МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) рівень _____
(другий (магістерський) рівень)

на тему_____ Технологічні особливості легування сталі кальцієм з використанням технології ВЕЛР_____
_____
_____

Виконав: студент ___2__курсу, групи *8.1363-мчм*

_Румянцев Д.О._____
(ПІБ) (підпис)

спеціальності
____*136 Металургія*_____
(шифр і назва)

спеціалізація
_____
(шифр і назва)

освітньо-професійна програма
Металургія чорних металів
(шифр і назва)

Керівник _Харченко О.В._____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _Нестеренко Т.М._____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя - 2024 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра *металургійних технологій, екології та техногенної безпеки*

Рівень вищої освіти *другий (магістерський) рівень*
другий (магістерський) рівень)

Спеціальність *136 металургія*
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма *металургія чорних металів*
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри *МТЕТБ*

Ю.О. Бєлоконь

"_01_" ____05_____2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЄКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Румянцев Дмитро Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проєкта)*Технологічні особливості легування сталі кальцієм з використанням технології ВЕЛР*

керівник роботи (проєкту)*Харченко Олександр Вікторович к.т.н, доцент*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "28" 02 2024 року № 359-с.

2. Строк подання студентом роботи (проєкта)*01.12.2024*

3. Вихідні дані до роботи (проєкта) *Дослідити технологічні особливості легування низьколегованих сталей 09Г2С, 12ГС, 30ГС та 35ХГСА кальцієм з використанням технології ВЕЛР*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *Реферат. Вступ. Літературний огляд. Розрахунково-дослідницька частина, Індивідуальне завдання, Охорона праці та техногенна безпека, Висновки. Перелік посилань.*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Презентаційний матеріал на 12 слайдах

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Літературний огляд	*Харченко О.В., доцент*		
Розрахунково-дослідницька частина	*Харченко О.В., доцент*		
Індивідуальне завдання	*Харченко О.В., доцент*		
Охорона праці та техногенна безпека	*Харченко О.В., доцент*		
Нормоконтроль	*Кириченко О.Г., доцент*		

7. Дата видачі завдання *07.05.2024*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	*Вступ*	*30.06.2024*	
2	*Реферат*	*30.06.2024*	
3	*Літературний огляд*	*30.06.2024*	
4	*Розрахунково-дослідницька частина*	*19.11.2024*	
5	*Індивідуальне завдання*	*26.11.2024*	
6	*Охорона праці та техногенна безпека*	*30.11.2024*	
7	*Висновки*	*30.11.2024*	

Студент _____ *Д.О. Румянцев*
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник проекту (роботи) _____ *О.В. Харченко*
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ *О.Г. Кириченко*
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра: 113 с., 65 табл., 47 рис., 30 джерел.

КРИВА ЕЛЕКТРОНЕЙТРАЛЬНОСТІ, СТАЛЬ, ШЛАК, ШИХТА, ЛЕГУВАННЯ, КАЛЬЦІЙ, ЛУЖНОЗЕМЕЛЬНІ МЕТАЛИ, МОДИФІКУВАННЯ, РАФІНУВАННЯ.

Об’єкт дослідження – технологія вторинного електротермічного легування і рафінування (ВЕЛР) низьколегованих сталей 09Г2С, 12ГС, 30ГС та 35ХГСА на удосконалених установках ківш-піч.

Мета роботи – дослідити вплив питомого позитивного заряду і маси шлак, тиску газової фази на вміст кальцію в сталі в процесі вторинного електротермічного легування і рафінування металу.

Методи дослідження – метод хімічних потенціалів Гіббса, термодинамічний аналіз системи «метал-шлак-газ» за умови позитивного електричного заряду шлаку.

Досліджено можливість легування сталей 09Г2С, 12ГС, 30ГС та 35ХГСА лужноземельними металами, зокрема кальцієм, за технологією вторинного електротермічного легування та рафінування сталі.

Розглянуті особливості поведінки лужноземельних металів в сталі, що залежать від зміни питомого заряду шлаку при високому тиску.

Проведені обчислювальні експерименти з метою визначення оптимальних параметрів ВЕЛР для низьколегованих сталей за допомогою термодинамічного модуля комп’ютерної учбово-дослідницької програми «Excalibur». Побудовані відповідні графічні залежності.

Встановлено, що збільшення зовнішнього тиску дозволяє значно підвищити ефективність легування сталі кальцієм за рахунок зменшення його втрат у газовій фазі. Визначено основні параметри ВЕЛР для низьколегованих сталей. Підтверджено практичне значення даної роботи для металургійній галузі.

ABSTRACT

Master's qualification work: 113 p., 65 tables, 47 figures, 30 sources.

ELECTRONEUTRITY CURVE, STEEL, SLAG, BATCH, ALLOYING, CALCIUM, ALKALINE EARTH METALS, MODIFICATION, REFINING.

Object of the study – technology of secondary electrothermal alloying and refining (SETAR) of low-alloy steels 09G2S, 12GS, 30GS and 35XGSA on advanced ladle-furnace installations.

Purpose of the work – to investigate the influence of the specific positive charge and mass of slag, gas phase pressure on the calcium content in steel in the process of secondary electrothermal alloying and refining of the metal.

Research methods – Gibbs chemical potential method, thermodynamic analysis of the “metal-slag-gas” system under the condition of a positive electric charge of the slag.

The possibility of alloying steels 09G2S, 12GS, 30GS and 35KhGSA with alkaline earth metals, in particular calcium, using the technology of secondary electrothermal alloying and refining of steel was investigated.

The peculiarities of the behavior of alkaline earth metals in steel, which depend on the change in the specific charge of the slag at high pressure, were considered.

Computational experiments were conducted to determine the optimal parameters of the SETAR for low-alloyed steels using the thermodynamic module of the computer educational and research program “Excalibur”. Corresponding graphical dependencies were constructed.

It was established that increasing the external pressure allows significantly increasing the efficiency of alloying steel with calcium by reducing its losses in the gas phase. The main parameters of the VELR for low-alloyed steels were determined. The practical significance of this work for the metallurgical industry has been confirmed.

ЗМІСТ

ВСТУП 8

1 ТЕРМОХІМІЧНИЙ АНАЛІЗ ОСНОВ ЛЕГУВАННЯ СТАЛІ ЛУЖНОЗЕМЕЛЬНИМИ МЕТАЛАМИ 10

1.1 Ентальпійна модель теплових процесів 10

1.2 Основи процесу легування сталі 11

1.3 Модифікування сталі 13

1.3.1 Модифікація неметалевих включень у сталі, обробленій лужноземельними металами 15

1.3.2 Математична модель процесу розчинення лужноземельних металів у сталі 17

1.3.3 Математичні моделі для розрахунку характеристик кінетики розчинення лужноземельних металів у сталі 19

1.4 Висновки 21

2 ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВЕЛР 23

2.1 Передумови розробки технології ВЕЛР 23

2.2 Крива електронейтральності 24

2.3 Принципова схема промислової установки ВЕЛР 26

2.4 Висновки 28

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ МОДИФІКУВАННЯ СТАЛІ ЛУЖНОЗЕМЕЛЬНИМИ МЕТАЛАМИ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ ВЕЛР 29

3.1 Програмне забезпечення Excalibur 29

3.2 Об'єкти дослідження 32

3.2.1 Сталь 12ГС - конструкційна сталь для зварних конструкцій 32

3.2.2 Сталь 30ГС - легована сталь для виливків 32

3.2.3 Сталь 09Г2С - конструкційна сталь для зварних конструкцій 33

3.2.4 Сталь 35ХГСА - низьколегована конструкційна сталь 33

3.3 Побудова кривої електричної нейтральності 33

3.4 Результати дослідження 35

3.4.1 Вміст кальцію і магнію в металі і шлаку 35

3.4.2 Оптимізація кількості легуючих матеріалів для низьколегованих сталей 52
3.4.3 Хімічний склад металу і шлаку 64
3.5 Висновки 80
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 81
4.1 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих чинників, що впливають на працівника лабораторії 81
4.2 Інженерна розробка захисту від небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища та заходи з поліпшення умов праці 85
4.3 Електробезпека 90
4.4 Пожежна безпека 91
4.5 Розрахунок витяжного зонту для уловлювання ненаправленого потоку повітря 92
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 97
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ 98
Додаток А 102

ВСТУП

Мета і завдання роботи. Дослідження впливу різних параметрів на можливість легування сталей 12ГС, 30ГС, 09Г2С, 35ХГСА лужноземельними металами за технологією ВЕЛР. Оцініти вплив питомого заряду шлаку та підвищеного зовнішнього тиску на відновлення лужноземельних металів і дослідити причини цього ефекту для подальшого вдосконалення технології ВЕЛР.

Об'єкт дослідження: технологія вторинного електротермічного легування і рафінування (ВЕЛР) низьколегованих сталей 09Г2С, 12ГС, 30ГС та 35ХГСА на удосконалених установках ківш-піч.

Тема дослідження: Вплив питомого заряду шлаку на термодинамічну систему «метал-шлак-газ» при підвищеному зовнішньому тиску.

Методи дослідження: метод хімічних потенціалів Гіббса, термодинамічний аналіз системи «метал-шлак-газ» за умови позитивного електричного заряду шлаку.

Отримані результати мають наукову новизну. Наукова новизна полягає у дослідженні процесу модифікування сталей 12ГС, 30ГС, 09Г2С, 35ХГСА лужноземельними металами.

Практичне значення отриманих результатів. Результати дослідження можливості модифікування сталей 12ГС, 30ГС, 09Г2С, 35ХГСА лужноземельними металами можуть бути використані в металургійному виробництві для ефективного використання енергоносіїв і сплавів заліза. Проведені дослідження можуть покращити процес вторинного електротермічного легування та рафінування металу.

Індивідуальні внески дослідників. Основні результати в магістерській роботі отримані самим автором. Виконав постановку завдання дослідження, вибрав методику експериментального дослідження, проаналізував і узагальнив результати дослідження, зробив загальні висновки.

Апробація результатів роботи. Результати досліджень, включених до кваліфікаційної магістерської роботи, були опубліковані в матеріалах І Міжнародної науково-практичної конференції Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні ЗНУ «Інженерні інновації та розбудова національної економіки» (9–10 травня 2024 року, м. Запоріжжя); матеріалах Міжнародної науково-практичної конференції Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні ЗНУ «Сучасні перспективи розвитку обліку, фінансів, економіки, управління, права та інженерії» (5-6 грудня 2024 року, м. Запоріжжя).

Структура та обсяг роботи. Магістерська кваліфікаційна робота складається з реферату українською та англійською мовами, вступу, 4 частин, загальних висновків, переліку джерел посилання, додатку. Загальний обсяг роботи 114 сторінок, 65 таблиць, 47 рисунків, 30 довідкових матеріалів.

1 ТЕРМОХІМІЧНИЙ АНАЛІЗ ОСНОВ ЛЕГУВАННЯ СТАЛІ ЛУЖНОЗЕМЕЛЬНИМИ МЕТАЛАМИ

1.1 Ентальпійна модель теплових процесів

У загальному вигляді пряма задача має вигляд системи рівнянь щодо рівноважних мас елементів у металах, шлаках і газах:

$$\mathbf{F}(\mathbf{m}, \overline{\mathbf{m}}_{\square}, \overline{\mathbf{m}}_{0}, \overline{\mathbf{m}}_{\{\}}, p, T) = \mathbf{0}, \tag{1.1}$$

де $\mathbf{m}$ – вектор маси елементів в системі;

$\overline{\mathbf{m}}_{\square}, \overline{\mathbf{m}}_{0}, \overline{\mathbf{m}}_{\{\}}$ – вектори рівноважних мас елементів у металі, шлаку і газовій фазі;

p, T - тиск і температура в системі.

Розв’язок рівняння (1.1) дає очікуване значення рівноважної маси елементів у металі, шлаку та газі, якщо тиск і температура системи фіксовані. У той же час, згідно з тим же рівнянням, розподіл елементів між фазами суттєво залежить від температури. Температура, у свою чергу, залежить від теплових ефектів, які супроводжують хімічні реакції, які перерозподіляють елементи між фазами, наприклад, коли в систему додають окислювачі або розкислювачі. Крім того, кінцева температура системи залежить від теплофізичних властивостей елементів (стандартної ентальпії та теплоємності) і визначається рівнянням теплової рівноваги. Таким чином, рівноважний склад і кінцеву температуру системи можна знайти, просто розв’язуючи рівняння матеріальної та теплової рівноваги одночасно. Додавання рівняння теплової рівноваги до системи рівнянь (1.1) дозволяє перевести температуру Т і рівноважні маси хімічних елементів у кожній фазі в порядок шуканих значень. Тому в широкому вигляді пряме завдання формулюється так [1]:

$$\mathbf{F}(\mathbf{m}, \overline{\mathbf{m}}_{\square}, \overline{\mathbf{m}}_{0}, \overline{\mathbf{m}}_{\{\}}, p, T, Q) = \mathbf{0}, \tag{1.2}$$

де Q – теплова енергія, що надходить в систему у вигляді електроенергії та інших енергоносіїв за вирахуванням втрат тепла.

Система рівнянь (1.2) являє собою систему рівнянь матеріальної і теплової рівноваги, записану в загальному вигляді.

Рівняння теплового балансу засноване на першому і другому началах термодинаміки. Відповідно до цього рівняння, особливо в ізобарних процесах, зміна ентальпії системи дорівнює поглиненому теплу Q:

$$\Delta H_P = H(T) - H_0 = Q_E - Q_L, \qquad (1.3)$$

У формулі H(T) — ентальпія кінцевого стану системи; H_0 - ентальпія початкового стану системи; Q_E - надходження теплоти від енергоносія; Q_L - втрати тепла;

У всіх розрахунках ентальпія обчислюється за допомогою одного з таких еквівалентних методів:

1) Відповідно до рівняння Гіббса-Гельмгольца: H = G – T$(\partial Г/\partial час)_P$;

2) Відповідно до рівняння Вант-Гоффа: H = $(\partial(G/T)/\partial(1/T))_P$.

Крім того, парціальну молярну ентальпію змішування можна розрахувати двома відомими методами [2]:

3) На основі відомої активності: $h_i^M = -RT^2\left(\partial \ln a_i / \partial T\right)_P$;

4) За відомим коефіцієнтом активності: $h_i^M = R\left(\partial \ln \gamma_i / \partial(1/T)\right)_P$.

Формула розрахунку теплової потужності (включаючи стандартну теплоємність і змішану теплоємність) виглядає так:

$$C_P(T) = -T\frac{\partial^2 G(T)}{\partial T^2} = \frac{\partial H(T)}{\partial T}. \qquad (1.4)$$

Тому ентальпійно-теплова модель є невід’ємною та послідовною частиною будь-якої термодинамічної моделі, є основою для рівноважних розрахунків і базується на методі хімічного потенціалу Гіббса [3].

1.2 Основи процесу легування сталі

Легування металів – процес додавання до сталі легуючих елементів для отримання так званої легованої сталі, тобто додавання до сталі певної

кількості спеціальних (легуючих) домішок для надання їй особливих фізичних, хімічних або механічних властивостей.

Легуючі елементи можуть бути елементами, яких немає в простих сталях, або вони можуть бути елементами, які присутні в невеликих кількостях у будь-якій сталі (C, Mn, Si, P, S). Часто операції легування поєднують з операціями розкислення (особливо при легуванні металу марганцем, кремнієм, алюмінієм).

З точки зору впливу на властивості сталі легуючі елементи поділяються на дві основні категорії:

1) легуючі елементи (нікель, марганець, кобальт), що розширюють γ-зону твердого розчину;

2) легуючі елементи, що звужують діапазон γ (берилій, алюміній, кремній, фосфор, титан, ванадій, хром, молібден, вольфрам), а також елементи, що утворюють сплави з вузьким діапазоном γ (ніобій, тантал, цирконій, церій).

За ступенем спорідненості з киснем легуючі елементи також поділяються на дві великі категорії:

1) легуючі елементи (нікель, кобальт, молібден, мідь), які мають меншу спорідненість до кисню, ніж залізо;

2) Легуючі елементи, які мають велику спорідненість до кисню, ніж залізо (такі як кремній, марганець, алюміній, хром, ванадій, титан).

Крім цих двох основних категорій сплавів використовуються також сплави, введення яких в метали може бути небезпечним для здоров'я, так як пари цих металів або їх з'єднання шкідливі.

До таких елементів відносяться: сірка, свинець, селен, телур, барій. Ці елементи вводять безпосередньо в метал під час заливки сталі з дотриманням особливих заходів безпеки. Домішки сплаву вводяться в метал у чистому вигляді (злитки чистої міді, чистого алюмінію, нікелю та ін.), у формі сплаву (ферросиліцію, феромарганцю, ферромарганцю та ін.) або складеного вигляді. (Оксид ванадію, марганцева руда, молібдат кальцію та ін.).

У всіх випадках, щоб здешевити сталь, намагаються використовувати максимальну кількість дешевих відходів (шлаків, руди), що містять необхідні елементи.

Іноді для легування та розкислення сталі використовують так звані екзотермічні брикети. До їх складу можуть входити оксиди, що містять легуючі елементи (наприклад, оксид хрому, марганцева руда), порошкоподібні розкислювачі та відновники (наприклад, алюміній, магній) і окислювачі (наприклад, селітра). Коли метали потрапляють у бочки з такими брикетами, вони «займаються» і під час реакції між відновниками та окислювачами виділяється необхідне тепло і відновлюються домішки сплаву, що входять до складу оксиду. При такому способі роботи метал не остигає [4].

1.3 Модифікування сталі

Різні способи очищення металів або видалення неметалевих включень, що утворилися в них, не завжди ефективні. Крім того, досягнення позитивних результатів може бути пов’язане з невиправдано високими витратами та зниженням економічної вигоди від процесів позаагрегатної обробки металу. У цьому випадку рекомендується модифікувати сталь та неметалічні включення, тобто впливати на кристалічну структуру металу та змінювати склад, морфологію та розмір включень. Модифікація неметалевих включень не вимагає обов'язкового видалення їх з розплаву, що значно знижує питомі витрати на переробку. Для модифікації найчастіше використовують модифікатори на основі лужних і рідкоземельних металів (ЛЗМ і РЗМ). Їх модифікація полягає в основному в нейтралізації негативного впливу кисневмісних і сірковмісних включень.

У більшості випадків модифікація сталевих і неметалевих включень передбачає сфероїдизацію включень із одночасним зменшенням їх розмірів і рівномірним розподілом в об’ємі металу. Сфероїдізація включень може вирішити проблеми концентрації напруги навколо нерегулярних включень

(найчастішегострий)формі, тим самим зменшуючи ймовірність передчасного пошкодження сталевих виробів.

Утворені в результаті модифікації сульфіди, оксиди і оксисульфіди ЛЗМ і РЗМ мають більш високі температури плавлення, ніж сульфіди і оксиди заліза. Вони не деформуються в процесі гарячого пресування, виключаючи явище розтріскування і розшарування металу при високих температурах, що називається червоноламкістю.

Спираючись на наявний практичний досвід, ми робимо наступні пропозиції щодо технології модифікації сталі.

1. Модифікатор необхідно імплантувати в попередньо розкислений метал, щоб виключити пряму взаємодію активних елементів (ЛЗМ і РЗМ) з киснем розплаву, або вводити на певну глибину у вигляді порошкової лінії або в потік інертних газів виключають їх миттєве випаровування і видалення з розплаву попарно

2. Оптимальна питома витрата модифікатора залежить від його складу, способу введення, окислення і забрудненості металу, особливостей його безагрегатної обробки. Для деяких активних елементів (Ca, РЗМ, Ti, V та ін.) в металі існує оптимальна концентрація, при досягненні якої одержуваний продукт має найвищий рівень механічних і експлуатаційних властивостей. Наприклад, більшість дослідників відзначають, що існує оптимальний вміст RDM, який в основному залежить від вмісту кисню та сірки в металі.

Як правило, витрата модифікаторів у сортовому вигляді (крупнозернистий, колотий) становить 2,0–4,0 кг/т сталі. Додавання модифікаторів у потік металу під час розливання знижує витрати модифікатора до 1,0-1,5 кг/т, а при введенні в ковш у вигляді порошкопроводу – до 0,5-0,7 кг/т.

3. При тривалому знаходженні розкисленого металу в ковші, особливо при кислому футерованні печі і наявності окисленого шлаку, хімічний склад металу в кінці розливу може істотно змінитися в порівнянні з початком. Зокрема, зі збільшенням концентрації азоту значно зменшується вміст

алюмінію та марганцю. Також може відбуватися зниження концентрації активних елементів (Ca, PZM, Ti та ін.), в результаті чого ефект модифікації знижується і стає нестійким.

4. Після обробки його модифікатором зменшується забруднення металу неметалевими включеннями, значно підвищується текучість металу, можна знизити температуру заливки на 20-30°C, а також скоротити час заливки. на 20%.

Загалом модифікування сталевих і неметалевих включень дає змогу отримати значні ефекти при безагрегатній обробці металів з найменшими витратами, які складають лише незначну частку собівартості готових металів [5].

1.3.1 Модифікація неметалевих включень у сталі, обробленій лужноземельними металами

У багатьох випадках основним завданням обробки сталі ЛЗМ є не десульфурація, а зміна хімічного складу, форми і властивостей наявних у сталі неметалевих включень, тобто їх модифікація.

В даний час алюміній широко використовується для розкислення сталі. При високих залишкових концентраціях алюмінію хімічний склад оксидних включень у сталі наближається до складу чистого оксиду алюмінію, що, як правило, небажано. Наприклад, в процесі лиття на стінках литого скла осідають включення оксиду алюмінію, що може призвести до їх часткового або повного затягування. Під час прокатки включення глинозему схильні до крихкого руйнування. При цьому їх фрагменти вирівнюються вздовж напрямку деформації, що призводить до збільшення анізотропії механічних властивостей сталі. Тому в деяких випадках перед заливкою необхідно вжити заходів, спрямованих на зміну властивостей неметалевих включень, які є в рідкому металі і утворюються при охолодженні і гартуванні сталі. Одним із можливих рішень цієї проблеми є переробка розплавів ЛЗМ.

В даний час обробка кальцієвим розплавом використовується частіше, ніж інші методи для неметалевих включень у модифікованих алюмінієвих розкислених сталях. При цьому кальцій розчиняється в оброблюваному металі і має високу хімічну активність по відношенню до кисню, частково заміщаючи алюміній в складі оксидних включень. При досить високій концентрації розчиненого кальцію оксидні неметалічні включення в сталі представлені в основному алюмінатами кальцію різного складу. У деяких випадках поверхня алюмінатів може бути покрита сульфідними оболонками.

Вважається, що в результаті модифікації оксидні неметалічні включення в сталі повинні бути представлені збагаченими оксидом кальцію алюмінатами складу CaO·2AlO3 + CaO·Al2O3 або фазами з більшим вмістом оксиду кальцію. Судячи з ситуації, показаної на малюнку 1. На малюнку 1.1 стану системи CaO-Al2O3 видно, що температура плавлення цих алюмінатів нижча, ніж температура обробки сталі після випікання. Тому в розплаві алюмінат кальцію певного складу знаходиться в рідкому стані і має форму, близьку до сферичної. У загартованій сталі зберігається сприятлива форма неметалічних включень. Крім того, існує мінімальна можливість зміни форми та розмірів цього компонента при термопластичній деформації металу, що позитивно впливає на механічні та експлуатаційні властивості сталі.

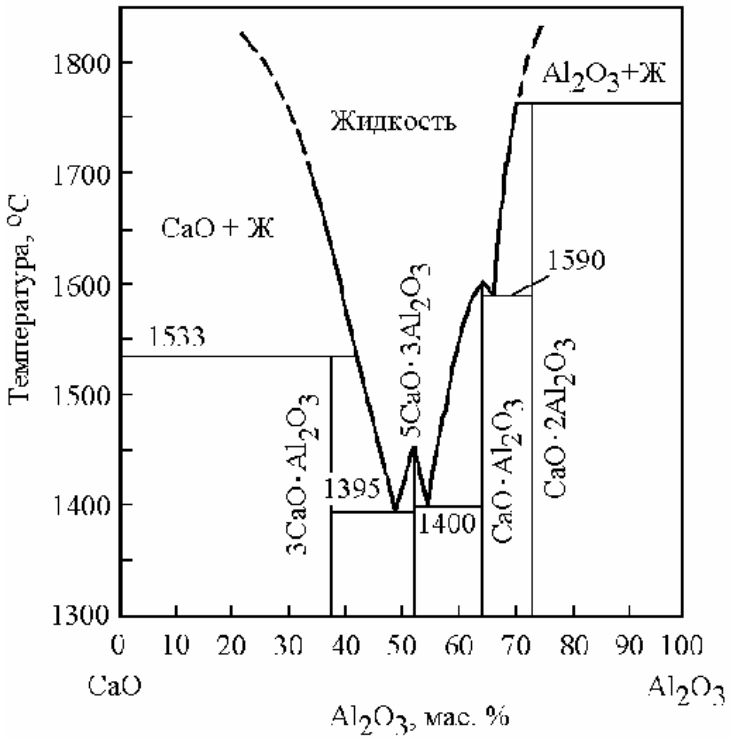


Рисунок 1.1 – Діаграма стану системи CaO – Al2O3

Більшість дослідників зазначає, що для отримання оксидних неметалічних включень заданого складу в розкисленій алюмінієм сталі необхідно, щоб сталь перед розливом містила більше 0,02% алюмінію, а також повинні бути дотримані такі умови: [%Ca]/[%Al] > 0,15 і [%Ca]/[%S] > 0,2-0,3 [6].

1.3.2 Математична модель процесу розчинення лужноземельних металів у сталі

Експериментально доведено, що необхідною умовою розчинення великої кількості ЛЗМ в сталі є попереднє розкислення і глибока десульфурація металу. У той же час швидкість хімічної реакції між парою реагентів і домішками в розплаві різко знижується. Це дає підстави вважати, що зміни маси парових бульбашок ЛЗМ, які плавають у металі, відбуваються головним чином за рахунок розчинення реагентів у сталі.

Як приклад розглянемо зміну маси бульбашок парів кальцію, що плавають у сталі. Якщо концентрацію розчиненого кальцію в металі виразити у відсотках від маси металу, то розчинення бульбашки масою m можна описати наступним рівнянням:

$$dm = -\frac{\beta_{Ca}\rho}{100}([Ca]_n - [Ca])Fdt, \quad (1.5)$$

У формулі β_{Ca} – коефіцієнт масопередачі кальцію в сталі, м/с; $[Ca]_n$ і [Ca] – концентрація кальцію біля поверхні бульбашок парів кальцію в сталі та в об'ємі металу, %.

Вираз (1.5) можна спростити до такого вигляду:

$$dm = -\frac{\beta_{Ca}\rho amRT([Ca]_n-[Ca])dx}{100\mu\nu[P_O+\rho g(H-x)]}. \quad (1.6)$$

Розв'язок рівняння (1.6) можна отримати через:

$$\eta = 1 - e^{-\psi([Ca]_n-[Ca])}, \quad (1.7)$$

$$\psi = \frac{\beta_{Ca}aRT}{100\mu\nu g} ln \frac{P_O+pgH}{P_O}.$$

При визначенні середнього ступеня розчинення і утилізації кальцію в сталі при обробці рівняння (1.7) необхідно перетворити у вигляд:

$$\bar{\eta} = 1 - e^{-\psi([Ca]_n-[\overline{Ca}])}, \quad (1.8)$$

Де $[\overline{Ca}]$ – середній вміст кальцію в сталі при обробці, %.

При обробці сталі кальцієм процес надходження кальцію в метал з піднімаються бульбашок пари і видалення його з розплаву за рахунок окислення і випаровування відбувається одночасно. Відомо, що швидкість видалення кальцію з металу можна описати кінетичним рівнянням реакції першого порядку по концентрації розчиненого кальцію в металі. Враховуючи це, загальну зміну вмісту кальцію в сталі можна виразити у вигляді залежності:

$$d[Ca] = dq\left[1 - e^{-\psi([Ca]_n-[Ca])}\right] - k[Ca], \quad (1.9)$$

де k – константа швидкості реакції с-1 видалення кальцію з розплаву.

Розв'язок рівняння (1.9) не може бути отриманий аналітично. При розгляді залежності ступеня використання кальцію при десульфурації металу

від концентрації сірки в сталі показано, що окислення частково утворених сульфідів можна врахувати шляхом коригування значення коефіцієнта масопередачі сірки. Подібним чином можна показати, що втрату кальцію можна врахувати з достатньою точністю, замінивши коефіцієнт масопередачі кальцію його еквівалентним значенням, яке враховуватиме як швидкість надходження, так і видалення кальцію з розплаву. Це змусить рівняння (1.9) мати такий вигляд:

$$dq = \frac{d[Ca]}{1-e^{-\psi([Ca]_n-[Ca])}} \tag{1.10}$$

З формули (1.10) вираз для визначення споживання кальцію при заданому початковому та кінцевому вмісті кальцію в сталі є:

$$q = ([Ca]_к - [Ca]_н) + \frac{1}{\psi} ln \frac{1-e^{-\psi([Ca]_n-[Ca]_н)}}{1-e^{-\psi([Ca]_n-[Ca]_к)}}, \tag{1.11}$$

де $[Ca]_n$ і $[Ca]_k$ – початкова та кінцева концентрації кальцію в сталі, % [15].

1.3.3 Математичні моделі для розрахунку характеристик кінетики розчинення лужноземельних металів у сталі

Практичне застосування рівнянь (1.8) і (1.11) можливе лише за умови, що відома концентрація кальцію в сталі поблизу поверхні її парових плаваючих бульбашок. Слід пам’ятати, що коли бульбашки рухаються крізь метал, тиск парів кальцію в них постійно змінюється. При цьому змінюється рівноважний вміст кальцію в сталі, який згідно із законом Генрі пропорційний парціальному тиску парів кальцію в газовій фазі, що контактує з металом. Тому при розрахунках за рівняннями (1.8) і (1.11) слід використовувати концентрацію кальцію біля межі розділу в сталі, тобто середнє значення під час руху бульбашок у металі. Припускаючи, що існує термодинамічна рівновага між парами кальцію в бульбашці та вмістом кальцію в сталі біля її поверхні, середню концентрацію кальцію біля поверхні бульбашки можна розрахувати наступним чином:

$$[Ca]n = \frac{[Ca]_H - [Ca]_O}{ln\left({}^{[Ca]_H}/_{[Ca]_O}\right)}, \quad (1.12)$$

де $[Ca]_H$ та $[Ca]_O$ – концентрації кальцію в сталі на глибині Н біля поверхні бульбашки та на виході з об'єму металу, %.

Досвід використання співвідношень (1.8) і (1.11) для опису кінетики розчинення магнію в чавуні, тепер більш повно вивчений, свідчить про те, що під час фактичного процесу метаморфізму металу середня концентрація бульбашок ЛЗМ поблизу поверхні чавуну може бути пов'язана з до рівняння (1.9) Розраховані значення істотно відрізняються. Цю різницю можна пояснити можливістю постулювати вплив поверхнево-активного компонента розплаву на величину градієнта концентрації ЛЗМ у прикордонному шарі біля поверхні бульбашки.

Відомо, що кількість місць адсорбції на поверхні рідини, які можуть бути зайняті атомами домішок, обмежена. У процесі спільної адсорбції кількох домішок частка позиції, яку займає кожен атом домішки, визначається з урахуванням взаємного впливу всіх адсорбованих частинок. Розчинення кальцію в сталі відбувається шляхом адсорбції його атомів на поверхні плаваючих бульбашок і подальшого масопереносу в об'єм металу. У той же час, згідно з рівнянням Гіббса, величина адсорбції кальцію на межі розділу фаз пов'язана з концентрацією кальцію біля поверхні бульбашки, і співвідношення становить:

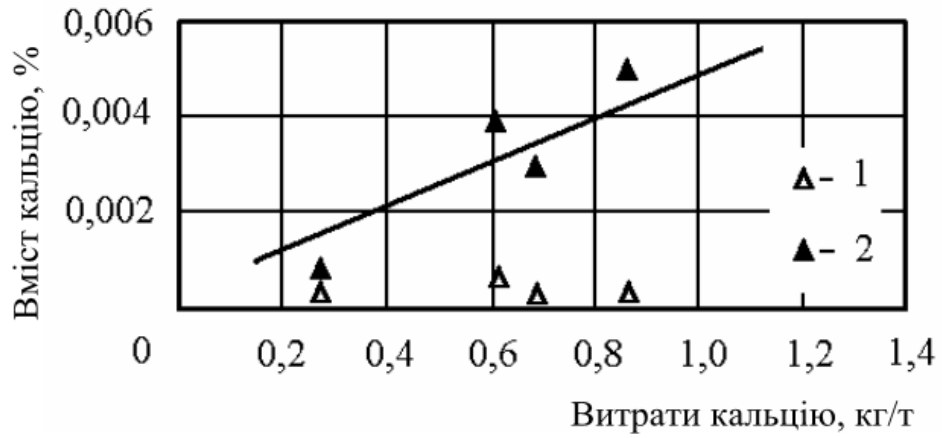
$$\Gamma = -\frac{[Ca]}{RT}\left(\frac{\Delta\sigma}{\Delta[Ca]}\right), \quad (1.13)$$

У формулі $\Delta\sigma$ – зміна поверхневого натягу металу під час розчинення кальцію, Дж/м^2. З рівняння (1.10) видно, що зміна умов адсорбції кальцію на поверхні розділу фаз неминуче супроводжується зміною швидкості розчинення кальцію в сталі, яка зумовлена зміною кількості кальцію, адсорбованого на поверхні розділу фаз. Градієнт концентрації кальцію в металі біля поверхні бульбашки.

Домішки з високою поверхневою активністю в розплавленому чавуні включають кисень, сірку та деякі домішки кольорових металів. Тому середня концентрація кальцію біля поверхні бульбашки може істотно змінюватися в залежності від хімічного складу сталі, що обробляється. У зв'язку з цим рекомендується оцінювати значення $[Ca]_n$ в рівняннях (1.8) і (1.11) на основі експериментальних даних про ступінь утилізації кальцію при розчиненні в сталі. Для цього необхідно розв’язати систему рівнянь:

$$\ln(1-\bar{\eta}_1) = -\psi([Ca]_n - [\overline{Ca}]_1); \qquad (1.14)$$
$$\ln(1-\bar{\eta}_2) = -\psi([Ca]_n - [\overline{Ca}]_2),$$

де $[\overline{Ca}]_1$ і $[\overline{Ca}]_2$ — середній вміст кальцію в сталі під час обробки, %.



1 - вихідна концентрація кальцію; 2 - кінцеве концентрування.

Рисунок 1.2 – Розрахункові та експериментальні дані кінетики розчинення кальцію в сталі 20

На рисунку 1.2 розраховані результати кінетики розчинення кальцію в сталі 20, де кальцій подається як порошок, порівнюються з даними експериментального дослідження. Безпосередня обробка експериментальних даних відповідно до рівняння (1.11) дає значення $[Ca]_n$, що дорівнює 0,0215%. Розрахунки проводили з використанням кінетичного коефіцієнта ψ, що дорівнює 2,6 [6].

1.4 Висновки

1. Процес легування металу полягає у введенні в сталь легуючих елементів для отримання сталі з особливими фізико-хімічними властивостями. Як правило, невеликі кількості елементів (C, Mn, Si, P, S), що містяться в будь-якій сталі, використовуються як сплави. Легування часто поєднується з розкисленням (особливо при легуванні металу марганцем, кремнієм або алюмінієм).

2. Якщо застосування різних методів рафінування металу або видалення неметалічних включень не дає результатів, проводяться операції з модифікації сталі та неметалічних включень (зміна складу та кристалічної структури металу). Для модифікації найчастіше використовують лужно- та рідкоземельні метали, оскільки їх дія покликана нейтралізувати негативну дію сірко- та кисневмісних включень.

2 ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВЕЛР

2.1 Передумови розробки технології ВЕЛР

Під час аналізу розподілу сірки між металом і шлаком при електрошлаковому переплаві на постійному струмі неодноразово ставилося питання про можливість використання установок ковшів для вторинного легування та рафінування сталі. Тому в [7] було показано, що при зміні полярності напруги, прикладеної до електрода, коефіцієнт розподілу сірки (S)/[S] змінюється більш ніж у два рази. Однак відсутність відповідних фізико-хімічних моделей багатокомпонентної системи «метал-шлак-газ» перешкоджає ефективному управлінню цим процесом і залишає лише емпіричні можливості для розробки окремих технічних прийомів, які не виходять за межі технології. Даний металургійний агрегат, дана технологія плавки, дана марка сталі і даний склад шлаку.

