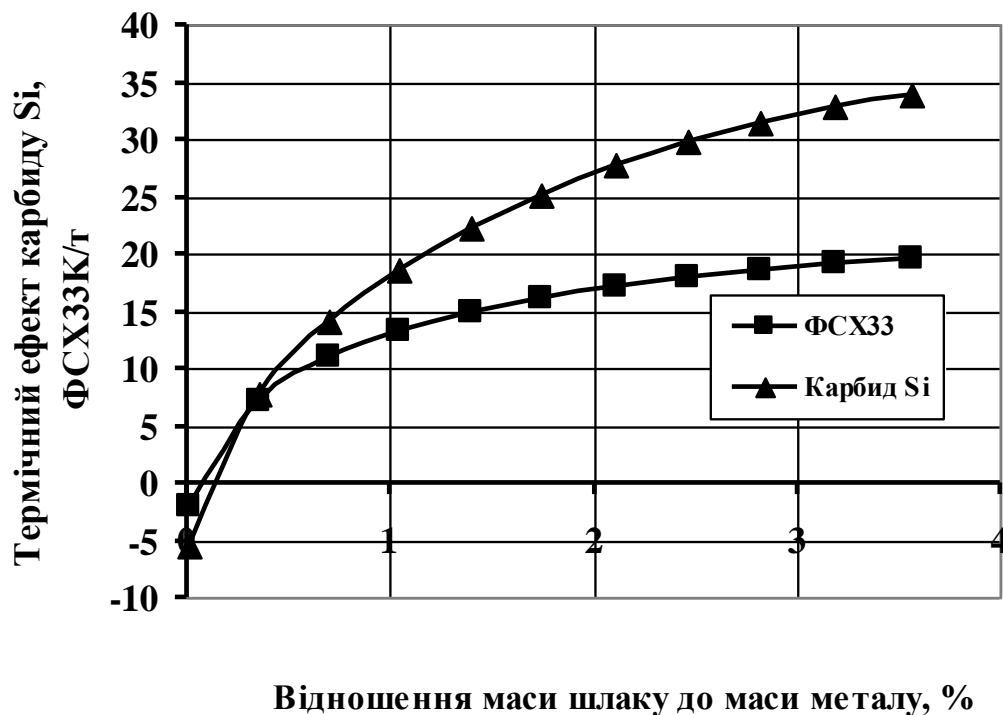


Рисунок 2.20 – Вплив відношення маси шлаку до маси металу на термічний ефект феросилікохрому, карбид кремнію

Вплив відношення маси шлаку до маси металу на термічний ефект феросилікохрому та карбид кремнію обумовлений дією двох протилежних факторів.

1. Взаємодія кремнію з киснем, розчиненим в металі, з подальшим утворенням оксиду (SiO), що переходить до шлаку. Цей процес є екзотермічним.
2. Реакція утворення газової фази (в основному CO) при взаємодії вуглецю у складі карбід кремнію з киснем, розчиненим в металі. Цей процес є ендотермічним.

В результаті збільшення маси шлаку збільшується екзотермічний ефект взаємодії кремнію с киснем (FeO) шлаку.

2.4.4.2. Сталь 4пс

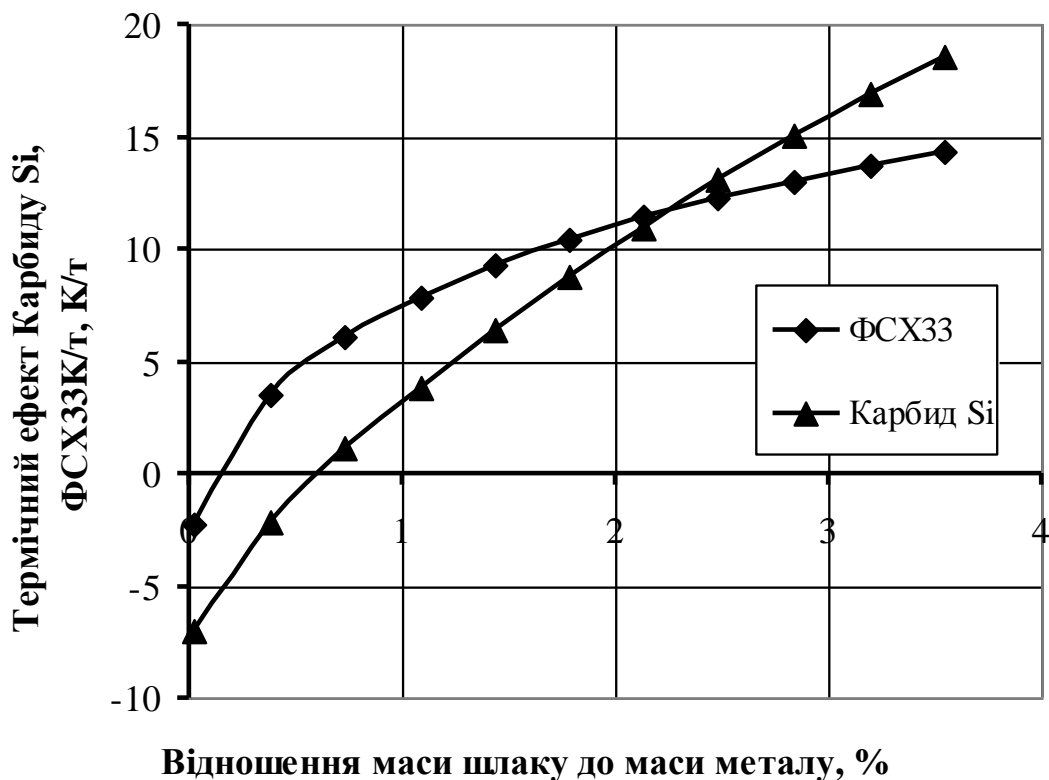


Рисунок 2.21 – Вплив відношення маси шлаку до маси металу на термічний ефект ефект феросилікохрому, карбид кремнію

Вплив відношення маси шлаку до маси металу на термічний ефект феросилікохрому та карбид кремнію обумовлений дією двох протилежних факторів.

1. Взаємодія кремнію з киснем, розчиненим в металі, з подальшим утворенням оксиду (SiO), що переходить до шлаку. Цей процес є екзотермічним.

2. Реакція утворення газової фази (в основному CO) при взаємодії вуглецю у складі карбид кремнію з киснем, розчиненим в металі. Цей процес є ендотермічним.

В результаті збільшення маси шлаку збільшується екзотермічний ефект взаємодії кремнію с киснем (FeO) шлаку.

2.4.4.3. Сталь 08пс

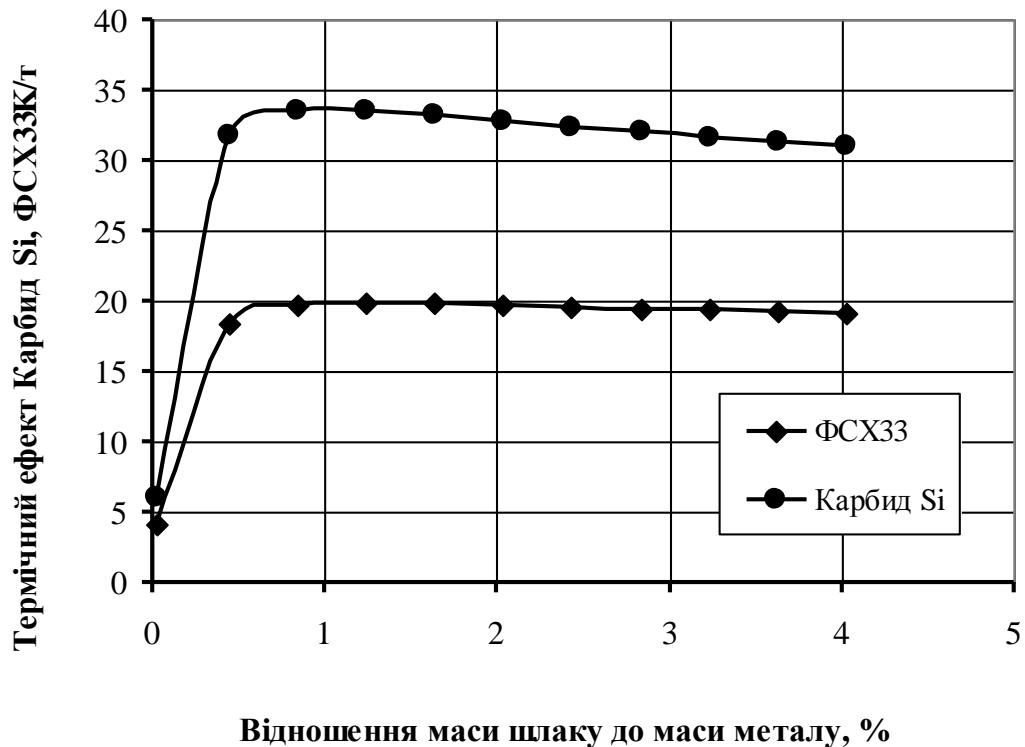


Рисунок 2.22 – Вплив відношення маси шлаку до маси металу на термічний ефект феросилікохрому, карбид кремнію

2.4.4.4. Сталь 3псв

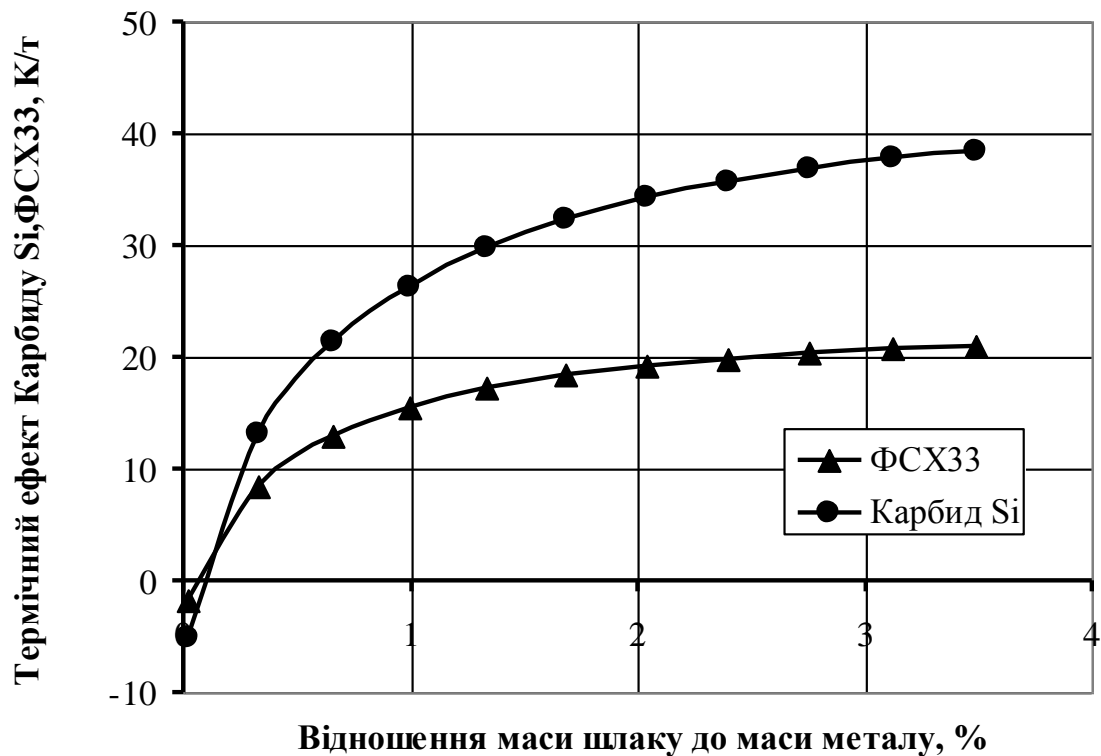


Рисунок 2.23 – Вплив відношення маси шлаку до маси металу на термічний ефект феросилікохрому, карбид кремнію

Вплив відношення маси шлаку до маси металу на термічний ефект феросилікохрому та карбид кремнію обумовлений дією двох протилежних факторів.

1. Взаємодія кремнію з киснем, розчиненим в металі, з подальшим утворенням оксиду (SiO), що переходить до шлаку. Цей процес є екзотермічним.
2. Реакція утворення газової фази (в основному CO) при взаємодії вуглецю у складі карбиду кремнію з киснем, розчиненим в металі. Цей процес є ендотермічним.

В результаті збільшення маси шлаку збільшується екзотермічний ефект взаємодії кремнію с киснем (FeO) шлаку.

2.4.4.5. Сталь 09Г2св

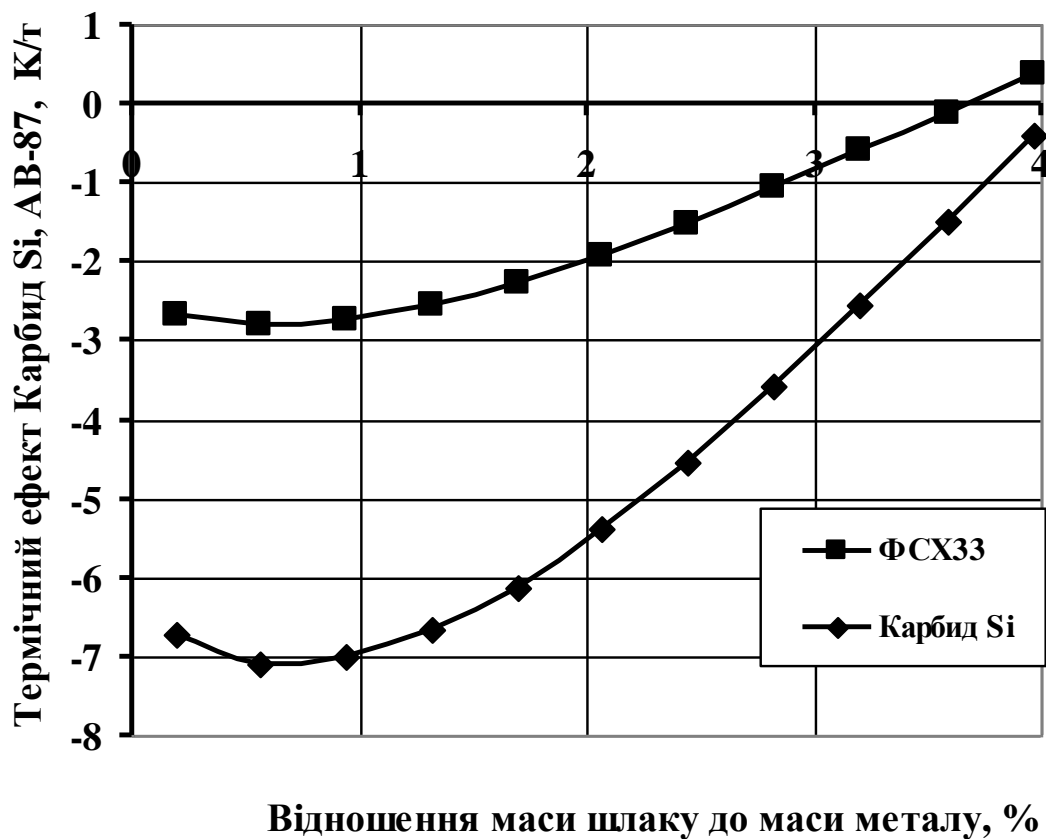


Рисунок 2.24 – Вплив відношення маси шлаку до маси металу на термічний ефект феросилікохрому, карбид кремнію

Вплив відношення маси шлаку до маси металу на термічний ефект феросилікохрому та карбид кремнію обумовлений дією двох протилежних факторів.

1. Взаємодія кремнію з киснем, розчиненим в металі, з подальшим утворенням оксиду (SiO), що переходить до шлаку. Цей процес є екзотермічним.

2. Реакція утворення газової фази (в основному CO) при взаємодії вуглецю у складі карбід кремнію з киснем, розчиненим в металі. Цей процес є ендотермічним.

В результаті збільшення маси шлаку збільшується екзотермічний ефект взаємодії кремнію с киснем (FeO) шлаку.