У роботі А. Г. Пономаренка [8] вперше введено електрохімічну поправку або «електронний внесок» у логарифм активності шлаку у вигляді додавання $\mu\nu_i$ (ν_i – валентність елемента і шлаку). У цій статті та багатьох наступних роботах обговорюється фізичний зміст величини μ. Наприклад, його запропоновано називати «рівень Фермі електронів у шлаку» [8] і «окисно-відновний потенціал системи метал-шлак» [9]. У [10] було стверджено, що μ є нічим іншим, як невизначеним множником Лагранжа при розв’язанні задачі мінімізації енергії Гіббса системи “метал-шлак” за додаткової умови електронейтральності фази шлаку. [11] показали, що, загалом, електронейтральність є необхідною умовою для виконання рівняння Гіббса-Дюгема при додаванні «електронного внеску» до виразу активності будь-якої фази. У будь-якому разі електрохімічна поправка $\mu\nu_i$ дозволяє значно покращити прогнозні можливості фізико-хімічної моделі системи «метал-шлак», наблизивши її до необхідного рівня інтелектуального ядра промислової АСУТП.

Створена на основі вищезазначених принципів система керування сталеплавильним виробництвом впроваджена на багатьох металургійних підприємствах: Молдавському металургійному заводі [10], Білоруському металургійному заводі [13], Запоріжсталі [14] та ін. При цьому у використаних фізико-хімічних моделях бракує компонент теплових розрахунків, що унеможливлює з достатньою точністю змоделювати та передбачити процес виробництва сталі. Для розрахунку кінцевого інтегралу температури введено модель системи «метал-шлак-газ» [15] і нову термодинамічну модель конденсованого розчину [11], що фактично завершило теоретичну розробку системи «метал-шлак-газ». «Рамка» фізико-хімічної моделі не тільки підходить для побудови повністю автоматичних систем керування існуючими металургійними процесами, але й надає практичні можливості для розробки теоретичних основ і технологій для нових процесів, таких як вторинне електротермічне легування та рафінування (ВЕЛР) в ковшах під час обробки металу в печі.

2.2 Крива електронейтральності

Ключовим елементом теорії ВЕЛР є концепція кривої електричної нейтральності (КЕ), типова форма якої показана на рисунку 1.3.

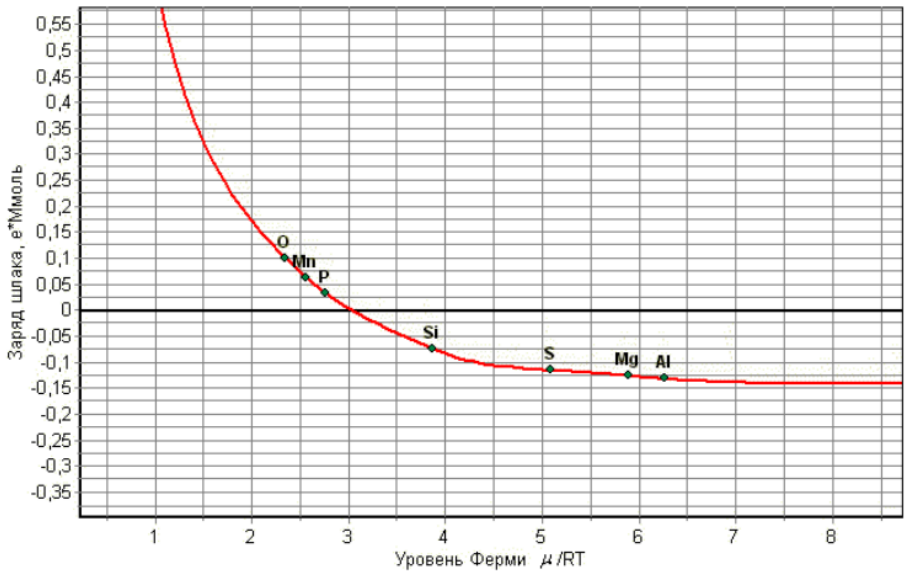


Рисунок 2.1 – Фрагмент кривої електронейтральності

В координатах «Заряд шлаку, e*Mmol» - «Рівень Фермі електронів у шлаку, од. RT» КЕ — функція $F_1(\mu)$, побудована з рівняння, що описує стан системи «метал-шлак-газ» [16]:

$$\begin{cases} F_1 = \sum_{i=1}^{k} \dfrac{n_i \nu_i}{1+\exp(-A_i + Y + \mu\nu_i)[1+\exp(B_i - Z)]} = 0; \\ F_2 = \sum_{i=1}^{k} \dfrac{n_i}{1+\exp(-A_i + Y + \mu\nu_i)[1+\exp(B_i - Z)]} - \dfrac{N}{1+\exp(Y)[1+\exp(-Z)]} = 0; \\ F_3 = \sum_{i=1}^{k} \dfrac{n_i \nu_i}{1+\exp(-A_i + Y + \mu\nu_i)[1+\exp(B_i - Z)]} - \dfrac{N}{1+\exp(Z)[1+\exp(-Y)]} = 0; \end{cases} \quad (2.1)$$

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

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

n_i -Кількість молей і-го елемента в системі;

$Y = \ln(N_m / N_s)$ є логарифмом цього значення та величиною, зворотною молярної кратності шлаку;

$Z = \ln(N_m / N_g)$ – логарифм цього значення, зворотна величина молярної кратності газу;

Розв’язок нелінійної системи (1.15) призводить до набору значень μ, Y, Z, які визначають рівноважний вміст (кількість молей) елементів у шлаку, газі та металі [16].

КЕ відображає поточний стан рівноваги кожного елемента системи. Він перетинає вісь абсцис у точці рівноважного значення μ. Ця точка відповідає електрично нейтральному шлаку.

У точках перегину кривої наносять точки, що відповідають окремим елементам. У записі системи рівнянь (1.5) координати цих точок обчислюються так.

$$\text{Координата X: } X_E = \frac{A_i - Y - \ln[1+\exp(B_i - Z)]}{v_i} \quad (2.2)$$

$$\text{Координата Y: } Y_E = \sum_{i=1}^{k} \frac{n_i v_i}{1+\exp(-A_i + Y + X_E v_i)[1+\exp(B_i - Z)]} \quad (2.3)$$

Положення точок для кожного елемента відносно осі абсцис відображає здатність шлаку поглинати або вивільняти елементи за цих умов. Якщо елемент позитивної валентності має точку нижче цієї осі, цей елемент має тенденцію перетворюватися на шлак. В іншому випадку елемент прагне перетворитися на метал або газ. Елементи з негативною валентністю перетворюються на шлак, якщо відповідна точка лежить над віссю абсцис.

Взаємне розташування точок елементів на КЕ відображає порядок окислення або відновлення елементів при зміні окисно-відновного потенціалу μ системи.

Як показано на рис. 2.1, видно, що фосфор, марганець і сірка прагнуть стати металевими, тоді як кремній, магній і алюміній повинні залишатися в шлаку. При збільшенні ступеня розкислення спочатку відновлюється кремній, потім сірка починає поглинатися шлаком і, нарешті, відновлюються магній і алюміній. При збільшенні ступеня окислення спочатку окислюється фосфор, потім марганець

Отже, КЕ дозволяє оцінити здатність елемента до окислення і відновлення в заданих умовах рівноваги. Розуміння якісних і кількісних властивостей КЕ, а також можливість керування ними за допомогою зовнішніх електричних полів дозволяє на практиці організувати абсолютно нові процеси ВЕЛР.

2.3 Принципова схема промислової установки ВЕЛР

Найпростіший варіант промислової установки ВЕЛР показаний на рисунку 2.2.

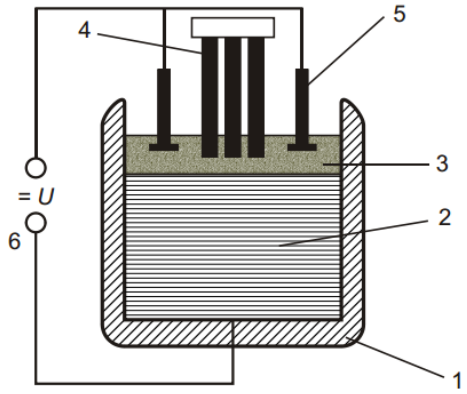


Рисунок 2.2 – Принципова схема промислової установки ВЕЛР: 1 – корпус пристрою печі-ковша; 2 – розплав металу; 3 – рідкий шлак; 4 – нагрівальний електрод; 5 – електрод ВЕЛР; 6 – джерело постійної напруги

Графітовий електрод 5 спеціальної форми забезпечується постійною напругою від джерела живлення 6. Елементи на КЕ рухаються вгору або вниз залежно від полярності напруги, прикладеної до електрода 5. Передбачається, що метал у ковші-печі безперервно перемішується продуванням інертним газом.

Якщо шлак заряджений позитивно (електрод 5 є анодом), то рівновага в системі буде рухатися в бік збільшення μ, як показано на нульовій осі абсцис на рисунку 2.1, тобто вниз. На практиці це відповідає підвищенню ступеня розкислення системи, що призведе до відновлення зі шлаку елементів з позитивною валентністю. При цьому відбувається десульфурація, тобто сірка видаляється з металу і поглинається шлаком, оскільки сірка має негативну валентність. Якщо електрод 5 є катодом, створюються умови для дефосфорації і зневуглецювання розплаву металу.

Координати елементів на КЕ дозволяють оцінити величину напруги, необхідну для створення умов відновлення або окислення на основі відомої геометрії шару шлаку та провідності шлаку. Оскільки опір шлаку має кінцеве значення, для здійснення процесу ВЕЛР необхідні певні витрати енергії, які частково компенсують витрати електроенергії, що подається на нагрівальний електрод 4 за рахунок теплового ефекту.

Попередні розрахунки показують, що електроенергія, необхідна для відновлення одного моля кремнію зі шлаку за допомогою методу ВЕЛР, на порядок менша, ніж необхідна для виробництва такої ж кількості кремнію у формі феросиліцію та транспортування феросплаву на завод. заводу, вводять його в розплав, розплавляють і нагрівають до температури розплаву, навіть враховуючи, що цей процес супроводжується екзотермічною реакцією. Подібні результати були досягнуті при переробці марганцю та алюмінію[17].

2.4 Висновки

Технологія вторинного електротермічного легування та рафінування (ВЕЛР) дозволяє:

- Значно економити споживання дорогих феросплавів, модифікаторів і синтетичного шлаку;
- Застосовувати звичайні конвертерний, доменний і мартенівський шлаки;
- Проводити дефосфорацію і десульфурацію без введення реагентів, що підвищують вміст неметалевих включень у металі;
- Вводити в розплав високоактивні сплави з максимальним засвоєнням;
- Знизити викиди газу та утворення пилу порівняно з існуючими методами легування та розкислення сталі.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ МОДИФІКУВАННЯ СТАЛІ ЛУЖНОЗЕМЕЛЬНИМИ МЕТАЛАМИ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ ВЕЛР

3.1 Програмне забезпечення Excalibur“

Програма “Forward“ була однією з перших комп’ютерних програм, розроблених для оптимізації легування сталі [18]. Наступним кроком у розвитку програмних засобів металургійного розрахунку була реалізована система Oracle [19], яка змогла врахувати неметалеву частину шихти при розрахунку балансу. Істотним недоліком обох методів є неможливість урахування ефектів теплових ефектів і диференційних коефіцієнтів поглинання. У програмі Excalibur вперше повністю реалізовано спільну роботу над прямими та зворотними задачами. Алгоритм прямої задачі базується на термодинамічній моделі багатокомпонентної конденсованої фази [20] та її подальших модифікаціях [21,22], ентальпійному тепловому балансі [23] та враховує кінетичні затримки [24]. Алгоритм оберненої задачі реалізує загальний метод фазових операторів [25], окремим випадком якого є диференціальний коефіцієнт поглинання (ДКП) у металах [26].

За своїми функціональними можливостями програма «Екскалібур» значно перевершує раніше створену програму термодинамічного моделювання системи «метал-шлак-газ». Його основні переваги:

- Рівноважні термодинамічні розрахунки в багатокомпонентній гетерогенній системі «метал-шлак-газ» з урахуванням теплоти хімічної реакції;

- Комплексний термодинамічний розрахунок кінцевої температури системи на основі ентальпійного теплового балансу;

- Вміння розраховувати парціальний тиск усіх атомних і молекулярних компонентів у газовій фазі;

- Розрахунок і відображення всіх інтегральних і часткових термодинамічних функцій компонентів системи, включаючи всі фази та окремі хімічні елементи, на основі єдиного критерію;

- точно розраховувати теплоту енергоносія та тепловтрати, температуру та стан полімеризації матеріалу;

- Розраховувати та наочно представляти динаміку фазових взаємодій у сталеплавильних установках на основі принципів нерівноважної термодинаміки та розв’язку динамічних систем диференціальних рівнянь;

- Комплексний розрахунок плавлення в дугових сталеплавильних печах (ДСП), що включає: кінетику плавлення брухту, масовий і хімічний склад металу, шлаку і газів, температури при плавленні з урахуванням кінетичних затримок, шлакових виділень, тепловтрат і параметрів форми печі;

Як частина повного та точного вирішення зворотних задач термодинамічного моделювання, програма Excalibur забезпечує:

- Оптимізація масо- і енергоємності різних сплавів і шихт (в будь-якому агрегатному стані) за критеріями мінімальної сумарної собівартості або максимальної продуктивності сталеплавильного цеху;

- Реалізація ряду односторонніх і двосторонніх оптимізаційних обмежень на хімічний склад і якість кінцевого металу, шлаку і газів, якість сировини, споживання енергоносіїв, кінцеві температурні налаштування системи та гарантії;

- Застосування фазової операторно-матричної алгебри та швидкого алгоритму дуального симплексного методу;

- Розраховувати та враховувати перехресний вплив вмісту одних елементів на засвоєння інших елементів на кожному етапі;

- Матриці консолідації, що розраховують вплив матеріальних добавок і енергоносіїв на масу і склад фаз і температуру системи;

- Врахувати невизначеність вихідних і розрахованих даних шляхом встановлення відповідних довірчих інтервалів «нижня-верхня межа»;

- Практична реалізація принципів ситуаційного управління процесом на основі оперативної розробки варіантів легування, розкислення та післяобпікання сталі за відсутності початкових форм розв’язків зворотних задач.

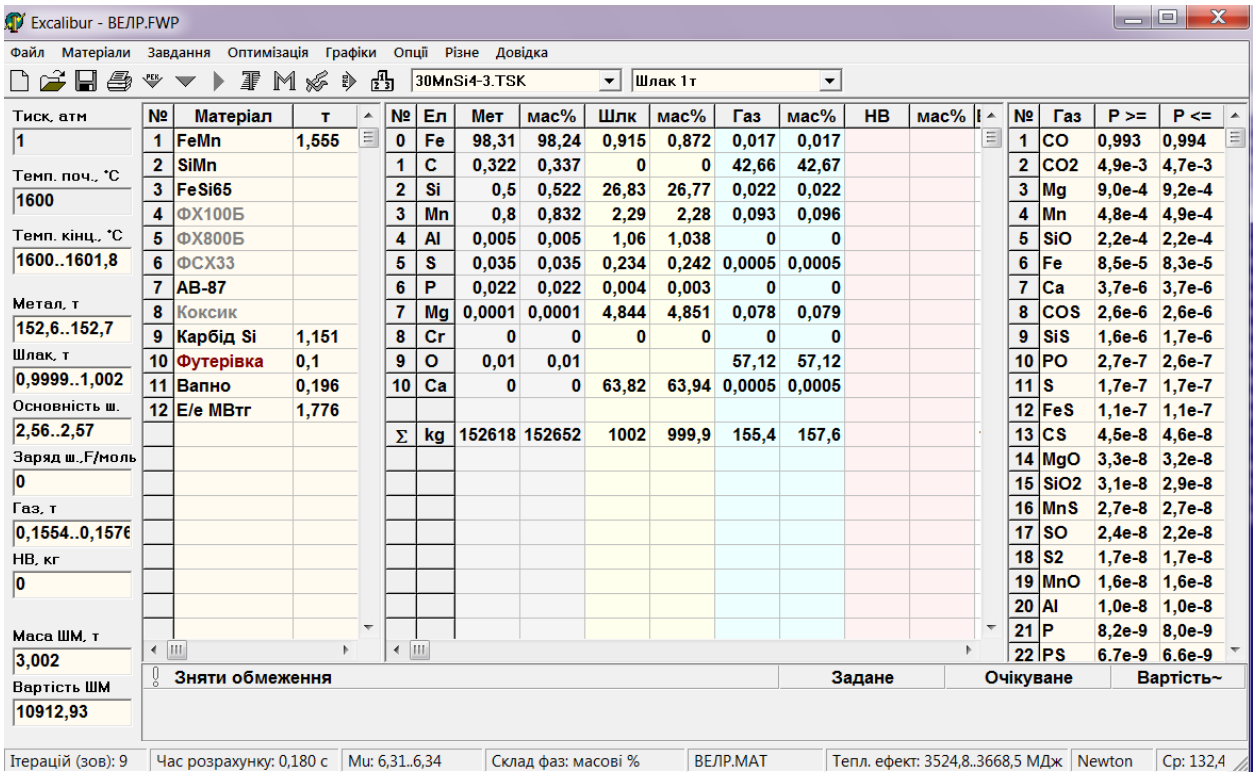


Рисунок 3.1 – Робоче вікно програми Excalibur

За допомогою редагованих таблиць і полів користувач може задати будь-які вихідні дані і оптимізаційні обмеження (односторонні і двосторонні), що стосуються металів, шлаків і газів, а також всіх доступних і недоступних матеріалів і енергоносіїв. Зокрема, тут можна встановити хімічний склад і діапазон маси вихідного металу і шлаку, початкову температуру, температуру навколишнього середовища, необхідний склад металу і шлаку, необхідну масу металу, шлаку і газу, кінцеву граничну температуру металу, І вкажіть величину тепловтрат у МДж.

Крім того, для кожного матеріалу можна вказати рекомендовану вагу, фіксовану (обов’язкову) вагу та встановити верхню та/або нижню межу використання цього матеріалу в тоннах і/або у відсотках від загальної ваги всіх матеріалів.

Редактор завдань дозволяє вводити до 100 різних завдань для кожного плавлення, які можна зберігати у файлах. У формі редактора можна використовувати контекстне меню для роботи з файлами завдань і окремими

завданнями. У головній формі ви можете швидко перемикатися між файлами завдань та окремими завданнями за допомогою двох розкривних списків у верхній частині форми.

Програма "Excalibur" може виконувати термодинамічне моделювання системи "метал-шлак-газ" з урахуванням ентальпійного балансу. Його можна використовувати як навчальний проект для студентів-металургійних факультетів і як інструмент для студентів-металургійних факультетів. Дослідники та техніки розробляють нові технології, оскільки вони можуть імітувати різні варіанти виплавки сталі, обробки після випікання, розкислення, легування, десульфурації та дефосфорації [27].

3.2 Об'єкти дослідження

В якості об’єктів дослідження обрано 4 марки сталі 12ГС, 30ГС, 09Г2С і 35ХГСА. Хімічний склад досліджуваної сталі та відповідний хімічний склад шлаку та газу наведено в розділі 2, п. 2.4.3. Вміст елементів у металах і шлаках наведено в цій роботі у масових відсотках.

3.2.1 Сталь 12ГС - конструкційна сталь для зварних конструкцій

Таблиця 3.1 – Хімічний склад сталі 12ГС за ГОСТ 19281 - 2014 [28]

С	кремній	марганець	Немає	С	фосфор	хром	азот	мідь
0,09-0,15	0,5-0,8	0,8-1,2	≤0,3	≤0,035	≤0,03	≤0,3	≤0,008	≤0,3

Застосування: шестерні, ролики, хомути, вінця, важелі, фланці, шківи, сектори, колони, ходові колеса та інші деталі.

3.2.2 Сталь 30ГС - легована сталь для виливків

Таблиця 3.2 – Хімічний склад сталі 30ГС за ГОСТ 977-88 [29]

С	кремній	марганець	Немає	С	фосфор
0,25-0,35	0,6-0,8	1.1-1.4	≤0,3	≤0,04	≤0,04

Застосування: Зварювання різних деталей і елементів металоконструкцій під тиском при робочих температурах від -70 до + 425 °С.

3.2.3 Сталь 09Г2С - конструкційна сталь для зварних конструкцій

Таблиця 3.3 – Хімічний склад сталі 09Г2С за ГОСТ 19281 - 2014 [28]

С	кремній	марганець	Немає	С	фосфор	хром	азот	мідь
≤0,12	0,5-0,8	1,3-1,7	≤0,3	≤0,035	≤0,03	≤0,3	≤0,008	≤0,3

Застосування: Зварювання різних деталей і елементів металоконструкцій під тиском при робочих температурах від -70 до + 425 °С.

3.2.4 Сталь 35ХГСА - низьколегована конструкційна сталь

Таблиця 3.4 – Хімічний склад сталі 35ХГСА за ГОСТ 4543-71 [90]

С	кремній	марганець	Немає	С	фосфор	хром	мідь
0,35-0,39	1.1-1.4	0,8-1,1	≤0,3	≤0,025	≤0,025	1.1-1.4	≤0,3

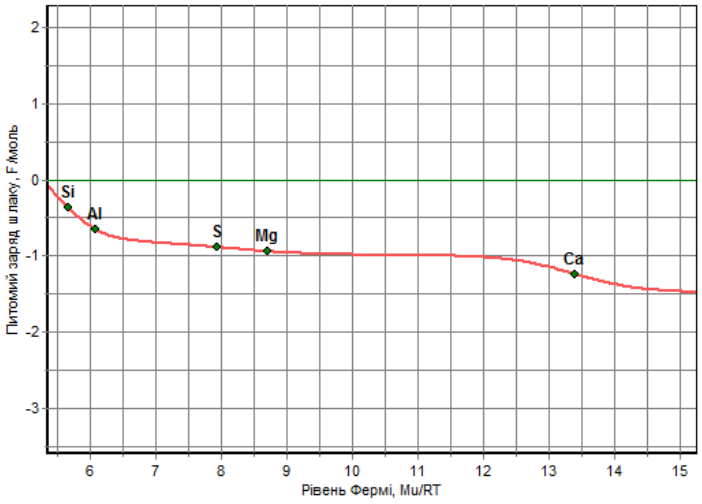
Застосування: вдосконалені деталі для фланців, кулачків, пальців, роликів, важелів, валів, зварних структурних деталей та інших складних конструкцій, що працюють в умовах змінного навантаження.

3.3 Побудова кривої електричної нейтральності

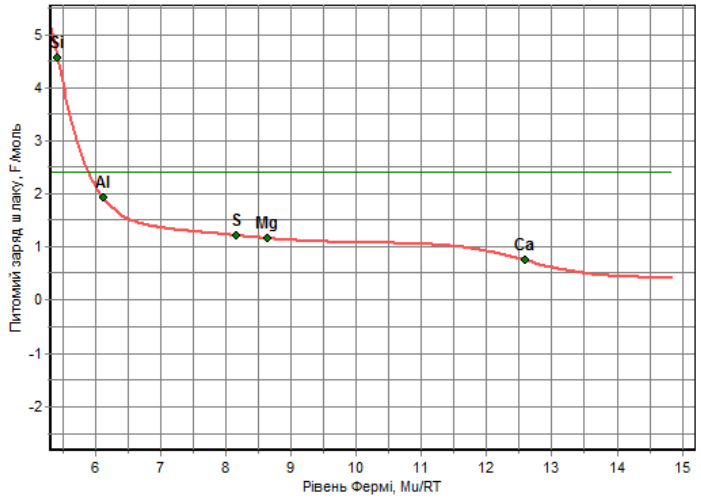
Поведінку кривої електронейтральності (КЕ) можна змоделювати за допомогою програмного забезпечення «Excalibur». КЕ показує можливість відновлення того чи іншого елемента і питому шихту, яку необхідно подати на шлак.

Елементи, розташовані в нижній (негативній) частині КЕ і з негативною валентністю - переходять в шлак, і навпаки, елементи з позитивною валентністю, розташовані у верхній частині КЕ - переходять в метал.

Для прикладу розглянемо КЕ напівфабрикатів і сталі 12ГС.



а)



б)

а) Напівфабрикат; б) Сталь 12ГС (заряд шлаку 6 Ф/моль)

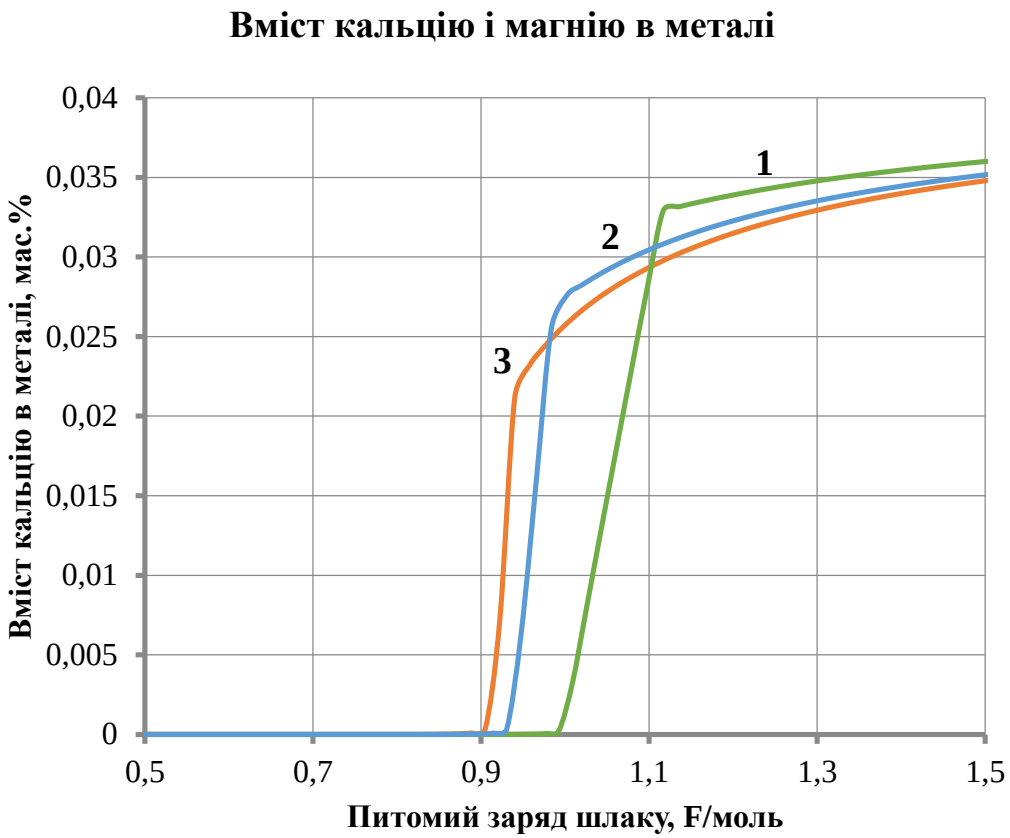
Рисунок 3.2 – Крива електричної нейтральності

Це видно з рис. 2.2, відновні властивості лужноземельних металів зростають із збільшенням питомої заряду шлаку. Значення заряду не повинно перевищувати 6 F/моль, оскільки при більших значеннях шлак стає нестабільним.

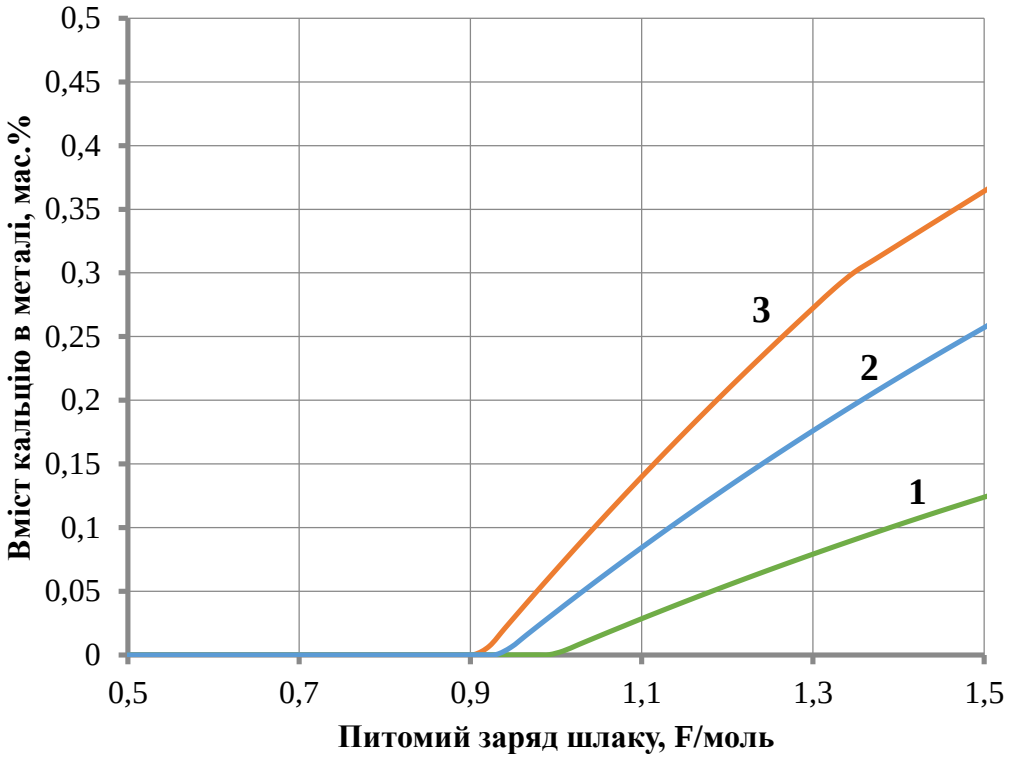
3.4 Результати дослідження

3.4.1 Вміст кальцію і магнію в металі і шлаку

На рисунках 3.3 - 3.18 показано залежність вмісту кальцію і магнію в металах і шлаках від збільшення питомої заряду і маси останніх. Дані діаграми побудовані для наступних марок сталі: 12ГС, 30ГС, 09Г2С, 35ХГСА. Експерименти проводили в умовах нормального і підвищеного зовнішнього тиску з кількістю шлакоблоку: 1, 2 і 3 тонни.

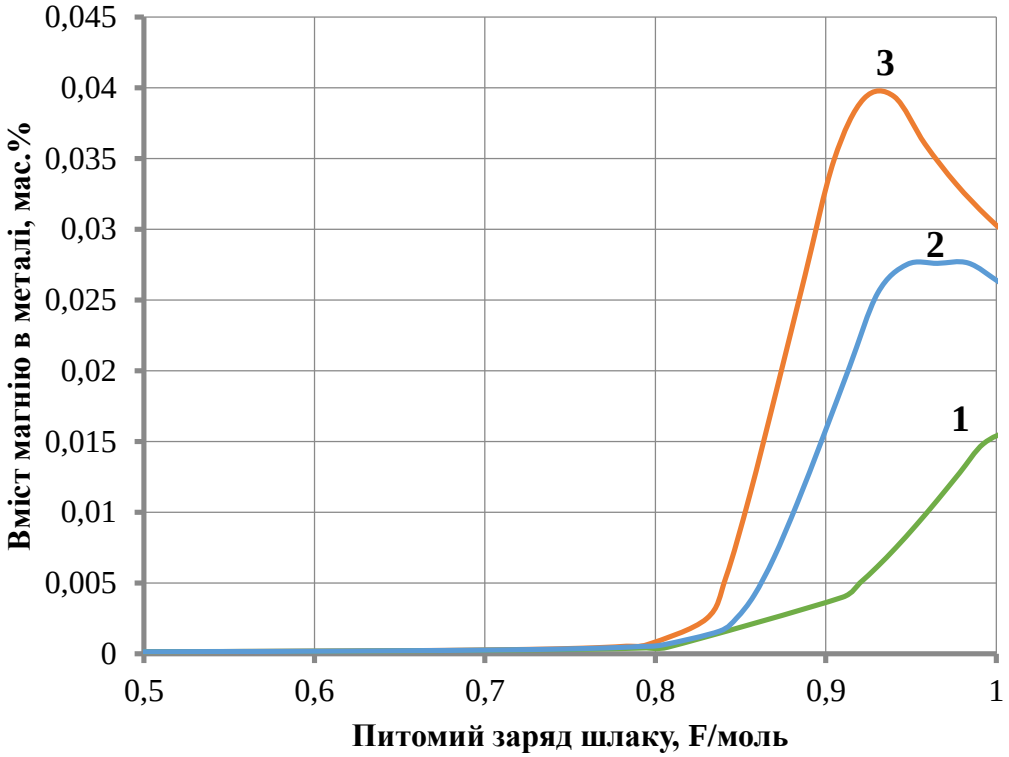


а) 1 атмосфера

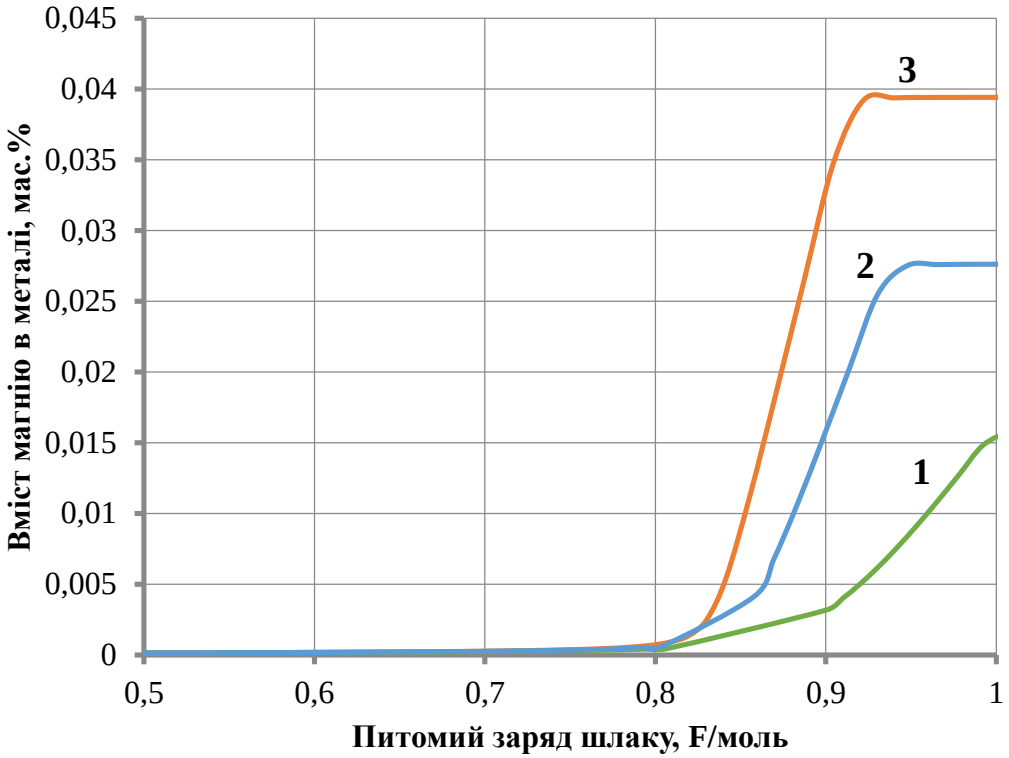


б) 2 атмосфери.