2.4.4.6. Сталь 25ХГСА

Дослідження впливу відношення маси шлаку до маси металу не виявило помітного впливу на термічний ефект, тому дана залежність графічно не відображалася.

2.4.5. Дослідження впливу частки внесених феросплавів на термічні ефекти

2.4.5.1. Термічний ефект феромарганцю

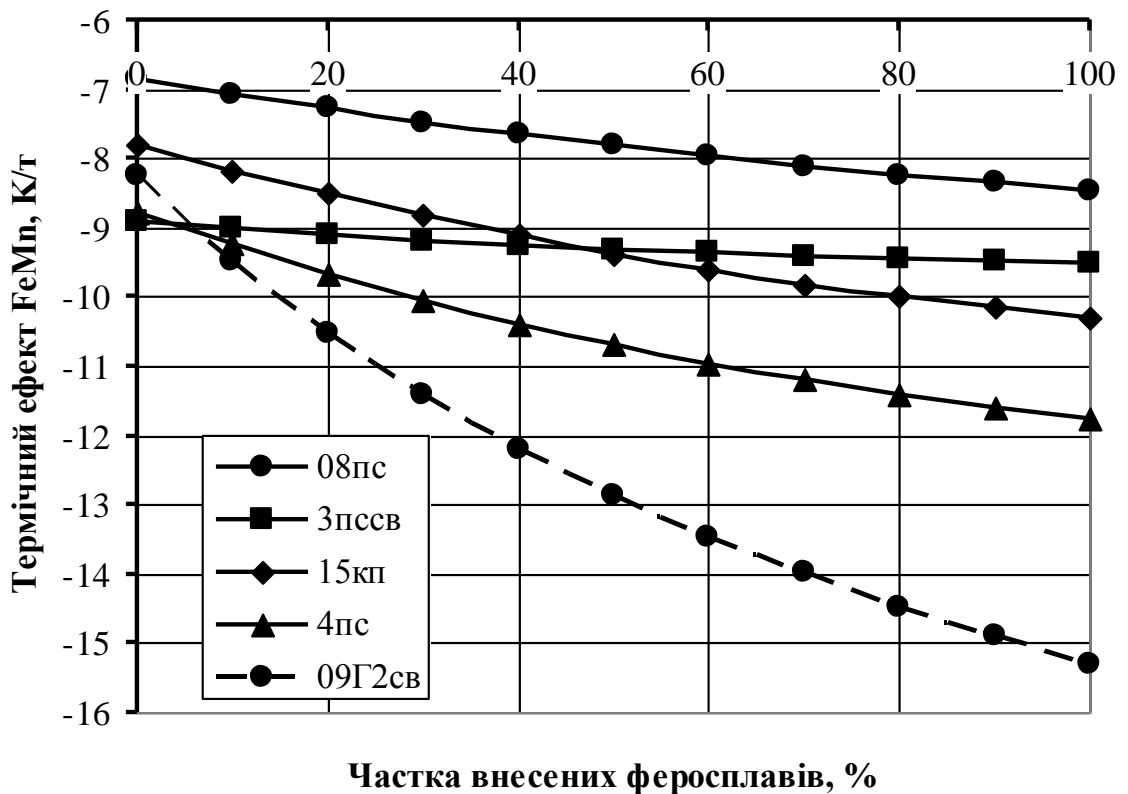


Рисунок 2.25 – Вплив частки внесених феросплавів на термічний ефект феромарганцю

Дослідження термічного ефекту феромарганцю при розкисленні–легуванні сталей показало зниження величини ΔT при збільшенні долі внесених феросплавів, найбільш помітний ефект зниження ΔT виявився для сталі 09Г2св, далі в порядку відносного зростання йдуть сталі 08пс, 4пс, 15кп. Найбільше

схильна зниженню термічного ефекту сталь 08пс, яка має найбільшу окисленість в порівнянні з перерахованими сталями, як до розкислення-легування так і після. В усіх випадках зниження термічного ефекту пояснюється зменшенням вмісту кисню в металі і одночасним зменшенням вмісту FeO в шлаку, що приведе к зниженню екзотермічного ефекту при розкисненні феромарганцю.

Відмінність термічного ефекту феромарганцю розкислення різноманітних сталей в точці нульової кількості феросплавів пояснюється різним складом полупродукту метала перед випуском з печі.

2.4.5.2. Термічний ефект силікомарганцю

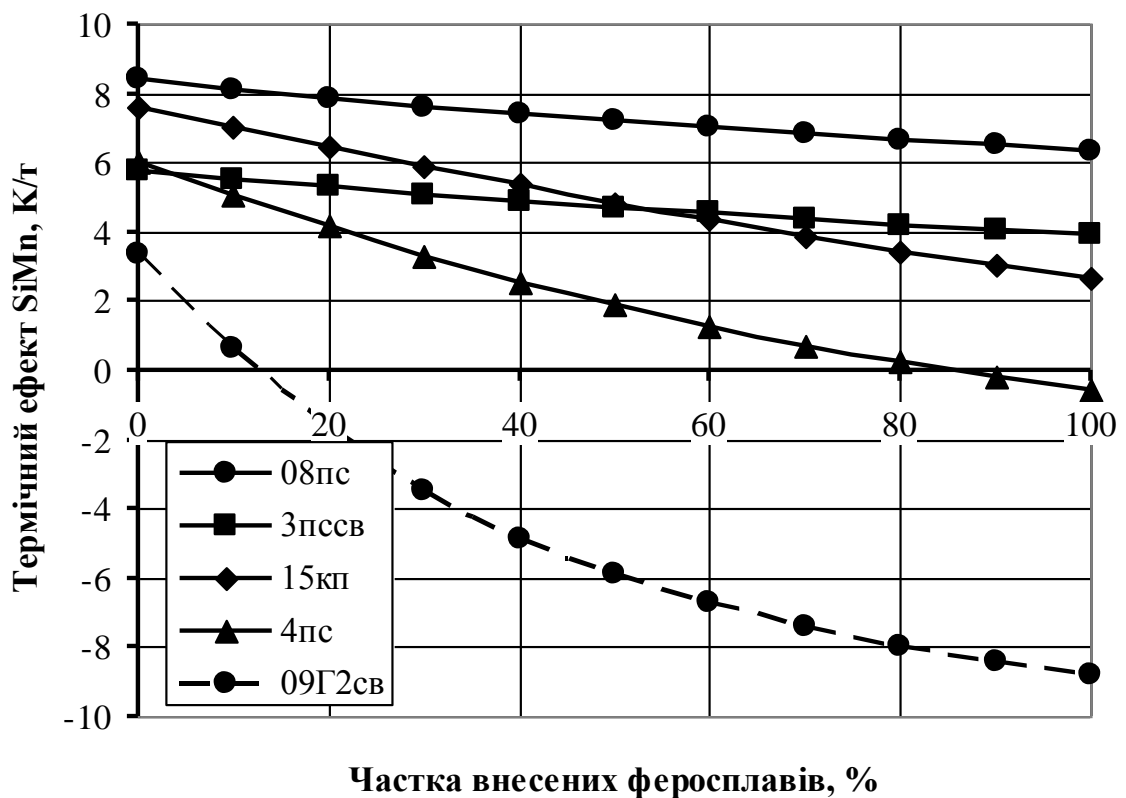


Рисунок 2.26 – Вплив частки внесених феросплавів на термічний ефект силікомарганцю

Дослідження термічного ефекту силікомарганцю при розкисненні–легуванні сталей показало зниження величини ΔT при збільшенні долі внесених

феросплавів, найбільше помітен ефект зниження ΔT виявився для сталі 09Г2св, далі в порядку відносного зростання йдуть сталі 08пс, 4пс, 15кп. Найбільше піддається зниженню термічного ефекту сталь 08пс яка має найбільшу окисленість в порівнянні з перерахованими сталями, як до розкислення-легування так і після. В усіх випадках зниження термічного ефекту пояснюється зменшенням вмісту кисня в металі і одночасним зменшенням вмісту FeO в шлаку, що приводе к зниженню екзотермічного ефекту при розкисленні силікомарганцю.

Відмінність термічного ефекту силікомарганцю розкислення різноманітних сталей в точці нульової кількості феросплавів пояснюється різним складом полупродукту метала перед випуском з печі.

2.4.5.3. Термічний ефект феросиліцію

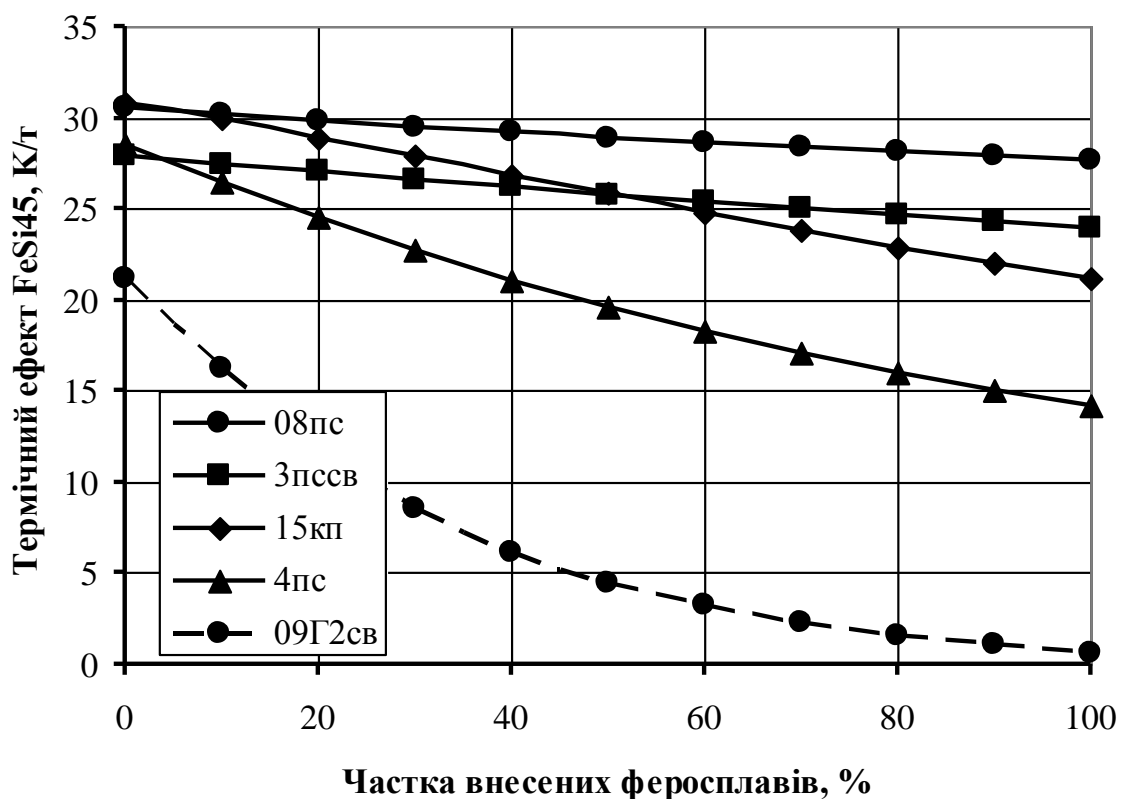


Рисунок 2.27 – Вплив частки внесених феросплавів на термічний ефект феросиліцію

Дослідження термічного ефекту феросиліцію при розкисленні–легуванні сталей показало зниження величини ΔT при збільшенні долі внесених феросплавів, найбільше помітен ефект зниження ΔT виявився для сталі 09Г2св, далі в порядку відносного зростання йдуть сталі 08пс, 4пс, 15кп. Найбільше піддається зниженню термічного ефекту сталь 08пс яка має найбільшу окисленність в порівнянні з перерахованими сталями, як до розкислення-легування так і після. В усіх випадках зниження термічного ефекту пояснюється зменшенням вмісту кисня в металі і одночасним зменшенням вмісту FeO в шлаку, що приводе к зниженню екзотермічного ефекту при розкисленні феросиліцію.

Відмінність термічного ефекту феросиліцію розкислення різноманітних сталей в точці нульової кількості феросплавів пояснюється різним складом полупродукту метала перед випуском з печі.

2.4.5.4. Термічний ефект вторинного алюмінію

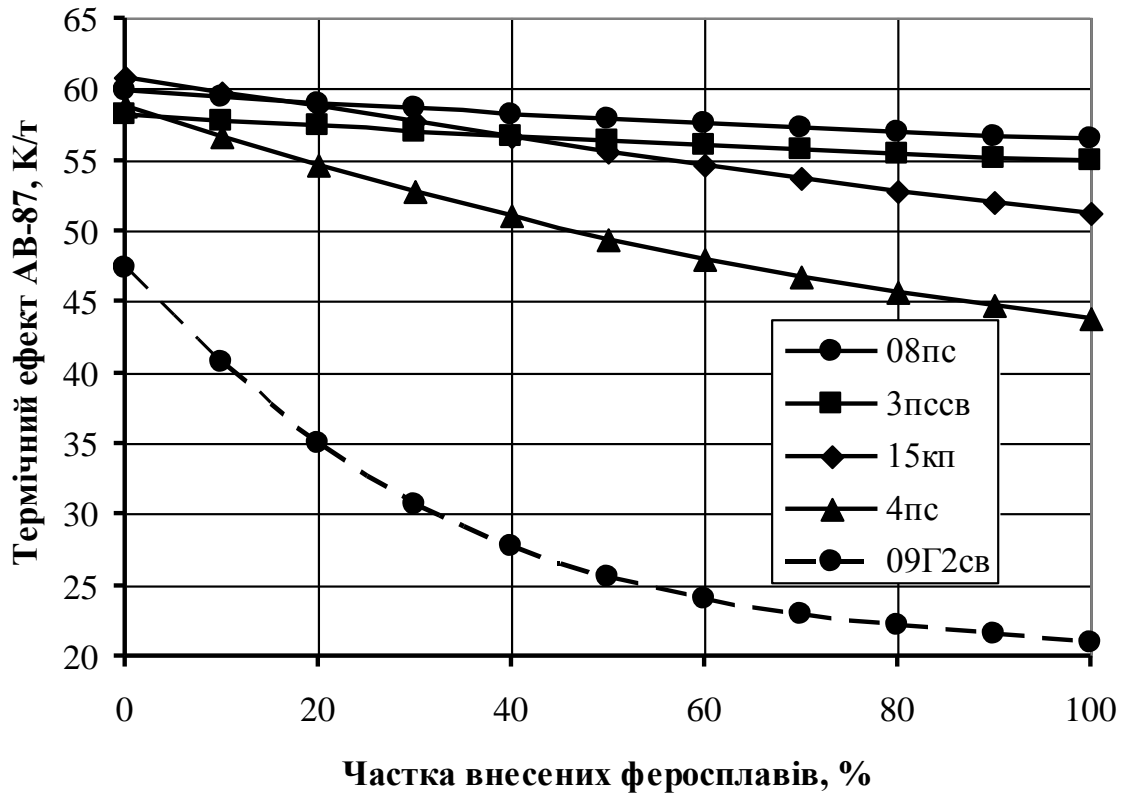


Рисунок 2.28– Вплив частки внесених феросплавів на термічний ефект вторинного алюмінію

Дослідження термічного ефекту вторинного алюмінію при розкисненні–легуванні сталей показало зниження величини ΔT при збільшенні долі внесених феросплавів, найбільше помітен ефект зниження ΔT виявився для сталі 09Г2св, далі в порядку відносного зростання йдуть сталі 08пс, 4пс, 15кп. Найбільше піддається зниженню термічного ефекту сталь 08пс яка має найбільшу окисленість в порівнянні з перерахованими сталями, як до розкиснення–легування так і після. В усіх випадках зниження термічного ефекту пояснюється зменшенням вмісту кисня в металі і одночасним зменшенням вмісту FeO в шлаку, що приводе к зниженню екзотермічного ефекту при розкисненні вторинного алюмінію.

Відмінність термічного ефекту вторинного алюмінію розкиснення різноманітних сталей в точці нульової кількості феросплавів пояснюється різним складом полупродуку метала перед випуском з печі.

2.4.5.5. Термічний ефект коксику

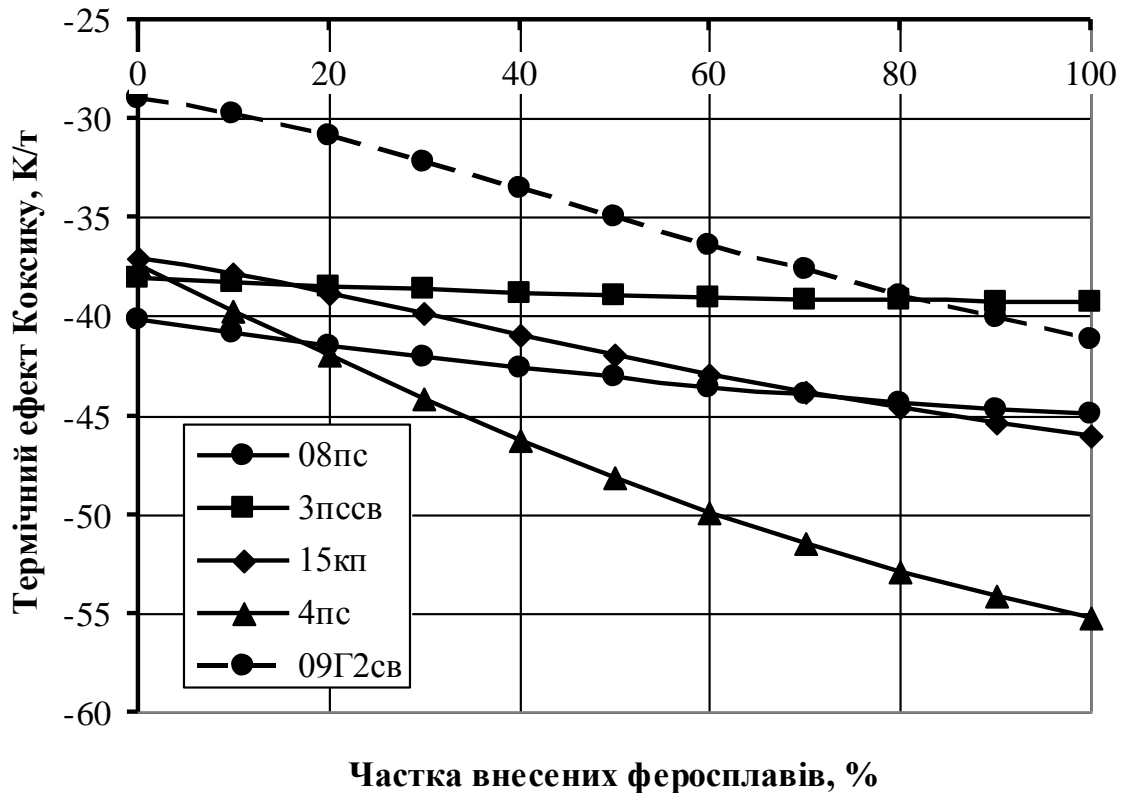


Рисунок 2.29– Вплив частки внесених феросплавів на термічний ефект коксику

Дослідження впливу частки внесених феросплавів на термічний ефект коксику показує зниження цього показника для усіх досліджуваних марок сталі.

Найбільш інтенсивне зниження термічного ефекту виявилось для сталі 4пс та 09Г2св. Для сталі 3пссв зниження термічного ефекту являється малозначним.

Порівняння термічного ефекту феромарганцю, силікомарганцю, феросиліцію, вторинного алюмінію та коксику, від частки внесених феросплавів показує, що по абсолютній величині термічних ефектів феросплави шикуються в наступний несхідний ряд:

- вторинного алюмінію (максимальний термічний ефект до 60 К/т);
- феросиліцію;
- силікомарганцю;

- феромарганцю;
- Коксику (мінімальний термічний ефект -55 K/т).

2.4.6. Дослідження впливу відношення маси шлаку до маси металу на термічний ефект феросплавів

2.4.6.1. Термічний ефект феромарганцю

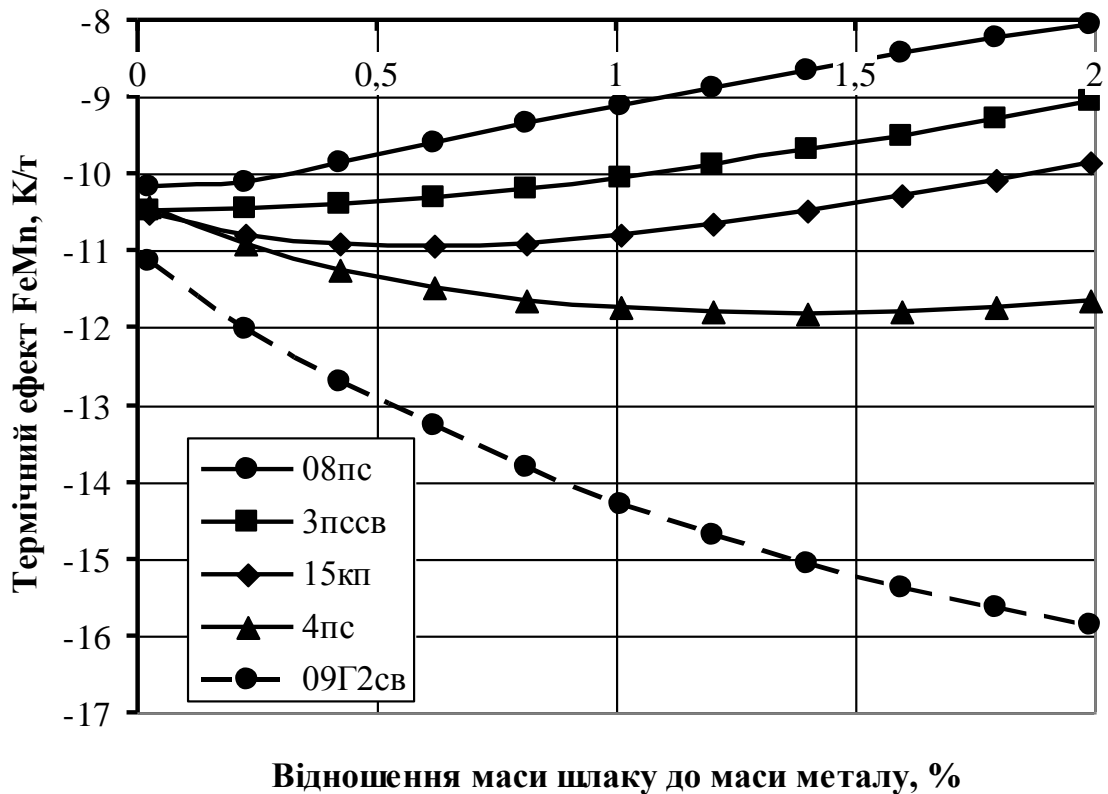


Рисунок 2.30 – Вплив відношення маси шлаку до маси металу на термічний ефект феромарганцю

Вплив відношення маси шлаку до маси металу на термічний ефект феромарганцю обумовлений дією двох протилежних факторів.

1. Взаємодія марганцю з киснем, розчиненим в металі, з подальшим утворенням оксиду (MnO), що переходить до шлаку. Цей процес є екзотермічним.
2. Реакція утворення газової фази (в основному CO) при взаємодії вуглецю у складі феромарганцю з киснем, розчиненим в металі. Цей процес є ендотермічним.

В результаті збільшення маси шлаку збільшується екзотермічний ефект взаємодії марганцю з киснем (FeO) шлаку, що спостерігається при розкисненні-легуванні сталей 08пс, 3пссв, 15кп. При розкисненні сталі 09Г2св спостерігається протилежний ефект, що супроводжується зниженням термічного ефекту феромарганцю. Це пояснюється зниженням вмісту (FeO) в шлаку при

використанні значних кількостей таких феросплавів, як феросиліцій та феросілікомарганець.

2.4.6.2. Термічний ефект силікомарганцю

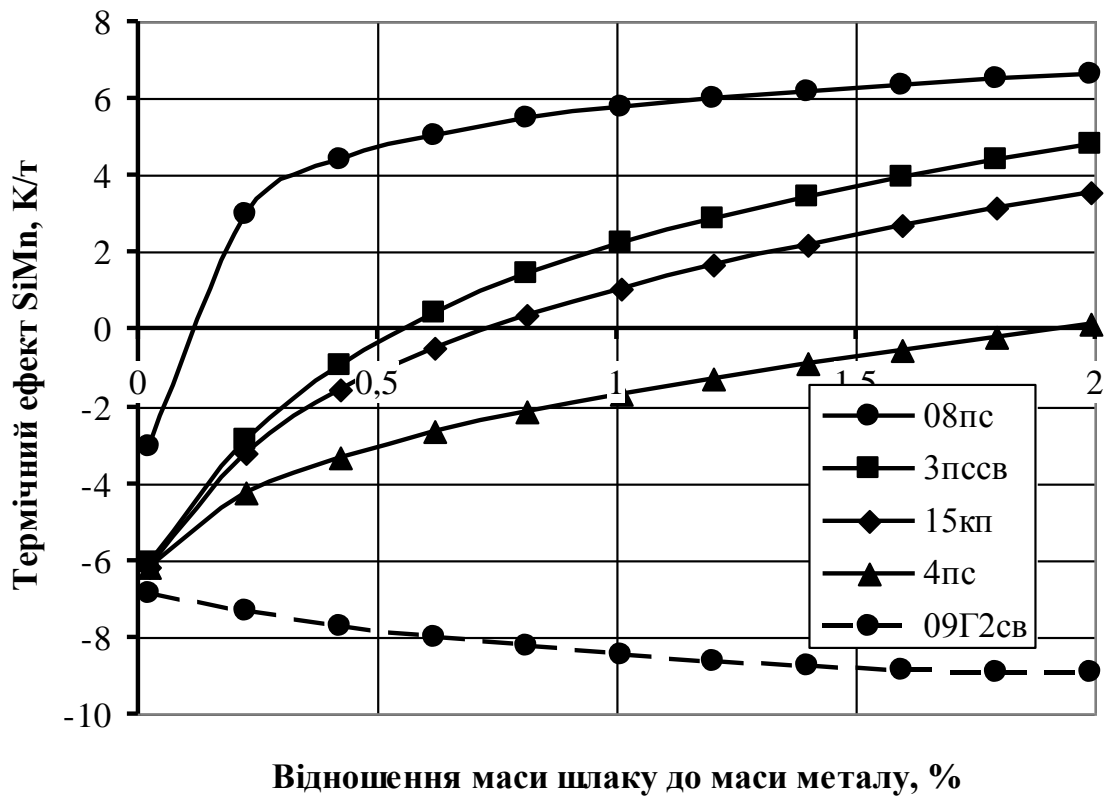


Рисунок 2.31 – Вплив відношення маси шлаку до маси металу на термічний ефект силікомарганцю

В результаті збільшення маси шлаку збільшується екзотермічний ефект взаємодії марганцю з киснем (FeO) шлаку, що спостерігається при розкисненні-легуванні сталей 08пс, 3пссв, 15кп. При розкисненні сталі 09Г2св спостерігається протилежний ефект, що супроводжується зниженням термічного ефекту силікомарганцю. Це пояснюється зниженням вмісту (FeO) в шлаку при використанні значних кількостей таких феросплавів, як феросиліцій та феросілікомарганець.

2.4.6.3. Термічний ефект феросиліцію

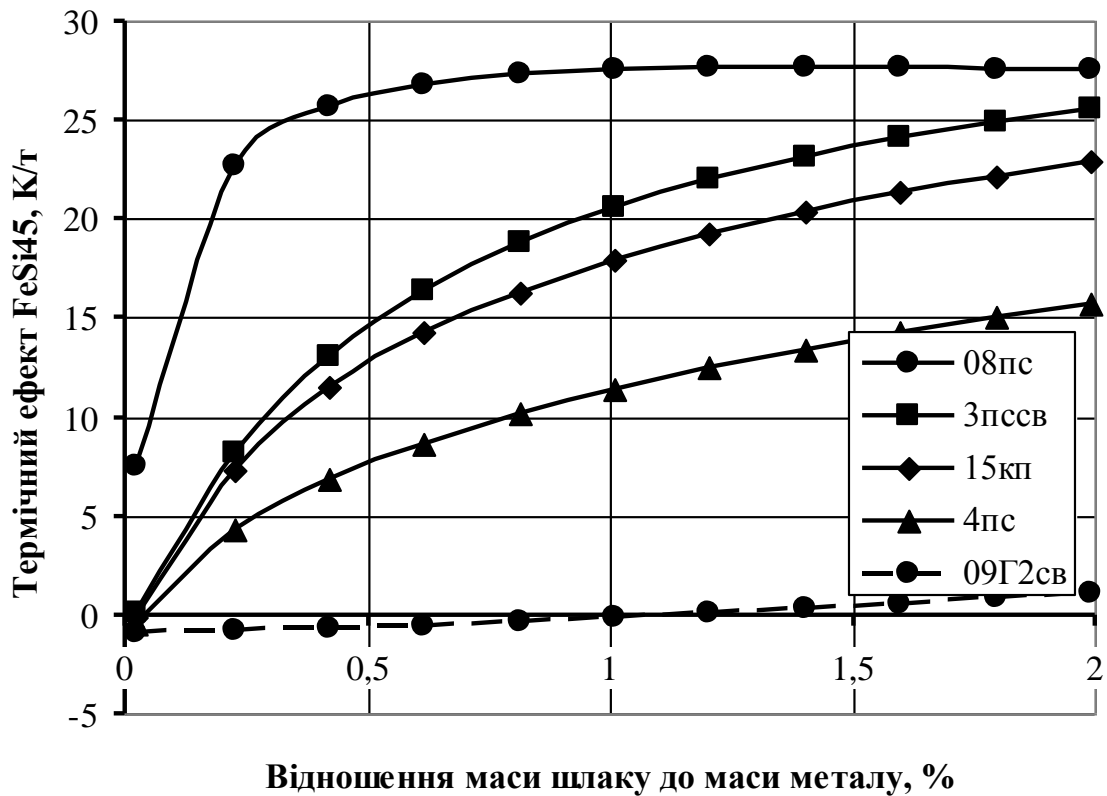


Рисунок 2.32– Вплив відношення маси шлаку до маси металу на термічний ефект феросиліцію

В результаті збільшення маси шлаку збільшується екзотермічний ефект взаємодії кремнію с киснем (FeO) шлаку, що спостерігається при розкисненні-легуванні сталей 08пс, 3пссв, 15кп. При розкисненні сталі 09Г2св спостерігається протилежний ефект, що супроводжується зниженням термічного ефекту феросиліцію. Це пояснюється зниженням вмісту (FeO) в шлаку при використанні значних кількостей таких феросплавів, як феросиліцій та феросілікомарганець.