Рисунок 3.3 – Вплив питомого заряду шлаку на вміст Са в сталі 12ГС

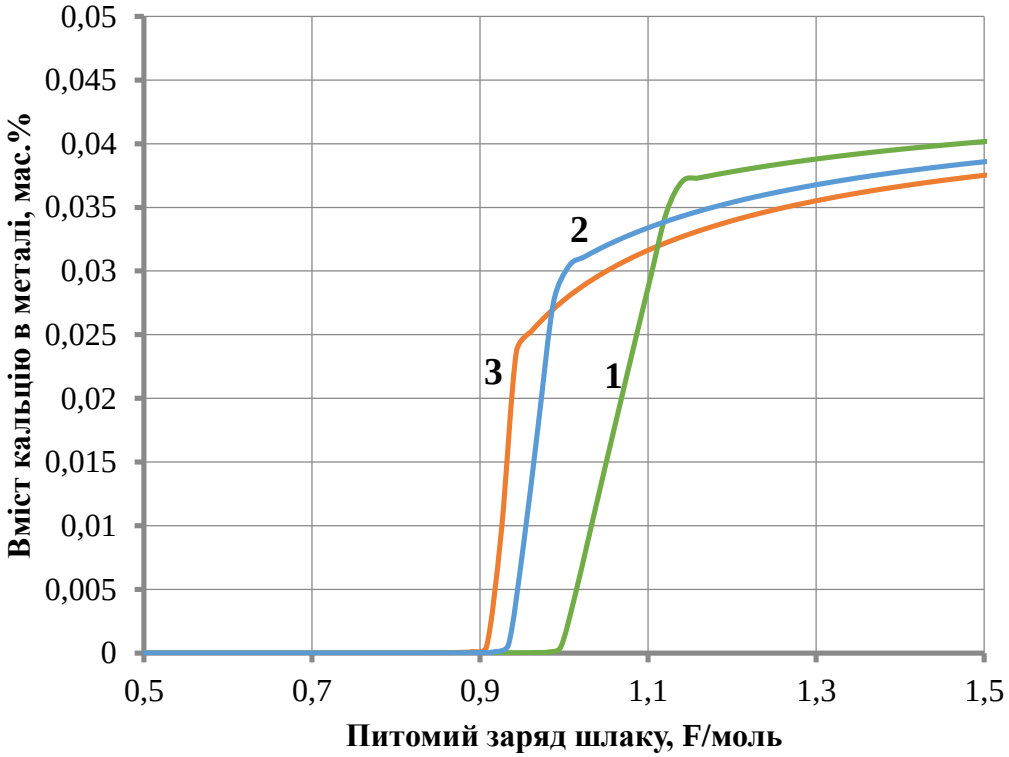


а) 1 атмосфера

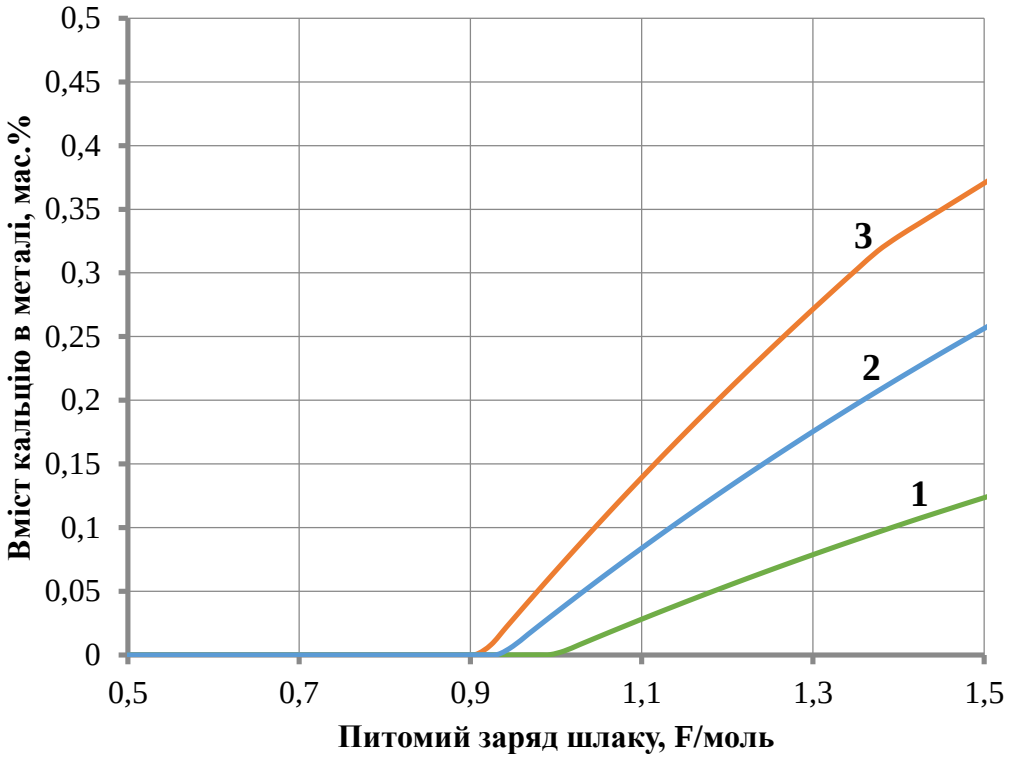


б) 2 атмосфери.

Рисунок 3.4 – Вплив питомого заряду шлаку в сталі 12ГС на вміст Mg в металі

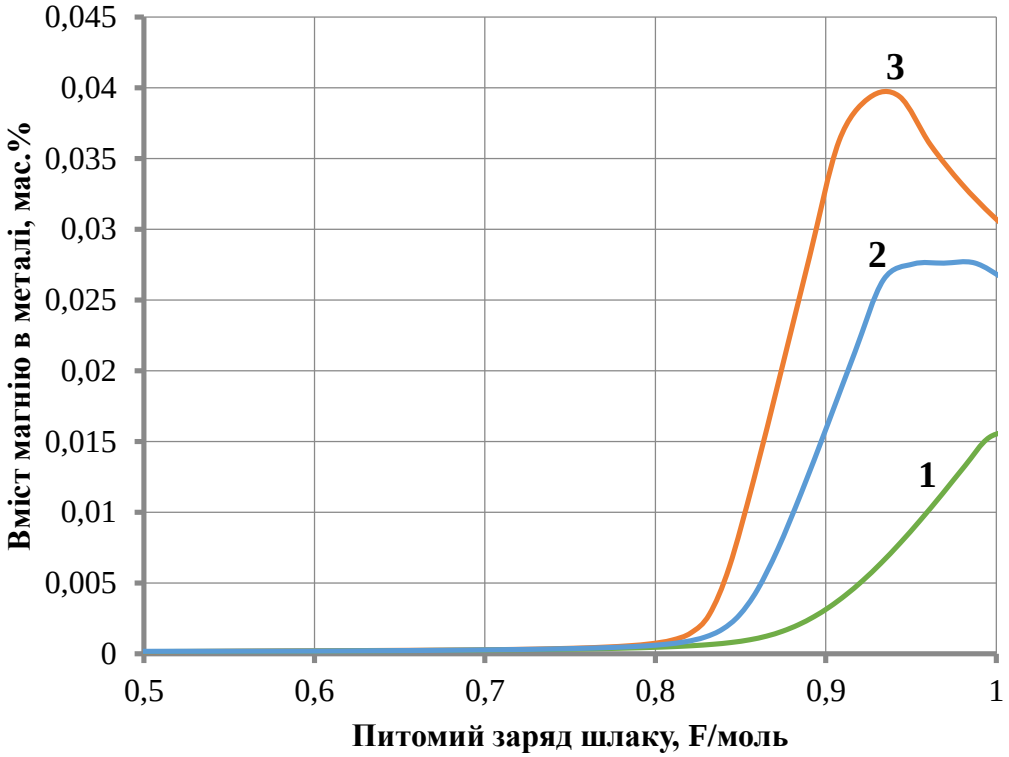


а) 1 атмосфера

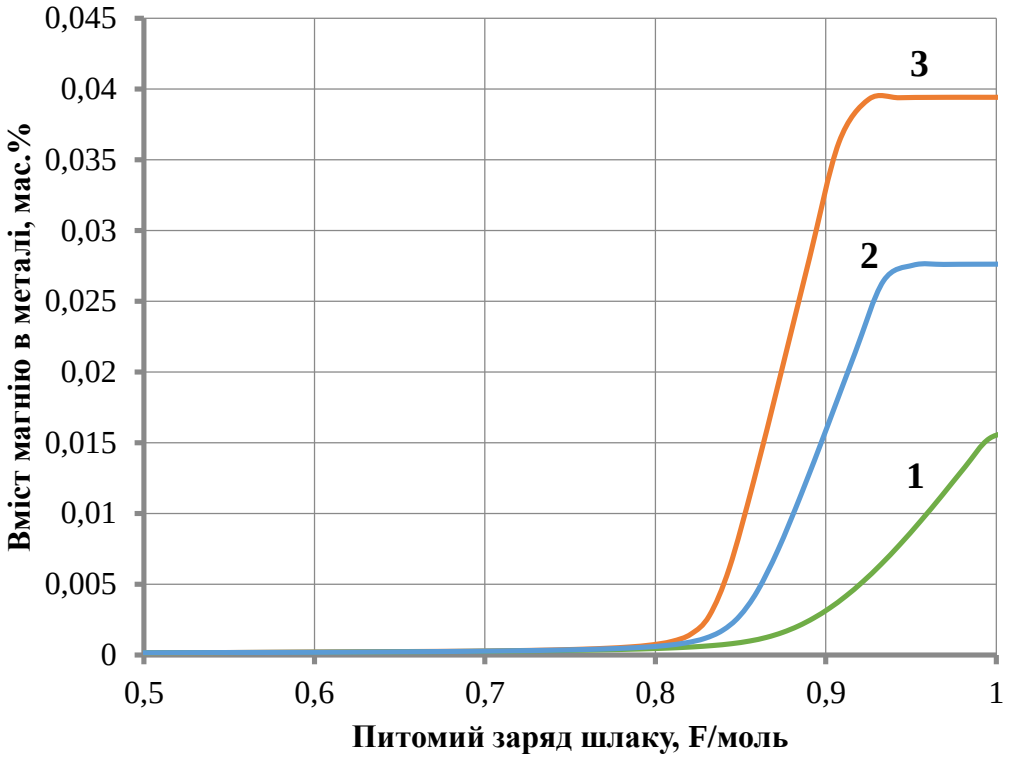


б) 2 атмосфери

Рисунок 3.5 – Вплив заряду шлаку в сталі 30ГС на вміст Са в металі

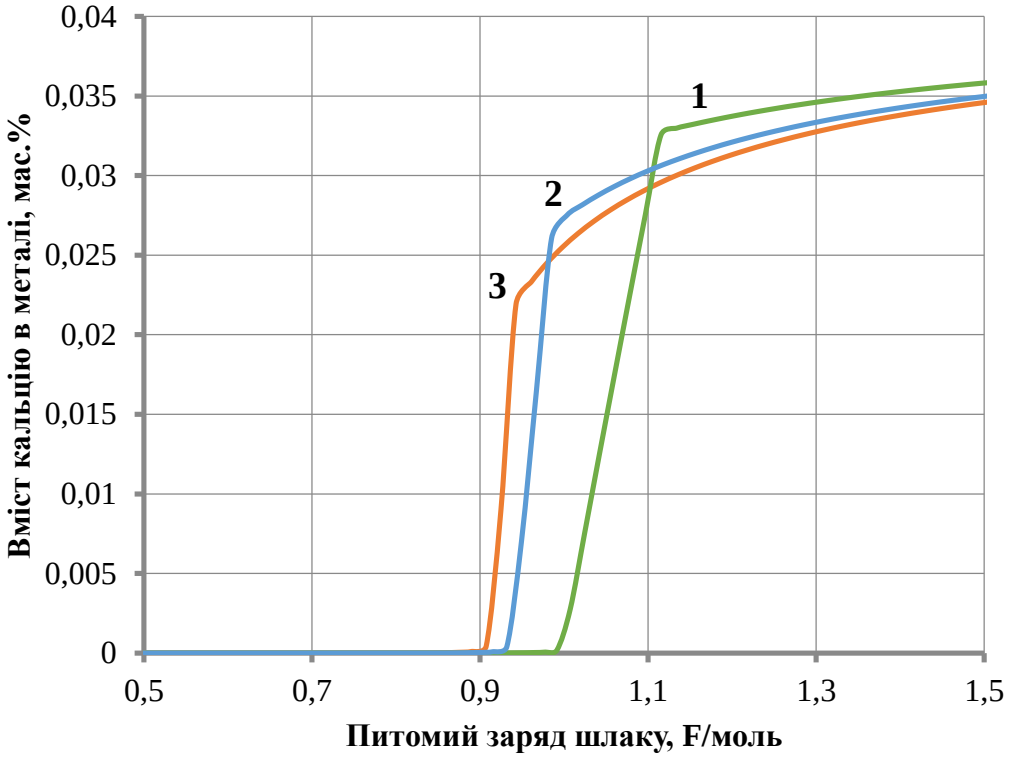


а) 1 атмосфера

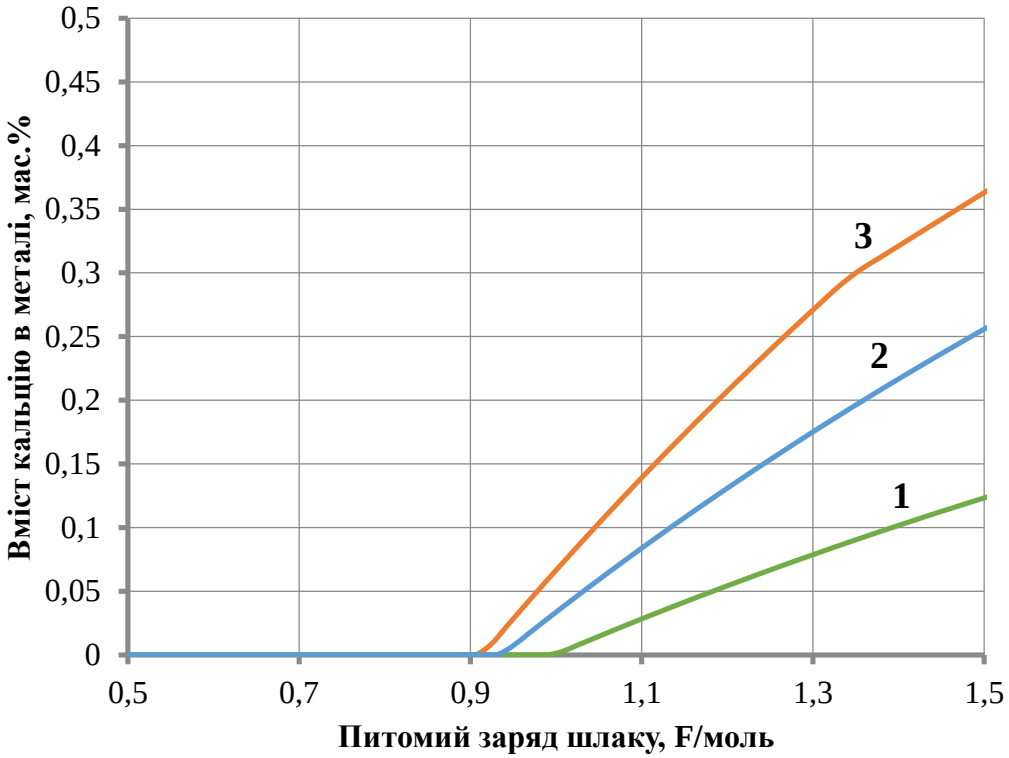


б) 2 атмосфери

Рисунок 3.6 – Вплив питомого заряду шлаку в сталі 30ГС на вміст Mg в металі

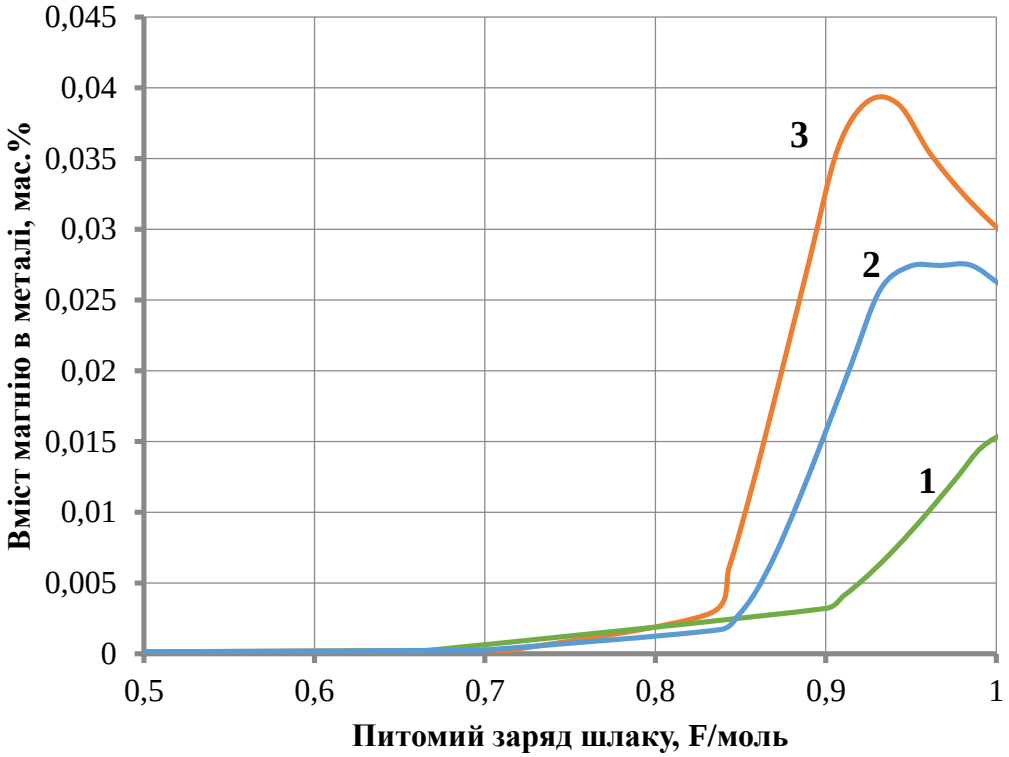


а) 1 атмосфера

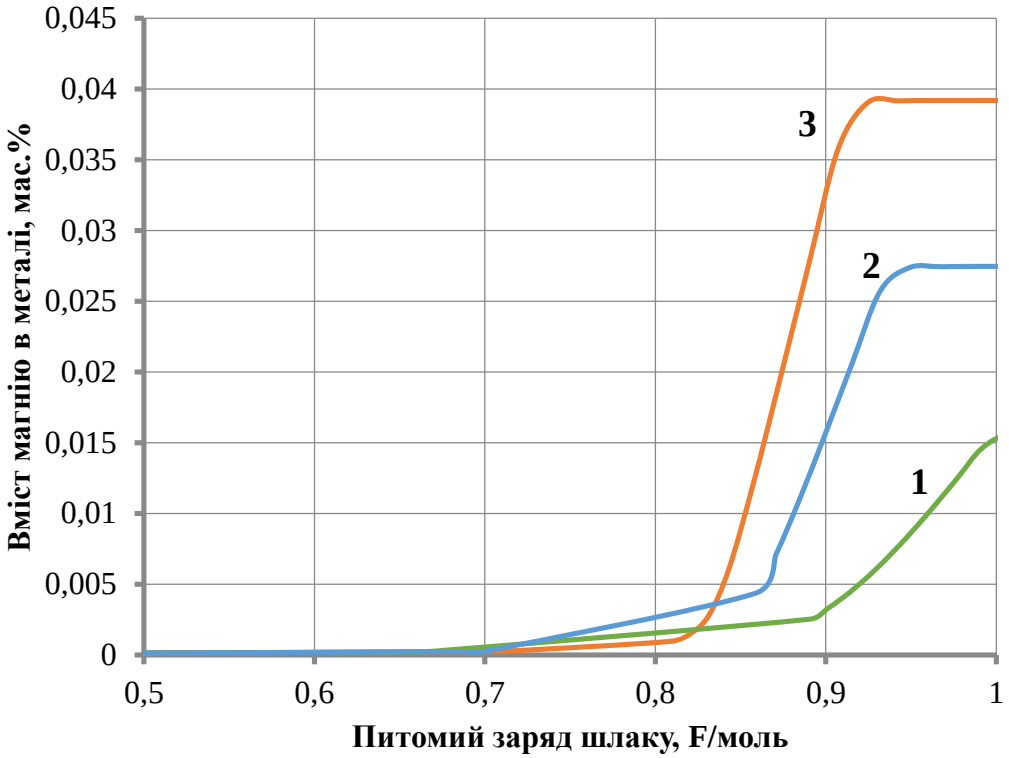


б) 2 атмосфери

Рисунок 3.7 – Вплив питомої заряду шлаку на вміст Са в металі сталі 09Г2С

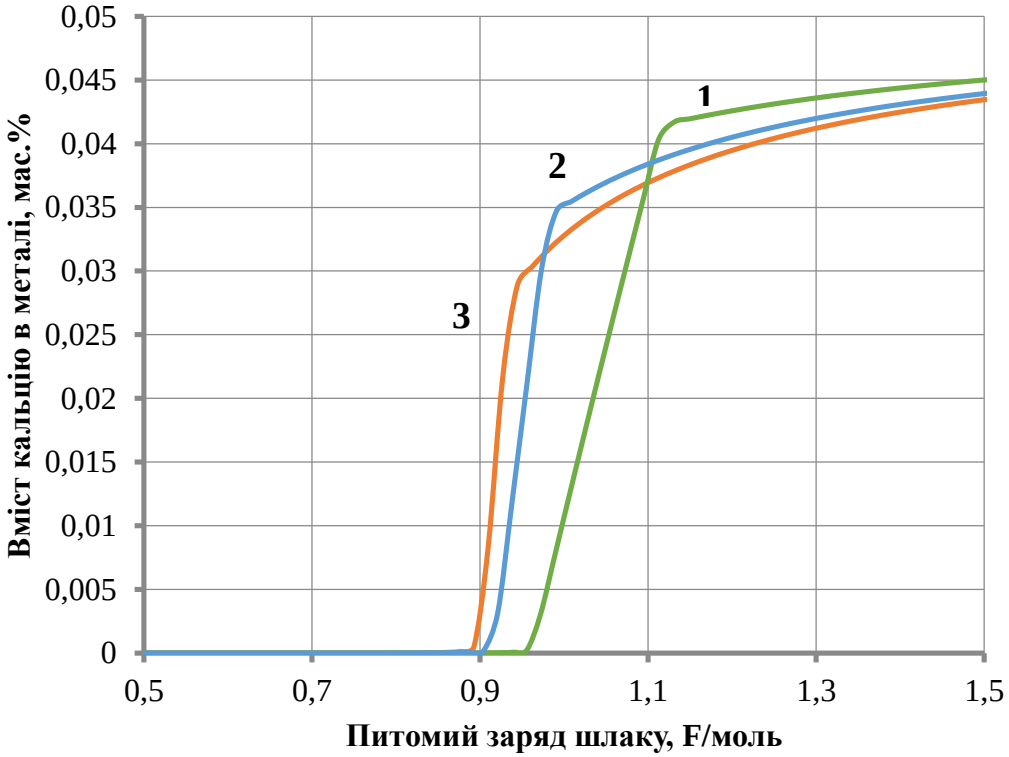


а) 1 атмосфера

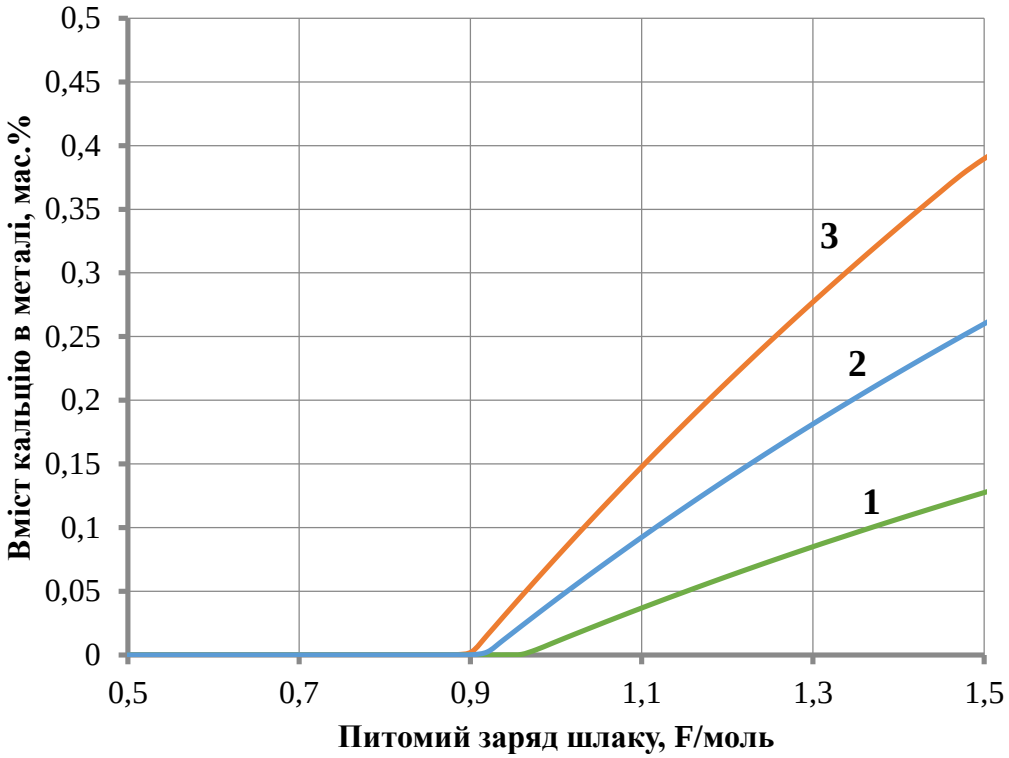


б) 2 атмосфери

Рисунок 3.8 – Вплив питомої заряду шлаку на вміст магнію в металі сталі 09Г2С

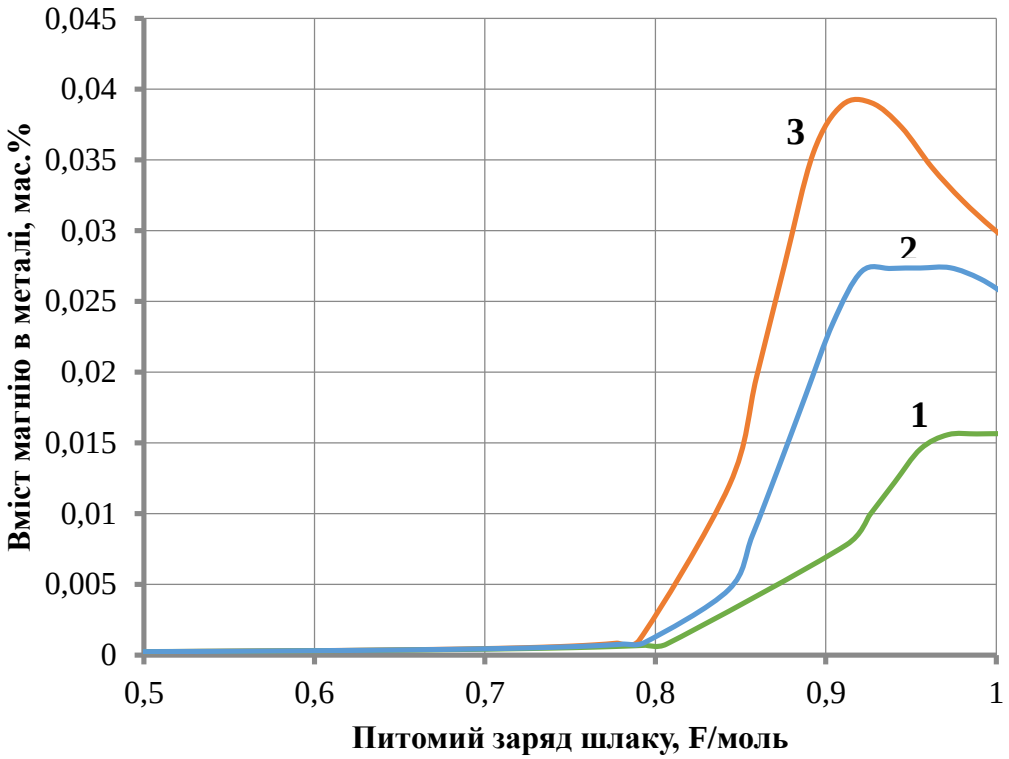


а) 1 атмосфера

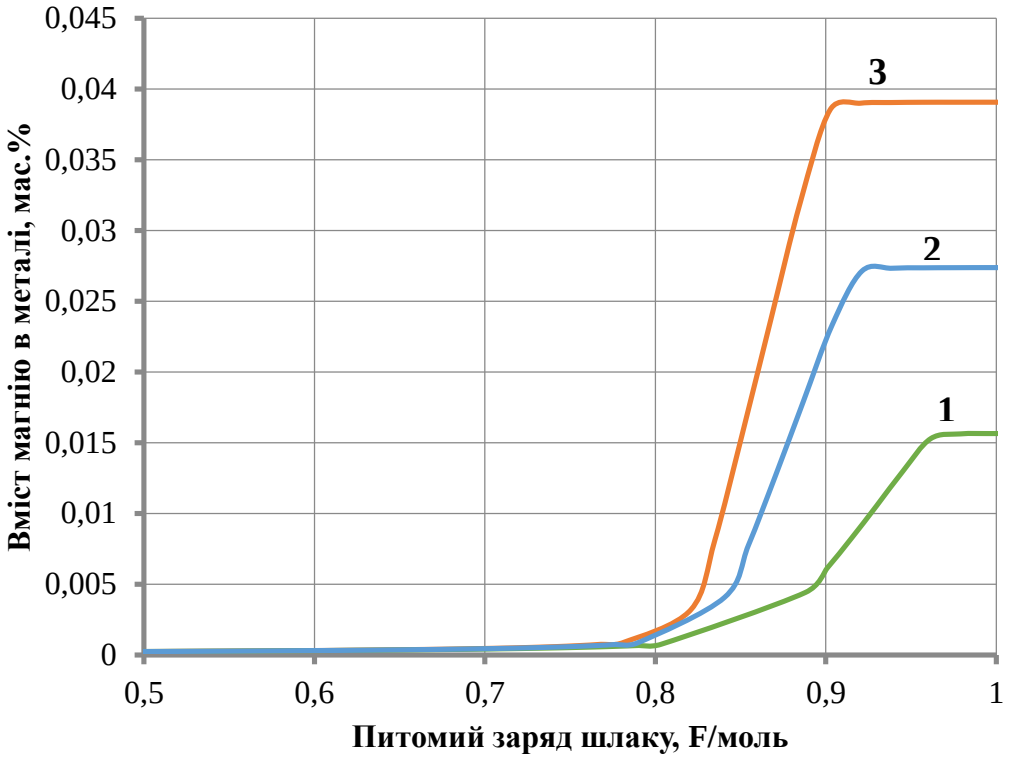


б) 2 атмосфери

Рисунок 3.9 – Вплив питомої заряду шлаку на вміст Са в металі сталі 35ХГСА

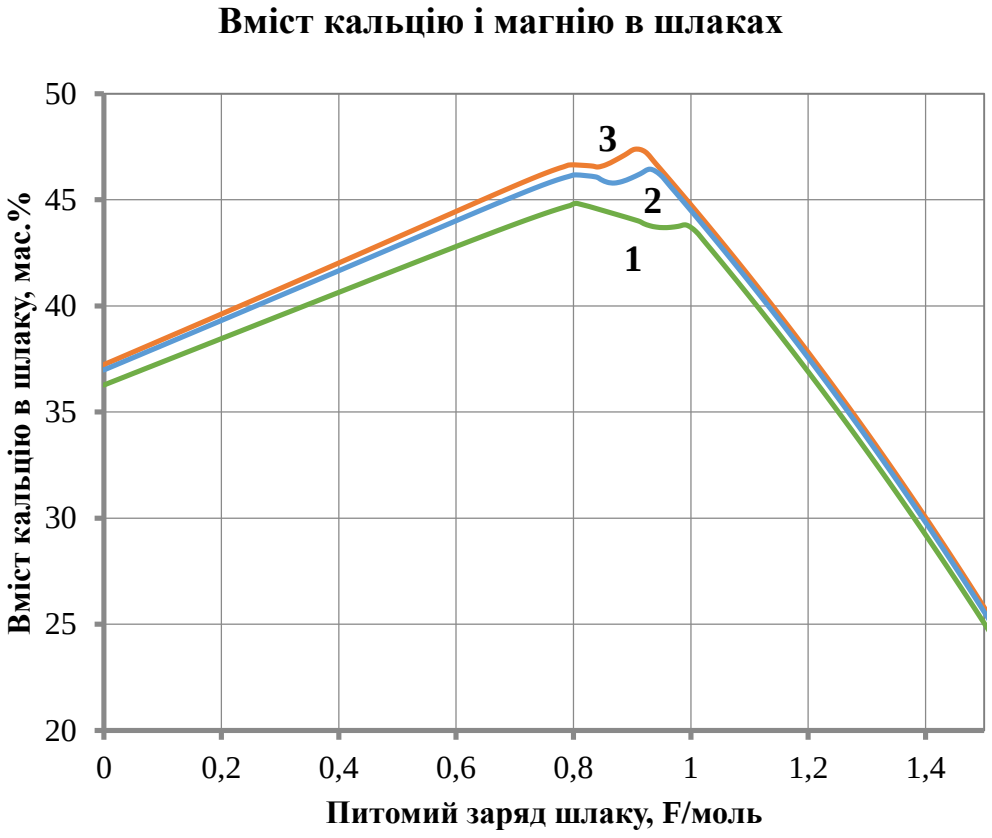


а) 1 атмосфера

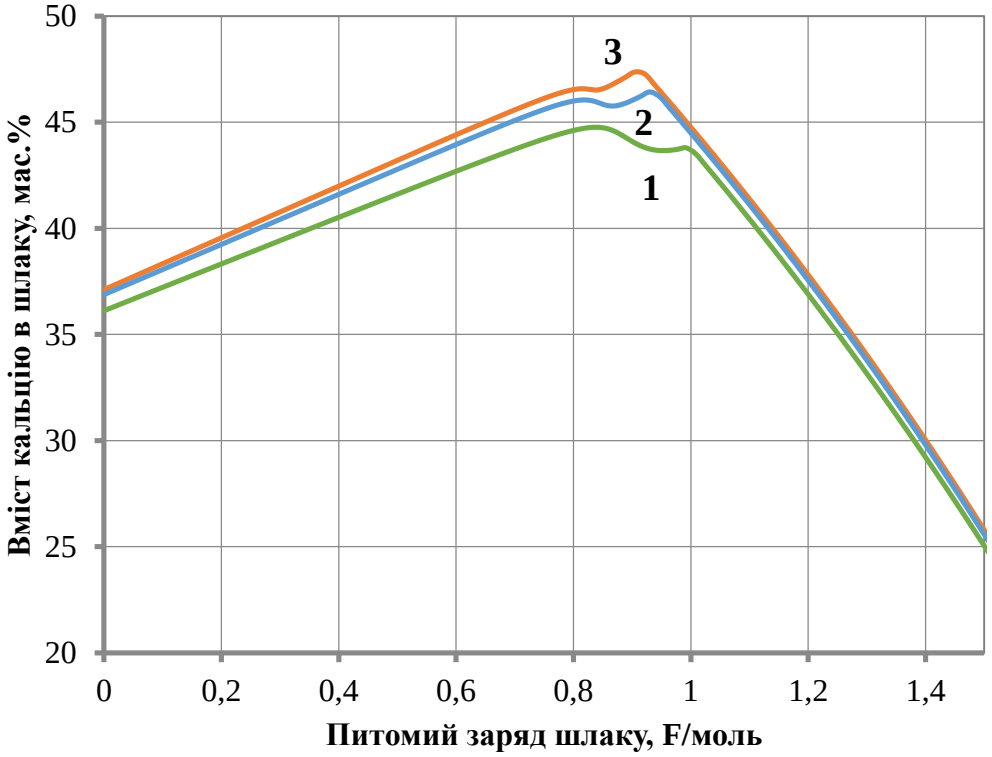


б) 2 атмосфери

Рисунок 3.10 – Вплив кількості засипки шлаку на вміст магнію в металевій сталі 35ХГСА