2.4.6.4. Термічний ефект вторинного алюмінію

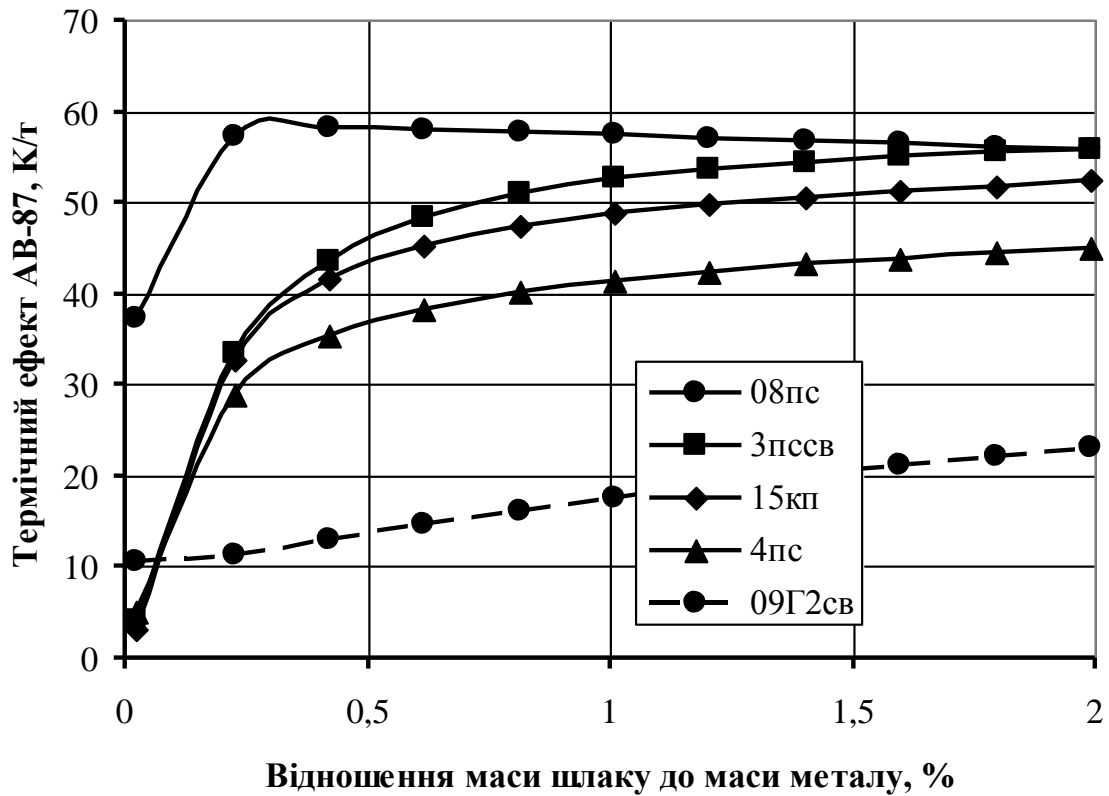


Рисунок 2.33 – Вплив відношення маси шлаку до маси металу на термічний ефект вторинного алюмінію

В результаті збільшення маси шлаку збільшується екзотермічний ефект взаємодії алюмінію з киснем (FeO) шлаку, що спостерігається при розкисненні-легуванні сталей 08пс, 3пссв, 15кп. При розкисненні сталі 09Г2св спостерігається протилежний ефект, що супроводжується зниженням термічного ефекту вторинного алюмінію. Це пояснюється зниженням вмісту (FeO) в шлаку при використанні значних кількостей таких феросплавів, як феросиліцій та феросілікомарганець.

2.4.6.5. Термічний ефект коксифікації

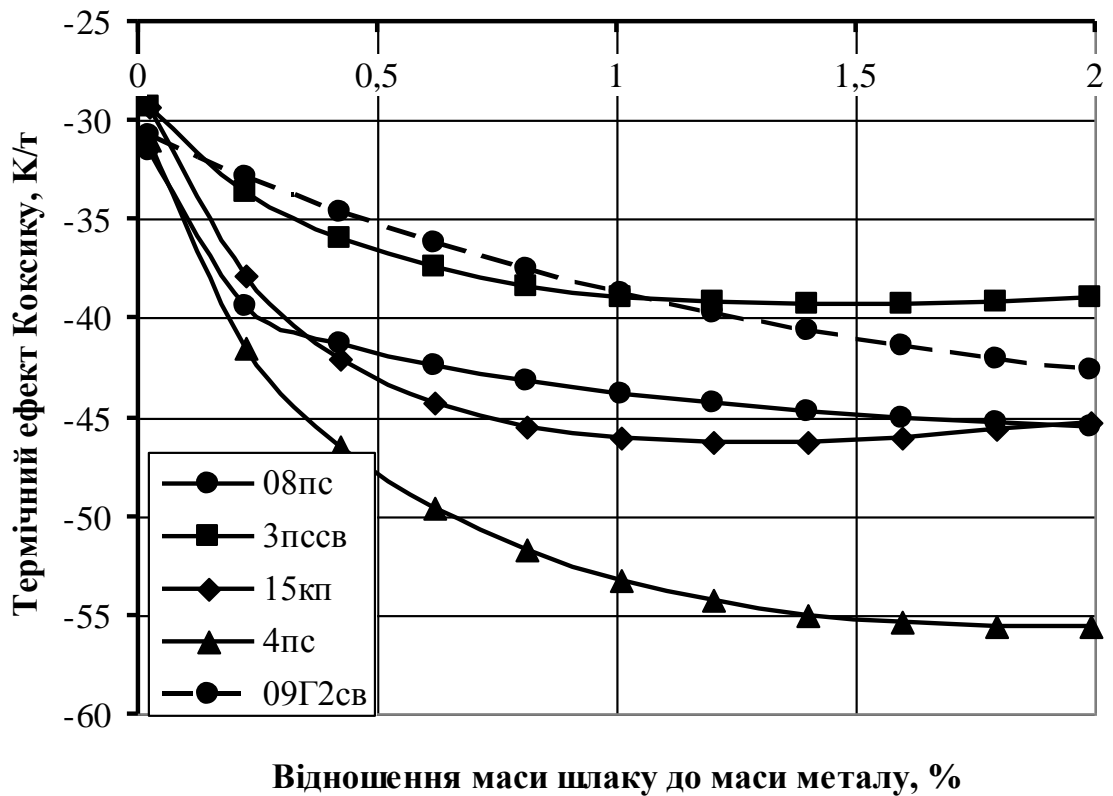


Рисунок 2.34 – Вплив відношення маси шлаку до маси металу на термічний ефект коксифікації

При збільшенні відношення маси шлаку до маси металу спостерігається інтенсивне окислення вуглецю, що міститься в металі та розкислювачах з утворенням значної кількості газової фази, яка складається в основному з CO. Це супроводжується ендотермічним ефектом якому супутствує значне зниження температури системи «метал-шлак-газ» як це бачимо на приведеному графіку.

2.4.7. Дослідження впливу вмісту кисня на термічний ефект феросплавів

2.4.7.1. Термічний ефект феромарганцю

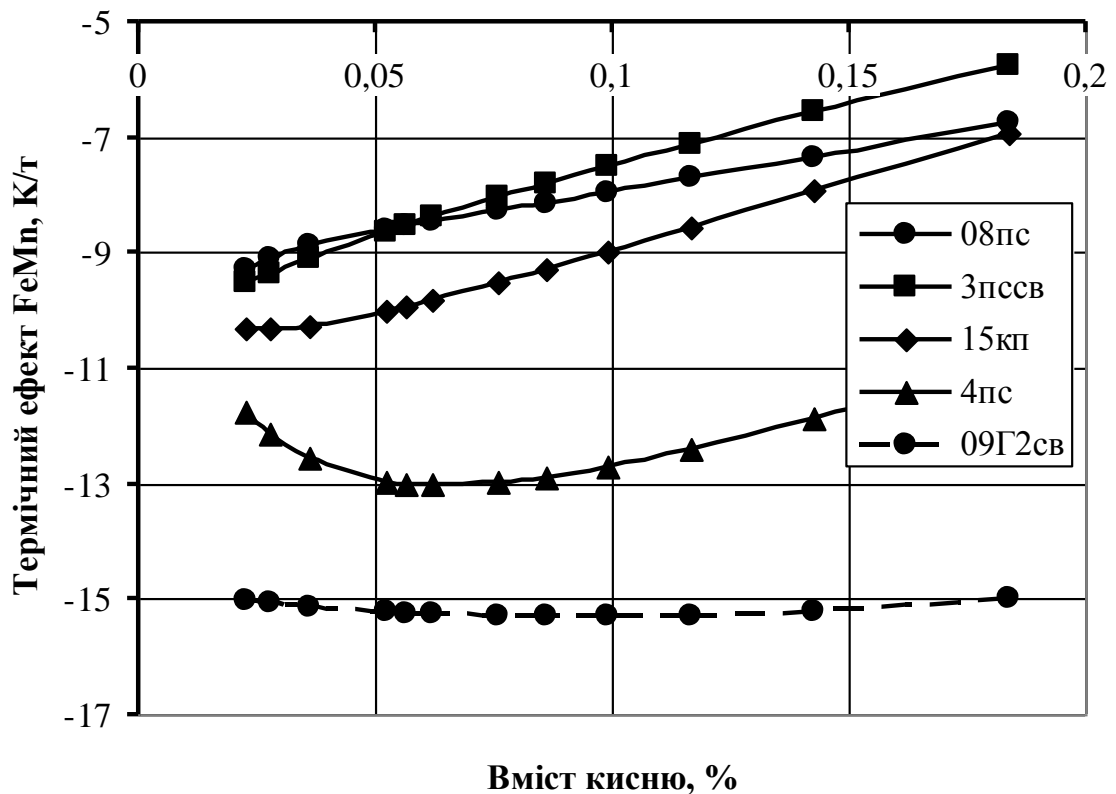


Рисунок 2.35 – Вплив вмісту кисня на термічний ефект феромарганцю

Дослідження впливу вмісту кисня в полупродукті металу перед випуском з печі на термічний ефект феромарганцю показує однозначне зростання ΔT при збільшенні вмісту кисня в сталях 08пс, 3пссв, 15кп на декілька градусів.

При виплавці сталі 09Г2св майже не спостерігається зміни термічного ефекту феромарганцю, оскільки розкислення цієї сталі настільки зменшує вміст кисню, що воно практично не залежить від його початкового складу.

Поведінка термічного ефекту феромарганцю при розкисненні сталі 4пс пояснюється значною кількістю вуглецю, який використовують в процесі розкислення.

В цілому термічний ефект при розкисленні сталей 08пс, 3пссв, 15кп, значно перевищує термічний ефект сталі 09Г2св, що пояснюється підвищеним кінцевим вмістом кисню в киплячій та напівспокійній сталі.

2.4.7.2. Термічний ефект силікомарганцю

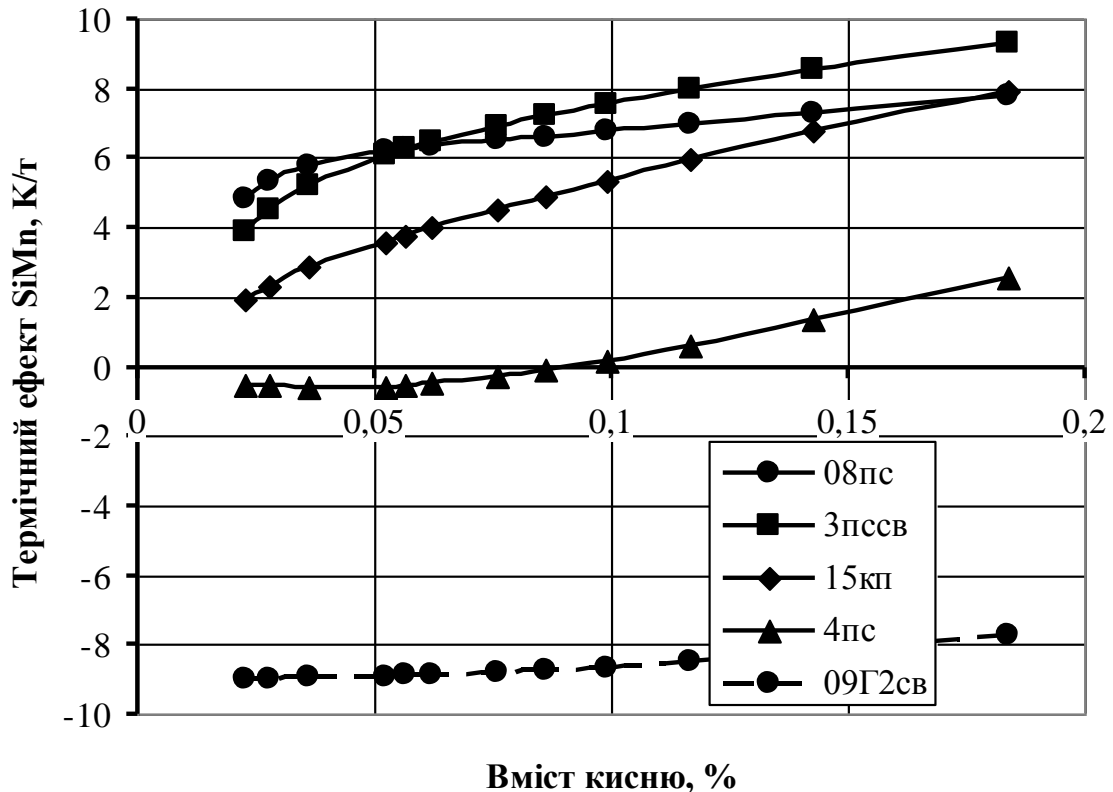


Рисунок 2.36 – Вплив вмісту кисню на термічний ефект силікомарганцю

Дослідження впливу вмісту кисня в полупродукті металу перед випуском з печі на термічний ефект силікомарганцю показує однозначне зростання ΔT при збільшенні вмісту кисню в сталях 08пс, 3пссв, 15кп на декілька градусів.

При виплавці сталі 09Г2св майже не спостерігається змінні термічного ефекту силікомарганцю так як розкислення цієї сталі настільки зменшує вміст кисню, що воно практично не залежить від його початкового складу.

Поведінка термічного ефекту силікомарганцю при розкисленні сталі 4пс пояснюється значною кількістю вуглецю, який використовують в процесі розкислення.

В цілому термічний ефект при розкисленні сталей 08пс, 3псв, 15кп, значно перевищує термічний ефект сталі 09Г2св, що пояснюється підвищеним кінцевим вмістом кисню в киплячій та полу-сповійній сталі.

2.4.7.3. Термічний ефект феросиліцію

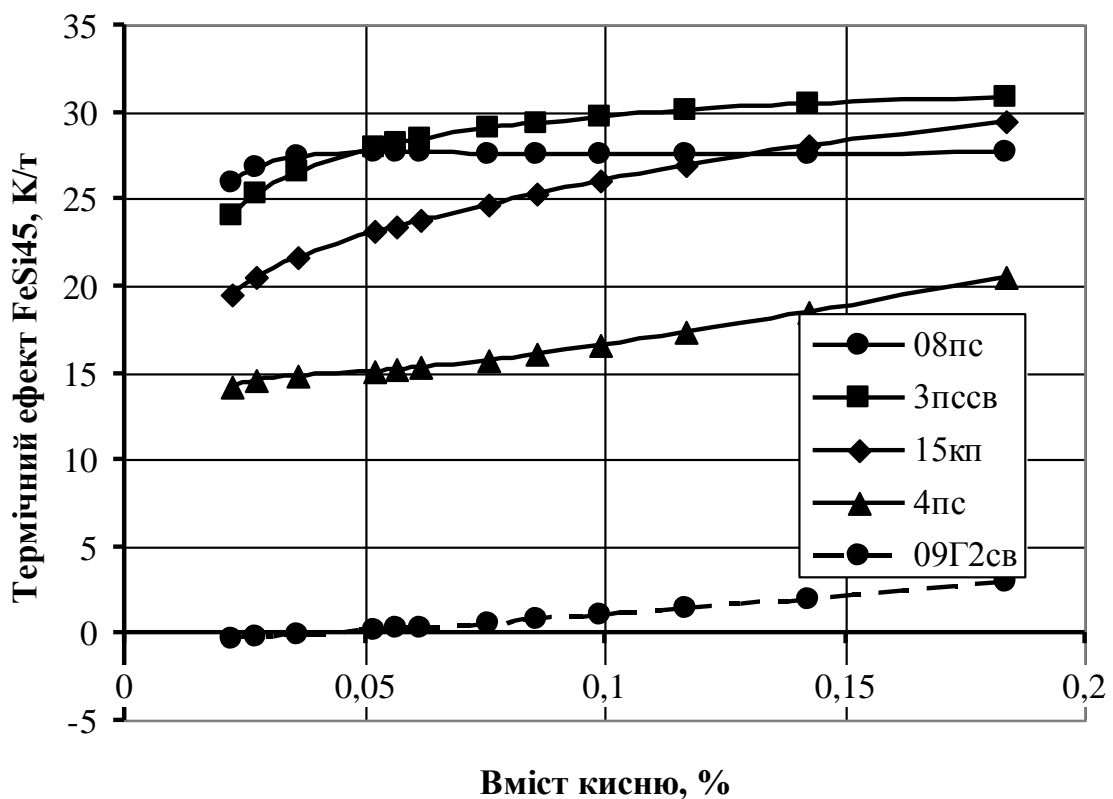


Рисунок 2.37 – Вплив вмісту кисню на термічний ефект феросиліцію

Дослідження впливу вмісту кисню в полупродукті металу перед випуском з печі на термічний ефект феросиліцію показує однозначне зростання ΔT при збільшенні вмісту кисню в сталях 08пс, 3псв, 15кп на декілька градусів.

При виплавці сталі 09Г2св майже не спостерігається змінні термічного ефекту феросиліцію так як розкислення цієї сталі настільки зменшує вміст кисню, що воно практично не залежить від його початкового складу.

Поведінка термічного ефекту феросиліцію при розкисненні сталі 4пс пояснюється значною кількістю вуглецю, який використовують в процесі розкислення.

В цілому термічний ефект при розкисненні сталей 08пс, 3пссв, 15кп, значно перевищує термічний ефект сталі 09Г2св, що пояснюється підвищеним кінцевим вмістом кисню в киплячій та полу-сповійній сталі.

2.4.7.4. Термічний ефект вторинного алюмінію

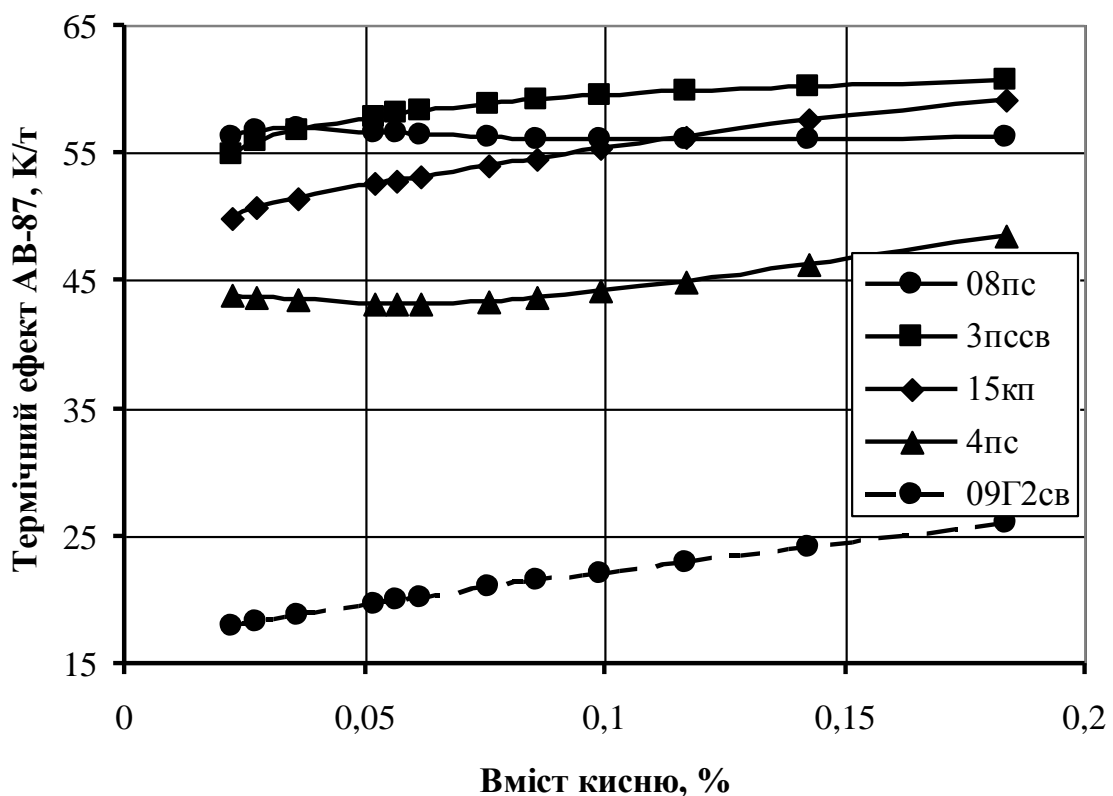


Рисунок 2.38 – Вплив вмісту кисню на термічний ефект вторинного алюмінію

Дослідження впливу вмісту кисню в полупродукті металу перед випуском з печі на термічний ефект вторинного алюмінію показує однозначне зростання

ΔT при збільшенні вмісту кисня в сталях 08пс, 3пссв, 15кп на декілька градусів.

При виплавці сталі 09Г2св майже не спостерігається змінні термічного ефекту вторинного алюмінію так як розкислення цієї сталі настільки зменшує вміст кисню, що воно практично не залежить від його початкового складу.

Поведінка термічного ефекту вторинного алюмінію при розкисненні сталі 4пс пояснюється значною кількістю вуглецю, який використовують в процесі розкислення.

В цілому термічний ефект при розкисненні сталей 08пс, 3пссв, 15кп, значно перевищує термічний ефект сталі 09Г2св, що пояснюється підвищеним кінцевим вмістом кисню в киплячій та полу-сповійній сталі.

2.4.7.5. Термічний ефект коксиду

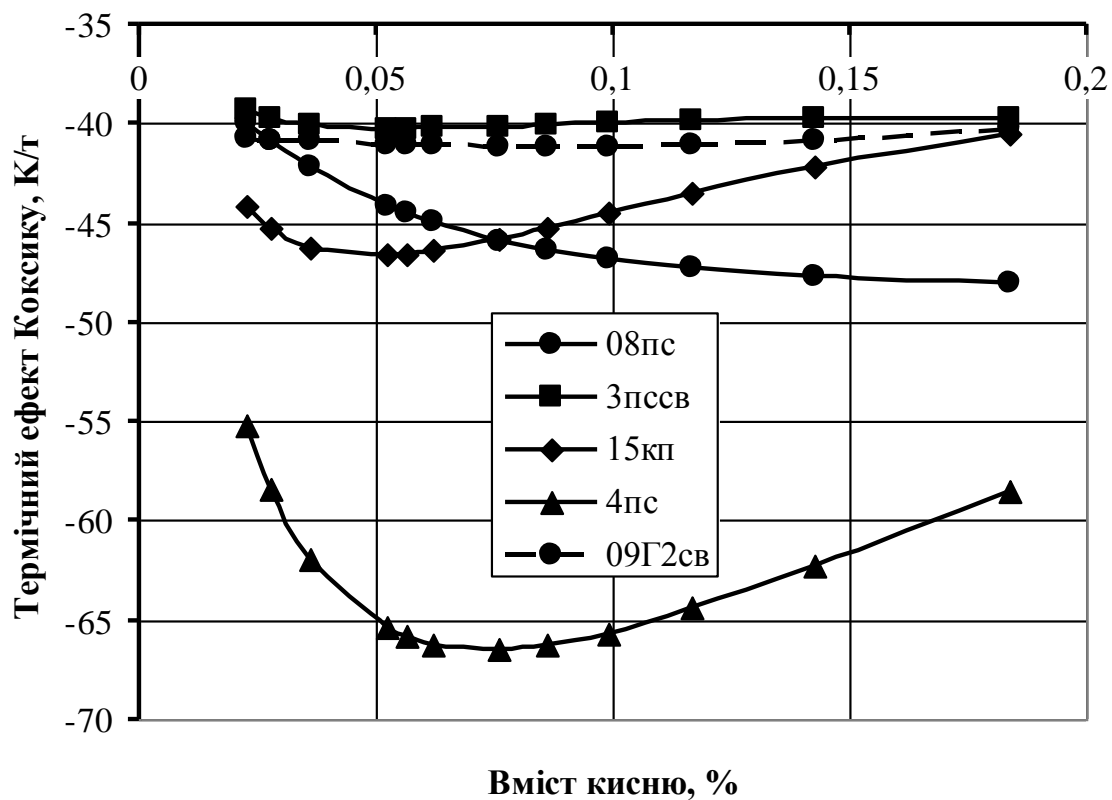


Рисунок 2.39 – Вплив вмісту кисня на термічний ефект коксиду

Дослідження впливу вмісту кисню на термічний ефект коксику показує, що сталь 4пс має істотну відмінність ходу кривих $\Delta T([O])$ від інших сталей. Це пояснюється значною кількістю вуглецево-вмісних матеріалів, що використовуються для виплавки даної марки сталі. При цьому термічний ефект має значне від'ємне значення, до -67 К/т.

В цілому термічний ефект при розкисленні сталей 08пс, 3пссв, 15кп, значно перевищує термічний ефект сталі 09Г2св, що пояснюється підвищеним кінцевим вмістом кисню в киплячій та напівспокійній сталі.

2.4.8. Дослідження впливу ефективного тиску на термічний ефект

2.4.8.1. Термічний ефект феромарганцю

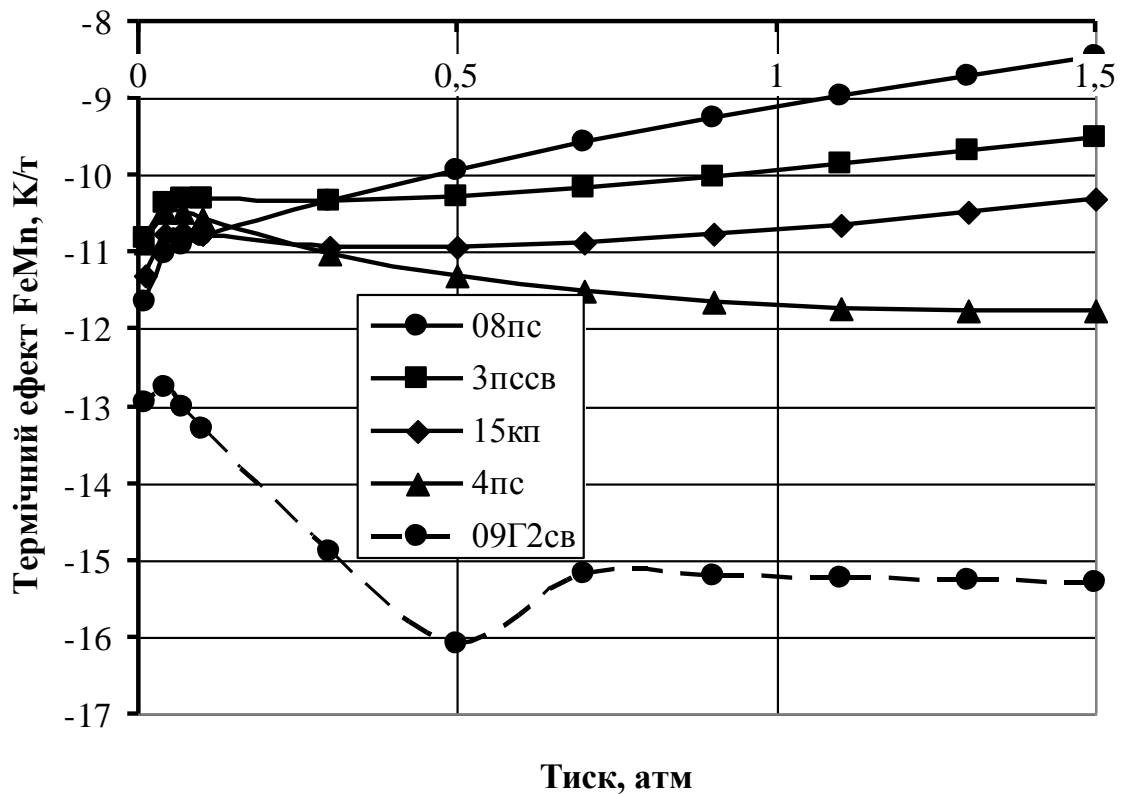


Рисунок 2.40 – Вплив вмісту ефективного тиску на термічний ефект феромарганцю

Різномірний хід кривих $\Delta T(P)$ для групи киплячих та напівспокійних сталей пояснюється різним вмістом вуглецю в готових сталях цих марок.

Для сталі 4пс при максимальному вмісті вуглецю спостерігається зниження термічного ефекту при зростанні тиску, в той час як для сталі 08пс спостерігається зростання термічного ефекту. Однак при знижених тисках ($< 0,01$ атм.) термічний ефект феромарганцю для усіх сталей помітно знижується в результаті вакуумно-вуглецевого розкислення.