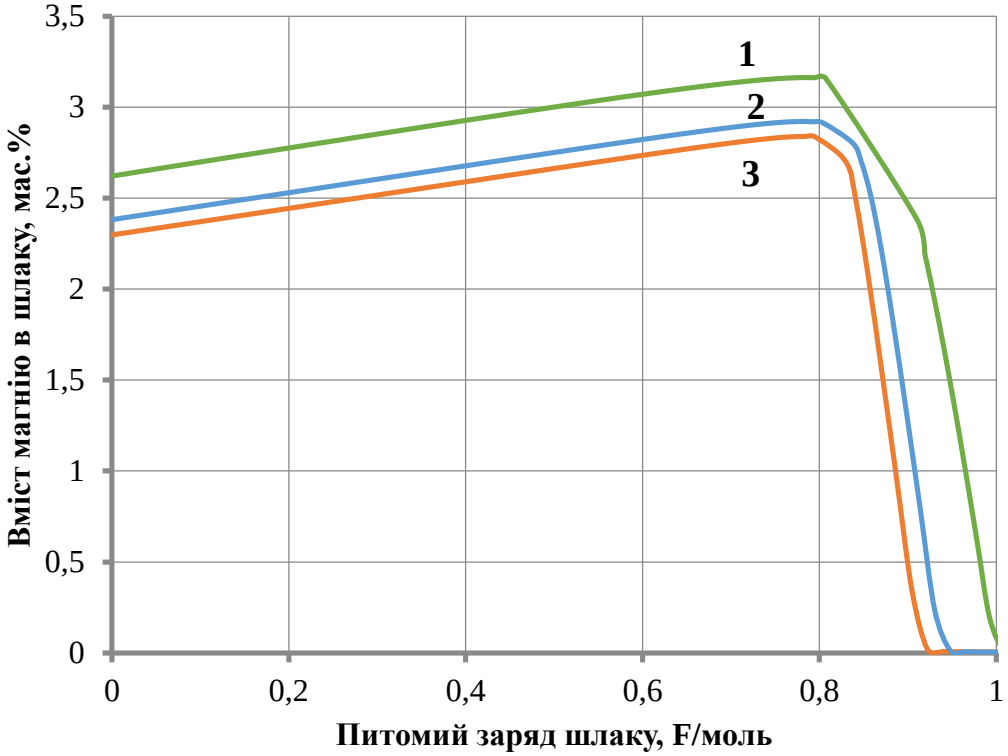


а) 1 атмосфера

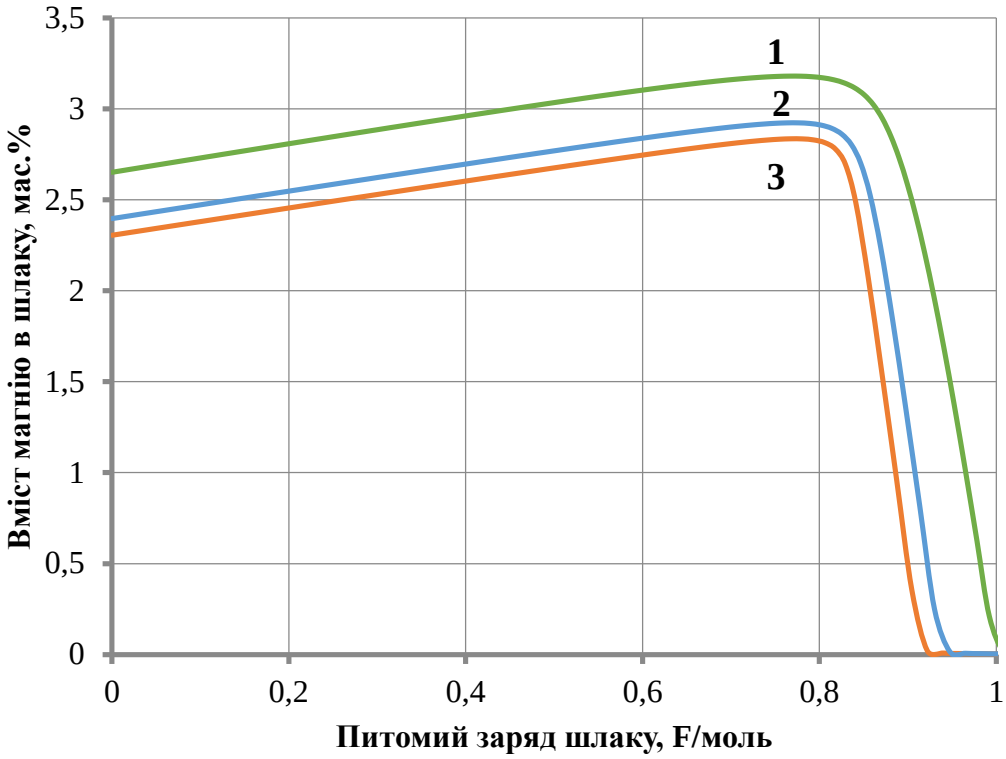


б) 2 атмосфери

Рисунок 3.11 – Вплив кількості завантажуваного співвідношення шлаку на вміст Са в сталевому шлаку 12ГС

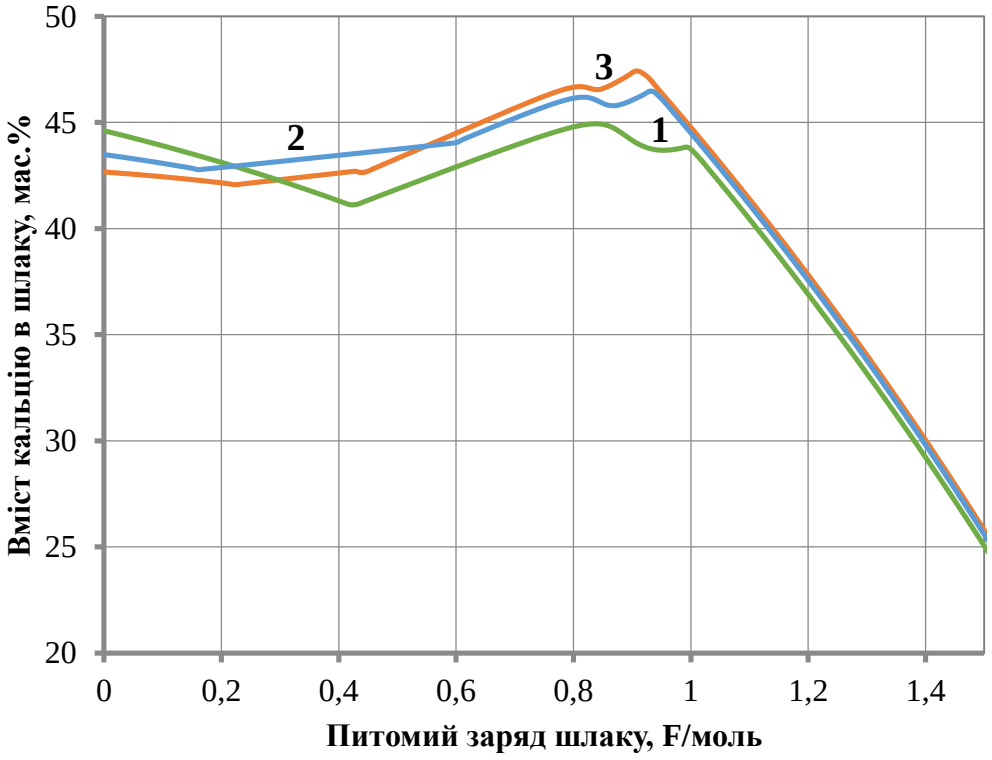


а) 1 атмосфера

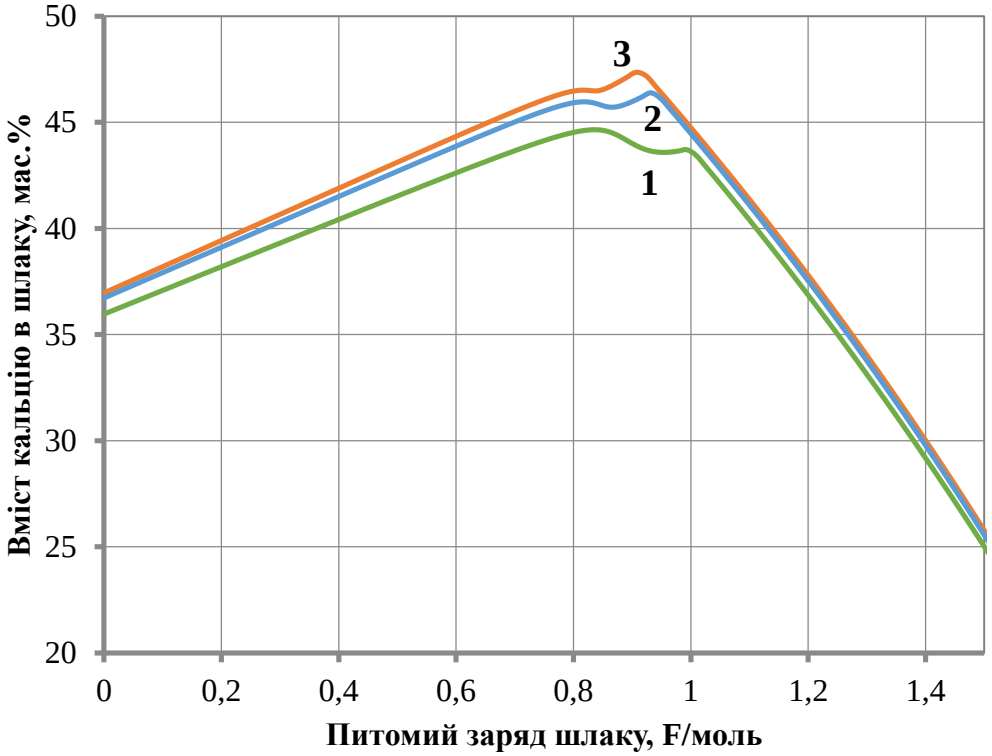


б) 2 атмосфери

Рисунок 3.12 – Вплив кількості шлаку на вміст Mg у шлаку сталі 12ГС

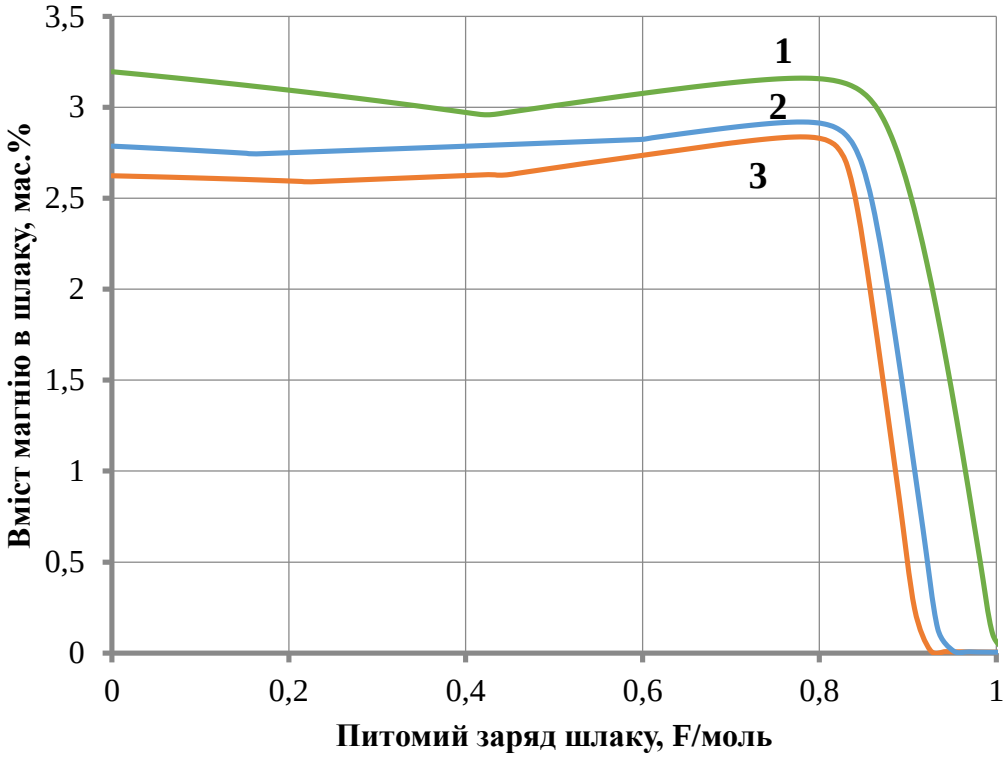


а) 1 атмосфера

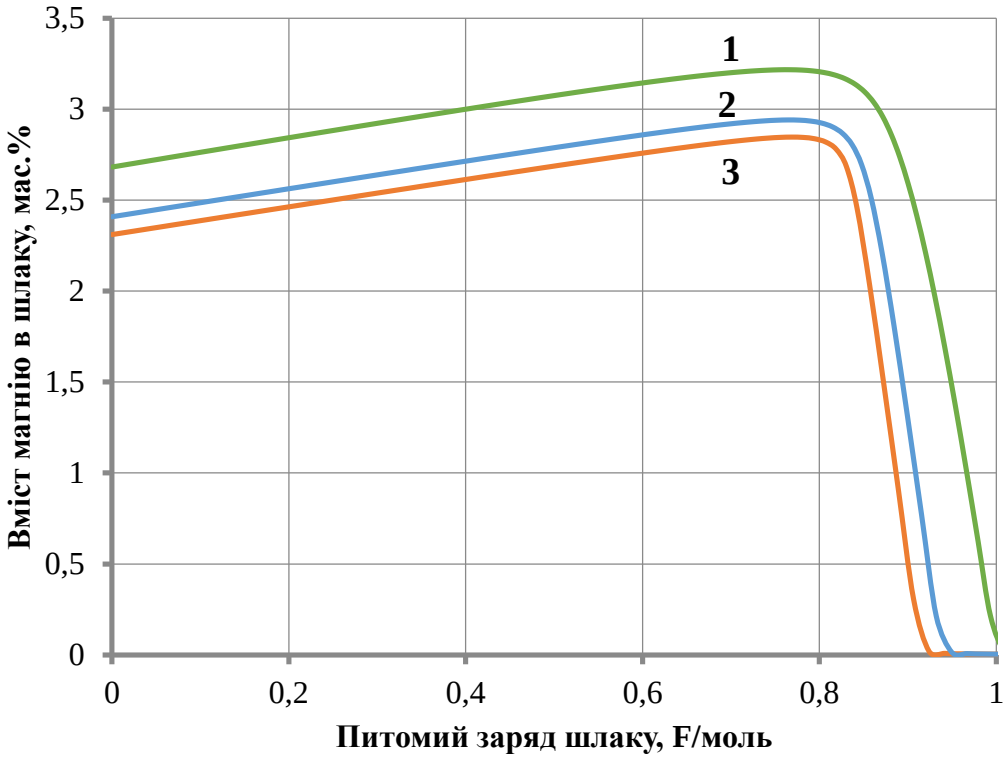


б) 2 атмосфери

Рисунок 3.13 – Вплив кількості завантажуваного співвідношення шлаку на вміст Са в сталевому шлаку 30ГС

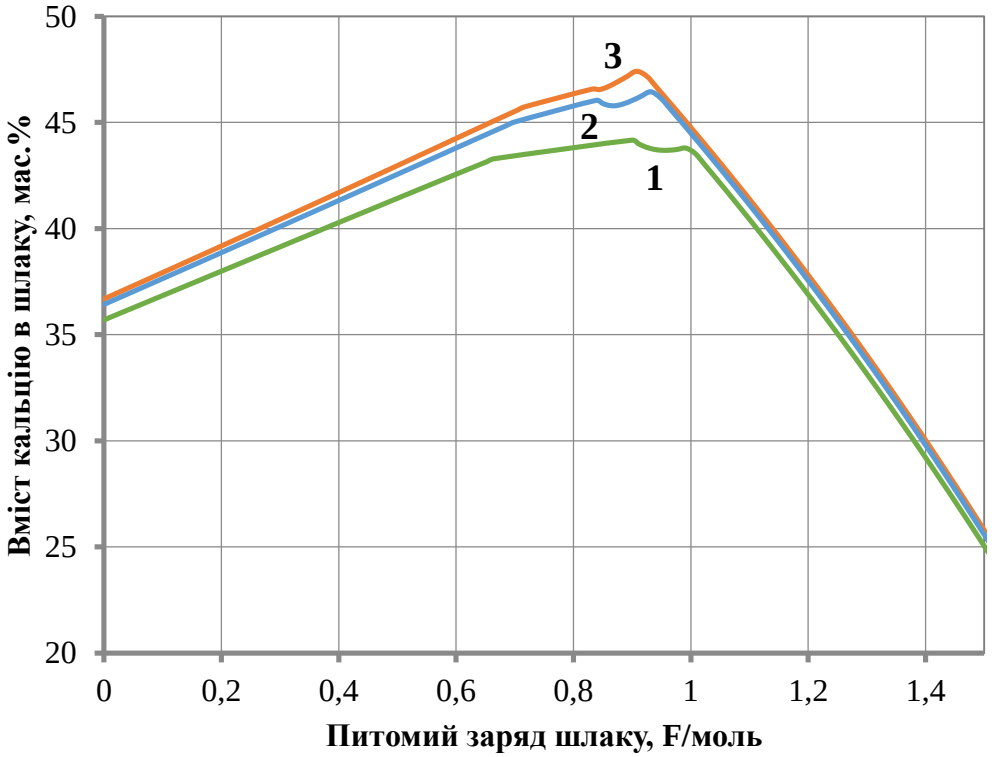


а) 1 атмосфера

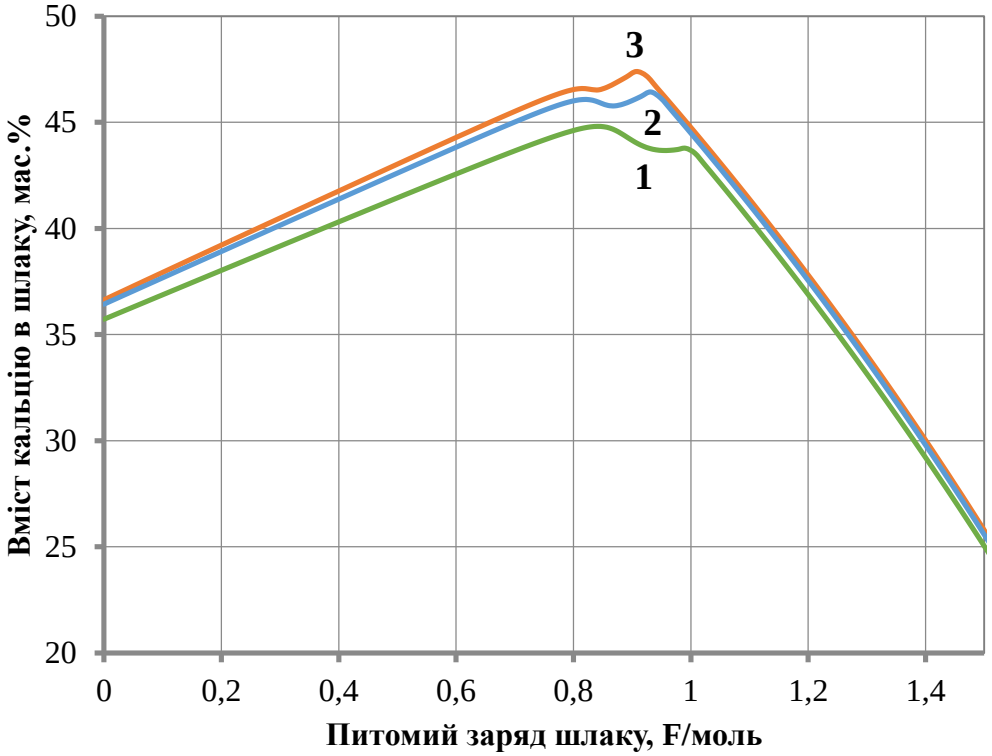


б) 2 атмосфери

Рисунок 3.14 – Вплив кількості шлаку, що завантажується, на вміст Mg у сталевому шлаку 30ГС

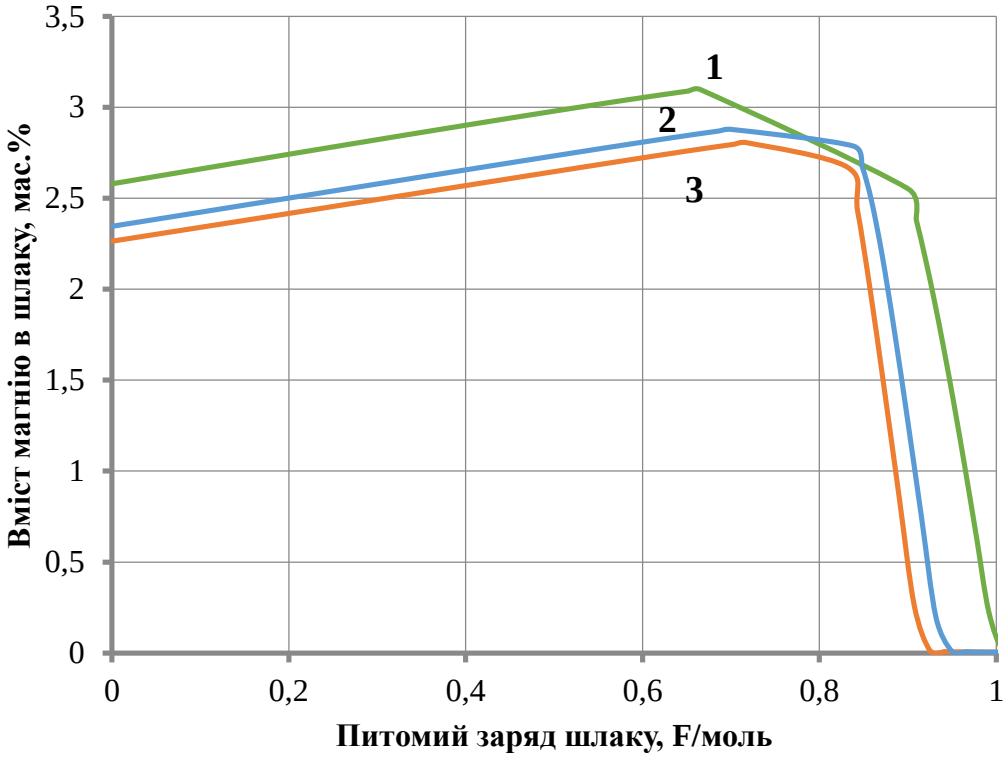


а) 1 атмосфера

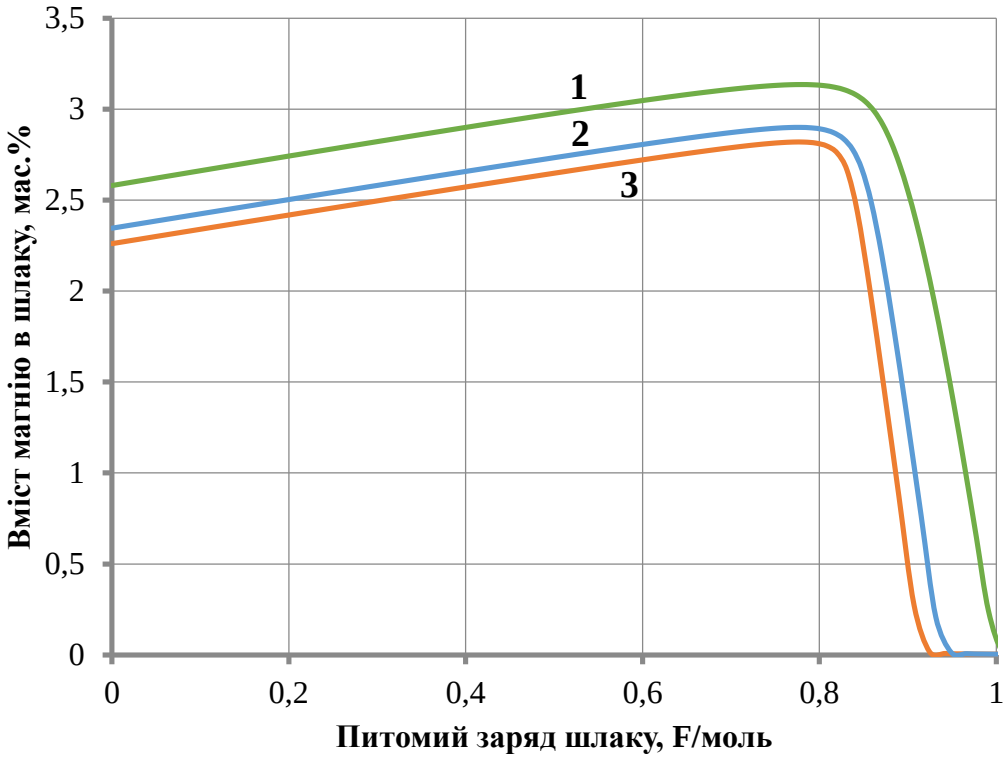


б) 2 атмосфери

Рисунок 3.15 – Вплив питомої заряду шлаку на вміст Са в сталеплавильному шлаку 09Г2С

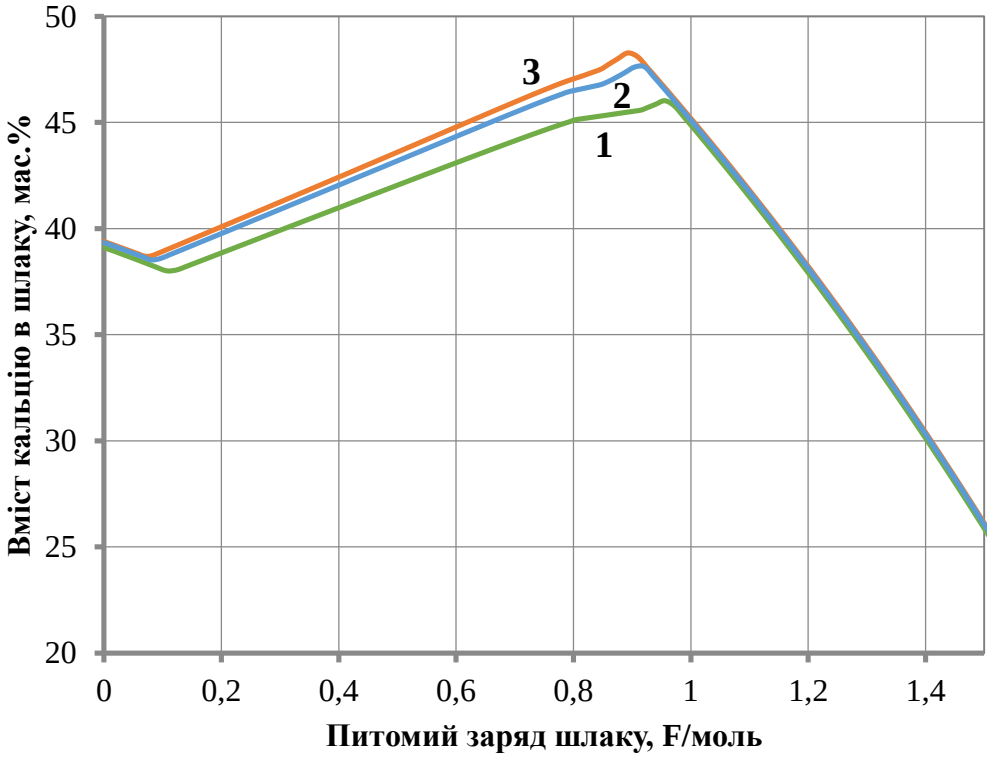


а) 1 атмосфера

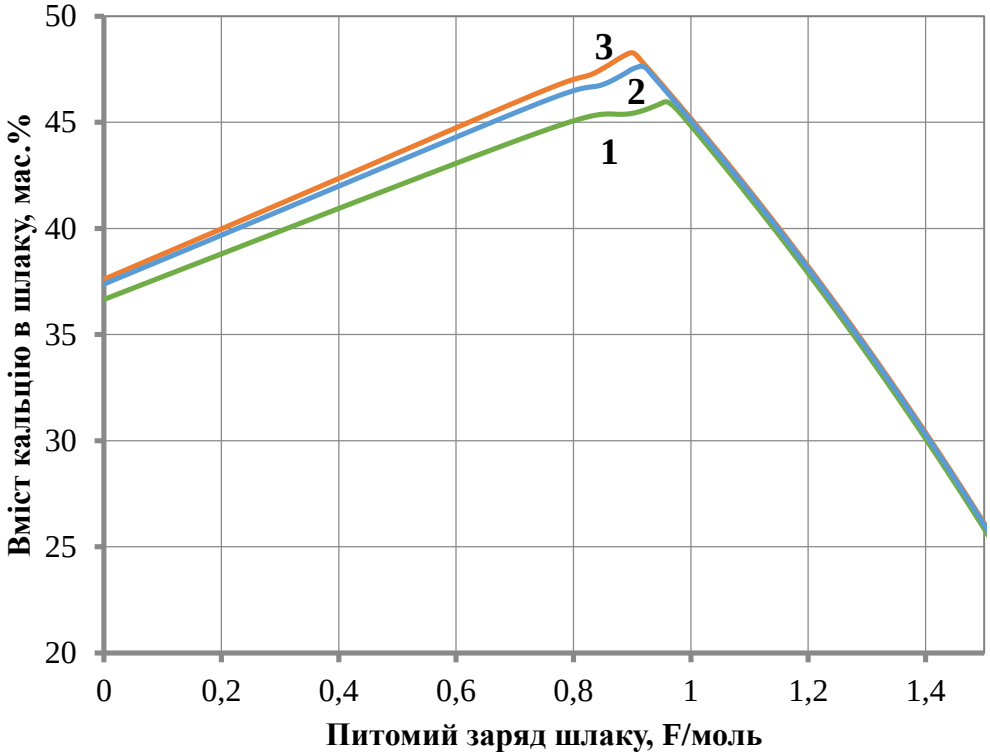


б) 2 атмосфери

Рисунок 3.16 – Вплив кількості шихти шлаку на вміст магнію в сталеплавильному шлаку 09Г2С

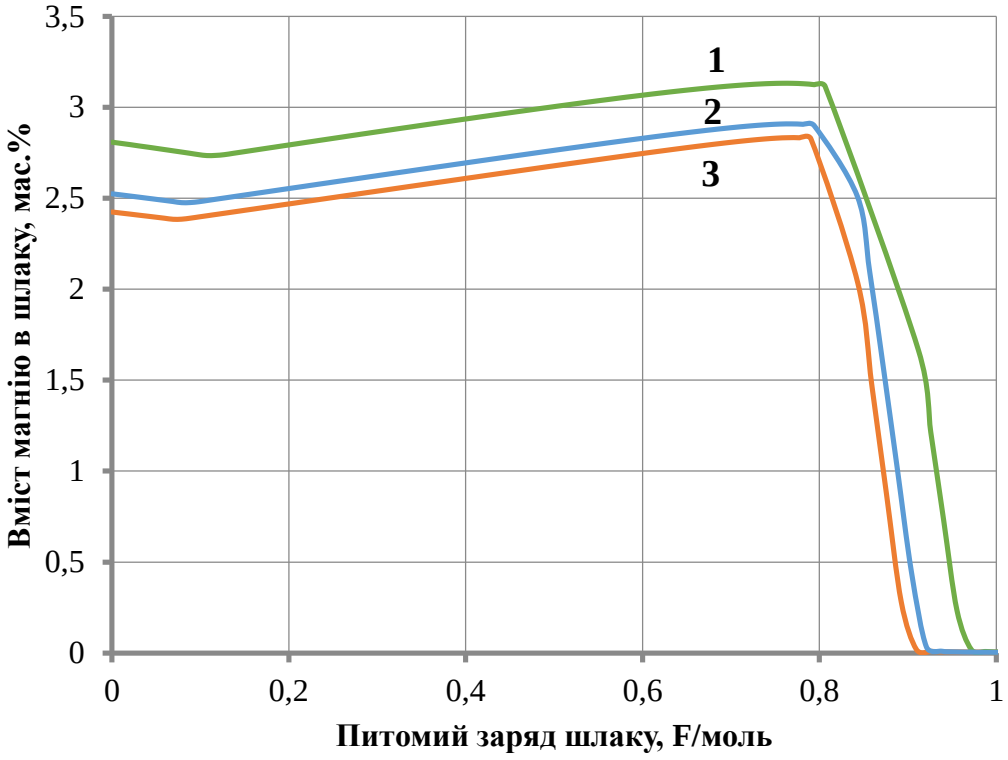


а) 1 атмосфера

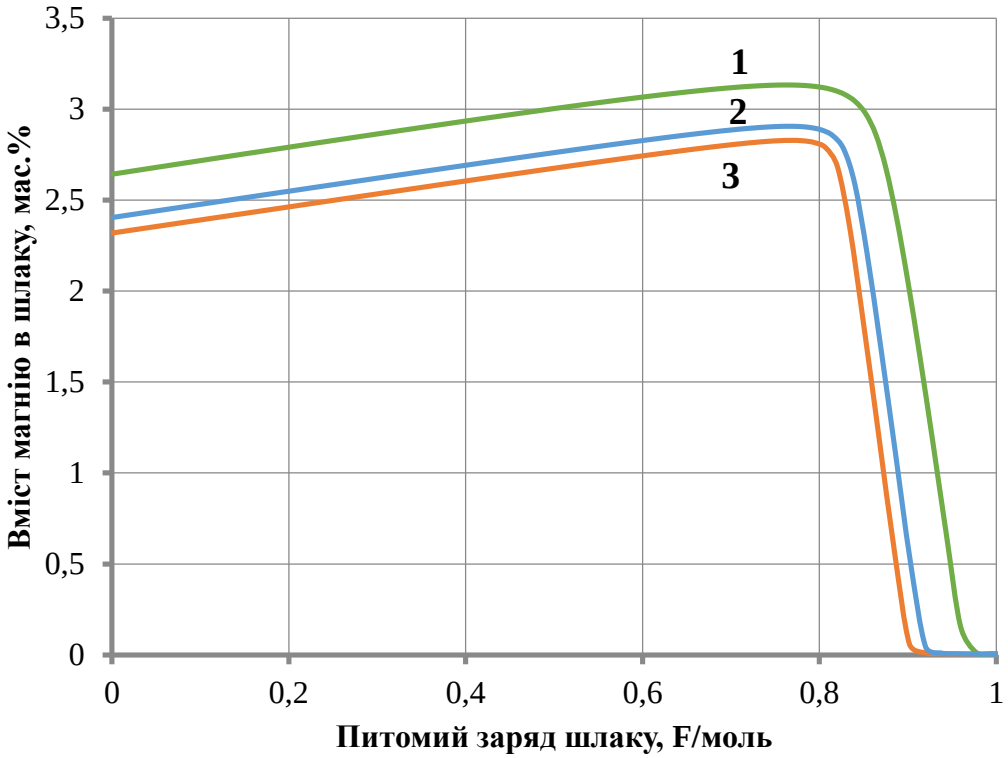


б) 2 атмосфери

Рисунок 3.17 – Вплив питомої заряду шлаку на вміст Са в шлаку сталі 35ХГСА



а) 1 атмосфера



б) 2 атмосфери

Рисунок 3.18 – Вплив питомої кількості шлаку на вміст магнію в сталевому шлаку 35ХГСА

На рис. 3.3-3.18 видно, що вміст лужноземельних елементів у металі зростає із збільшенням питомого заряду і тиску до 200 кПа, відповідно зменшується маса шлаку.

Подробиці про ці залежності:

Кальцій (метал): - Нормальний зовнішній тиск (1 атм): Коли питомий заряд шлаку досягає значення 0,9 Ф/моль, Ca починає відходити зі шлаку до газової фази і частково в метал. За цих умов піковий вміст Ca в металі становить 0,036%;

- Підвищення зовнішнього тиску (2 атм): зі збільшенням зовнішнього тиску системи перехід кальцію в метал починається з тих же 0,9 F/mol і постійно зростає пропорційно збільшенню заряду шлаку. За таких умов можна отримати більше 0,35% Ca в металі.

Магній (метал): - Нормальний зовнішній тиск (1 атм): При приблизно shl заряді магній починає перетворюватися на метал. 0,8 Ф/моль. У цей час вміст елементів у Ме буде дорівнювати не більше 0,02%;

- Підвищений зовнішній тиск (2 атм): В умовах підвищеного зовнішнього тиску можна відновити більше 0,04 Мг.

Кальцій і магній (шлак): коли питома кількість зарядки збільшується, маса Ca і Mg у шлаку спочатку збільшується, а потім різко зменшується. Це пояснюється тим, що відносний вміст елементів у шлаку збільшується, коли Si та інші елементи перетворюються на метали, і починає зменшуватися після переробки. Залежності нормального зовнішнього тиску і підвищеного тиску практично однакові.

3.4.2 Оптимізація кількості легуючих матеріалів для низьколегованих сталей

На рисунках 3.19 – 3.38 наведені оптимальні кількості феросплавів, електроенергії і загальні матеріальні витрати в залежності від питомого заряду і маси шлаку. Діаграми поширюються на наступні марки сталі: 12ГС, 30ГС, 09Г2С, 35ХГСА. Обчислювальний експеримент проводився при підвищеному зовнішньому тиску 2 атмосфери для маси шлаку: 1, 2 і 3 тонни.