2.4.8.2. Термічний ефект силікомарганцю

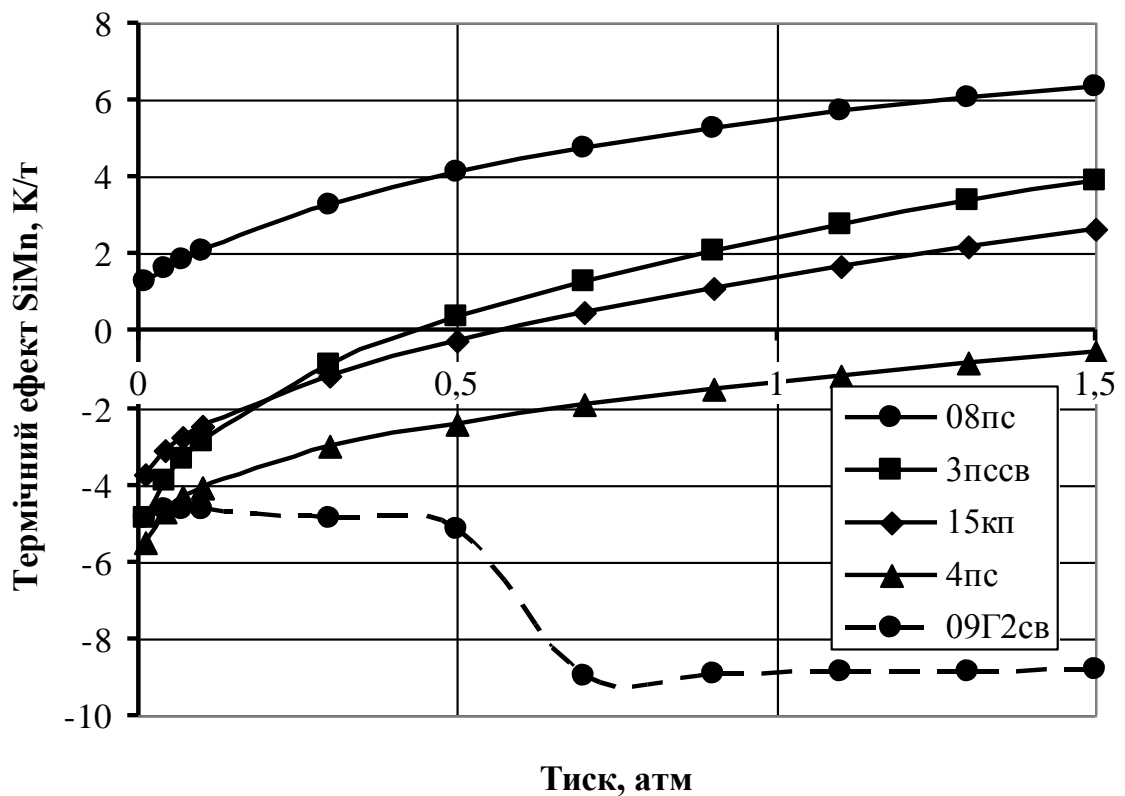


Рисунок 2.41 – Вплив вмісту ефективного тиску на термічний ефект силікомарганцю

2.4.8.3. Термічний ефект феросиліцію

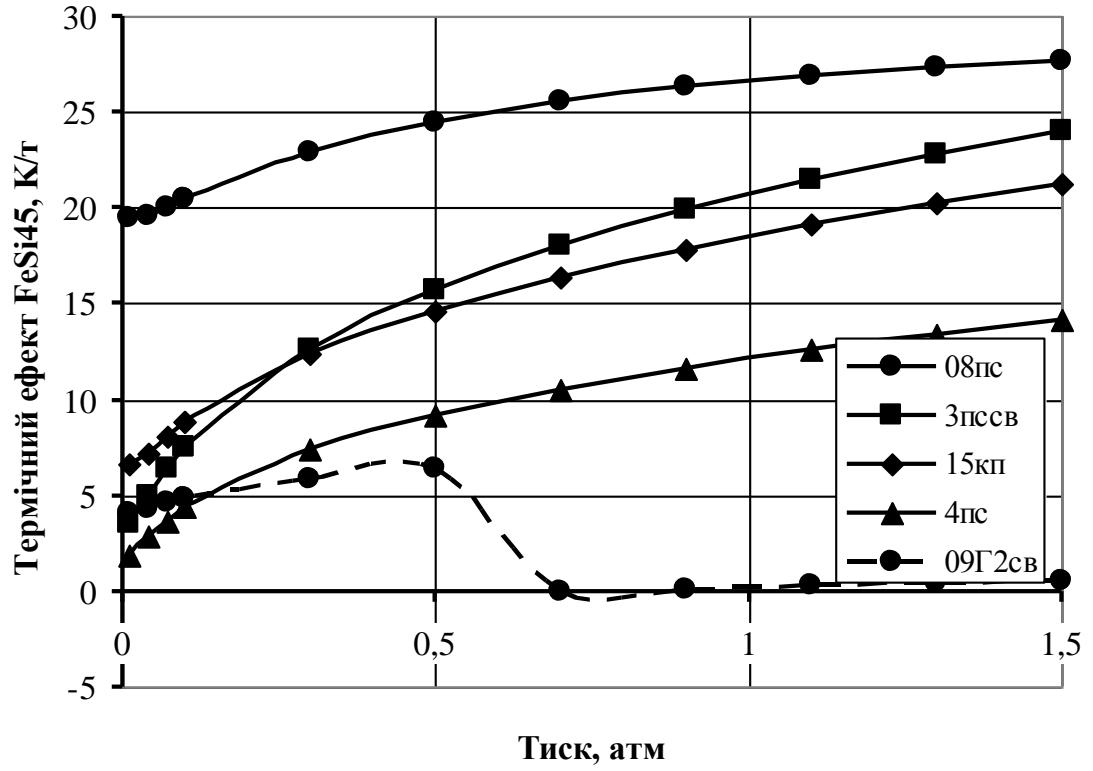


Рисунок 2.42 – Вплив вмісту ефективного тиску на термічний ефект феросиліцію

2.4.8.4. Термічний ефект вторинного алюмінію

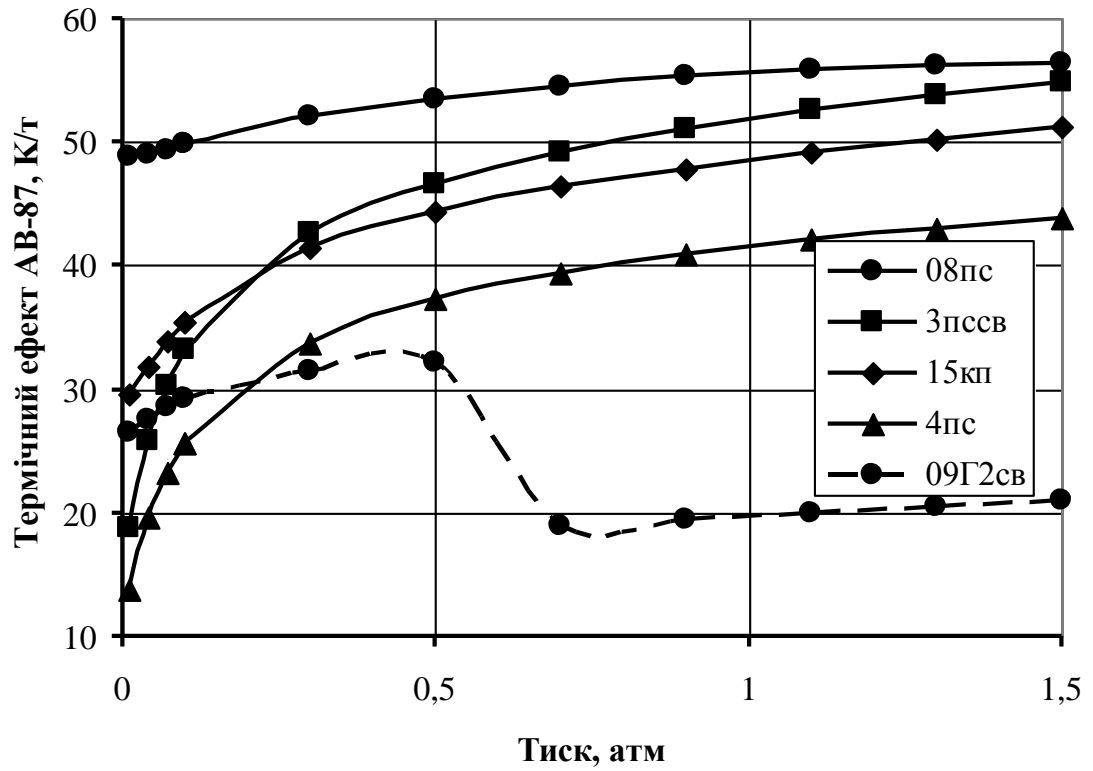


Рисунок 2.43 – Вплив вмісту ефективного тиску на термічний ефект вторинного алюмінію

2.4.8.5. Термічний ефект вторинного коксику

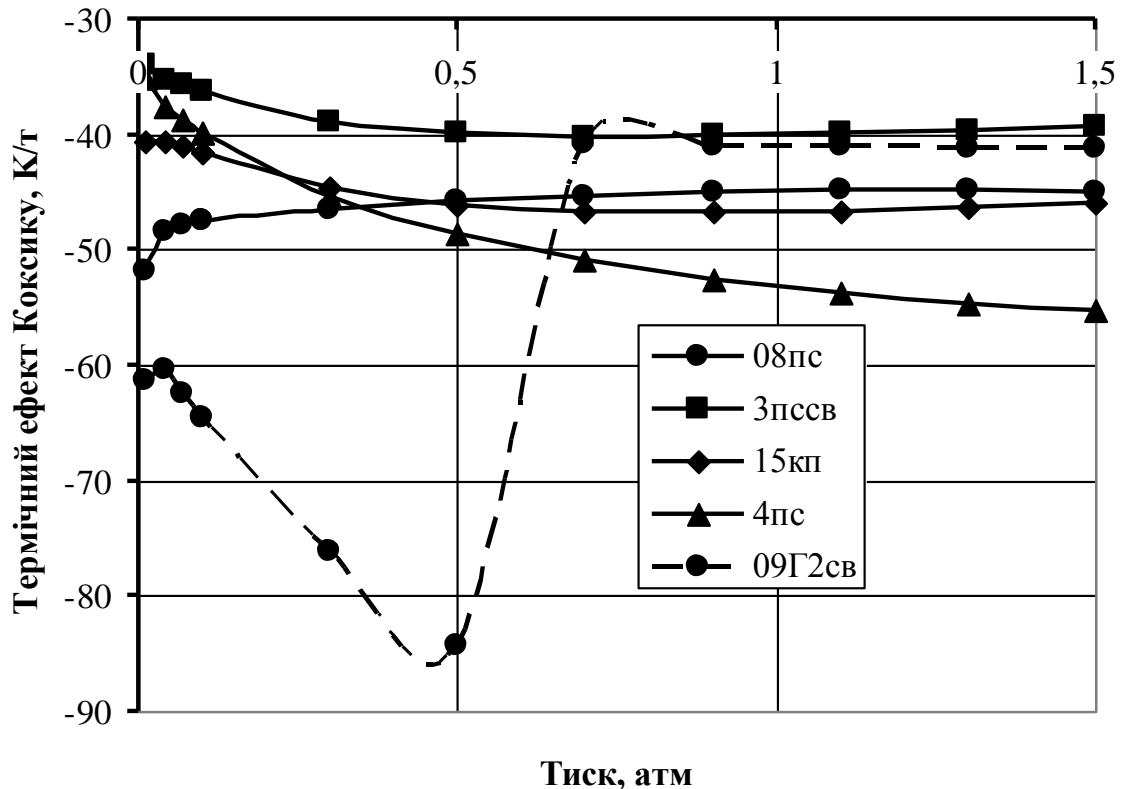


Рисунок 2.44 – Вплив вмісту ефективного тиску на термічний ефект коксику

Дослідження впливу тиску на термічний ефект феросплавів показує істотну залежність цього впливу від вмісту вуглецю як в самих феросплавів так і від вмісту в самих сталях.

Вплив тиску на термічні ефекти феросплавів в тій чи іншій мірі залежать від ступення розкислення системи, як в початковому стані(до розкислення) так і в кінцевому(після розкислення). При цьому для сталей з високий вмістом кремнію, марганцю (09Г2св) характерний злам на кривій $\Delta T(P)$. Цей злам проявляється по різному для різних феросплавів, но тиск при якому він має місце характеризує перехід сталі з спокійного стану в кипляче (в інтервалі ефективного тиску від 0,5 – 1 атм.). слід відмітити, що залежність $\Delta T(P)$ для цієї сталі значно відрізняється в киплячому і спокійному стані. В киплячому стані несхідна ділянка кривої характеризується для феросплавів і матеріалів що

містять вуглець. В спокійному стані ($P \geq 1$ атм.) термічний ефект феросплавів залишається практично незмінним.

Для групи киплячих і напівспойних сталей положення кривих $\Delta T(P)$ щодо осі ординат залежить від вмісту вуглецю в феросплавах і готовій сталі. Чим менше вуглецю в феросплавах і готовій сталі тим більше термічний ефект усіх феросплавів в усіх ділянках тиску. При зниженні тиску до малих величин ($< 0,01$ атм.) відбувається вакуумно-вуглецеве розкислення металу і шлаку, таким чином термічний ефект знижується завдяки зменшенню маси окислюваних елементів розкислювачів.

2.5. Техніко–економічне обґрунтування

Облік термічних ефектів безпосередньо спрямований на ефективне використання і економію дорогих феросплавів.

Використання отриманих закономірностей впливу початкової температури та відносної маси шлаку при розкисленні сталі, ефективного тиску при вакуумуванні сталі, зміни частки внесених феросплавів у процесі розкислення сталі, окисленості сталі при розкисленні на термічні ефекти феросплавів дозволяє більш ефективно використовувати легуючі матеріали при розкисленні сталі. Техніко-економічні розрахунки проведені для комбінату «Запоріжсталь» свідчать про економію питомої витрати феросплавів від 0,2 до 0,5 кг/т.

2.6 Висновки

Розглянуті залежності термічних ефектів феросплавів від різних параметрів системи «метал-шлак-газ» дозволяють ефективно враховувати вплив температури, тиску, співвідношення маси шлаку до маси металу, міри розкисленості на фактичне засвоєння елементів для ряду сталей.

Отримані залежності є частиною термодинамічної моделі системи «метал-шлак-газ» і відповідних алгоритмів, покладених в основу учбово-дослідницької програми «Excalibur» і аналогічних програм, що працюють в якості верхнього рівня систем управління сталеплавильним виробництвом.

Дослідження проведенні за допомогою обчислювального експерименту дозволили виявити наступні особливості поведінки системі «метал-шлак-газ»:

- Вплив відношення маси шлаку до маси металу на термічний ефект феромарганцю обумовлений дією двох протилежних факторів.
 1. Взаємодія марганцю з киснем, розчиненим в металі, з подальшим утворенням оксиду (MnO), що переходить до шлаку. Цей процес є екзотермічним.
 2. Реакція утворення газової фази (в основному CO) при взаємодії вуглецю у складі феромарганцю з киснем, розчиненим в металі. Цей процес є ендотермічним.

В результаті збільшення маси шлаку збільшується екзотермічний ефект взаємодії марганцю з киснем (FeO) шлаку, що спостерігається при розкисленні-легуванні сталей 08пс, 3пссв, 15кп. При розкисленні сталі 09Г2св спостерігається протилежний ефект, що супроводжується зниженням термічного ефекту феромарганцю. Це пояснюється зниженням вмісту (FeO) в шлаку при використанні значних кількостей таких феросплавів, як феросиліцій та феросілікомарганець.

- В результаті збільшення маси шлаку збільшується екзотермічний ефект взаємодії марганцю з киснем (FeO) шлаку, що спостерігається при розкисленні-легуванні сталей 08пс, 3пссв, 15кп. При розкисленні сталі 09Г2св спостерігається протилежний ефект, що супроводжується зниженням термічного ефекту силікомарганцю. Це пояснюється зниженням вмісту (FeO) в шлаку при використанні значних кількостей таких феросплавів, як феросиліцій та феросілікомарганець.

- Дослідження впливу вмісту кисня в полупродукті металу перед випуском з печі на термічний ефект силікомарганцю показує однозначне зростання ΔT при збільшенні вмісту кисня в сталях 08пс, 3пссв, 15кп на декілька градусів.

При виплавці сталі 09Г2св майже не спостерігається змінні термічного ефекту силікомарганцю так як розкислення цієї сталі настільки зменшує вміст кисню, що воно практично не залежить від його початкового складу.

В цілому термічний ефект при розкисненні сталей 08пс, 3пссв, 15кп, значно перевищує термічний ефект сталі 09Г2св, що пояснюється підвищеним кінцевим вмістом кисню в киплячій та полу-сповійній сталі.

- Дослідження впливу тиску на термічний ефект феросплавів показує істотну залежність цього впливу від вмісту вуглецю як в самих феросплавів так і від вмісту в самих сталях.

Вплив тиску на термічні ефекти феросплавів в тій чи іншій мірі залежать від ступення розкислення системи, як в початковому стані(до розкислення) так і в кінцевому(після розкислення). При цьому для сталей з високий вмістом кремнію, марганцю (09Г2св) характерний злам на кривій $\Delta T(P)$. Цей злам проявляється по різному для різних феросплавів, но тиск при якому він має місце характеризує перехід сталі з спокійного стану в кипляче (в інтервалі ефективного тиску від 0,5 – 1 атм.). слід відмітити, що залежність $\Delta T(P)$ для цієї сталі значно відрізняється в киплячому і спокійному стані. В киплячому стані несхідна ділянка кривої характеризується для феросплавів і матеріалів що містять вуглець. В спокійному стані ($P \geq 1$ атм.) термічний ефект феросплавів залишається практично незмінним.

РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

3.1. Аналіз потенційно шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища конвертерного цеху

При проведенні киснево-конвертерного процесу мають місце наступні шкідливі виробничі фактори: тепловиділення від технічного обладнання і розплавленого металу і шлаку; гази, які утворюються при продуванні конвертора, роботі газових горілок в котлах-утилізаторах і при сушці футеровки відремонтованих конверторів і сталерозливних ковшів; пил, що утворюється при транспортуванні сипких матеріалів, продуванні конвертора, сливі чавуну з ковша в конвертор, випуску сталі і шлаку з конвертора, ломці футеровки конвертора і ковшів, шум, який утворюється вентиляційними системами в обслуговуваних приміщеннях, вібрація, яка утворюється від роботи ваговитих конструкцій, електричний струм, іонізуючі випромінювання [22].

Джерелами теплових виділень є кожух і розжаренна горловина конвертора, гази, що відходять, розплавлений чавун, рідка сталь і шлак. У розливному прольоті велика кількість тепла і нагрітих газів виділяє розплавлений метал, що подається у виливниці. Інтенсивність випромінювання на цих ділянках складає від 300 до 9000 ккал/ (м²*ч). Особливо великому тепловому опроміненню піддаються конверторщики при узятті проби, вимірі температури, огляді і ремонті горловини конвертора. Температура повітря при проведенні окремих операцій навіть на відстані 2-3 м від джерела тепловипромінювання дуже висока, особливо в літній час (досягає 45-50° С) при зовнішній температурі повітря +23°С.

Тепловий ефект дії опромінення залежить від довжини хвилі і інтенсивності потоку випромінювання, площі опромінюваної ділянки організму людини, тривалості опромінення і уривчастості його, кута падіння променів, одягу.

Промениста енергія, потрапляючи на людину, впливає, передусім, на незахищені частини тіла(обличчя, руки, шию), причому, якщо конвективне тепло впливає, головним чином, на зовнішні шкірні покриви, то променисте тепло може проникати на деяку глибину в тканині.

Теплове відчуття виникає вже при інтенсивності опромінення 0,08 Вт/м²(при довжині хвилі 2,9 мкм) або 1,7 Вт/м²(при довжині хвилі 1,3 мкм); при останній довжині хвилі опромінення інтенсивністю 5,4 Вт/м² викликає приємне відчуття.

При тривалому перебуванні людини в зоні теплового променистого потоку, як і при систематичній дії високої температури, різко порушується тепловий баланс в організмі. Порушується робота терморегулювального апарату, посилюється діяльність серцево-судинної і дихальної систем, посилюється потовиділення, відбуваються втрати потрібних організму солей, що у свою чергу викликає судорожну хворобу, теплову гіпотермію або перегрівання.

Перегрівання викликає головний біль, шум у вухах, спотворення кольорового сприйняття, нудоту, блювоту, підвищення температури тіла.

Пил, що виділяється з конвертора, має щільність 4,3 г/см³; його кількість і хімічний склад змінюються в широких межах і залежать від багатьох чинників: від складу чавуну і присадок, об'єму конвертора, висоти фурми над рівнем металу, від витрати і тиску кисню. Середня кількість пилу, що міститься в конверторних газах, складає 25—30 кг/т.

Дослідження міри дисперсності пилу показують, що біля 80ти часток мають розміри до 5 мкм. Кількість пилу з частинками більше 1 мкм складає усього 5-15%. Такий пил повітряними потоками відноситься від конвертора на великі відстані і довгий час не осідає.

Пил проникає в організм оператора через дихальні шляхи. Вражаюча дія пилу визначається дисперсністю частинок пилу, їх формою і твердістю. Так,

пилові частки розміром від 0,1 до 5 мкм, у відмінності від частинок інших фракцій, не видаляються з організму, накопичуючись в легенях. Шкідливість виробничого пилу обумовлена її здатністю викликати, професійні захворювання легенів, в першу чергу пневмоконіози.

Джерелами шуму в цеху є працюючий конвертер, технологічне устаткування(мостові крани, насоси, автотранспортувачі і т. ін.), сопла фурми, з яких витікає кисень із швидкістю звуку.

З фізіологічної точки зору шум визначається як відчуття, яке сприймається органами слуху під час дії на них звукових хвиль в діапазоні частот від 16 до 20000 Гц, але найбільш важливий для слухового сприйняття інтервал від 45 до 10000 Гц.

Максимальний сприйманий вухом рівень звукового тиску 130 дБ. При подальшому зростанні звукового тиску виникає больове відчуття.

Різноманіття устаткування, використовуваного в конвертерному процесі, робота печей, агрегатів, систем вентиляції, обумовлює наявність виробничого шуму.

Нормативне значення гранично допустимого рівня шуму, що впливає на оператора поста управління, складає 80 дБА, а фактичне значення - 77 дБ, що не перевищує допустиме значення.

Робота, що виконується в шумній обстановці, виявляється важчою, ніж при виконанні її в умовах відносної тиші. Шум впливає на зміну чутливості зору, перешкоджає зосередженню уваги, утрудняє виконання точних робіт і мовний обмін інформацією.

При щоденній дії це призводить до виникнення професійного захворювання - приглухуватості, основним симптомом якого є поступова втрата слуху на обидва вуха, що спочатку лежить в області високих частот, з подальшим поширенням на нижчі частоти, що визначають здатність сприймати мову.

Окрім безпосередньої дії на орган слуху, шум впливає на різні відділи головного мозку, змінюючи нормальні процеси вищої нервової діяльності.

Характерними є скарги на підвищену стомлюваність, загальну слабкість, дратівливість, апатію, послаблення пам'яті і т. п.

В результаті несприятливої дії шуму на працюючу людину відбувається зниження продуктивності праці, збільшується брак в роботі, створюються передумови до виникнення нещасних випадків.

Гази - конденсаційні аерозолі з твердою дисперсною фазою, основним джерелом забруднення повітряного середовища робочої ділянки газовими виділеннями є конвертер. При порушенні газодинамічних параметрів процесу і пов'язане з цим вибивання полум'я, а також при випуску і позапічній обробці сталі, установці піч-ківш з робочого простору конвертера виділяються гази. Іноді виділення газу виникає внаслідок порушення цілісності газових комунікацій.

Повітря в конвертерному відділенні конвертерного цеху, згідно з картою умов праці, насичене оксидом вуглецю, діоксидом азоту, сірчистим і хромовим ангідридом. Фактичний зміст цих газів в повітрі перевищує гранично допустиму концентрацію у декілька разів.

Найбільш небезпечним газом є оксид вуглецю, що є продуктом неповного згорання палива і що утворюються в результаті фізико-хімічних реакцій в процесі плавки і на випуску з печі (окислення струменя металу при наповненні виливниць; введення спеціальних окисників, що інтенсифікують кипіння металу; в результаті відбувається кипіння металу у виливницях з інтенсивні.

Не менш шкідливим є насичення повітря сірчистим ангідридом і діоксидом азоту, що утворюються в робочому просторі конвертера.

Гази аналогічно пилу проникають в організм оператора поста управління, що спостерігає за виробничим процесом, через органи дихання. Залежно від їх фізіологічної дії, вони можуть робити різний вплив на організм людини [23].

3.2. Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища конвертерного виробництва

Для поліпшення умов праці в цеху і захисту працюючих від теплової дії передбачені наступні заходи: теплоізоляція поверхонь, випромінюючих тепло, за допомогою водоохолоджуваних екранів, щитів, завіс і ін.; теплоізоляція і охолодження робочих місць (постів управління, кабін машиністів кранів і ін.); природна (аерація) і механічна вентиляція; повітряне охолодження замкнутих просторів печей, що знаходяться в ремонті; водорозпилення на робочих місцях і в припливних віконних отворах; спецодяг і індивідуальні захисні пристосування – щитки, екрани, окуляри, світлофільтри; раціональна організація режиму праці і відпочинку, регламентація місця і тривалості роботи в умовах опромінення; облаштування спеціальних місць, кабін і кімнат відпочинку.

Шум є загальнобіологічним подразником і в певних умовах може впливати на всі органи і системи організму людини. При дуже великому звуковому тиску може відбутися розрив барабанної перетинки. Звукоізоляція є одним з найбільш ефективних і поширених методів зниження виробничого шуму.

За допомогою звукоізолюючих перешкод можна знизити рівень шуму на 30 – 40дБ. Ефективними звукоізолюючими матеріалами є метали, бетон, дерево та ін.

Засоби індивідуального захисту від шуму підрозділяються на протишумові навушники, що закривають вушну раковину, протишумові вкладиші, що перекривають зовнішній слуховий прохід, протишумові шоломи і каски, протишумові костюми.

У конвертерному і завантажувальному прольотах передбачається природна аерація за допомогою аераційних ліхтарів і припливна вентиляція окремих ділянок. При відборі проб і вимірах температури через горловину конвертера застосовують спеціальні візки з теплозахисними екранами і обдування спеціально встановлюваними вентиляторами.

Систему подання і завантаження сипких матеріалів в конвертер зазвичай виконують з герметизацією місць запилення, відсмоктуванням і очищенням газів

від пилу. У ковшовому прольоті виділяється пил(при ломці футерування), тепло і NO_2 при розігріванні ковшів. У прольоті передбачають природну аерацію і установку витяжних парасольок над стендами для розігрівання ковшів і ломки футерування.

Гази від склепіння печей очищаються установкою мокрого типу: труба Вентурі і краплевловлювач. Зонт печей має один рукавний фільтр напорного типу на два джерела викиду.

На роботах із шкідливими умовами праці, а також в особливих температурних умовах або пов'язаних із забрудненням тіла робітників і службовців, відповідно до встановлених норм безкоштовно видаються засоби індивідуального захисту (ЗІЗ). До таких засобів відносяться засоби захисту очей, органів дихання, органів слуху від шуму, захист від вібрації, захисні мазі і спеціальний одяг. Найбільш поширеним засобом захисту очей є запобіжні окуляри, які захищають око від шкідливого впливу і разом з тим якомога менше обмежують поле зору, не запітнівають, зберігають ясність бачення, допускають вентиляцію повітря, добре прилягають до обличчя і не роздратовують шкіру. Крім того, окуляри повинні бути міцні і легкі [25].

В даний час для захисту від пилу застосовують безклапанний респіратор «Пелюстка» і клапанні респіратори: з ватним фільтром, з фетровим фільтром, з паперовим фільтром. Ефективність респіратора «Пелюстка» досягає 100% за умов нормальної вологості повітря.

Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів та карта умов праці для робочого місця плавильника сталі представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. – Оцінка факторів виробничого трудового процесу плавильника сталі

№ п/п	Фактори виробничого середовища та трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	3 клас: шкідливі та небезпечні умови та характер праці			Тривалість дії фактора за зміну, %
				1 ст.	2 ст.	3 ст.	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ : 1 клас небезпеки Ангідрид хромовий	0,01	0,014				89,3
	Марганцю оксид	0,05	0,4				
	3 клас небезпеки Ангідрид сірчастий	10,0	6,4				89,3
	Вуглецю оксид	20,0	17,9				
2	Пил, переважно фіброгенної дії, мг/м ³	4	237,3			59,3	89,3
3	Шум, дБ	80	85		5		89,3
4	Вібрація (загальна), дБ	92	95		3		89,3
5	Мікроклімат у приміщенні (теплий період): - температура, °С;	15-26	38,2			12	89,3
	- швидкість руху повітря, м/с;	0,2-0,6	0,33				
	- відносна волога повітря, %;	55	30				
	-інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	1401-2800	1420			19	
6	Тяжкість та напруженість праці	категорія праці – тяжка, III напружена					

Таким чином, проведений аналіз умов праці дозволяє зробити висновок про перевищення нормативних показників по рівню інфрачервоного випромінювання, шуму, вібрації. Перевищує допустимі концентрації також кількість пилу та оксиду марганцю у повітрі робочої зони. Все це дозволяє віднести умови праці до

III класу 3 ступеня. За показниками робоче місце слід вважати з особливо шкідливими і важкими умовами праці.

3.3. Заходи з електробезпеки

Безпека експлуатації електроустановок забезпечується наступними захисними заходами: недоступність струмоведучих частин, застосування ізоляції, блокування, застосування малої напруги, застосування трифазного струму з ізолюваною нейтраллю, захисне заземлення, а для пересувних електроустановок – захисне відключення. Підлоги колошникового майданчика, робочого майданчика навпроти лютки печі, а також робочих майданчиків обслуговування електродів виконують неелектропровідними.

При обслуговуванні електроустановок застосовують основні і додаткові захисні засоби. До основних відносяться захисні засоби, ізоляція яких надійно витримує робочу напругу установки і при користуванні якими допускається безпосередній дотик до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою. До додаткових відносяться засоби захисту, що підсилюють дію основних засобів і які забезпечують безпеку при нарузі дотику і кроковій нарузі. До засобів індивідуального захисту відносяться: ізолююча штанга, ізолюючі кліщі, діелектричні боти, діелектричні рукавички, ізолюючі підставки [26].

3.4. Заходи пожежної безпеки

Будівлю конвертерного цеху (пічний проліт) по вибуховій і пожежній небезпеці можна віднести до приміщення категорії Г [27]. В цеху дуже багато джерел виникнення пожежної небезпеки: відкритий колошник печі,

високотемпературний продукт при виході з льотки печі при розливанні, потужне електроустаткування, велике кабельне господарство і т.д. Причинами пожеж і вибухів в цеху можуть стати завалення в піч сирих матеріалів, зіткнення розплавленого металу і шлаку з водою, несправності електромереж і електроустаткування і ін.

Виробничі приміщення цеху залежно від приналежності до певної категорії пожежної небезпеки обладнані різними засобами пожежогасіння. Корпус готової продукції обладнаний пожежними щитами з інвентарем, ящиками з піском, пожежними кранами з шлангом. Шихтове відділення обладнане пожежними кранами, вогнегасниками і ящиками з піском.

Для попередження пожеж, що виникають від коротких замикань, на лініях і відгалуженнях електричних мереж послідовно включають запобіжники. При проходженні надмірно великого струму плавкі запобіжники перегорають і тим самим розривають електричний ланцюг, запобігаючи небезпечному в пожежному відношенні нагріву дротів [26].

Для запобігання розповсюдженню пожежі дотримуються протипожежних розривів між будівлями, установками; встановлюють пристрої автоматичного пожежогасіння; здійснюють систематичний нагляд за дотриманням заходів з пожежної безпеки, наявністю і справним станом протипожежного інвентаря і первинних засобів пожежогасіння.

У будівлі забезпечена можливість швидкої безпечної евакуації людей у разі виникнення пожежі. Допустима тривалість евакуації залежить від часу досягнення критичних для людини умов: критичної температури (60°C), зменшення концентрації кисню, втрати видимості внаслідок задимлення [27].

У конвертерному цеху відповідно до норм знаходяться наступні первинні засоби пожежогасіння: вогнегасники (ОХП-10, ОУ-5 і ОУ-8, ОУ-25), пожежний інвентар (покривала з негорючого теплоізоляційного полотна, грубошерстної тканини або повсті, ящики з піском, совкові лопати); пожежний інструмент (багри, лом, сокири та ін.).

3.5. Розрахунок штучного освітлення конвертерного відділення

Оскільки усі агрегати і вузли цеху мають великі габарити і освітлюються в основному прямим світлом від джерел, то застосуємо точковий метод розрахунку [24].

Розрахуємо висоту підвісу світильників, м:

$$h_{p.c.} = H - H_{p.пл.}, \quad (3.1)$$

де H – висота конвертерного відділення, м;

$H_{p.пл.}$ – висота розташування робочого майданчика, 10 м.

$$h_{p.c.} = 40 - 10 - 0,8 = 29,2 \text{ м.}$$

Приймаємо розташування світильників по вершинах квадратів, як раціональніше.