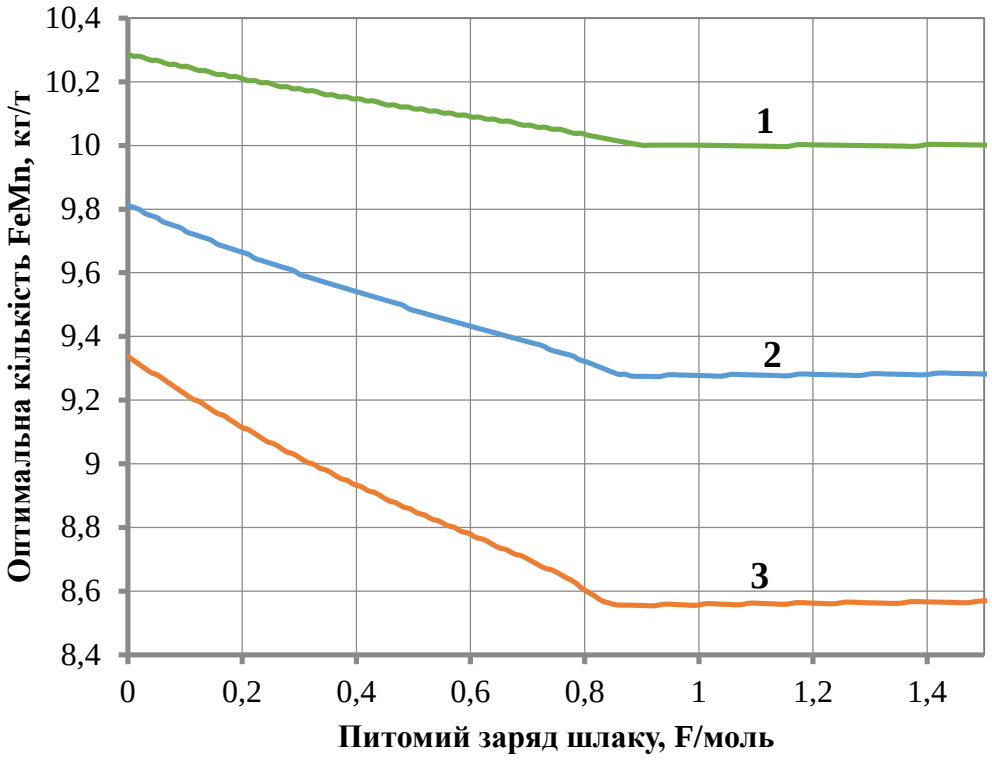


Рисунок 3.19 – Вплив питомого заряду шлаку на оптимальну кількість FeMn для легування сталі 12ГС

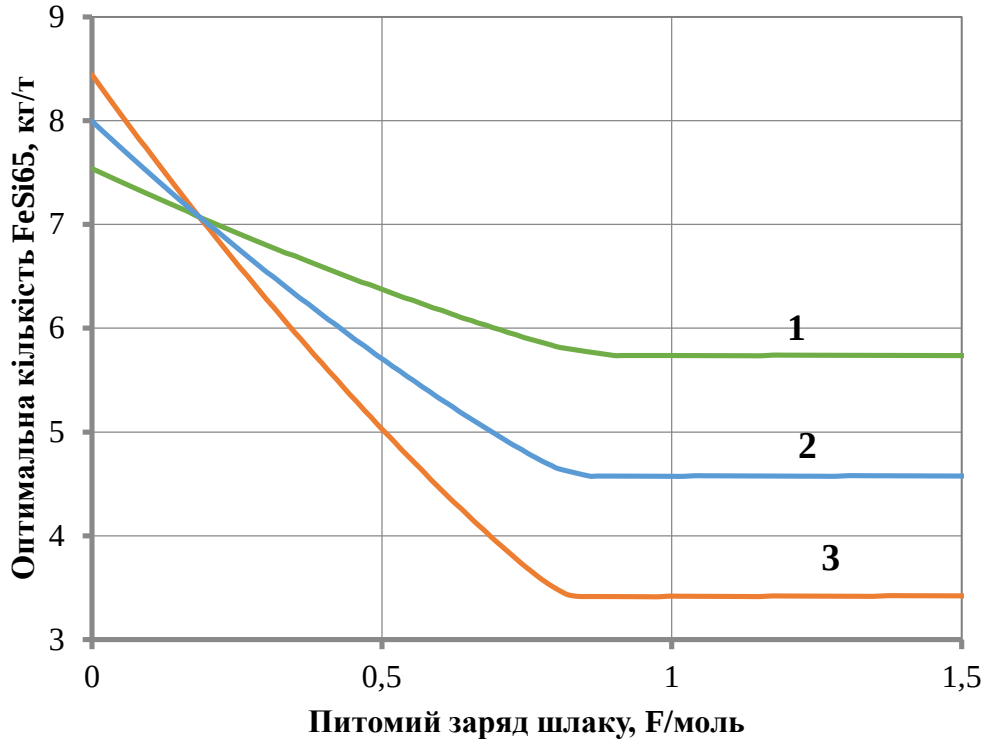


Рисунок 3.20 – Вплив питомого заряду шлаку на оптимальну кількість FeSi65 для легування сталі 12ГС

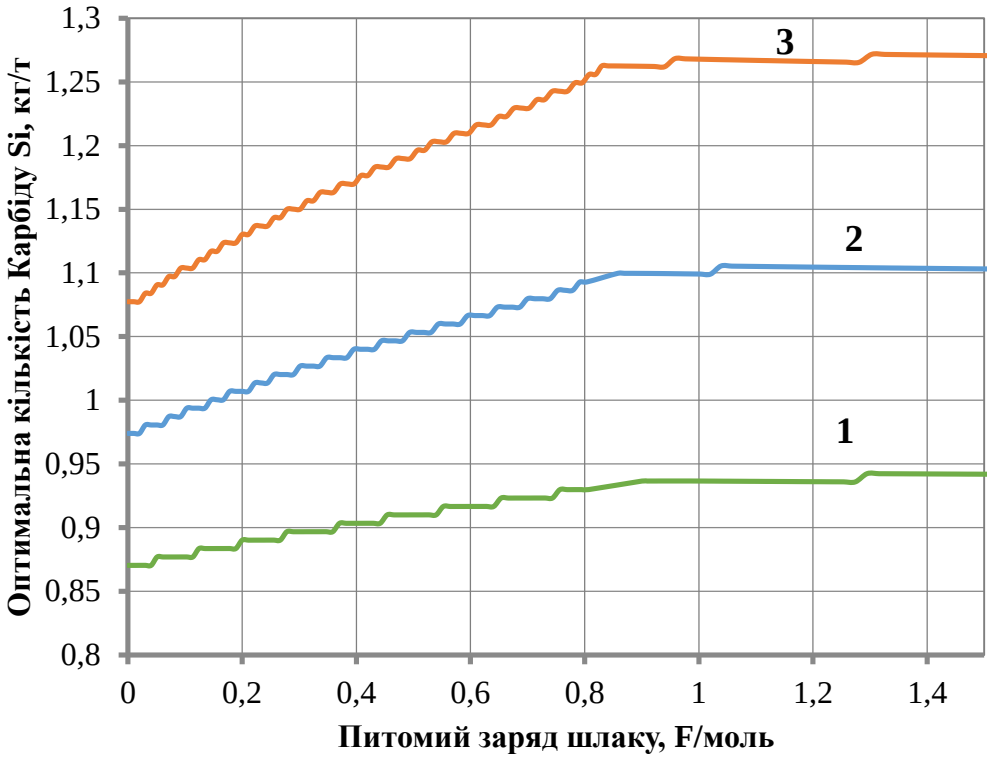


Рисунок 3.21 – Вплив питомого заряду шлаку на оптимальну кількість карбіду кремнію для легування сталі 12ГС

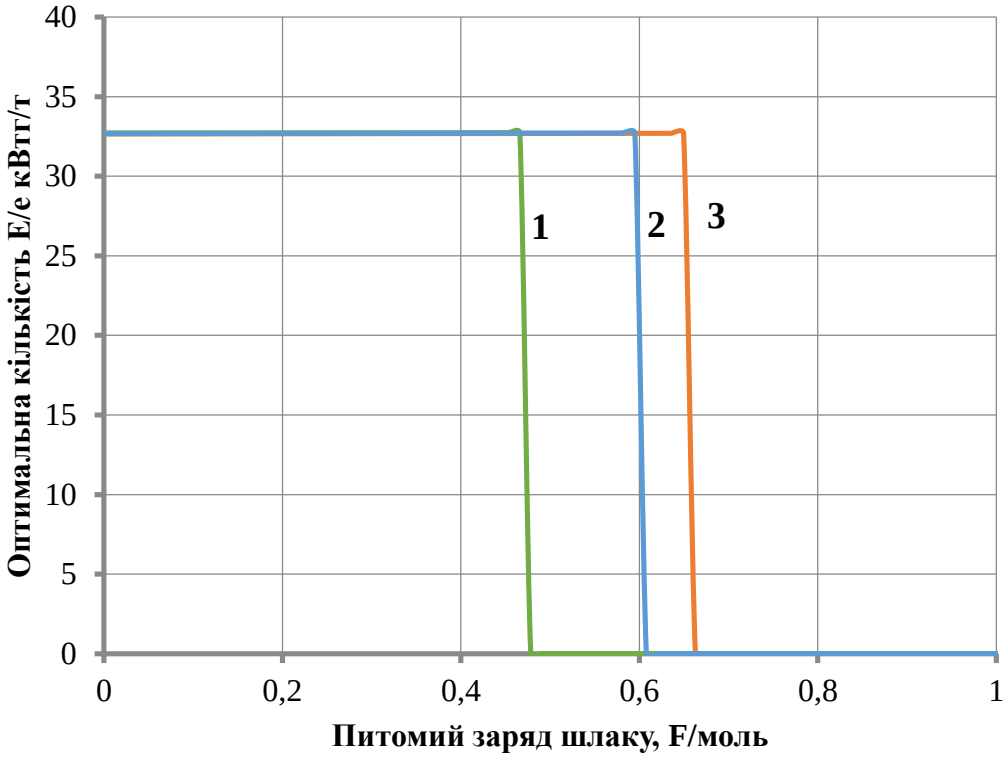


Рисунок 3.22 – Вплив питомого заряду шлаку на оптимальну кількість електроенергії для легування сталі 12ГС

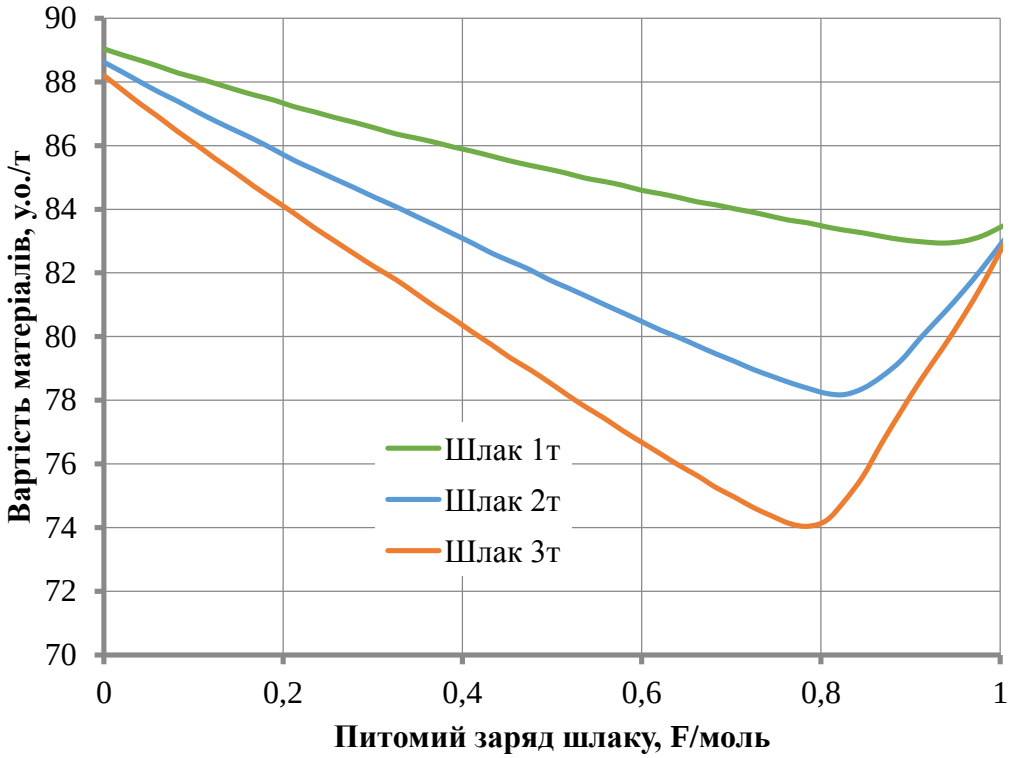


Рисунок 3.23 – Вплив питомого заряду шлаку на оптимальну загальну вартість матеріалів для сталі 12ГС

Оптимальна кількість матеріалів для сталі 30ГС

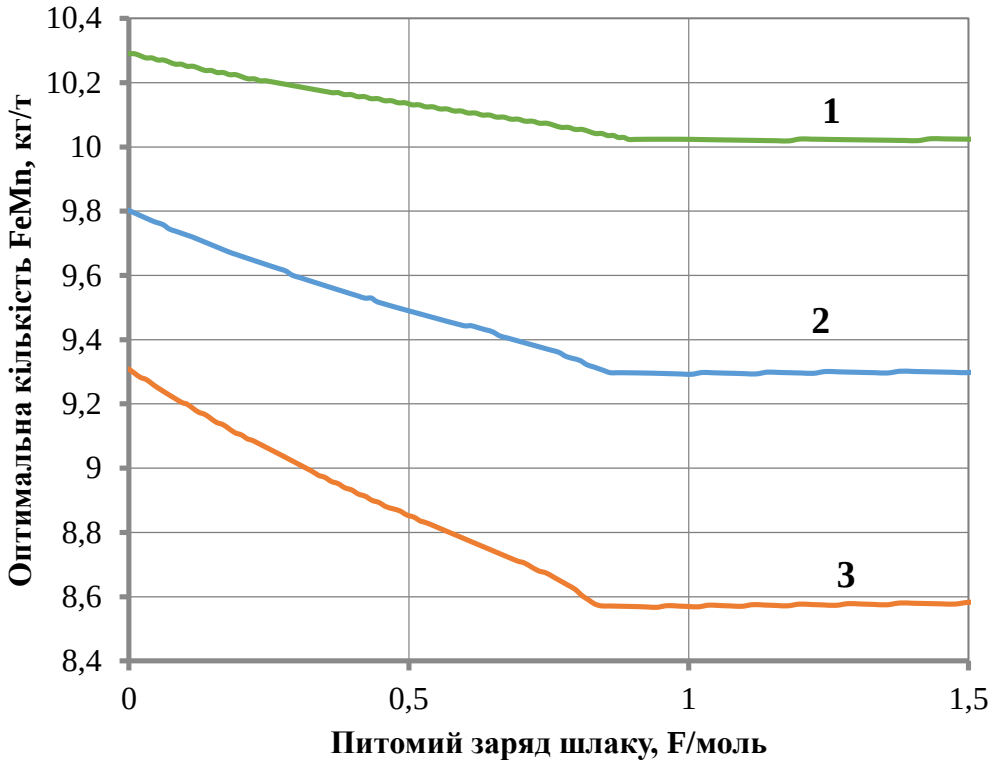


Рисунок 3.24 – Вплив питомого заряду шлаку на оптимальну кількість FeMn для легування сталі 30ГС

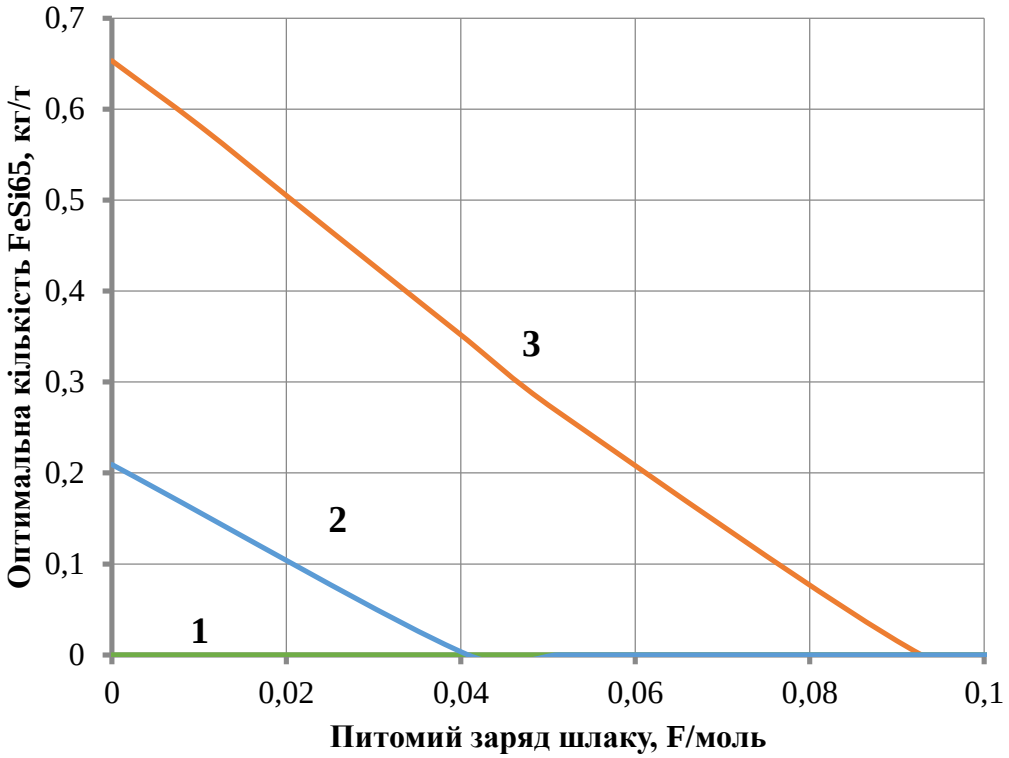


Рисунок 3.25 – Вплив питомого заряду шлаку на оптимальну кількість FeSi65 для легування сталі 30ГС

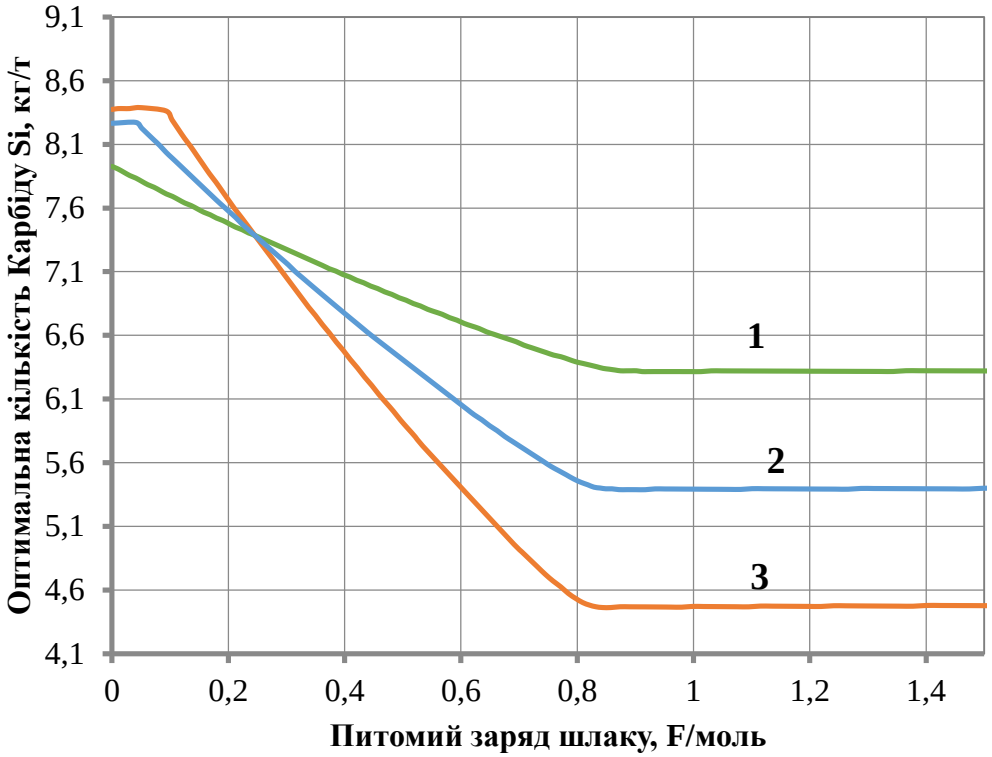
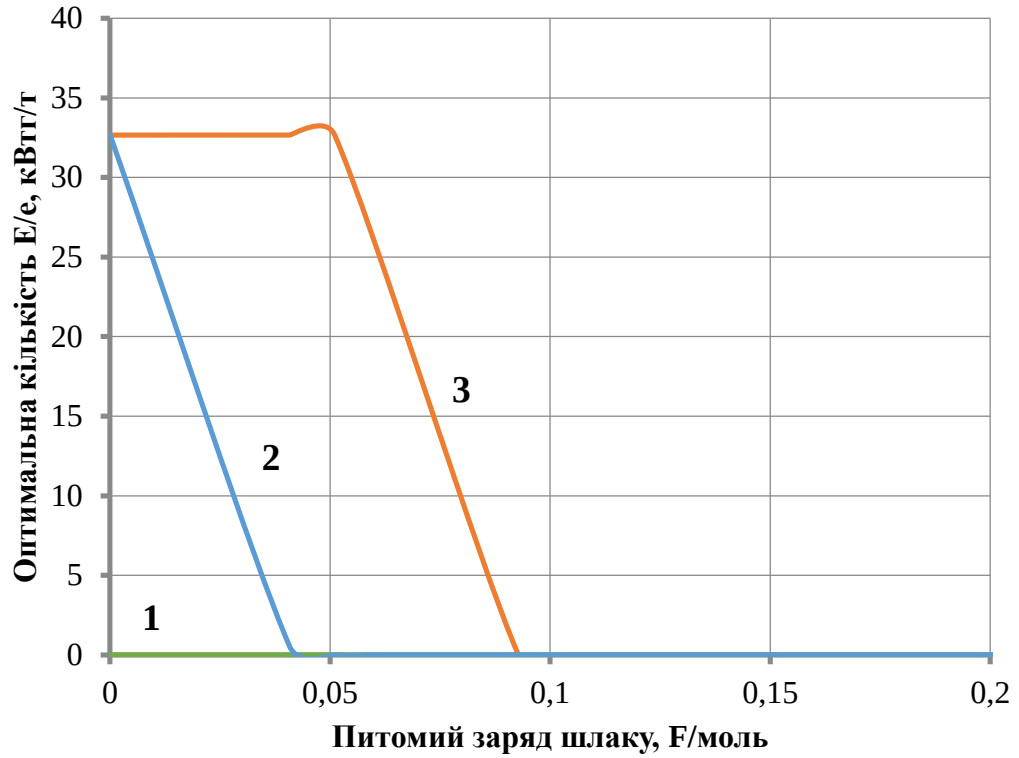
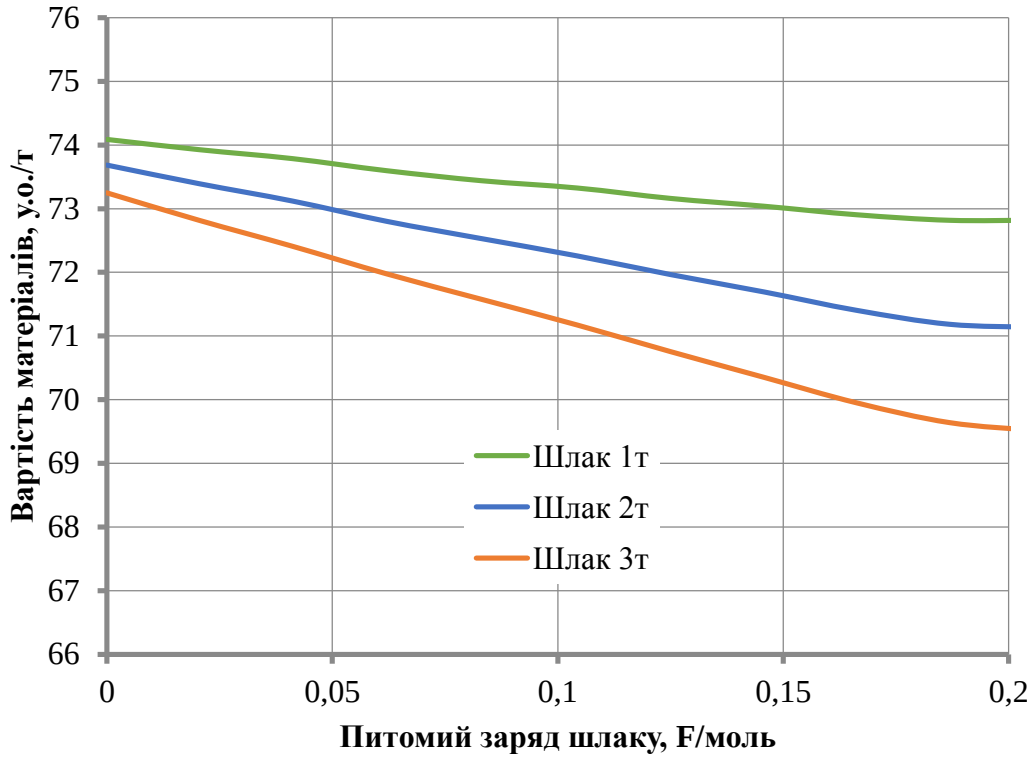


Рисунок 3.26 – Вплив питомого заряду шлаку на оптимальну кількість карбіду кремнію для легування сталі 30ГС

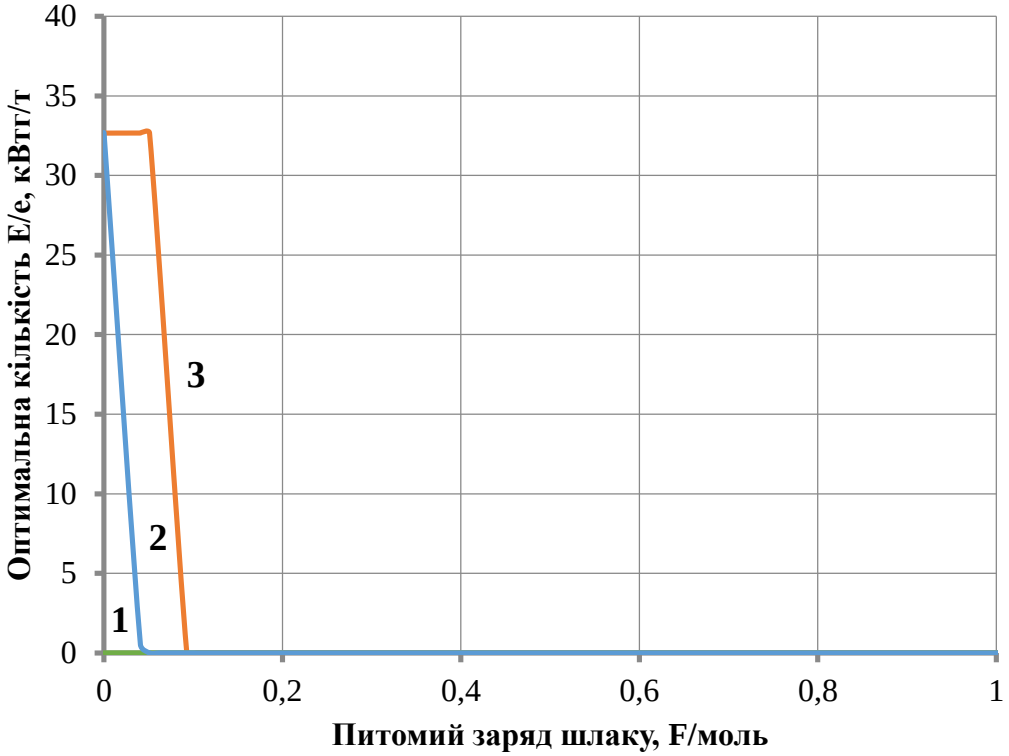


а) Електрика

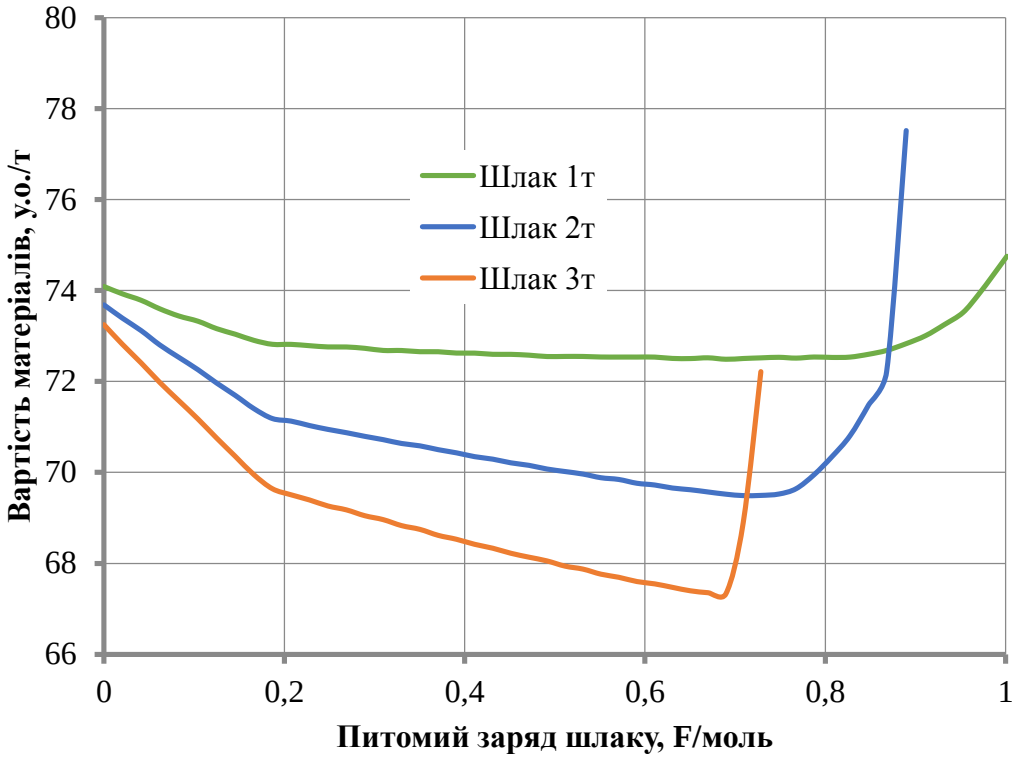


б) Матеріальні витрати

Рисунок 3.27 – Вплив питомого заряду шлаку на оптимальну витрату електроенергії (а) і загальну вартість матеріалів (б) для легування сталі 30ГС (діапазон від 0 до 0,2)



а) Електрика



б) Матеріальні витрати

Рисунок 3.28 – Вплив питомої кількості шлаку на оптимальні параметри сталі 30ГС (діапазон від 0 до 1)

Оптимальна кількість матеріалів для легування сталі 09Г2С

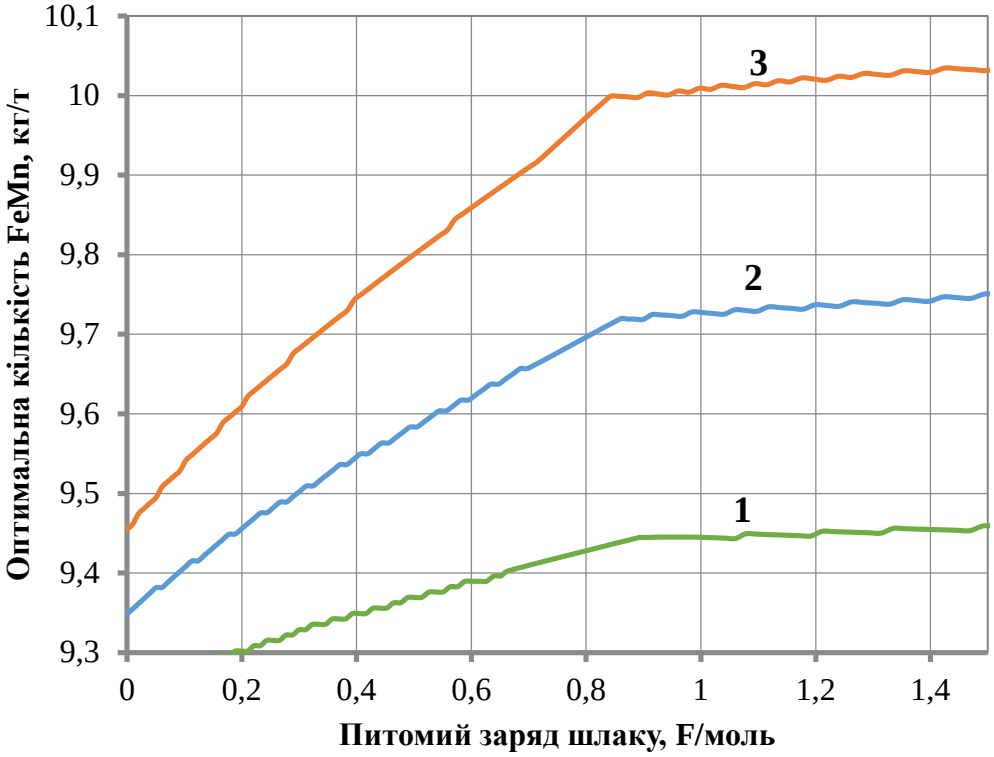


Рисунок 3.29 – Вплив питомого заряду шлаку на оптимальну кількість FeMn для легування сталі 09Г2С

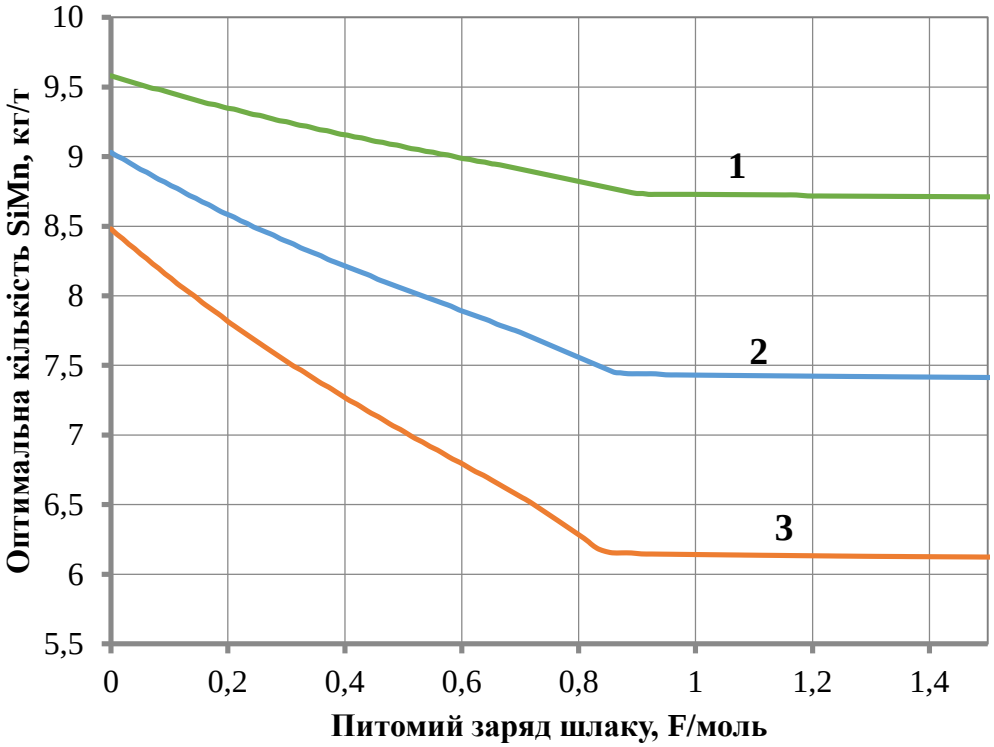


Рисунок 3.30 – Вплив питомого заряду шлаку на оптимальну кількість SiMn для легування сталі 09Г2С