Відстань від світильників до стін приймаємо $L/2$. Для прольоту шириною 30 м приймаємо 3 ряди світильників. Тоді фактична відстань між рядами світильників визначається з рівняння, м :

$$B = L/2 + L/2 + (n - 1) \cdot L, \quad (3.2)$$

звідки

$$L = B/[1/2 + 1/2 + (n - 1)];$$

$$L = 30/[1/2 + 1/2 + (3 - 1)] = 10$$

$$L = 10 \text{ м;}$$

$$L/2 = 5 \text{ м.}$$

Кількість світильників в одному ряду (n) визначається з рівняння :

$$Z = L/2 + L/2 + (n' - 1) \cdot L, \quad (3.3)$$

де $n' = (Z - L/2 - L/2)/L + 1$;

$$n' = (180 - 5 - 5)/10 + 1 = 18 \text{ шт.}$$

Визначаємо фактичне число λ_ϕ :

$$\lambda_\phi = L/h_p, \quad (3.4)$$

Підставляючи численні значення, отримаємо:

$$\lambda_\phi = 10/29,2 = 0,34$$

По графіках ізольокс [24], для прийнятих світильників, висоти підвісу і відстаней від контрольних точок до проєкцій світильників на робочу поверхню визначаємо умовну освітленість в контрольній точці $L_{\text{усл}}$ і $\Sigma L_{\text{усл}}$ для кожної контрольної точки. Результати визначення зводимо в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати визначення умовної освітленості в контрольних точках

Контрольна точка А		Контрольна точка Б		Контрольна точка В	
Відстань від контрольної точки до проєкції світильника на робочу поверхню, м	$L_{\text{усл}}$	Відстань від контрольної точки до проєкції світильника на робочу поверхню, м	$L_{\text{усл}}$	Відстань від контрольної точки до проєкції світильника на робочу поверхню, м	$L_{\text{усл}}$
$A_1 = 5,00$	1,75	$B_1 = 5,00$	1,75	$V_1 = 7,07$	1,40
$A_2 = 11,18$	0,60	$B_2 = 5,00$	1,75	$V_2 = 7,07$	1,40
$A_3 = 20,62$	0	$B_3 = 15,00$	0,16	$V_3 = 15,81$	0,1
$A_4 = 30,41$	0	$B_4 = 25,00$	0	$V_4 = 25,50$	0
$A_5 = 5,00$	1,75	$B_5 = 11,18$	0,50	$V_5 = 7,07$	1,40

$A_6 = 11,18$	0,60	$B_6 = 11,18$	0,50	$B_6 = 7,07$	1,40
$A_7 = 20,62$	0	$B_7 = 18,03$	0,005	$B_7 = 15,81$	0,1
$A_8 = 30,41$	0	$B_8 = 26,93$	0	$B_8 = 25,50$	0
$\Sigma L_{\text{усл}}$	4,7	$\Sigma L_{\text{усл}}$	4,665	$\Sigma L_{\text{усл}}$	5,8

Світловий потік світильника, необхідний для створення нормованої освітленості в контрольній точці з найменшою освітленістю, визначимо по формулі, лм:

$$F = 1000 \cdot \frac{E_n \cdot K}{\mu \cdot \Sigma L_{\text{усл}} (\text{min})}, \quad (3.5)$$

де E_n – нормована освітленість;

K – коефіцієнт запаса, $K = 1,6$;

μ – коефіцієнт, що враховує вплив видалених джерел світла $\mu = 1,1$ [19];

$\Sigma L_{\text{усл}} (\text{min})$ – сумарна умовна освітленість в контрольній точці від усіх світильників.

$$F = 1000 \cdot \frac{110 \cdot 1.6}{1.1 \cdot 4.7} = 34042.55 \text{ лм.}$$

Потужність джерела світла вибираємо по таблиці, виходячи з розрахованого світлового потоку 34042,55 лм. Приймаємо лампу ДРЛ 750 світловим потоком $F_l = 33000$ лм. Фактична освітленість в контрольній точці A , лк:

$$E_\phi = E_n \cdot F_l / F \quad (3.6)$$

$$E_\phi = 110 \cdot 33000 / 34042,55 = 96,94 \text{ лк.}$$

Відхилення розрахункової освітленості від нормованої:

$$\Delta = \frac{E_n - E_\phi}{E_n} \cdot 100\% , \quad (3.7)$$

звідки,
$$\Delta = \frac{110 - 96,94}{110} \cdot 100 = (3,06)\%$$
.

Відхилення у велику сторону на 20% в меншу на 10% допускається.

Вибираємо світильники С35ДРЛ, у яких $\lambda = 0,5 \div 0,7$. Викреслюємо схему розташування світильників. Схема розташування світильників в конвертерному відділенні представлена на рисунку 3.1.

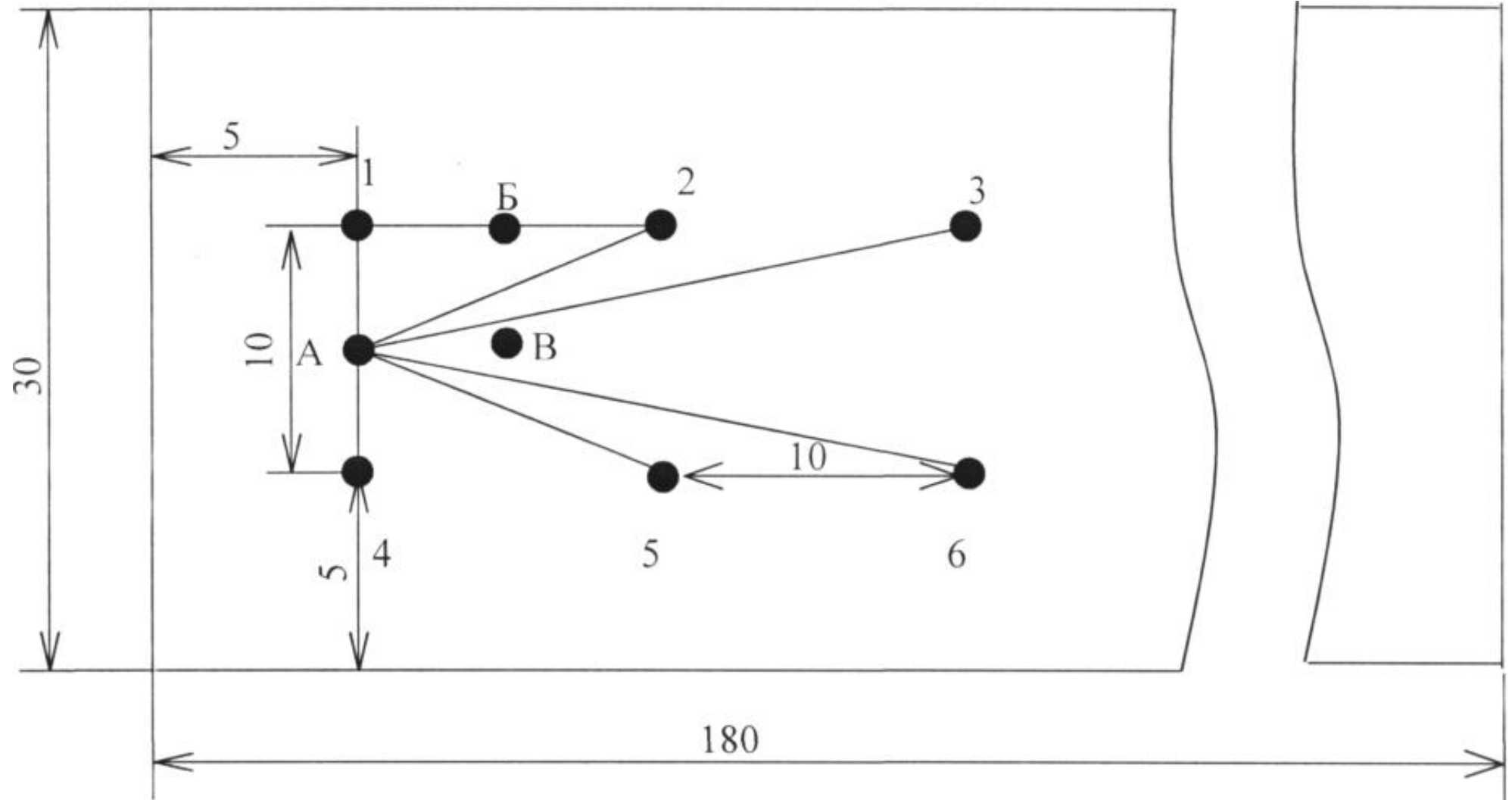


Рисунок 3.1 – Схема розташування світильників в конвертерному відділенні.

Висновки

1. Проведений огляд літературних джерел за станом вирішення прямої та зворотної задачі термодинамічного аналізу процесів позапічної обробки сталі з урахуванням ентальпійної теплової моделі, що є невід'ємною частиною термодинамічної моделі «метал-шлак-газ».
2. В роботі проведені обчислювальні експерименти з метою визначення оптимальної кількості енергоносіїв та феросплавів при розкисленні-легуванні сталей 15кп, 4пс, 08пс, 3пссв, 09Г2св, 26ХГСА за допомогою термодинамічного модуля комп'ютерної учбово-дослідницької програми «Excalibur». Розроблені паспорти розкислення-легування з вичерпним набором даних, що стосуються процесів легування, розкислення та вакуумування сталей. Побудовані відповідні графічні залежності.
3. Проведені дослідження за допомогою обчислювального експерименту дозволили виявити наступні особливості поведінки системи «метал-шлак-газ»:
 - Вплив відношення маси шлаку до маси металу на термічний ефект феромарганцю обумовлений дією двох протилежних факторів.
 1. Взаємодія марганцю з киснем, розчиненим в металі, з подальшим утворенням оксиду (MnO), що переходить до шлаку. Цей процес є екзотермічним.
 2. Реакція утворення газової фази (в основному CO) при взаємодії вуглецю у складі феромарганцю з киснем, розчиненим в металі. Цей процес є ендотермічним.

В результаті збільшення маси шлаку збільшується екзотермічний ефект взаємодії марганцю з киснем (FeO) шлаку, що спостерігається при розкисленні-легуванні сталей 08пс, 3пссв, 15кп. При розкисленні сталі 09Г2св спостерігається протилежний ефект, що супроводжується зниженням термічного ефекту феромарганцю. Це пояснюється

зниженням вмісту (FeO) в шлаку при використанні значних кількостей таких феросплавів, як феросиліцій та феросілікомарганець.

- В результаті збільшення маси шлаку збільшується екзотермічний ефект взаємодії марганцю з киснем (FeO) шлаку, що спостерігається при розкисленні-легуванні сталей 08пс, 3пссв, 15кп. При розкисленні сталі 09Г2св спостерігається протилежний ефект, що супроводжується зниженням термічного ефекту силікомарганцю. Це пояснюється зниженням вмісту (FeO) в шлаку при використанні значних кількостей таких феросплавів, як феросиліцій та феросілікомарганець.
- Дослідження впливу вмісту кисня в полупродукті металу перед випуском з печі на термічний ефект силікомарганцю показує однозначне зростання ΔT при збільшенні вмісту кисня в сталях 08пс, 3пссв, 15кп на декілька градусів.

При виплавці сталі 09Г2св майже не спостерігається змінення термічного ефекту силікомарганцю так як розкислення цієї сталі настільки зменшує вміст кисню, що воно практично не залежить від його початкового складу.

В цілому термічний ефект при розкисленні сталей 08пс, 3пссв, 15кп, значно перевищує термічний ефект сталі 09Г2св, що пояснюється підвищеним кінцевим вмістом кисню в киплячій та полу-сповійній сталі.

- Дослідження впливу тиску на термічний ефект феросплавів показує істотну залежність цього впливу від вмісту вуглецю як в самих феросплавів так і від вмісту в самих сталях.

Вплив тиску на термічні ефекти феросплавів в тій чи іншій мірі залежать від ступення розкислення системи, як в початковому стані(до розкислення) так і в кінцевому(після розкислення). При цьому для сталей з високий вмістом кремнію, марганцю (09Г2св) характерний злам на кривій $\Delta T(P)$. Цей злам проявляється по різному

для різних феросплавів, но тиск при якому він має місто характеризує перехід сталі з спокійного стану в кипляче (в інтервалі ефективного тиску від 0,5 – 1 атм.). слід відмітити, що залежність $\Delta T(P)$ для цієї сталі значно відрізняється в киплячому і спокійному стані. В киплячому стані несхідна ділянка кривої характеризується для феросплавів і матеріалів що містять вуглець. В спокійному стані ($P \geq 1$ атм.) термічний ефект феросплавів залишається практично незмінним.

4. Результати роботи безпосередньо направлені на підвищення техніко-економічних показників металургійного виробництва. Усі отримані залежності використовуються на практиці в програмному комплексі «Майстер» для оптимізації витрати феросплавів у мартенівському цеху ВАТ «Запоріжсталь», що дозволило знизити питому витрату феросплавів на 0,2-0,5 кг/т.

5. Дипломна робота є частиною науково-дослідницької роботи «Технологічне супроводження тестування і відладки ПЗ програмного комплексу «Майстер», яка виконується кафедрою МЧМ ЗДІА спільно з НПО «Донікс» на замовлення ВАТ «Запоріжсталь».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гиббс Дж. Основные принципы статистической механики // Москва, Ленинград: ОГИЗ, 1946. – 204С.
2. Гиббс Дж. Термодинамика. Статистическая механика // Москва: Наука, 1982. – 584С.
3. Григорян В. А., Белянчиков Л. Н., Стомахин Д. Я. Теоретические основы электросталеплавильных процессов // Москва: Metallurgy, 1987. – 272С.
4. Фомин Н. А., Чухов И. И., Кошелев А. Е. и др. // Сталь. 1989. № 3. С. 45, 46.
5. Пономаренко А. Г., Мавренова Э. П. Вопросы термодинамики фаз переменного состава, имеющих коллективную электронную систему. Оценка энергетических параметров // ЖФХ, 1974, Т.48, № 7, С. 1672-1674.
6. Харченко А. В., Пономаренко А. Г. Термодинамическое моделирование системы металл-шлак-газ с учетом тепла химических реакций //Металлургическая и горнорудная промышленность. - 2004. - №8. - С. 40-43.
7. Харченко А.В., Пономаренко А.Г.Экспериментальные основания термодинамической модели коллективизированных электронов // Сб. трудов ДонНТУ. - 2003. - С. 17-24.
8. Трусов Б. Астра-4/рс, версия 1.07 // М. - МГТУ им. Н. Э. Баумана. - 1991.
9. Харченко А. В., Пономаренко А. Г., Корзун Е. Л. Термодинамическая модель многокомпонентной конденсированной фазы // Metallurgическая и горнорудная промышленность. - 2004. - №8. - С. 135-139.
- 10.Скрябин В. Г., Скрябин Д. В. Модель расчета средней температуры металла в сверхмощной ДСП и ее применение в АСУТП // Материалы 2-й межд. научно-практической конференции «Автоматизированные печные агрегаты и энергосберегающие технологии в металлургии» (3–5 декабря 2002 г.,г. Москва). - М.: МИСиС. - С. 466-468.
11. Пономаренко А.Г., Окоукони П.И., Храпко С.А., Иноземцева Е.Н. : управление сталеплавильными процессами на основе современных физико-

химических представлений. // Труды 4-го конгресса сталеплавильщиков. — Москва, 1997, с. 35-40.

12. Харченко А. В., Пономаренко А. Г., Довгонюк С. В. Дифференциальные коэффициенты усвоения в компьютерных системах управления плавкой и внепечной обработкой стали // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. - 2002. - №10. - С. 131-137.
13. Пономаренко А. Г. Вопросы термодинамики фаз переменного состава, имеющих коллективную электронную систему // *Журнал физической химии*, 1974. - Т.48. - № 7. - С. 668-674; № 8. - С. 950-958.
14. Довгонюк С. В., Пономаренко А. Г. Коэффициенты активности элементов в газовой фазе // *Сб. трудов ДонНТУ*. - 2003. - С. 25-28.
15. Канторович Л. В. Математические методы организации и планирования производства // Л. - 1939.
16. Колосов А. Ф., Литвин Л. М., Лукьянченко В. В., Перевалов Н. Н., Филимонов М. А. Освоение системы «Электронный советчик сталевара» на металлургическом заводе «Серп и молот» // *Сталь*. - 1989. - №3. - С. 46-48.
17. Фомин Н. А., Чухов И. И., Кошелев А. Е., Киселева Т. В., Тежиков В. Н. Автоматизированная система расчета шихты при производстве стали в мощных электропечах // *Сталь*. - 1989. - №3. - С. 45-46.
18. Евченко В. Г., Корнаущенко И. И., Королева М. К., Литвин Л. М., Лукьянченко В. В. Внедрение системы оптимального расчета шихты при выплавке легированной стали // *Сталь*. - 1990. - №8. - С. 42-44.
19. Вентцель Е. С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология // М. - Высшая школа. - 2001. - 208С.
20. Смирнов А. П. Методы оптимизации. - Москва. - МИСиС. - 2002. - 135С.
21. Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушев А.М. в 76 *Общая металлургия: учебник для вузов / Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушев А.М. - 6-изд., перераб и доп. - М.: ИКЦ «Академкнига», 2005 - 768 с: 253.*
22. Типове положення про навчання з питань охорони праці ДНАОП 0.00-4.12-99.

23. Бринза В. Н., Зиньковский М. М. Охрана труда в чёрной металлургии. – М.: Металлургия, 1982г. – 335с.
24. Денисенко Г.Ф. Охрана труда. – М.: Вища школа, - 1985. – 319 с.
25. Панасейко С.П Гігієна праці і виробнича санітарія. - Запоріжжя: ЗДІА, 2004 - 220с.
26. Ефанов П.Д., Карнаух Н.Н. Безопасность труда в основных производствах черной металлургии. Справочник. – М.: Металлургия, 1982. – 248 с.
27. Аханчёнок А.Г. Пожарная безопасность в чёрной металлургии. – М.: Металлургия, 1991г. – 132с.