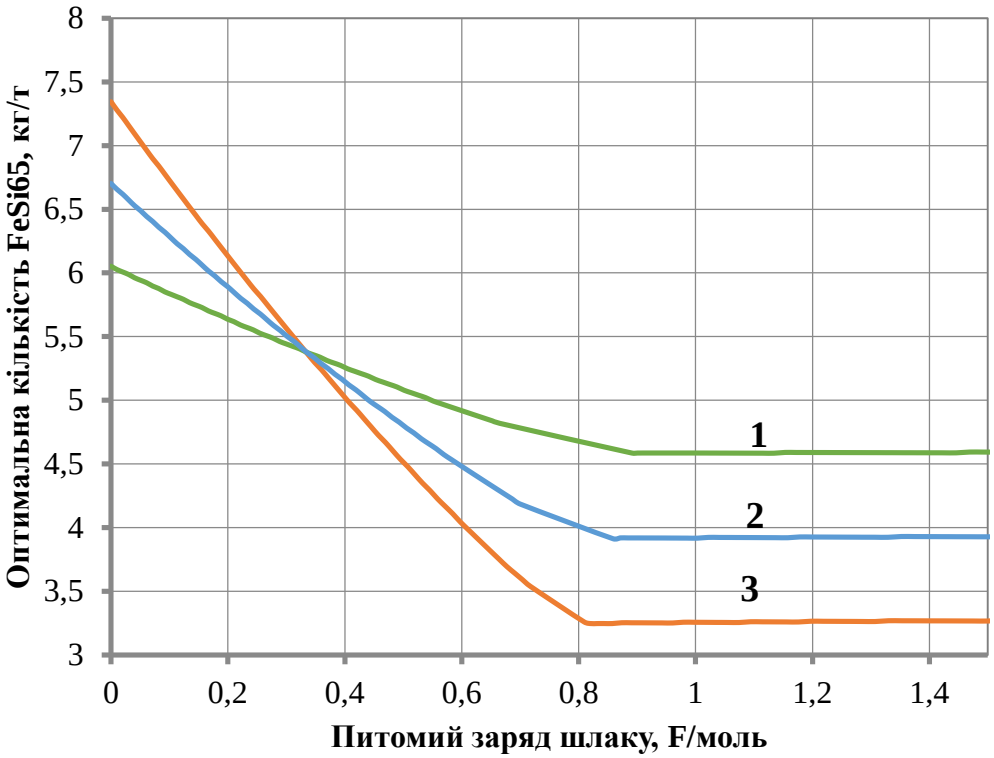


Рисунок 3.31 – Вплив питомого заряду шлаку на оптимальну кількість FeSi65 для легування сталі 09Г2С

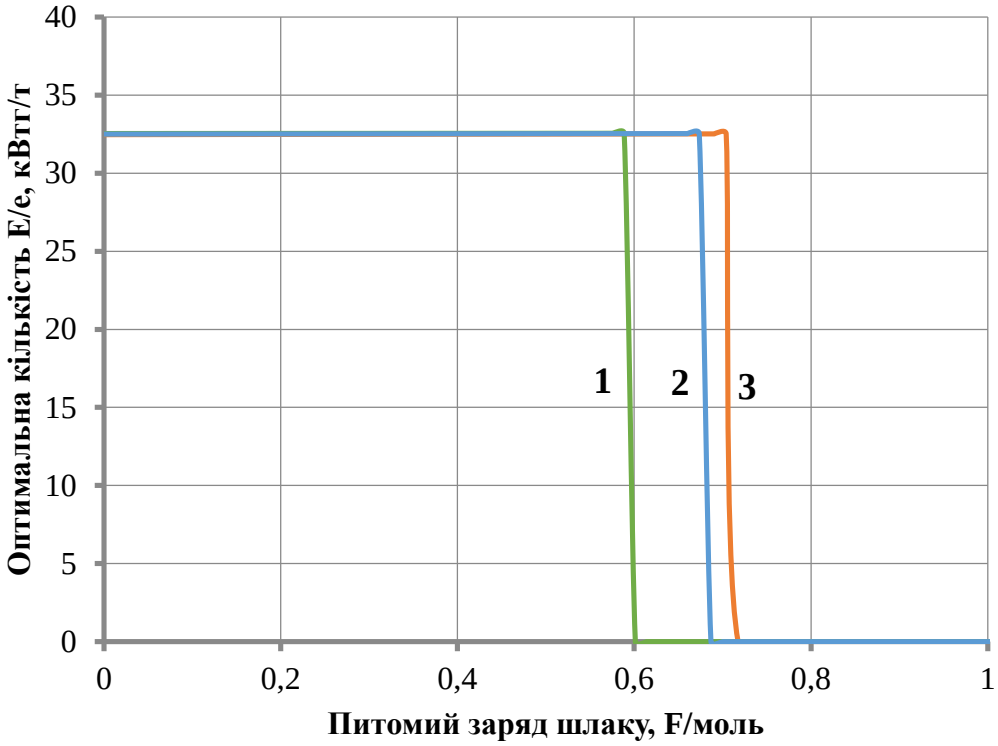


Рисунок 3.32 – Вплив питомого заряду шлаку на оптимальну кількість електроенергії для легування сталі 09Г2С

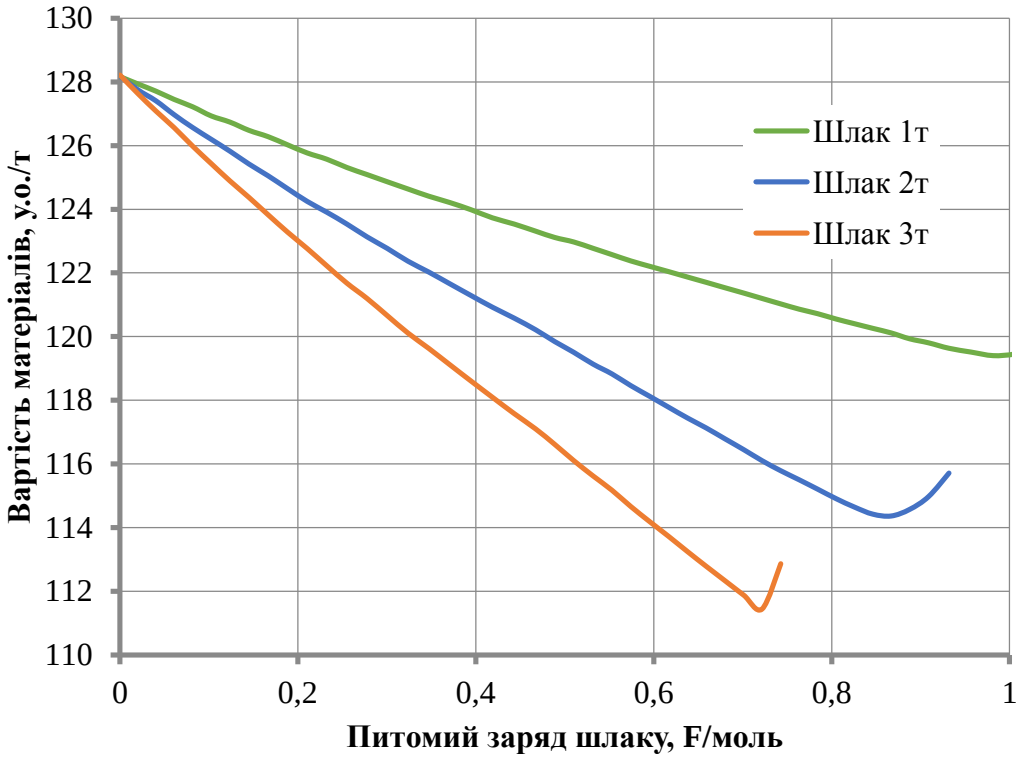


Рисунок 3.33 – Вплив питомого заряду шлаку на оптимальну загальну вартість матеріалів для легування сталі 09Г2С

Оптимальна кількість матеріалів для легування сталі 35ХГСА

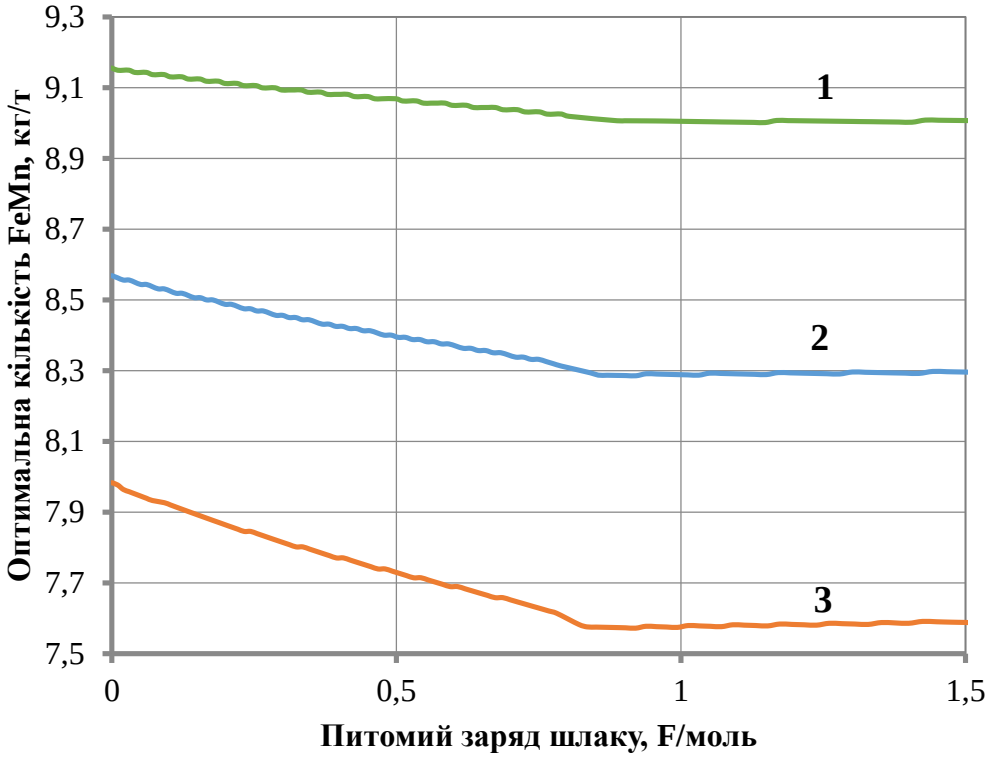


Рисунок 3.34 – Вплив питомого заряду шлаку на оптимальну кількість FeMn для легування сталі 35ХГСА

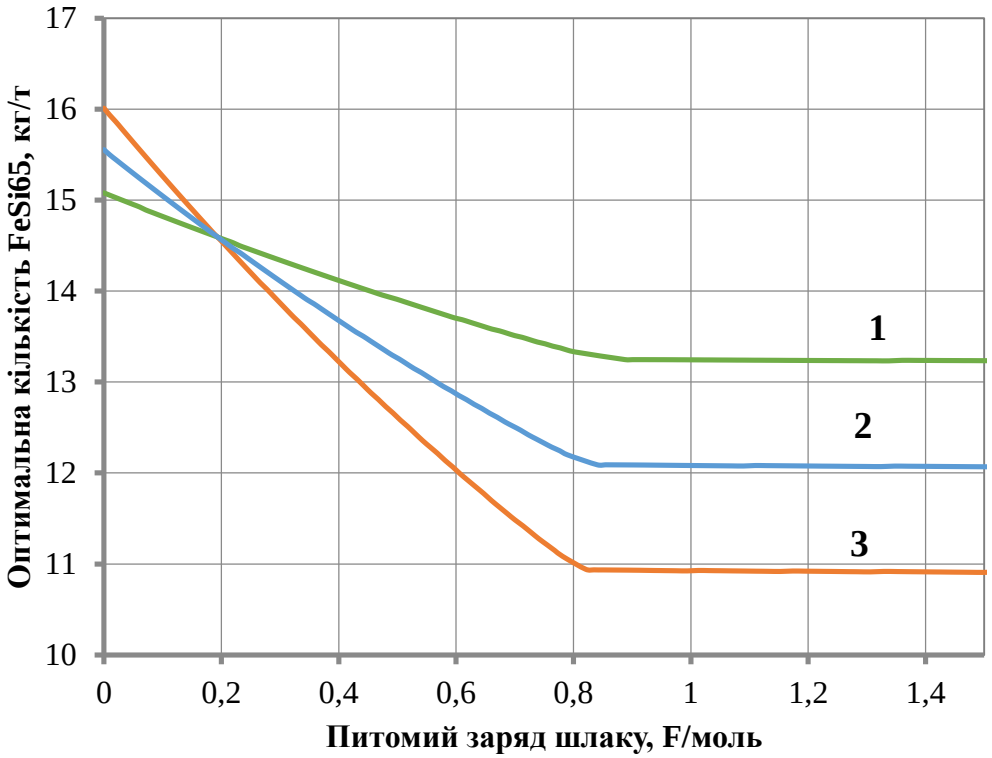


Рисунок 3.35 – Вплив питомого заряду шлаку на оптимальну кількість FeSi65 для легування сталі 35ХГСА

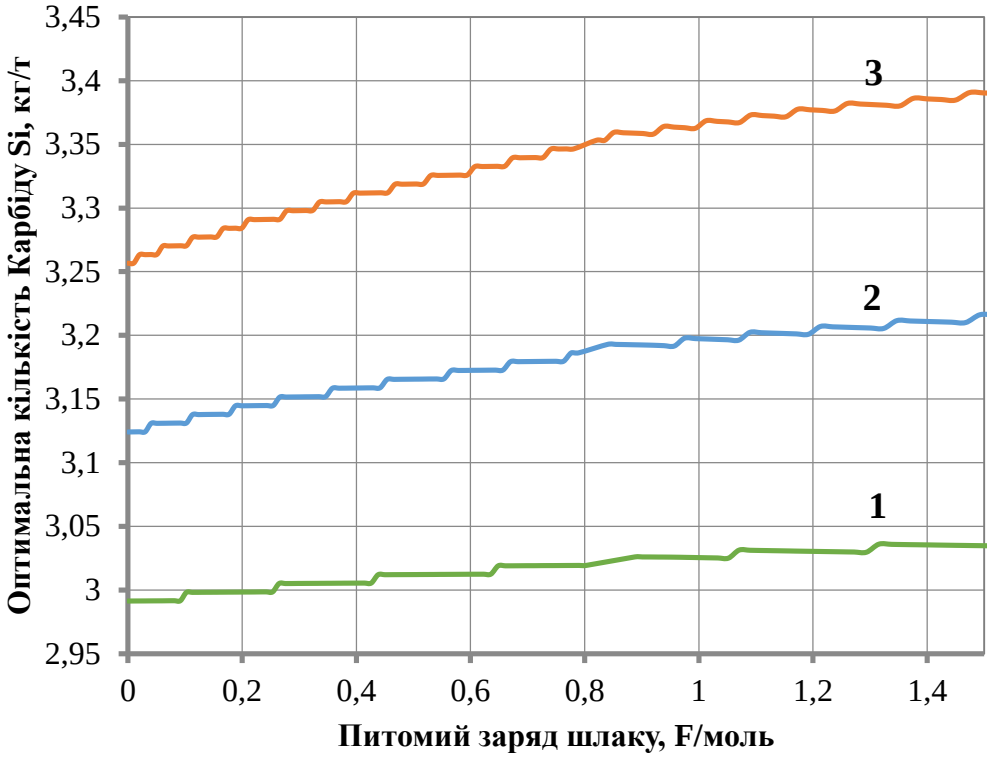


Рисунок 3.36 – Вплив питомого заряду шлаку на оптимальну кількість карбіду кремнію для легування сталі 35ХГСА

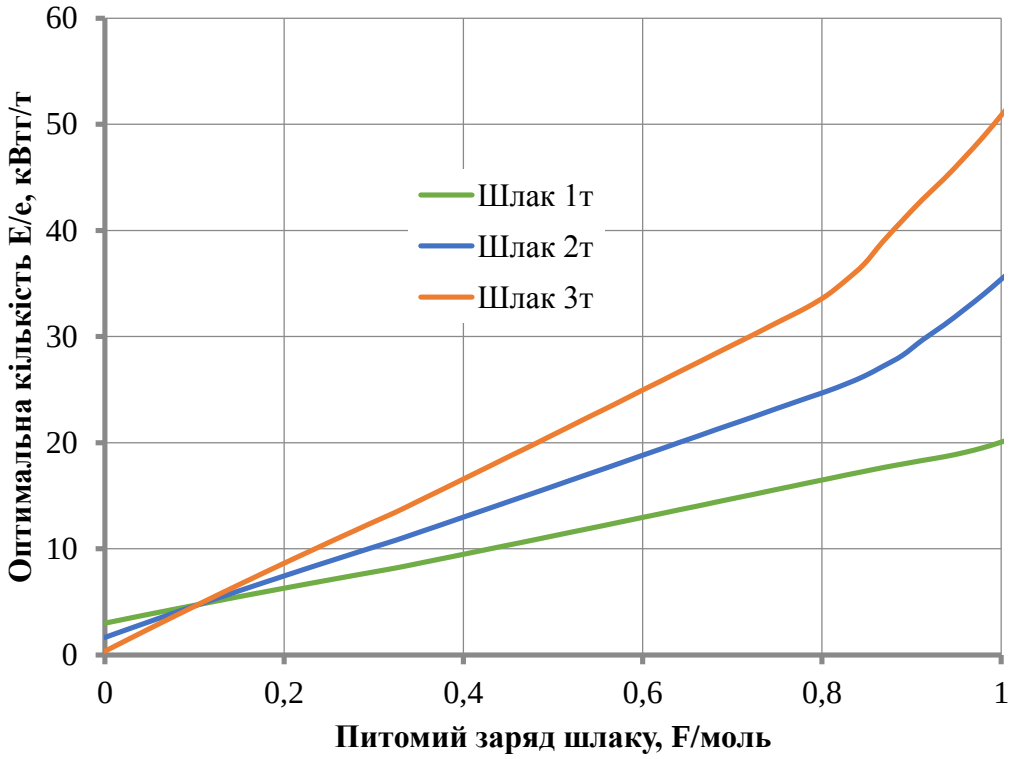


Рисунок 3.37 – Вплив питомого заряду шлаку на оптимальну кількість електроенергії для легування сталі 35ХГСА

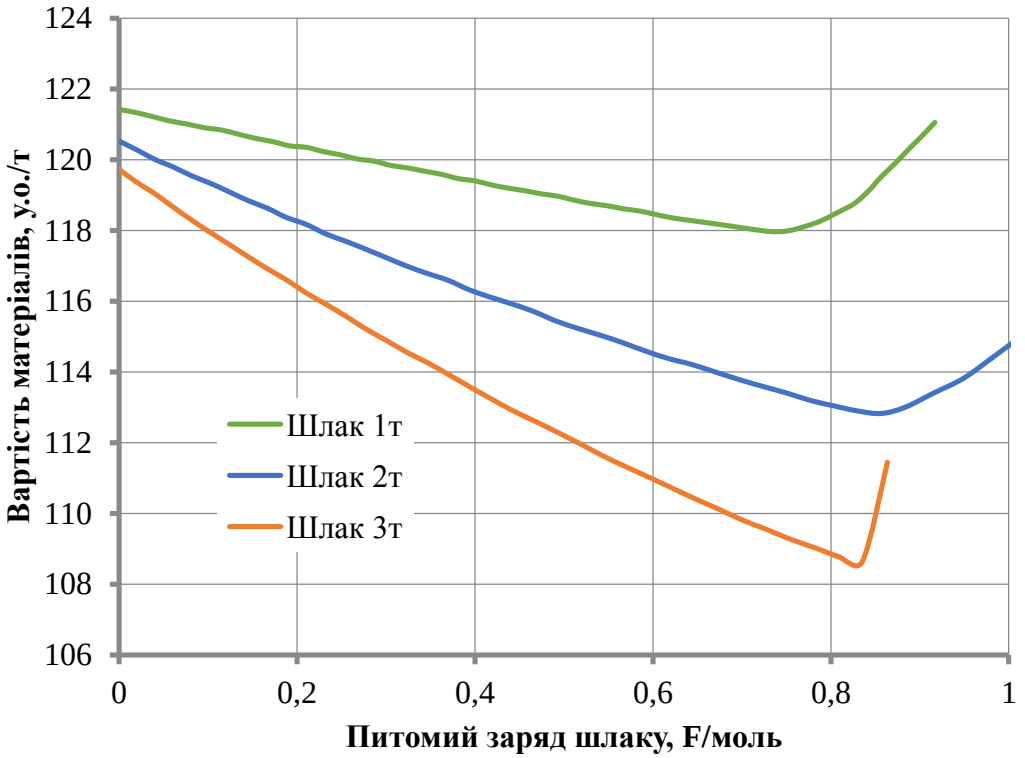


Рисунок 3.38 – Вплив питомого заряду шлаку на оптимальну загальну вартість матеріалів для легування сталі 35ХГСА

На рисунках 3.19 – 3.38 можна побачити такі закономірності:

- 12ГС: оптимальне дозування феросплаву, загальна вартість електроенергії та матеріалів зменшується, а вартість карбіду кремнію зростає;

- 30ГС: Оптимальне дозування феросплаву, електроенергії, загальна вартість матеріалу та вартість карбіду кремнію - зменшено;

- 09Г2С: серед феросплавів збільшується лише оптимальне дозування FeMn, а споживання інших матеріалів, електроенергії та загальна вартість зменшується

- 35ХГСА: всі показники знижуються, крім карбіду кремнію, вартість якого починає зростати.

3.4.3 Хімічний склад металу і шлаку

У таблицях 3.4–3.40 наведено хімічний склад металу, шлаків і газів сталей: 12ГС, 09Г2С, 30ГС, 35ХГСА при підвищеному зовнішньому тиску (2 атм) і масі шлаку 1, 2 і 3 тонни.

Маса шлаку 1 т

Таблиця 3.5 – Елементний склад сталі 12ГС

Не має	elyu	Вхід., %	поставити, %			підсумковий, %			Нарешті, кілограми		
			найменший	максимум	послідовність.	найменший	максимум	послідовність.	найменший	максимум	послідовність.
1	**залізо**					98.3	98.3	98.3	150443	150533	150488
2	**С**	0,06	0,09	0,15	0,12	0,139	0,149	0,144	212.1	228.3	220.2
3	**кремній**		0,5	0,8	0,65	0,584	0,594	0,589	894,6	909.2	901,9
4	**марганець**	0,05	0,8	1,2	1	0,844	0,884	0,864	1291,7	1353,6	1322,7
5	**алюміній**					0,0117	0,0121	0,0119	17.9	18.5	18.2
6	**С**	0,035		0,04		0,0356	0,0356	0,0356	54.4	54.5	54.4
7	**фосфор**	0,015		0,035		0,0232	0,0232	0,0232	35.5	35.5	35.5
8	**магній**					слід	слід	слід	0,0697	0,0709	0,0703
9	**про**					слід	слід	слід	0,0001	0,0001	0,0001

10	**кисень**					0,0139	0,0139	0,0139	21.2	21.3	21.3

Таблиця 3.6 – Елементний склад шлаку при легуванні сталі 12ГС

Немає	**комп'ютер**	**Вхід., %**	**поставити, %**			**кінцевий (елемент), %**			**кінцевий (елемент), кілограм**		
			найменший	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**
1	**оксид заліза**	20				0,856	0,868	0,862	9,64	9,76	9.7
2	**С**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
3	**кремнезем**	20				20.1	20.2	20.1	226.3	226.9	226.6
4	**діоксид марганцю**	10				4.66	4.8	4.73	52.4	54	53.2
5	**Оксид алюмінію**	1.5				2.43	2.45	2.44	27.3	27.6	27.5
6	**С**	0,3				0,172	0,175	0,173	1.93	1,97	1,95
7	**П'ятиокис фосфору**	0,2				0,0033	0,0034	0,0034	0,0376	0,0387	0,0381
8	**оксид магнію**	3				2.17	2.18	2.18	24.5	24.5	24.5
9	**Оксид кальцію**	45				29.6	29.6	29.6	332.8	332.8	332.8
10	**кисень**					39.9	39.9	39.9	449.1	449.1	449.1

Таблиця 3.7 – Елементний склад газової фази при легуванні сталі 12ГС

Немає	**elyu**	**Вхід., %**	**поставити, %**			**підсумковий, %**			**Нарешті, кілограми**		
			найменший	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**
1	**залізо**					0,0122	0,0125	0,0124	слід	слід	слід
2	**С**					42.5	42.5	42.5	0,0071	0,0073	0,0072
3	**кремній**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
4	**марганець**					0,086	0,0874	0,0867	слід	слід	слід
5	**алюміній**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
6	**С**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
7	**фосфор**					0,0001	0,0001	0,0001	слід	слід	слід
8	**магній**					0,0269	0,0272	0,027	слід	слід	слід
9	**про**					0,0001	0,0001	0,0001	слід	слід	слід
10	**кисень**					57.4	57.4	57.4	0,0096	0,0099	0,0098

Таблиця 3.8 – Елементний склад сталі 09Г2С

Немає	**elyu**	**Вхід., %**	**поставити, %**			**підсумковий, %**			**Нарешті, кілограми**		
			найменший	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**
1	**залізо**					97,9	97,9	97,9	150522	15057	150549

										6	
2	**С**	0,05		0,12		0,103	0,109	0,106	158.1	167.1	162.6
3	**кремній**		0,5	0,8	0,65	0,542	0,547	0,545	Глава 834	840,5	837.3
4	**марганець**	0,12	1.3	1.7	1.5	1.33	1.36	1.35	2050 рік	2087,2	2068,6
5	**алюміній**					0,0026	0,0026	0,0026	3,97	3,99	3,98
6	**С**	0,035				0,0356	0,0356	0,0356	54.7	54.7	54.7
7	**фосфор**	0,015				0,028	0,028	0,028	43	43	43
8	**магній**					слід	слід	слід	0,0599	0,0604	0,0602
9	**про**					слід	слід	слід	0,0001	0,0001	0,0001
10	**кисень**					0,0145	0,0145	0,0145	22.3	22.3	22.3

Таблиця 3.9 – Елементний склад шлаку при легуванні сталі 09Г2С

Немає	**комп'ютер**	**Вхід., %**	**поставити, %**			**кінцевий (елемент), %**			**кінцевий (елемент), кілограм**		
			найменший	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**
1	**оксид заліза**	20				0,93	0,936	0,933	11.1	11.1	11.1
2	**С**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
3	**кремнезем**	20				20.7	20.8	20.8	246,6	246,8	246.7
4	**діоксид марганцю**	10				8.2	8.28	8.24	97,5	98.4	97,9
5	**Оксид алюмінію**	1.5				0,578	0,58	0,579	6.87	6.9	6.88
6	**С**	0,3				0,164	0,166	0,165	1,95	1,97	1,96
7	**П'ятиокис фосфору**	0,2				0,0046	0,0047	0,0046	0,0548	0,0556	0,0552
8	**оксид магнію**	3				2.03	2.03	2.03	24.1	24.1	24.1
9	**Оксид кальцію**	45				28	28	28	332.8	332.8	332.8
10	**кисень**					39.3	39.3	39.3	466,9	466,9	466,9

Таблиця 3.10 – Елементний склад газової фази при легуванні сталі 09Г2С

Немає	**elyu**	**Вхід., %**	**поставити, %**			**підсумковий, %**			**Нарешті, кілограми**		
			найменший	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**
1	**залізо**					0,0137	0,014	0,0139	слід	слід	0
2	**С**					42.4	42.4	42.4	0,0063	0,0065	0,0064
3	**кремній**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
4	**марганець**					0,152	0,153	0,152	слід	слід	слід
5	**алюміній**					слід	слід	слід	слід	слід	слід

6	**С**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
7	**фосфор**					0,0001	0,0001	0,0001	слід	слід	слід
8	**магній**					0,0257	0,0261	0,0259	слід	слід	слід
9	**про**					0,0001	0,0001	0,0001	слід	слід	слід
10	**кисень**					57.4	57.4	57.4	0,0086	0,0088	0,0087

Таблиця 3.11 – Елементний склад сталі 30ГС

Не має	**elyu**	**Вхід., %**	**поставити, %**			**підсумковий, %**			**Нарешті, кілограми**		
			найменший	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**
1	**залізо**					98	98.1	98.1	150450	150553	150501
2	**С**	0,1	0,2	0,4	0,3	0,243	0,27	0,256	372,6	414.1	393.4
3	**кремній**		0,5	0,8	0,65	0,57	0,58	0,575	Глава 874	889,6	881,8
4	**марганець**	0,05	0,8	1,2	1	0,982	1.03	1.01	1507.2	1579,2	1543.2
5	**алюміній**					0,0233	0,0241	0,0237	35.8	37	36.4
6	**С**	0,035		0,04		0,0355	0,037	0,0362	54.4	56.8	55.6
7	**фосфор**	0,015		0,035		0,0243	0,0244	0,0244	37.4	37.4	37.4
8	**магній**					0,0001	0,0001	0,0001	0,0902	0,0924	0,0913
9	**про**					слід	слід	слід	0,0001	0,0001	0,0001
10	**кисень**					0,0135	0,0136	0,0136	20.8	20.9	20.9

Таблиця 3.12 – Елементний склад шлаку при легуванні сталі 30ГС

Немає	**комп'ютер**	**Вхід., %**	**поставити, %**			**кінцевий (елемент), %**			**кінцевий (елемент), кілограм**		
			найменший	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**
1	**оксид заліза**	20				0,833	0,848	0,841	8.78	8,94	8,86
2	**С**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
3	**кремнезем**	20				17.3	17.4	17.3	182,6	183.3	182,9
4	**діоксид марганцю**	10				4.38	4.48	4.43	46.1	47.2	46.7
5	**Оксид алюмінію**	1.5				4.16	4.2	4.18	43.9	44.3	44.1
6	**С**	0,3				0,195	0,209	0,202	2.05	2,2	2.13
7	**П'ятиокис фосфору**	0,2				0,003	0,0031	0,0031	0,0319	0,0331	0,0325
8	**оксид магнію**	3				2.36	2.36	2.36	24.9	24.9	24.9
9	**Оксид кальцію**	45				31.6	31.6	31.6	332.8	332.8	332.8
10	**кисень**					39.1	39.1	39.1	Глава 412	412.2	412.1

Таблиця 3.13 – Елементний склад газової фази при легуванні сталі 30ГС

Не має	elyu	Вхід., %	поставити, %			підсумковий, %			Нарешті, кілограми		
			найменший	максимум	послідовність.	найменший	максимум	послідовність.	найменший	максимум	послідовність.
1	**залізо**					0,0096	0,0101	0,0098	слід	слід	слід
2	**С**					42.6	42.6	42.6	0,0089	0,0093	0,0091
3	**кремній**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
4	**марганець**					0,0797	0,0799	0,0798	слід	слід	слід
5	**алюміній**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
6	**С**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
7	**фосфор**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
8	**магній**					0,0275	0,0282	0,0279	слід	слід	слід
9	**про**					0,0001	0,0001	0,0001	слід	слід	слід
10	**кисень**					57.3	57.3	57.3	0,012	0,0125	0,0123

Таблиця 3.14 – Елементний склад сталі 35ХГСА

Не має	elyu	Вхід., %	поставити, %			підсумковий, %			Нарешті, кілограми		
			найменший	максимум	послідовність.	найменший	максимум	послідовність.	найменший	максимум	послідовність.
1	**залізо**					97,6	97.7	97,6	150418	150500	150459
2	**С**	0,25	0,32	0,39	0,355	0,379	0,39	0,384	584.1	600,9	592,5
3	**кремній**		1.1	1.4	1.25	1.1	1.11	1.11	1694,6	1713.4	1704 рік
4	**марганець**	0,12	0,8	1.1	0,95	0,8	0,839	0,819	1232,9	1292,5	1262,7
5	**алюміній**					0,0044	0,0044	0,0044	6.77	6.81	6.79
6	**С**	0,01		0,025		0,0117	0,0117	0,0117	18.1	18.1	18.1
7	**фосфор**	0,015		0,025		0,0224	0,0224	0,0224	34.5	34.5	34.5
8	**магній**					0,0001	0,0001	0,0001	0,144	0,146	0,145
9	**про**					слід	слід	слід	0,0001	0,0001	0,0001
10	**кисень**					0,0117	0,0117	0,0117	18	18	18

Таблиця 3.15 – Елементний склад шлаку при легуванні сталі 35ХГСА

Не має	комп'ютер	Вхід., %	поставити, %			кінцевий (елемент), %			кінцевий (елемент), кілограм		
			найменший	максимум	послідовність.	найменший	максимум	послідовність.	найменший	максимум	послідовність.
1	**оксид**	20				0,437	0,442	0,44	4.2	4.25	4.23

	заліза										
2	**С**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
3	**кремнезем**	20				20.2	20.2	20.2	193,8	194	193,9
4	**діоксид марганцю**	10				2.15	2.22	2.18	20.6	21.3	двадцять один
5	**Оксид алюмінію**	1.5				0,422	0,426	0,424	4.06	4.09	4.07
6	**С**	0,3				0,101	0,103	0,102	0,974	0,988	0,981
7	**П'ятиокис фосфору**	0,2				0,0009	0,0009	0,0009	0,0089	0,0091	0,009
8	**оксид магнію**	3				2.5	2.5	2.5	двадцять чотири	двадцять чотири	двадцять чотири
9	**Оксид кальцію**	45				34.6	34.6	34.6	332.8	332.8	332.8
10	**кисень**					39.5	39.6	39.5	380	380.1	380.1

Таблиця 3.16 – Елементний склад газової фази при легуванні сталі 35ХГСА

Не має	**elyu**	**Вхід., %**	**поставити, %**			**підсумковий, %**			**Нарешті, кілограми**		
			найменший	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**
1	**залізо**					0,0091	0,0092	0,0092	слід	слід	слід
2	**С**					42.7	42.7	42.7	0,0097	0,0098	0,0098
3	**кремній**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
4	**марганець**					0,059	0,0611	0,06	слід	слід	слід
5	**алюміній**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
6	**С**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
7	**фосфор**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
8	**магній**					0,0421	0,0422	0,0421	слід	слід	слід
9	**про**					0,0002	0,0002	0,0002	слід	слід	слід
10	**кисень**					57.2	57.2	57.2	0,013	0,0131	0,0131

Маса шлаку 2 т

Таблиця 3.17 – Елементний склад сталі 12ГС

Не має	**elyu**	**Вхід., %**	**поставити, %**			**підсумковий, %**			**Нарешті, кілограми**		
			найменший	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**
1	**залізо**					98.3	98.4	98.3	150590	150679	150635
2	**С**	0,0	0,09	0,15	0,12	0,138	0,149	0,144	212.1	228.3	220.2

		6									
3	**кремній**		0,5	0,8	0,65	0,551	0,561	0,556	844.1	858,9	851,5
4	**марганець**	0,05	0,8	1,2	1	0,874	0,914	0,894	1339,4	1400,7	Глава 1370
5	**алюміній**					0,01	0,0103	0,0101	15.3	15.7	15.5
6	**С**	0,035		0,04		0,0364	0,0365	0,0364	55.8	55.9	55.8
7	**фосфор**	0,015		0,035		0,0237	0,0237	0,0237	36.3	36.3	36.3
8	**магній**					слід	слід	слід	0,0749	0,0761	0,0755
9	**про**					слід	слід	слід	0,0001	0,0001	0,0001
10	**кисень**					0,013	0,013	0,013	20	20	20

Таблиця 3.18 – Елементний склад шлаку при легуванні сталі 12ГС

Немає	**комп'ютер**	**Вхід., %**	**поставити, %**			**кінцевий (елемент), %**			**кінцевий (елемент), кілограм**		
			найменший	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**
1	**оксид заліза**	20				0,848	0,86	0,854	16.8	номер 17	16.9
2	**С**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
3	**кремнезем**	20				18.7	18.7	18.7	370.3	Глава 371	370,6
4	**діоксид марганцю**	10				4.15	4.26	4.21	82.3	84.6	83.4
5	**Оксид алюмінію**	1.5				1.91	1.93	1.92	37.9	38.3	38.1
6	**С**	0,3				0,178	0,181	0,18	3.53	3.59	3.56
7	**П'ятиокис фосфору**	0,2				0,0032	0,0033	0,0032	0,0631	0,0651	0,0641
8	**оксид магнію**	3				2.15	2.15	2.15	42.6	42.6	42.6
9	**Оксид кальцію**	45				33	33	33	654,9	654,9	654,9
10	**кисень**					39	39	39	773,4	773,4	773,4

Таблиця 3.19 – Елементний склад газової фази при легуванні сталі 12ГС

Немає	**elyu**	**Вхід., %**	**поставити, %**			**підсумковий, %**			**Нарешті, кілограми**		
			найменший	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**
1	**залізо**					0,0125	0,0129	0,0127	слід	слід	слід
2	**С**					42.5	42.5	42.5	0,0069	0,0072	0,007
3	**кремній**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
4	**марганець**					0,0916	0,0929	0,0922	слід	слід	слід
5	**алюміній**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
6	**С**					слід	слід	слід	слід	слід	слід

7	**фосфор**					0,0001	0,0001	0,0001	слід	слід	слід
8	**магній**					0,0298	0,0302	0,03	слід	слід	слід
9	**про**					0,0002	0,0002	0,0002	слід	слід	слід
10	**кисень**					57.3	57.4	57.4	0,0094	0,0096	0,0095

Таблиця 3.20 – Елементний склад сталі 09Г2С

Не має	**elyu**	**Вхід., %**	**поставити, %**			**підсумковий, %**			**Нарешті, кілограми**		
			найменший	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**
1	**залізо**					97,9	98	97,9	150668	150722	150695
2	**С**	0,05		0,12		0,103	0,109	0,106	158.1	167.1	162.6
3	**кремній**		0,5	0,8	0,65	0,51	0,514	0,512	784,8	791.4	788.1
4	**марганець**	0,12	1.3	1.7	1.5	1.35	1.38	1.36	2081,1	2117,9	2099,5
5	**алюміній**					0,0033	0,0033	0,0033	5.03	5.06	5.05
6	**С**	0,035				0,0365	0,0365	0,0365	56.1	56.1	56.1
7	**фосфор**	0,015				0,0285	0,0285	0,0285	43.9	43.9	43.9
8	**магній**					слід	слід	слід	0,0671	0,0676	0,0673
9	**про**					слід	слід	слід	0,0001	0,0001	0,0001
10	**кисень**					0,0135	0,0135	0,0135	20.7	20.7	20.7

Таблиця 3.21 – Елементний склад шлаку при легуванні сталі 09Г2С

Немає	**комп'ютер**	**Вхід., %**	**поставити, %**			**кінцевий (елемент), %**			**кінцевий (елемент), кілограм**		
			найменший	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**
1	**оксид заліза**	20				0,922	0,929	0,926	19	19.1	19.1
2	**С**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
3	**кремнезем**	20				18.9	18.9	18.9	389.3	389,6	389,5
4	**діоксид марганцю**	10				6,99	7.05	7.02	143.9	145.2	144.6
5	**Оксид алюмінію**	1.5				0,668	0,67	0,669	13.7	13.8	13.8
6	**С**	0,3				0,171	0,172	0,171	3.51	3.54	3.53
7	**П'ятиокис фосфору**	0,2				0,0043	0,0044	0,0044	0,0895	0,0909	0,0902
8	**оксид магнію**	3				2.05	2.05	2.05	42.2	42.2	42.2
9	**Оксид кальцію**	45				31.8	31.8	31.8	654,9	654,9	654,9
10	**кисень**					38.4	38.4	38.4	791.4	791.4	791.4

Таблиця 3.22 – Елементний склад газової фази при легуванні сталі 09Г2С

Не має	elyu	Вхід., %	поставити, %			підсумковий, %			Нарешті, кілограми		
			найменший	максимум	послідовність.	найменший	максимум	послідовність.	найменший	максимум	послідовність.
1	**залізо**					0,0142	0,0145	0,0144	слід	слід	слід
2	**С**					42.4	42.4	42.4	0,0061	0,0063	0,0062
3	**кремній**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
4	**марганець**					0,16	0,161	0,16	слід	слід	слід
5	**алюміній**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
6	**С**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
7	**фосфор**					0,0001	0,0001	0,0001	слід	слід	слід
8	**магній**					0,0299	0,0304	0,0302	слід	слід	слід
9	**про**					0,0002	0,0002	0,0002	слід	слід	слід
10	**кисень**					57.4	57.4	57.4	0,0083	0,0085	0,0084

Таблиця 3.23 – Елементний склад сталі 30ГС

Немає	elyu	Вхід., %	поставити, %			підсумковий, %			Нарешті, кілограми		
			найменший	максимум	послідовність.	найменший	максимум	послідовність.	найменший	максимум	послідовність.
1	**залізо**					98	98.1	98.1	150596	150700	150648
2	**С**	0,1	0,2	0,4	0,3	0,243	0,27	0,256	372,6	414.1	393.4
3	**кремній**		0,5	0,8	0,65	0,54	0,55	0,545	828,8	844,6	836,7
4	**марганець**	0,05	0,8	1,2	1	1.01	1.06	1.03	1552.2	1623,4	1587,8
5	**алюміній**					0,0181	0,0188	0,0184	27.8	28.8	28.3
6	**С**	0,035		0,04		0,0363	0,0378	0,037	55.7	58	56.9
7	**фосфор**	0,015		0,035		0,0249	0,0249	0,0249	38.2	38.2	38.2
8	**магній**					0,0001	0,0001	0,0001	0,0892	0,0913	0,0902
9	**про**					слід	слід	слід	0,0001	0,0001	0,0001
10	**кисень**					0,013	0,0131	0,0131	20	20.2	20.1

Таблиця 3.24 – Елементний склад шлаку при легуванні сталі 30ГС

Немає	комп'ютер	Вхід., %	поставити, %			кінцевий (елемент), %			кінцевий (елемент), кілограм		
			найменший	максимум	послідовність.	найменший	максимум	послідовність.	найменший	максимум	послідовність.
1	**оксид заліза**	20				0,826	0,842	0,834	15.8	16.1	16
2	**С**					слід	слід	слід	слід	слід	слід

3	**кремнезем**	20				16.8	16.8	16.8	321.3	322.1	321.7
4	**діоксид марганцю**	10				4.12	4.2	4.16	78,8	80.5	79.6
5	**Оксид алюмінію**	1.5				3.12	3.15	3.14	59.8	60.4	60.1
6	**С**	0,3				0,197	0,211	0,204	3.77	4.03	3.9
7	**П'ятиокис фосфору**	0,2				0,003	0,0031	0,003	0,0573	0,0595	0,0584
8	**оксид магнію**	3				2.24	2.24	2.24	43	43	43
9	**Оксид кальцію**	45				34.2	34.2	34.2	654,9	654,9	654,9
10	**кисень**					38.4	38.4	38.4	735,8	735,9	735,9

Таблиця 3.25 – Елементний склад газової фази при легуванні сталі 30ГС

Не має	**elyu**	**Вхід., %**	**поставити, %**			**підсумковий, %**			**Нарешті, кілограми**		
			найменший	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**
1	**залізо**					0,0097	0,0102	0,0099	слід	слід	слід
2	**С**					42.6	42.6	42.6	0,0088	0,0092	0,009
3	**кремній**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
4	**марганець**					0,0827	0,083	0,0829	слід	слід	слід
5	**алюміній**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
6	**С**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
7	**фосфор**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
8	**магній**					0,0275	0,0282	0,0278	слід	слід	слід
9	**про**					0,0002	0,0002	0,0002	слід	слід	слід
10	**кисень**					57.3	57.3	57.3	0,0119	0,0124	0,0121

Таблиця 3.26 – Елементний склад сталі 35ХГСА

Не має	**elyu**	**Вхід., %**	**поставити, %**			**підсумковий, %**			**Нарешті, кілограми**		
			найменший	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**
1	**залізо**					97,6	97.7	97,6	150584	150663	150623
2	**С**	0,25	0,32	0,39	0,355	0,38	0,39	0,385	585,6	601,8	593,7
3	**кремній**		1.1	1.4	1.25	1.1	1.11	1.11	1697 рік	1715,7	1706,3
4	**марганець**	0,12	0,8	1.1	0,95	0,8	0,837	0,819	1234.4	1291.3	1262,8
5	**алюміній**					0,0059	0,006	0,006	9,16	9.23	9.2
6	**С**	0,01		0,025		0,0129	0,0129	0,0129	19.9	20	20
7	**фосфо**	0,0		0,025		0,0226	0,022	0,0226	34.9	34.9	34.9

	р	15					6				
8	**магній**					0,0001	0,0001	0,0001	0,145	0,146	0,146
9	**про**					слід	слід	слід	0,0002	0,0002	0,0002
10	**кисень**					0,0111	0,0112	0,0112	17.2	17.2	17.2

Таблиця 3.27 – Елементний склад шлаку при легуванні сталі 35ХГСА

Немає	**комп'ютер**	**Вхід., %**	**поставити, %**			**кінцевий (елемент), %**			**кінцевий (елемент), кілограм**		
			найменший	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**
1	**оксид заліза**	20				0,43	0,435	0,433	7,75	7,84	7,8
2	**С**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
3	**кремнезем**	20				19.2	19.2	19.2	346.2	346.4	346.3
4	**діоксид марганцю**	10				1.93	1,99	1,96	34.8	35.9	35.4
5	**Оксид алюмінію**	1.5				0,531	0,535	0,533	9.58	9,65	9.61
6	**С**	0,3				0,116	0,117	0,117	2.09	2.12	2.1
7	**П'ятиокис фосфору**	0,2				0,0009	0,0009	0,0009	0,0155	0,0159	0,0157
8	**оксид магнію**	3				2.34	2.34	2.34	42.1	42.1	42.1
9	**Оксид кальцію**	45				36.3	36.3	36.3	654,9	654,9	654,9
10	**кисень**					39	39.1	39.1	703,9	703,9	703,9

Таблиця 3.28 – Елементний склад газової фази при легуванні сталі 35ХГСА

Немає	**elyu**	**Вхід., %**	**поставити, %**			**підсумковий, %**			**Нарешті, кілограми**		
			найменший	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**
1	**залізо**					0,0093	0,0094	0,0094	слід	слід	слід
2	**С**					42.7	42.7	42.7	слід	слід	слід
3	**кремній**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
4	**марганець**					0,0605	0,0626	0,0615	слід	слід	слід
5	**алюміній**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
6	**С**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
7	**фосфор**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
8	**магній**					0,0434	0,0435	0,0434	слід	слід	слід
9	**про**					0,0003	0,0003	0,0003	слід	слід	слід
10	**кисень**					57.2	57.2	57.2	слід	слід	слід

Маса шлаку 3 тонни

Таблиця 3.29 – Елементний склад сталі 12ГС

Не має	elyu	Вхід., %	поставити, %			підсумковий, %			Нарешті, кілограми		
			найменший	максимум	послідовність.	найменший	максимум	послідовність.	найменший	максимум	послідовність.
1	**залізо**					98.3	98.4	98.3	150736	150825	150780
2	**С**	0,06	0,09	0,15	0,12	0,138	0,149	0,144	212.1	228.3	220.2
3	**кремній**		0,5	0,8	0,65	0,519	0,528	0,523	795.2	810.1	802,7
4	**марганець**	0,05	0,8	1,2	1	0,902	0,941	0,921	1382,5	Глава 1443	1412,8
5	**алюміній**					0,0088	0,009	0,0089	13.5	13.9	13.7
6	**С**	0,035		0,04		0,0373	0,0374	0,0373	57.2	57.3	57.2
7	**фосфор**	0,015		0,035		0,0242	0,0242	0,0242	37.2	37.2	37.2
8	**магній**					слід	0,0001	слід	0,0756	0,0769	0,0763
9	**про**					слід	слід	слід	0,0001	0,0001	0,0001
10	**кисень**					0,0128	0,0128	0,0128	19.7	19.7	19.7

Таблиця 3.30 – Елементний склад шлаку при легуванні сталі 12ГС

Не має	комп'ютер	Вхід., %	поставити, %			кінцевий (елемент), %			кінцевий (елемент), кілограм		
			найменший	максимум	послідовність.	найменший	максимум	послідовність.	найменший	максимум	послідовність.
1	**оксид заліза**	20				0,866	0,879	0,873	24.6	25	24.8
2	**С**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
3	**кремнезем**	20				18	18.1	18	512.6	513.5	513.1
4	**діоксид марганцю**	10				4.11	4.21	4.16	116.7	119.7	118.2
5	**Оксид алюмінію**	1.5				1.68	1.69	1.68	47.7	48.1	47.9
6	**С**	0,3				0,179	0,183	0,181	5.1	5.2	5.15
7	**П'ятиокис фосфору**	0,2				0,0033	0,0034	0,0034	0,0943	0,0975	0,0959
8	**оксид магнію**	3				2.13	2.14	2.13	60.7	60.7	60.7
9	**Оксид кальцію**	45				34.3	34.4	34.4	Глава 977	Глава 977	Глава 977
10	**кисень**					38.6	38.6	38.6	1096,6	1096,7	1096,6

Таблиця 3.31 – Елементний склад газової фази при легуванні сталі 12ГС

Не має	elyu	Вхід., %	поставити, %			підсумковий, %			Нарешті, кілограми		
			найменший	максимум	послідовність.	найменший	максимум	послідовність.	найменший	максимум	послідовність.
1	**залізо**					0,0125	0,0129	0,0127	слід	слід	слід
2	**С**					42.5	42.5	42.5	0,0069	0,007	0,007

										1	
3	**кремній**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
4	**марганець**					0,0948	0,096	0,0954	слід	слід	слід
5	**алюміній**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
6	**С**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
7	**фосфор**					0,0001	0,0001	0,0001	слід	слід	слід
8	**магній**					0,0302	0,0306	0,0304	слід	слід	слід
9	**про**					0,0002	0,0002	0,0002	слід	слід	слід
10	**кисень**					57.3	57.4	57.3	0,0093	0,0096	0,0095

Таблиця 3.32 – Елементний склад сталі 09Г2С

Не має	**elyu**	**Вхід., %**	**поставити, %**			**підсумковий, %**			**Нарешті, кілограми**		
			найменший	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**
1	**залізо**					97,9	98	97,9	150813	150867	150840
2	**С**	0,05		0,12		0,103	0,109	0,106	158.1	167.1	162.6
3	**кремній**		0,5	0,8	0,65	0,48	0,484	0,482	738,8	745.4	742.1
4	**марганець**	0,12	1.3	1.7	1.5	1.37	1.39	1.38	2106,5	2143	2124,7
5	**алюміній**					0,0036	0,0036	0,0036	5.52	5.57	5.54
6	**С**	0,035				0,0374	0,0374	0,0374	57.5	57.6	57.6
7	**фосфор**	0,015				0,029	0,029	0,029	44.7	44.7	44.7
8	**магній**					слід	слід	слід	0,0692	0,0697	0,0695
9	**про**					слід	слід	слід	0,0001	0,0001	0,0001
10	**кисень**					0,0132	0,0132	0,0132	20.3	20.3	20.3

Таблиця 3.33 – Елементний склад шлаку при легуванні сталі 09Г2С

Немає	**комп'ютер**	**Вхід., %**	**поставити, %**			**кінцевий (елемент), %**			**кінцевий (елемент), кілограм**		
			найменший	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**
1	**оксид заліза**	20				0,943	0,95	0,946	27.6	27.8	27.7
2	**С**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
3	**кремнезем**	20				18	18.1	18	Глава 529	529.3	529.1
4	**діоксид марганцю**	10				6.69	6.74	6.72	196.1	197,8	196,9
5	**Оксид алюмінію**	1.5				0,723	0,724	0,724	21.2	21.2	21.2
6	**С**	0,				0,173	0,175	0,174	5.08	5.13	5.11

		3									
7	**П'ятиокис фосфору**	0,2				0,0045	0,0046	0,0045	0,131	0,134	0,132
8	**оксид магнію**	3				2.06	2.06	2.06	60.3	60.3	60.3
9	**Оксид кальцію**	45				33.3	33.3	33.3	Глава 977	Глава 977	Глава 977
10	**кисень**					38	38	38	1114.8	1114.8	1114.8

Таблиця 3.34 – Елементний склад газової фази при легуванні сталі 09Г2С

Не має	**elyu**	**Вхід., %**	**поставити, %**			**підсумковий, %**			**Нарешті, кілограми**		
			найменший	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**
1	**залізо**					0,0143	0,0147	0,0145	слід	слід	слід
2	**С**					42.4	42.4	42.4	0,0061	0,0062	0,0062
3	**кремній**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
4	**марганець**					0,163	0,164	0,163	слід	слід	слід
5	**алюміній**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
6	**С**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
7	**фосфор**					0,0001	0,0001	0,0001	слід	слід	слід
8	**магній**					0,0312	0,0317	0,0314	слід	слід	слід
9	**про**					0,0002	0,0002	0,0002	слід	слід	слід
10	**кисень**					57.4	57.4	57.4	0,0082	0,0084	0,0083

Таблиця 3.35 – Елементний склад сталі 30ГС

Не має	**elyu**	**Вхід., %**	**поставити, %**			**підсумковий, %**			**Нарешті, кілограми**		
			найменший	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**
1	**залізо**					98	98.1	98.1	150742	150846	150794
2	**С**	0,1	0,2	0,4	0,3	0,242	0,269	0,256	372,6	414.1	393.4
3	**кремній**		0,5	0,8	0,65	0,509	0,52	0,515	783.1	799.1	791.1
4	**марганець**	0,05	0,8	1,2	1	1.04	1.08	1.06	1592,6	1663,3	1628 рік
5	**алюміній**					0,0149	0,0155	0,0152	22.9	23.8	23.3
6	**С**	0,035		0,04		0,0371	0,0385	0,0378	57	59.2	58.1
7	**фосфор**	0,015		0,035		0,0254	0,0254	0,0254	39.1	39.1	39.1
8	**магній**					0,0001	0,0001	0,0001	0,0868	0,0889	0,0878
9	**про**					слід	слід	слід	0,0001	0,0001	0,0001
10	**кисен**					0,013	0,013	0,0131	20	20.2	20.1

	ь						1				

Таблиця 3.36 – Елементний склад шлаку при легуванні сталі 30ГС

Не має	**комп'ютер**	**Вхід., %**	**поставити, %**			**кінцевий (елемент), %**			**кінцевий (елемент), кілограм**		
			найменший	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**
1	**оксид заліза**	20				0,845	0,862	0,853	23.5	23.9	23.7
2	**С**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
3	**кремнезем**	20				16.6	16.6	16.6	460.4	461.4	460,9
4	**діоксид марганцю**	10				4.17	4.25	4.21	115.9	118.2	117
5	**Оксид алюмінію**	1.5				2.62	2.64	2.63	72.6	73.4	73
6	**С**	0,3				0,196	0,209	0,202	5.43	5.81	5.62
7	**П'ятиокис фосфору**	0,2				0,0032	0,0033	0,0032	0,0883	0,0918	0,09
8	**оксид магнію**	3				2,2	2,2	2,2	61.1	61.1	61.1
9	**Оксид кальцію**	45				35.2	35.2	35.2	Глава 977	Глава 977	Глава 977
10	**кисень**					38.1	38.1	38.1	1058,8	1059	1058,9

Таблиця 3.37 – Елементний склад газової фази при легуванні сталі 30ГС

Не має	**elyu**	**Вхід., %**	**поставити, %**			**підсумковий, %**			**Нарешті, кілограми**		
			найменший	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**
1	**залізо**					0,0097	0,0101	0,0099	слід	слід	слід
2	**С**					42.6	42.6	42.6	0,0089	0,0093	0,0091
3	**кремній**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
4	**марганець**					0,0842	0,0846	0,0844	слід	слід	слід
5	**алюміній**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
6	**С**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
7	**фосфор**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
8	**магній**					0,0266	0,0272	0,0269	слід	слід	слід
9	**про**					0,0002	0,0002	0,0002	слід	слід	слід
10	**кисень**					57.3	57.3	57.3	0,012	0,0125	0,0122

Таблиця 3.38 – Елементний склад сталі 35ХГСА

Не має	**elyu**	**Вхід., %**	**поставити, %**			**підсумковий, %**			**Нарешті, кілограми**		
			найменший	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**
1	**залізо**					97,6	97.7	97,6	150750	150825	150787

2	**С**	0,25	0,32	0,39	0,355	0,38	0,39	0,385	586,7	602.4	594,6
3	**кремній**		1.1	1.4	1.25	1.1	1.11	1.11	1699,1	1717,7	1708,4
4	**марганець**	0,12	0,8	1.1	0,95	0,8	0,835	0,817	1235.2	1289,4	1262.3
5	**алюміній**					0,0069	0,007	0,007	10.7	10.8	10.8
6	**С**	0,01		0,025		0,014	0,014	0,014	21.6	21.7	21.7
7	**фосфор**	0,015		0,025		0,0228	0,0228	0,0228	35.3	35.3	35.3
8	**магній**					0,0001	0,0001	0,0001	0,145	0,147	0,146
9	**про**					слід	слід	слід	0,0002	0,0002	0,0002
10	**кисень**					0,0109	0,011	0,011	16.9	номер 17	16.9

Таблиця 3.39 – Елементний склад шлаку сталі 35ХГСА

Немає	**комп'ютер**	**Вхід., %**	**поставити, %**			**кінцевий (елемент), %**			**кінцевий (елемент), кілограм**		
			найменший	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**
1	**оксид заліза**	20				0,428	0,432	0,43	11.3	11.4	11.4
2	**С**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
3	**кремнезем**	20				18.8	18.8	18.8	497,5	497,8	497,7
4	**діоксид марганцю**	10				1,85	1.91	1,88	49	50.5	49.7
5	**Оксид алюмінію**	1.5				0,604	0,607	0,606	16	16	16
6	**С**	0,3				0,128	0,129	0,128	3.37	3.41	3.39
7	**П'ятиокис фосфору**	0,2				0,0008	0,0009	0,0008	0,0222	0,0227	0,0225
8	**оксид магнію**	3				2.28	2.28	2.28	60.2	60.2	60.2
9	**Оксид кальцію**	45				37	37	37	Глава 977	Глава 977	Глава 977
10	**кисень**					38.9	38.9	38.9	1027.1	1027.2	1027.2

Таблиця 3.40 – Елементний склад газової фази при легуванні сталі 35ХГСА

Немає	**elyu**	**Вхід., %**	**поставити, %**			**підсумковий, %**			**Нарешті, кілограми**		
			найменший	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**	**найменший**	**максимум**	**послідовність.**
1	**залізо**					0,0094	0,0095	0,0095	слід	слід	слід
2	**С**					42.7	42.7	42.7	слід	слід	слід
3	**кремній**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
4	**марганець**					0,061	0,063	0,062	слід	слід	слід
5	**алюміній**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
6	**С**					слід	слід	слід	слід	слід	слід

7	**фосфор**					слід	слід	слід	слід	слід	слід
8	**магній**					0,044	0,0441	0,044	слід	слід	слід
9	**про**					0,0003	0,0003	0,0003	слід	слід	слід
10	**кисень**					57.2	57.2	57.2	слід	слід	слід

3.5 Висновки

1. За допомогою програми «Excalibur» можна проводити термодинамічне моделювання системи «метал-шлак-газ», переглядати вміст різних хімічних елементів та їх сполук у металах і газах, а також шлакову фазу за різних умов процесу.

2. Побудовано графічні залежності, які детально відображають процеси, що протікають в установці печі-ковша в процесі ВЕЛР. У майбутньому ця інформація може зіграти роль при проектуванні технологічних процесів ВЕЛР на металургійних підприємствах.

3. Отримали відповіді на запитання щодо легування сталі лужноземельними металами за технологією ВЕЛР.

4. При збільшенні питомого заряду шлаку починає утворюватися газова фаза, в яку потрапляють потенційно корисні елементи, такі як кальцій і магній. Щоб утримати ці елементи в металі, необхідно додати зовнішній тиск.

Для підвищення економічної доцільності легування та модифікування процес ВЕЛР дозволяє використовувати металургійні шлаки. Зі збільшенням маси шлаку збільшується кількість переведених до металу корисних елементів, зменшується оптимальна кількість феросплавів та інших матеріалів, необхідних для легування, а також їх загальна вартість.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих чинників, що впливають на працівника лабораторії

Всі види негативних впливів, що формуються при проведенні відповідного дослідження, поділяють на основні групи: фізичні та хімічні. Фізичні фактори – рухомі машини і механізми; пересувні вироби, заготовки, матеріали; підвищені рівні шуму і вібрацій; підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони; підвищена температура поверхонь устаткування, матеріалів; електромагнітні випромінювання, недостатня освітленість, підвищений рівень статичної електрики, підвищене значення напруги в електричному ланцюзі та інші. Хімічні фактори – речовини та сполуки, різні за агрегатним станом і володіючи токсичною, дратівливою, канцерогенною та мутагенною дією на організм людини і впливають на його репродуктивну функцію.

Основними шкідливими чинниками в приміщенні лабораторії при проведенні досліду є загазованість, та небезпека враження електричним струмом.

Лабораторія є приміщенням легкої категорії важкості праці (виконуються легкі фізичні роботи), тому повинні дотримуватися такі вимоги:

- оптимальна температура повітря – 22 ^{o}C (допустима – 20-24 ^{o}C);
- оптимальна відносна вологість – 40-60% (допустима – не більше 75%);
- швидкість руху повітря не більше 0,1 м/с;
- допустимий рівень звукового тиску 80 дБ(а);
- загальне освітлення 50 лк;
- категорія важкості праці – легка;
- категорія напруженості праці - мало напружена.

Загазованість повітря.

Основну небезпеку представляє оксид вуглецю – газ який не має кольору, запаху і дратівливих властивостей. Токсична дія оксиду вуглецю складається в тому, що він з'єднуючись з гемоглобіном, утворює речовину, яка перешкоджає постачанню кисню тканинам, внаслідок чого наступає їх кисневе голодування.

Згідно ДСТУ 12.1.005-88 ГДК для оксиду вуглецю складає 20 мг/м^3.

Дія токсичних речовин, у даному випадку окису вуглецю, може виявлятися в гострих і хронічних отруєннях. Симптоми отруєння, як правило, виявляються відразу.

Вага отруєння при вдиханні забрудненого повітря залежить від тривалості експозиції і концентрації отрути. Чим вище концентрація отрути в навколишньому повітрі, тим скоріше проявляться і будуть тяжчі наслідки.

Так, для монооксиду вуглецю :

- при $C \cdot t < 350$ - дія непомітна;
- при $C \cdot t = 700$ - дія слабка;
- при $C \cdot t = 1000$ - головні болі і нудота;
- при $C \cdot t = 1700$ - важке отруєння

(тут C - концентрація окису вуглецю, мг/м ; t - тривалість дії, год).

Впливають і умови навколишнього середовища. При високій температурі повітря розширюються шкірні судини, підсилюється потоотделение, учащається подих, підвищується хвилинний обсяг серця; це прискорює проникнення отрут в організм. Висока температура впливає на швидкість випару і летючість речовини, що підсилює небезпеку забруднення повітря. Вологість повітря підвищує токсичність речовин. Тому небезпека отруєння зростає саме в жаркий час року.

Для забезпечення необхідного по санітарних нормах якості повітряного середовища необхідна постійна зміна повітря в приміщенні. Потрібно

постійно видаляти "відпрацьоване" (забруднене) повітря і передбачати надходження чистого зовнішнього повітря, тобто здійснювати повітрообмін. Видалення з приміщення забрудненого повітря здійснюється витяжною вентиляцією (витяжкою).

Теплове випромінювання.

Основним джерелом надходження теплоти у виробничому приміщенні є піч Тамана.

Тепловиділення і створювані ними надлишки тепла - найбільше що часто зустрічається шкідливість.

Як відомо, у перший період, що безпосередньо настає після розігріву печі, частина теплоти витрачається на розігрів її маси, інша частина теплоти надходить у приміщення і може являти собою надлишкову теплоту, що видаляється засобами вентиляції. При зупинці печі виділення теплоти у повітря приміщення буде продовжуватися, поступово загасаючи і припиняючи після охолодження устаткування до температури навколишнього середовища. Отже, тепловиділення від печі Тамана в приміщенні не постійно в часі.

Визначення тепловиділення печі є складною задачею, тому що тепловіддача її не постійна і міняється в залежності від режиму роботи, ступеня зношеності устаткування; крім того, конструктивне оформлення грубного устаткування по-різному.

Поразка електричним струмом

Основні причини нещасливих випадків від впливу електричного струму наступні:

- випадковий чи дотик наближення на небезпечну відстань до струмоведучих частин, що знаходиться під напругою;
- поява напруги на металевих конструктивних частинах електроустаткування - у результаті ушкодження ізоляції й інших причин;

- поява напруги на відключених струмоведучих частинах, на яких працюють люди, унаслідок помилкового включення установки;
- виникнення крокової напруги на поверхні землі в результаті замикання проводу на землю.

На рівень електротравматизму впливають недоліки в конструкції і монтажі устаткування, недоліки в експлуатації, незадовільна організація робочих місць, недостатній інструктаж і т.д.

Проходячи через організм, електричний струм робить термічну, електролітичну і біологічну дії.

Термічна дія виражається в опіках окремих ділянок тіла, нагріванні кровоносних судин, нервів і інших тканин. Електролітична дія виражається в розкладанні крові й інших органічних рідин, що викликає значні порушення їхній фізико - хімічних складів.

Біологічна дія є особливим специфічним процесом, властивим лише живої матерії. Воно виражається в роздратуванні і порушенні живих тканин організму (що супроводжується мимовільними судорожними скороченнями м'язів), а також у порушенні внутрішніх біоелектричних процесів, що протікають у нормально діючому організмі і найтіснішому образі зв'язаних з його життєвими функціями. У результаті можуть виникнути різні порушення в організмі, у тому числі порушення і навіть повне припинення діяльності органів подиху і кровообігу. Дратівна дія струму на тканині організму може бути прямою, коли струм проходить безпосередньо по цих тканинах, і рефлекторною, тобто через центральну нервову систему, коли шлях струму лежить поза цими тканинами.

Це різноманіття дій електричного струму нерідко приводить до різних електротравмам, що умовно можна звести до двох видів: місцевим електротравмам (електричні опіки, електричні знаки, металізація шкіри, механічні ушкодження) і загальним електротравмам (електричним ударам).

Результат електротравм залежить від ряду факторів - умов зовнішнього середовища і параметрів організму людини. До умов зовнішнього середовища відносяться, насамперед, характер включення тіла людини в електричний ланцюг, сила струму і напруга в ланцюги, тривалість його впливу. Велике значення мають температура і вологість навколишнього середовища, з підвищенням якої вага результату зростає. На результат поразки електричним струмом впливають стомлення і хворобливий стан.

На результат поразки впливає і тривалість впливу струму. При цьому змінюється електричний опір тіла людини, що має на увазі вплив нагріву і пробивання рогового шару шкіри. При короткочасному впливі струму вага поразки залежить від фази роботи серця в момент проходження струму. Так, проходження струму через серце в стадії розслаблення (період між послідовними скороченнями і розширеннями передсердь і шлуночків серця, що триває близько 0,1 с) особливо небезпечно.

4.2 Інженерна розробка захисту від небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища та заходи з поліпшення умов праці

Видалення з приміщення забрудненого повітря здійснюється витяжною вентиляцією (витяжкою). При видаленні шкідливостей безпосередньо з місця їхнього виділення досягається найбільший ефект дії вентиляції, тому що при цьому не відбувається забруднення великих обсягів повітря і можна видалити малими обсягами повітря виділювані шкідливості. Такий спосіб вентилювання носить назву місцевої витяжної вентиляції.

Уловлювання шкідливостей у місці їхнього утворення виробляється за допомогою так званих місцевих відсмоктувачів.

Вони попереджають поширення шкідливостей по приміщенню, і, тим самим ефект дії вентиляції досягається при мінімальному повітрообміні і

мінімальних капітальних витратах. Застосування місцевих відсмоктувачів дозволяє вирішувати основну задачу вентиляції - санітарно-гігієнічну.

Конструктивне оформлення місцевих відсмоктувачів визначається характером виділення шкідливостей і особливістю технологічного процесу. При розташуванні місцевого відсмоктівача поза джерелом виділення шкідливості, над ним чи збоку, він конструктивно виконується у виді витяжних зонтів.

Витяжний зонт являє собою металевий ковпак, розташовуваний над джерелом шкідливих виділень. Всмоктувальний перетин ковпака має форму, що геометрично подібна горизонтальній проекції дзеркала шкідливих виділень. Зонт повинен уловити всю кількість повітря, що підтікає до нього. Чим далі прийомний отвір від джерела виділення шкідливих речовин, тим більший обсяг повітря потрібно видаляти. Через зонт повинна віддалятися сумарна кількість повітря, що складається з початкової маси, що виділяється джерелом, і маси повітря, що приєдналося, по шляху від джерела до зонту. Якщо кількість повітря, що видаляється зонтом, буде меншою, то зонт буде переповнятися і частина забрудненого повітря буде надходити в приміщення. Тому необхідно, щоб швидкості всмоктування в просторі між поверхнею джерела виділень і приймальним отвором зонту були достатніми для захоплення газу під зонт (без вибивання в приміщення), швидкості по всій площині вхідного отвору зонту - рівномірні, а обсяг повітря, що відсмоктується - більше обсягу струменя, що підтікає. Для уловлювання зонтом забрудненого нагрітого повітря необхідно правильно визначити його обсяг на рівні зонту. Рішення цього питання ґрунтується на знанні закономірностей конвективних (теплових) струменів.

Зонт є досить ефективним при стійких конвективних потоках, що мають осьову швидкість на рівні всмоктувального отвору не менш 1 м/с.

Важливою умовою роботи зонту, що впливає на рівномірність швидкості всмоктування в прийомному перетині зонту, є кут розкриття зонту. Забезпечити рівномірну швидкість всмоктування можна тільки при куті розкриття до 60°.

Основна вимога, пропонована до зонтів, - уловлювати максимальну кількість шкідливостей при мінімальній витраті повітря; конструктивні їхні елементи не повинні заважати виконанню робочих операцій.

Для попередження або зменшення впливу на працюючих небезпечних і шкідливих виробничих факторів в лабораторії застосовують засоби захисту. В кожному випадку вибір таких засобів здійснюється у відповідності з вимогами безпеки для даного вигляду робіт.

Засоби колективного захисту робітників, які застосовуються в залежності від їх призначення підрозділяються на декілька класів:

- Засоби захисту від впливу механічних факторів – відгороджуючі, запобіжні і гальмівні пристрої; засоби автоматичного контролю, сигналізації і дистанційного керування; знаки безпеки.

Призначення огороджуючих пристроїв – попереджувати механічний вплив фізичних небезпечних факторів на людину. По конструкції огороджуючі пристрої бувають стаціонарні і пересувні.

Обмежувальні пристрої – це конструкції, які обмежують зону, де можливий вплив на людину небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Найбільш розповсюдженими видами обмежувальних пристроїв є бар’єри, перила, поручні та ін.

Запобіжні пристрої призначені для попередження виникнення небезпечних виробничих факторів при перенавантаженнях або перевищенні заданих параметрів шляхом нормалізації параметрів процесу або відключення обладнання.

- Засоби нормалізації повітряного середовища виробничих приміщень і робочих місць; засоби опалення, вентиляції, очистки, кондиціонування повітря, а також засоби локалізації шкідливих факторів і прилади контролю і сигналізації.

Вентиляція – організований повітрообмін – застосовується для створення нормальних метеорологічних умов, видалення шкідливих речовин. Вентиляція буває природною (аерація), механічною, місцевою.

Кондиціонування – це подача повітря з заданими параметрами (температура, вологість, швидкість руху).

Нормалізація метеорологічних умов в виробничих приміщеннях безпосередньо пов’язана з необхідністю підтримання визначеної температури повітря шляхом опалення. В тих приміщеннях, де температура повітря підтримується завдяки тепловим виділенням від технологічного обладнання і металу, передбачається резервне опалення, яке дозволяє підтримувати в холодний період року температуру не менше 5 ^{o}C.

- Засоби захисту від інфрачервоного випромінювання - відгороджуючі, герметизуючі і теплоізолюючі пристрої; засоби автоматичного контролю і управління.

Найбільш розповсюдженим і простим способом захисту від теплового опромінення є екранування. Екрани застосовують для екранування або джерел опромінення, або робочих місць від впливу променевої енергії.

- Засоби захисту від шуму – відгороджуючі, звукопоглинальні і звукоізоляційні пристрої, а також глушники шуму.

Звукопоглинання. Торкаючись з огороджуючою поверхнею, звукові хвилі втрачають частину своєї енергії, яка втрачається на приведення в коливання огородження; при цьому частина механічної енергії переходить в теплову в порах облицьованого матеріалу.

Звукоізоляція – це властивість огороджень знижувати рівень звуку, який через них проходить.

- Засоби захисту від ураження електричним струмом – прилади автоматичного контролю і сигналізації; ізолюючі пристрої і покриття; улаштування захисного заземлення, занулення, вирівнювання потенціалів, захисного відключення.
- Засоби захисту від високих і низьких температур – відгороджуючі, термоізолюючі прилади; засоби радіаційного обігріву і охолодження.
- Засоби нормалізації освітлення виробничих приміщень і робочих місць – джерела світла, освітлювальні прилади, світлові пройми, світлозахисні пристрої і фільтри.

До засобів індивідуального захисту відносяться прилади і приспособлення для захисту органів дихання , зору, слуху, голови, рук, ніг та шкіри.

Спеціальний одяг служить для захисту робітника від несприятливих впливів виробничого середовища і небезпечних факторів виробництва, не порушуючи при цьому нормального функціонування організму. Для виготовлення спецодягу, який використовують для захисту від теплових впливів використовують льняні тканини.

Для захисту рук використовують рукавиці.

Для захисту очей від впливу енергії випромінювання використовують окуляри зі світлофільтрами.

Для захисту органів дихання використовують респіратори. Найбільш ефективним є респіратор «пелюсток». Опір диханню цих приладів повинен бути не великим (до 50 $Н/м^2$).

Для захисту органів слуху застосовують зовнішні і внутрішні противошуми (антифони). Як зовнішні противошуми рекомендують

використовувать шумозахисні навушники, які покривають вушну раковину, як внутрішні противошуми – заглушки, вкладиші, які вставляють в зовнішній слуховий прохід.

4.3 Електробезпека

Навіть при розвиненій системі захисних заходів не слід вважати, що вони створюють умови абсолютної безпеки. В усіх випадках настійно необхідно високоякісне виробництво електричних установок і періодичний контроль їх, підтримка якісного стану ізоляції, висока дисципліна персоналу і дотримання правил безпеки.

Пристрій і експлуатація електротехнічних установок повинні відповідати обов'язковим для всіх підприємств Правилам пристрою електротехнічних установок (ПУЭ) і правилам технічної експлуатації і безпеки обслуговування електроустановок промислових підприємств .

Для безпечної експлуатації електротехнічних установок важливе значення мають виробничі умови, що характеризуються особливостями навколишнього середовища, ступенем приступності електричного устаткування, напругою електричного струму.

Основними мірами захисту від поразки струмом є: забезпечення неприступності струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, для випадкового дотику; електричний поділ мережі; усунення небезпеки поразки з появою напруги на різних частинах електроустаткування, що досягається застосуванням малих напруг, використанням подвійної ізоляції, вирівнюванням потенціалу, захисним заземленням, зануленням, захисним відключенням і ін.; застосування спеціальних електрозахисних засобів - переносних приладів і пристосувань; організація безпечної експлуатації електроустановок .

4.4 Пожежна безпека

Будівлю, в якій знаходиться лабораторія, по вибуховій і пожежній небезпеці можна віднести до приміщення категорії Д, оскільки в лабораторії є горючі (книги, документи, меблі) і важкоспалимі речі (різне лабораторне устаткування), які при взаємодії з вогнем можуть горіти без вибуху. За конструктивними характеристиками будівлю можна віднести до будівель з несучими та огороджувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону, де для перекриттів допускається використання дерев'яних конструкцій, захищених штукатуркою або важко горючими листовими, а також плитковими матеріалами. Отже, ступінь вогнестійкості будівлі можна визначити як третю (III).

Причинами виникнення пожежі в лабораторії можуть бути:

- несправності електропроводки, розеток і вимикачів, які можуть призвести до короткого замикання або пробою ізоляції;

- використання пошкоджених (несправних) електроприладів;

- використання в приміщенні електронагрівальних приладів з відкритими нагрівальними елементами;

- виникнення пожежі внаслідок попадання блискавки в будинок;

- загоряння будівлі внаслідок зовнішніх впливів;

- неакуратне поводження з вогнем та недотримання заходів пожежної безпеки.

Для гасіння пожеж в лабораторії використовується вуглекислотний вогнегасник ОУ-5 та ручний пожежний інструмент – гаки, ломи, сокири, відра, лопати, ножиці для різання металу. Інструмент розміщується на видному і доступному місці на стендах та щитах.

Для швидкого виявлення та повідомлення про місце виникнення пожежі в лабораторії є автоматична пожежна сигналізація АДС (автоматичний димовий сповіщувач) і автоматична система пожежогасіння.

Для зв'язку використовують телефон, радіотелефон, радіо чи інші засоби першої зв'язку, що знаходяться у вищому навчальному закладі.

Необхідними заходами для запобігання пожежі є своєчасний ремонт електроприладів, якісне виправлення поломок, не використання несправних електроприладів, протипожежний інструктаж, на якому працівники ознайомлюються з правилами протипожежної безпеки та використання первинних засобів пожежогасіння.

Особливу увагу необхідно приділяти евакуації людей з приміщень. Евакуація проводиться за заздалегідь спланованими шляхами. Схеми евакуації розташовані в доступних для погляду людини місцях.

4.5 Розрахунок витяжного зонту для уловлювання ненаправленого потоку повітря

Метою розрахунку зонту є визначення швидкостей у зоні утворення шкідливостей і обсягу повітря, що відсмоктується, що забезпечують задовільну роботу зонту.

Власне розрахунку зонту передує виявлення наступних даних: габаритні розміри джерела виділення шкідливостей; швидкість поширення їх у приміщенні; висота установки зонт Н; форма, розміри а, б і кут розкриття зонту α приймаються по місцевих умовах.

Розрахунок витяжного зонту для уловлювання ненаправленого потоку при наступних даних: установка має розміри *в* х *г* =1,5 х1,5 м; швидкість поширення газу СО складає 0,15 м/с; швидкість всмоктування газу в поверхні установки U_{xy} приймаємо 0,25 м/с (від краю установки, у крапці А); габарити зонт приймаємо на 0,2 м більше габаритів установки з кожної сторони : *а* х *б* = 1,9 х 1,9 м; висота від краю установки до зонт 0,7 м; кут розкриття зонт α = 60°; висота витяжного зонт H = 1,51 м.

Розрахункова схема витяжного зонт представлена на малюнку 3.1.

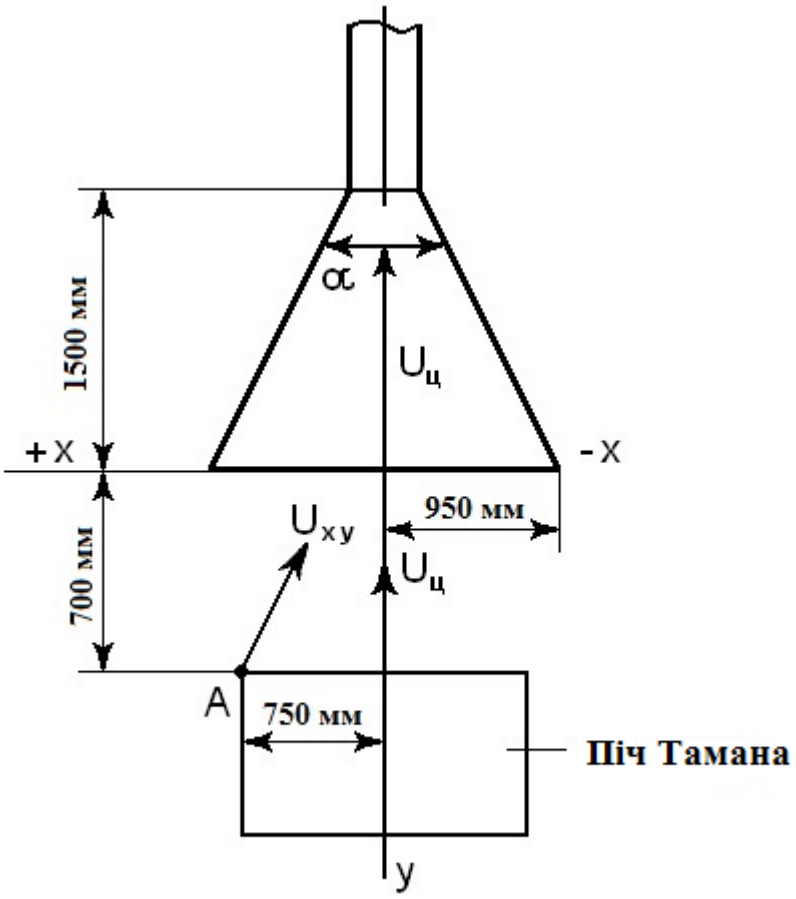


Рис. 4.1 – Розрахункова схема витяжного зонту

Еквівалентний діаметр зонту прямокутної форми визначаємо по формулі:

$$d_{эк} = 2аб / (а + б), \quad (4.1)$$

де а – ширина, б – довжина зонту.

$$d_{эк} = 2аб / (а + б) = 2 \cdot 1,9 \cdot 1,9 / (1,9 + 1,9) = 1,9м. \quad (4.2)$$

Визначаємо відносні величини $\overline{x_0}$, $\bar{x}$, $\overline{y_1}$, $\overline{H}$ у частках еквівалентного діаметра:

$$\overline{x_0} = x_0 / d_{эк}; \quad (4.3)$$

$$\bar{x} = x / d_{эк}; \quad (4.4)$$

$$\overline{y_1} = y_1 / d_{эк}; \quad (4.5)$$

$$\overline{H} = H / d_{эк}, \quad (4.6)$$

де $d_{эк}$ - еквівалентний діаметр зонту прямокутної форми;

$\overline{x_0}$ - відносна відстань від осі зонту до його крайки;

x_0 - відстань від осі зонту до його крайки;

$\bar{x}$ і $\overline{y_1}$ - координати крапки, для якого визначається відносна швидкість U_{xy}/U_y;

х - відстань від осі зонту до краю шкідливих виділень (тобто половина в);

y_1 - відстань по вертикалі від крайки зонту до оцінки виділення шкідливості;

$\overline{H}$ – відносна висота вытяжного зонта;

Н – висота витяжного зонта.

$$\overline{x_0} = x_0 / d_{эк} = 0,95 / 1,9 = 0,5; \quad (4.7)$$

$$\bar{x} = x / d_{эк} = 0,75 / 1,9 = 0,39; \quad (4.8)$$

$$\overline{y_1} = y_1 / d_{эк} = 0,7 / 1,9 = 0,37; \quad (4.9)$$

$$\overline{H} = H / d_{эк} = 1,51 / 1,9 = 0,8. \quad (4.10)$$

За графіком знаходимо для $\overline{y_1}$ = 0,37 значення $\frac{U_y}{U_ц}$ = 0,425. За формулою знаходимо значение $U_ц$:

$$U_ц = U_{xy} / \left(\frac{U_y}{U_ц} - 0{,}1 \frac{\overline{x^2}}{\overline{x_0^2} \cdot (\overline{y_1} + 0{,}27) \cdot \sqrt{\overline{H}}}\right), \quad (4.11)$$

де $U_ц$ – швидкість в середині зонту;

$\frac{U_y}{U_ц}$ – відносна швидкість, в якій U_y – швидкість повітря на відстані y_1 від зонту до відмітки виділення шкідливостей;

$\bar{x}$ і $\overline{y_1}$ – координати точки, для котрої визначається відносна швидкість U_{xy} / U_y;

$\overline{x_0}$ – відносна відстань від осі зонту до його кромки;

$\overline{H}$ – відносна висота зонта.

$$U_ц = U_{xy} / \left(\frac{U_y}{U_ц} - 0{,}1 \frac{\overline{x^2}}{\overline{x_0^2} \cdot (\overline{y_1} + 0{,}27) \cdot \sqrt{\overline{H}}}\right) 0{,}25 / \left(0{,}425 - 0{,}1 \frac{0{,}39^2}{0{,}5^2 \cdot (0{,}37 + 0{,}27) \cdot \sqrt{0{,}8}}\right) = 0{,}8 м/с \quad (4.12)$$

Середня швидкість всмоктування визначається за формулою:

$$U_o = \eta \cdot U_ц , \quad (4.13)$$

де η – поправочний коефіцієнт, який визначається за графіком, залежний від кута розкриття зонту α;

$U_ц$ – швидкість в центрі зонта.

$$U_o = \eta \cdot U_ц = 1 \cdot 0{,}8 = 0{,}8 \text{ м/с} \quad (3.14)$$

Обсяг відсмоктування повітря розраховуємо за формулою:

$$L = а \cdot б \cdot U_o \cdot 3600,$$

де а, б – габарити зонту;

U_o – середня швидкість всмоктування зонта.

За графіком [37] при α = 60° η = 1. Об'єм відсмоктуваного повітря складе:

$$L = аб U_o \cdot 3600 = 1,9 \cdot 1,9 \cdot 0,8 \cdot 3600 = 10396,8 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Такий обсяг повітря, що відсмоктується, буде забезпечений за рахунок застосування вентилятора.

Підбор вентилятора здійснювався відповідно до аеродинамічної характеристики вентиляторів. Так по технічним даним вентилятора, відповідно до табличних даних , нас був обраний вентилятор Ц 14 - 46 № 4. Його технічна характеристика: потужність - 4 кВт, частота обертання - 1450 об/хв, електродвигун серії - АТ2 - 41 - 4, продуктивність - 4500 - 10500 м/год.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Під час процесу вторинного електротермічного легування (ВЕЛР) збільшення позитивних і негативних питомих зарядів шлаку призводить до утворення газової фази, об’єм якої залежить від зовнішнього тиску.

2. При нормальному атмосферному тиску значна частина кальцію із системи в процесі ВЕЛР переходить у газову фазу, тому його вміст у сталі не може перевищувати 0,04%.

3. Підвищення зовнішнього тиску до 200 кПа та збільшення питомого заряду шлаку до $q \geq 1$ F/mol може значно покращити ефективність легування сталі лужноземельними металами, тобто: збільшити верхню межу кальцію і магнію відповідно до 0,35% і 0,04% за рахунок зменшення втрати цих елементів у газовій фазі.

4. Для легування сталі лужноземельними металами технологія ВЕЛР дозволяє використовувати металургійні шлаки замість коштовного порошкового дроту.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Харченко О. В., Пономаренко О. Г. Термодинамічне моделювання системи «метал-шлак-газ» з урахуванням тепла хімічних реакцій. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2004. №8 (228). С. 40-43.

2. Lupis C. H. P. Chemical Thermodynamics of Materials. Prentice Hall, 1993. 602 p. ISBN-13 978-0444007797.

3. Харченко О. В. Термодинамічне моделювання системи «метал-шлак-газ» з урахуванням ентальпійного теплового балансу. *Метал та лиття України*. 2005. №6. С. 13-17.

4. Воскобойніков В. Г., Кудрін В. А., Якушев А. М. Загальна металургія: підручник для вишів. 6-те вид., перероб. та дод. Київ : Академкнига, 2002. 768 с.

5. Воденніков С. О., Харченко О. В., Лічконенко Н. В та ін. Фізико-хімічні процеси позаагрегатного рафінування металу: навч. посібник для студ. ЗДІА спец. 6.050401 "МЧМ" ден. та заоч. форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 108 С.

6. Зборщик О. М. Фізико-хімічні процеси позаагрегатного рафінування металу: навч. посібник. Донецьк : ДонНТУ, 2001. 154 с.

7. Дакуорт У. Е., Хойл Дж. Електрошлаковий переплав. Київ : Металургія, 1973. 192 с.

8. Пономаренко О. Г. Питання термодинаміки фаз змінного складу, що мають колективну електронну систему. *Журнал фізичної хімії*. 1974. Т.48. №7. с. 668-674; № 8. С. 950-958.

9. Харченко О. В., Пономаренко О. Г. Експериментальні основи термодинамічної моделі колективізованих електронів. *Зб. наук. праць Донецьк. нац. техн. університету. Серія: Металургія*. 2003. Вип. 66. С. 17-24.

10. Храпко С. А. Термодинаміка та кінетика взаємодії фаз при позапечній обробці. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2002. № 10. С. 121-123.

11. Харченко О. В., Пономаренко О. Г., Корзун Є. Л. Термодинамічна модель багатокомпонентної конденсованої фази. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2004. № 8. С. 135-139.

12. Старосоцький О. В., Бабічев А. К., Дерев'янченко І. В. та ін. Створення системи автоматичного ведення плавки в ДСП як перший крок розгортання інтелектуальних систем управління у сталеплавильному виробництві. *Праці Шостого конгресу сталеплавильників*. Дніпро : Черметінформація, 2001. С. 300-308.

13. Синяков Р. В., Гуляєв М. П., Мартинов Р. Н. та ін. Промислове освоєння системи управління позапічною обробкою сталі (піч-ківш - вакууматор) ГІББС на БМЗ. *Метал і лиття України*. 2005. № 3-4. С. 98-100.

14. Харченко О. В., Гогенко Д. В., Борщов О. В. та ін. Оптимізація параметрів розкислення киплячої та напівспокійної сталі за допомогою апаратно-програмного комплексу «Майстер». *Праці Дев'ятого конгресу сталеплавильників, 17-19 жовтня 2006 р.*,: Черметінформація, 2007. С. 367-371.

15. Харченко О. В. Термодинамічне моделювання системи «метал-шлак-газ» з урахуванням ентальпійного теплового балансу. *Метал та лиття України*. 2005. №6. С. 13-17.

16. Харченко О. В., Пономаренко О. Г., Довгонюк С.В. Диференціальні коефіцієнти засвоєння в комп'ютерних системах управління плавкою та позапечною обробкою стали. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2002. №10 (215). С. 131-137.

17. Харченко О. В., Личконенко Н. В. Вторинне легування та рафінування сталі в установках піч-ківш. *Зб. наукових праць ЗДІА. Металургія*, 2012. Вип. 1(26). С. 17-21.

18. Харченко О. В., Пономаренко О. Г., Храпко С. А. Розробка інформаційно-технологічної системи «Форвард» для управління металургійними процесами в реальному масштабі часу. *Вісті ВНЗ. Чорна металургія*. 1991. №12. С. 89-91.

19. Храпко С. А., Іноземцева Є. Н., Харченко О. В. Термодинамічна модель системи «метал-шлак-газ» та інтегрована система «Оракул»: використання для прогнозних розрахунків та керування у складі АСУТП та розробки сталеплавильних процесів. *Тез. доп. Конф. «Моделювання фізико-хімічних систем та технологічних процесів у металургії»*. Київ : Наукова думка, 1991. С. 222-223.

20. Пономаренко О. Г. Питання термодинаміки фаз змінного складу, що мають колективну електронну систему. *Журнал фізичної хімії*. 1974. Т. 48, №7. С. 1668-1674; №8. С. 1950-1958.

21. Харченко О. В., Пономаренко О. Г. Експериментальні основи термодинамічної моделі колективізованих електронів. *Зб. наук. праць Донецьк. нац. техн. університету. Серія: Металургія*. 2003. Вип. 66. С. 17-24.

22. Харченко О. В., Пономаренко О. Г. Термодинамічне моделювання системи «метал-шлак-газ» з урахуванням тепла хімічних реакцій. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2004. №8 (228). С. 40-43.

23. Харченко О. В. Термодинамічне моделювання системи «метал-шлак-газ» з урахуванням ентальпійного теплового балансу. *Метал та лиття України*. 2005. №6. С. 13-17.

24. Харченко О. В., Пономаренко О. Г. Про кінетику міжфазного масопереносу в металургійних агрегатах. *Метал та лиття України*. 2002. №12. С. 41-42.

25. Харченко О. В. Оптимізація позапічної обробки та легування стали на основі вирішення зворотного завдання термодинамічного аналізу *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2004. №8 (228). С. 115-120.

26. Харченко О. В., Пономаренко О. Г., Довгонюк С.В. Диференціальні коефіцієнти засвоєння в комп'ютерних системах управління плавкою та позапечною обробкою стали. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2002. №10 (215). С. 131-137.

27. Харченко О.В., Лічконенко Н.В., Мосейко Ю.В. Можливості та перспективи використання програми «EXCALIBUR» у навчальному процесі. *Зб. наукових праць ЗДІА. Металургія*, 2013. Віп. 1(29). С. 7.

28. ГОСТ 19281 - 2014. Прокат підвищеної міцності. Загальні технічні умови; затверджено та введено в дію Наказом Агентства з технічного регулювання та метрології від 24 жовтня 2014 р. № 1430-ст. 46 С.

29. ГОСТ 977-88. Виливки сталеві. Загальні технічні умови; затверджено та введено в дію Постановою Державного комітету за стандартами від 22.12.88 № 4458. 1988. 36 С.

30. ГОСТ 4543 – 71. Прокат із легованої конструкційної сталі. Технічні умови; затверджено та введено в дію Наказом Агентства з технічного регулювання та метрології від 24 жовтня 18.06.71 № 1148. 46 С.

ДОДАТОК А

У додатку наведені основні хімічні, фізичні і термодинамічні показники для сталей: 12ГС, 09Г2С, 30ГС, 35ХГСА за умов підвищеного зовнішнього тиску (2 атм) та мас шлаку одна, дві і три тонни.

Маса шлаку 1 тонна

Таблиця А.1 – Загальні показники сталі 12ГС

№	Показник	Од. вим.	Мінімум	Максимум	Середнє
1	**Тиск**	ат			2
2	**Температура навк. середовища**	С			
3	**Температура вихідна**	С			1600
4	**Температура задана**	С	1600		
5	**Температура кінцева**	С			1600
6	**Маса металу вихідна**	т	150	150	150
7	**Маса металу задана**	т			
8	**Маса металу кінцева**	т			153,1
9	**Маса шлаку вихідна**	т	1	1	1
10	**Маса шлаку задана**	т			
11	**Маса шлаку кінцева**	т	1,125	1,126	1,126
12	**Основність шлаку задана**	т			
13	**Основність шлаку кінцева**	т	1,04	1,05	1,05
14	**Маса газу задана**	т			
15	**Маса газу кінцева**	т			сліди
16	**Об'єм газу кінцевий**	м3	0,004652	0,005091	0,004872
17	**Маса матеріалів факт.**	т			3,45
18	**Вартість матеріалів факт.**	у.о.			15002,49

Таблиця А.2 – Матеріали для сталі 12ГС

№	Матеріал	Факт, т	Оптим, т	Реком, т	Обов, т	Мін, т	Макс, т	Мін, %	Макс, %
1	**FeMn**	1,7		1,7					
2	**SiMn**								
3	**FeSi65**	1,5		1,5					
4	**АВ-87**	0,05		0,05					
5	**Коксик**								
6	**Карбід Si**	0,1		0,1					
7	**Син. шлак**								
8	**Футерівка**	0,1			0,1				
9	**Вапно**								
10	**Е/е МВтч**	0,25		0,25			5		

Таблиця А.3 – Загальні показники сталі 09Г2С

№	Показник	Од. вим.	Мінімум	Максимум	Середнє
1	**Тиск**	ат			2
2	**Температура навк. середовища**	С			
3	**Температура вихідна**	С			1600
4	**Температура задана**	С	1600		
5	**Температура кінцева**	С			1600
6	**Маса металу вихідна**	т	150	150	150
7	**Маса металу задана**	т			
8	**Маса металу кінцева**	т			153,7
9	**Маса шлаку вихідна**	т	1	1	1
10	**Маса шлаку задана**	т			
11	**Маса шлаку кінцева**	т	1,188	1,189	1,189
12	**Основність шлаку задана**	т			
13	**Основність шлаку кінцева**	т			0,958
14	**Маса газу задана**	т			
15	**Маса газу кінцева**	т			сліди
16	**Об'єм газу кінцевий**	м3	0,003279	0,003529	0,003404
17	**Маса матеріалів факт.**	т			4,3
18	**Вартість матеріалів факт.**	у.о.			20642,8

Таблиця А.4 – Матеріали для сталі 09Г2С

№	Матеріал	Факт, т	Оптим, т	Реком, т	Обов, т	Мін, т	Макс, т	Мін, %	Макс, %
1	**FeMn**	1		1					
2	**SiMn**	2,2		2,2					
3	**FeSi65**	1		1					
4	**АВ-87**						0,5		
5	**Коксик**								
6	**Карбід Si**								
7	**Син. шлак**								
8	**Футерівка**	0,1			0,1				
9	**Вапно**						2		
10	**Е/е МВтч**	1		1			5		

Таблиця А.5 – Загальні показники сталі 30ГС

№	Показник	Од. вим.	Мінімум	Максимум	Середнє
1	**Тиск**	ат			2
2	**Температура навк. середовища**	С			
3	**Температура вихідна**	С			1600
4	**Температура задана**	С	1600		
5	**Температура кінцева**	С			1600
6	**Маса металу вихідна**	т	150	150	150
7	**Маса металу задана**	т			
8	**Маса металу кінцева**	т			153,5
9	**Маса шлаку вихідна**	т	1	1	1
10	**Маса шлаку задана**	т			
11	**Маса шлаку кінцева**	т	1,054	1,055	1,055
12	**Основність шлаку задана**	т			
13	**Основність шлаку кінцева**	т	1,29	1,3	1,3
14	**Маса газу задана**	т			
15	**Маса газу кінцева**	т			сліди
16	**Об'єм газу кінцевий**	м3	0,008966	0,01027	0,009618
17	**Маса матеріалів факт.**	т			3,9
18	**Вартість матеріалів факт.**	у.о.			16860,77

Таблиця А.6 – Матеріали для сталі 30ГС

№	Матеріал	Факт, т	Оптим, т	Реком, т	Обов, т	Мін, т	Макс, т	Мін, %	Макс, %
1	**FeMn**	2		2					
2	**SiMn**								
3	**FeSi65**	1,5		1,5					
4	**АВ-87**	0,1		0,1					
5	**Коксик**	0,2		0,2					
6	**Карбід Si**								
7	**Син. шлак**								
8	**Футерівка**	0,1			0,1				
9	**Вапно**								
10	**Е/е МВтч**	1		1			5		

Таблиця А.7 – Загальні показники сталі 35ХГСА

№	Показник	Од. вим.	Мінімум	Максимум	Середнє
1	**Тиск**	ат			2
2	**Температура навк. середовища**	С			
3	**Температура вихідна**	С			1600
4	**Температура задана**	С	1600		
5	**Температура кінцева**	С			1600
6	**Маса металу вихідна**	т	150	150	150
7	**Маса металу задана**	т			
8	**Маса металу кінцева**	т			154,1
9	**Маса шлаку вихідна**	т	1	1	1
10	**Маса шлаку задана**	т			
11	**Маса шлаку кінцева**	т	0,9608	0,9612	0,961
12	**Основність шлаку задана**	т			
13	**Основність шлаку кінцева**	т			1,22
14	**Маса газу задана**	т			
15	**Маса газу кінцева**	т			сліди
16	**Об'єм газу кінцевий**	м3	0,01128	0,01161	0,01145
17	**Маса матеріалів факт.**	т			4,337
18	**Вартість матеріалів факт.**	у.о.			20602,95

Таблиця А.8 – Матеріали для сталі 35ХГСА

№	Матеріал	Факт, т	Оптим, т	Реком, т	Обов, т	Мін, т	Макс, т	Мін, %	Макс, %
1	**FeMn**	1,416	1,416	1,5					
2	**SiMn**								
3	**FeSi65**	2,362	2,362	2,5					
4	**АВ-87**								
5	**Коксик**			0,15					
6	**Карбід Si**	0,459	0,459						
7	**Син. шлак**								
8	**Футерівка**	0,1	0,1		0,1				
9	**Вапно**								
10	**Е/е МВтч**	5	5	1			5		

Маса шлаку 2 тонни

Таблиця А.9 – Загальні показники сталі 12ГС

№	Показник	Од. вим.	Мінімум	Максимум	Середнє
1	**Тиск**	ат			2
2	**Температура навк. середовища**	С			
3	**Температура вихідна**	С			1600
4	**Температура задана**	С	1600		
5	**Температура кінцева**	С			1600
6	**Маса металу вихідна**	т	150	150	150
7	**Маса металу задана**	т			
8	**Маса металу кінцева**	т			153,2
9	**Маса шлаку вихідна**	т	2	2	2
10	**Маса шлаку задана**	т			
11	**Маса шлаку кінцева**	т	1,983	1,984	1,984
12	**Основність шлаку задана**	т			
13	**Основність шлаку кінцева**	т	1,24	1,25	1,25
14	**Маса газу задана**	т			
15	**Маса газу кінцева**	т			сліди
16	**Об'єм газу кінцевий**	м3	0,004299	0,004704	0,004502
17	**Маса матеріалів факт.**	т			3,45
18	**Вартість матеріалів факт.**	у.о.			15002,49

Таблиця А.10 – Матеріали для сталі 12ГС

№	Матеріал	Факт, т	Оптим, т	Реком, т	Обов, т	Мін, т	Макс, т	Мін, %	Макс, %
1	**FeMn**	1,7		1,7					
2	**SiMn**								
3	**FeSi65**	1,5		1,5					
4	**АВ-87**	0,05		0,05					
5	**Коксик**								
6	**Карбід Si**	0,1		0,1					
7	**Син. шлак**								
8	**Футерівка**	0,1			0,1				
9	**Вапно**								
10	**Е/е МВтч**	0,25		0,25			5		

Таблиця А.11 – Загальні показники сталі 09Г2С

№	Показник	Од. вим.	Мінімум	Максимум	Середнє
1	**Тиск**	ат			2
2	**Температура навк. середовища**	С			
3	**Температура вихідна**	С			1600
4	**Температура задана**	С	1600		
5	**Температура кінцева**	С			1600
6	**Маса металу вихідна**	т	150	150	150
7	**Маса металу задана**	т			
8	**Маса металу кінцева**	т			153,9
9	**Маса шлаку вихідна**	т	2	2	2
10	**Маса шлаку задана**	т			
11	**Маса шлаку кінцева**	т	2,058	2,059	2,059
12	**Основність шлаку задана**	т			
13	**Основність шлаку кінцева**	т			1,18
14	**Маса газу задана**	т			
15	**Маса газу кінцева**	т			сліди
16	**Об'єм газу кінцевий**	м3	0,002961	0,003186	0,003074
17	**Маса матеріалів факт.**	т			4,3
18	**Вартість матеріалів факт.**	у.о.			20642,8

Таблиця А.12 – Матеріали для сталі 09Г2С

№	Матеріал	Факт, т	Оптим, т	Реком, т	Обов, т	Мін, т	Макс, т	Мін, %	Макс, %
1	**FeMn**	1		1					
2	**SiMn**	2,2		2,2					
3	**FeSi65**	1		1					
4	**АВ-87**						0,5		
5	**Коксик**								
6	**Карбід Si**								
7	**Син. шлак**								
8	**Футерівка**	0,1			0,1				
9	**Вапно**						2		
10	**Е/е МВтч**	1		1			5		

Таблиця А.13 – Загальні показники сталі 30ГС

№	Показник	Од. вим.	Мінімум	Максимум	Середнє
1	**Тиск**	ат			2
2	**Температура навк. середовища**	С			
3	**Температура вихідна**	С			1600
4	**Температура задана**	С	1600		
5	**Температура кінцева**	С			1600
6	**Маса металу вихідна**	т	150	150	150
7	**Маса металу задана**	т			
8	**Маса металу кінцева**	т			153,6
9	**Маса шлаку вихідна**	т	2	2	2
10	**Маса шлаку задана**	т			
11	**Маса шлаку кінцева**	т	1,914	1,916	1,915
12	**Основність шлаку задана**	т			
13	**Основність шлаку кінцева**	т	1,43	1,44	1,44
14	**Маса газу задана**	т			
15	**Маса газу кінцева**	т			сліди
16	**Об'єм газу кінцевий**	м3	0,008736	0,01	0,0094
17	**Маса матеріалів факт.**	т			3,9
18	**Вартість матеріалів факт.**	у.о.			16860,77

Таблиця А.14 – Матеріали для сталі 30ГС

№	Матеріал	Факт, т	Оптим, т	Реком, т	Обов, т	Мін, т	Макс, т	Мін, %	Макс, %
1	**FeMn**	2		2					
2	**SiMn**								
3	**FeSi65**	1,5		1,5					
4	**АВ-87**	0,1		0,1					
5	**Коксик**	0,2		0,2					
6	**Карбід Si**								
7	**Син. шлак**								
8	**Футерівка**	0,1			0,1				
9	**Вапно**								
10	**Е/е МВтч**	1		1			5		

Таблиця А.15 – Загальні показники сталі 35ХГСА

№	Показник	Од. вим.	Мінімум	Максимум	Середнє
1	**Тиск**	ат			2
2	**Температура навк. середовища**	С			
3	**Температура вихідна**	С			1600
4	**Температура задана**	С	1600		
5	**Температура кінцева**	С			1600
6	**Маса металу вихідна**	т	150	150	150
7	**Маса металу задана**	т			
8	**Маса металу кінцева**	т			154,3
9	**Маса шлаку вихідна**	т	2	2	2
10	**Маса шлаку задана**	т			
11	**Маса шлаку кінцева**	т			1,802
12	**Основність шлаку задана**	т			
13	**Основність шлаку кінцева**	т			1,33
14	**Маса газу задана**	т			
15	**Маса газу кінцева**	т			сліди
16	**Об'єм газу кінцевий**	м3			сліди
17	**Маса матеріалів факт.**	т			4,346
18	**Вартість матеріалів факт.**	у.о.			18112,48

Таблиця А.16 – Матеріали для сталі 35ХГСА

№	Матеріал	Факт, т	Оптим, т	Реком, т	Обов, т	Мін, т	Макс, т	Мін, %	Макс, %
1	**FeMn**	1,327	1,327	1,5					
2	**SiMn**								
3	**FeSi65**	2,438	2,438	2,5					
4	**АВ-87**								
5	**Коксик**			0,15					
6	**Карбід Si**	0,481	0,481						
7	**Син. шлак**								
8	**Футерівка**	0,1	0,1		0,1				
9	**Вапно**								
10	**Е/е МВтч**			1			5		

Маса шлаку 3 тонни

Таблиця А.17 – Загальні показники сталі 12ГС

№	Показник	Од. вим.	Мінімум	Максимум	Середнє
1	**Тиск**	ат			2
2	**Температура навк. середовища**	С			
3	**Температура вихідна**	С			1600
4	**Температура задана**	С	1600		
5	**Температура кінцева**	С			1600
6	**Маса металу вихідна**	т	150	150	150
7	**Маса металу задана**	т			
8	**Маса металу кінцева**	т			153,3
9	**Маса шлаку вихідна**	т	3	3	3
10	**Маса шлаку задана**	т			
11	**Маса шлаку кінцева**	т	2,843	2,845	2,844
12	**Основність шлаку задана**	т			
13	**Основність шлаку кінцева**	т			1,34
14	**Маса газу задана**	т			
15	**Маса газу кінцева**	т			сліди
16	**Об'єм газу кінцевий**	м3	0,004263	0,004662	0,004463
17	**Маса матеріалів факт.**	т			3,45
18	**Вартість матеріалів факт.**	у.о.			15002,49

Таблиця А.18 – Матеріали для сталі 12ГС

№	Матеріал	Факт, т	Оптим, т	Реком, т	Обов, т	Мін, т	Макс, т	Мін, %	Макс, %
1	**FeMn**	1,7		1,7					
2	**SiMn**								
3	**FeSi65**	1,5		1,5					
4	**АВ-87**	0,05		0,05					
5	**Коксик**								
6	**Карбід Si**	0,1		0,1					
7	**Син. шлак**								
8	**Футерівка**	0,1			0,1				
9	**Вапно**								
10	**Е/е МВтч**	0,25		0,25			5		

Таблиця А.19 – Загальні показники сталі 09Г2С

№	Показник	Од. вим.	Мінімум	Максимум	Середнє
1	**Тиск**	ат			2
2	**Температура навк. середовища**	С			
3	**Температура вихідна**	С			1600
4	**Температура задана**	С	1600		
5	**Температура кінцева**	С			1600
6	**Маса металу вихідна**	т	150	150	150
7	**Маса металу задана**	т			
8	**Маса металу кінцева**	т			154
9	**Маса шлаку вихідна**	т	3	3	3
10	**Маса шлаку задана**	т			
11	**Маса шлаку кінцева**	т	2,932	2,933	2,933
12	**Основність шлаку задана**	т			
13	**Основність шлаку кінцева**	т			1,3
14	**Маса газу задана**	т			
15	**Маса газу кінцева**	т			сліди
16	**Об'єм газу кінцевий**	м3	0,00289	0,003108	0,002999
17	**Маса матеріалів факт.**	т			4,3
18	**Вартість матеріалів факт.**	у.о.			20642,8

Таблиця А.20 – Матеріали для сталі 09Г2С

№	Матеріал	Факт, т	Оптим, т	Реком, т	Обов, т	Мін, т	Макс, т	Мін, %	Макс, %
1	**FeMn**	1		1					
2	**SiMn**	2,2		2,2					
3	**FeSi65**	1		1					
4	**АВ-87**						0,5		
5	**Коксик**								
6	**Карбід Si**								
7	**Син. шлак**								
8	**Футерівка**	0,1			0,1				
9	**Вапно**						2		
10	**Е/е МВтч**	1		1			5		

Таблиця А.21 – Загальні показники сталі 30ГС

№	Показник	Од. вим.	Мінімум	Максимум	Середнє
1	**Тиск**	ат			2
2	**Температура навк. середовища**	С			
3	**Температура вихідна**	С			1600
4	**Температура задана**	С	1600		
5	**Температура кінцева**	С			1600
6	**Маса металу вихідна**	т	150	150	150
7	**Маса металу задана**	т			
8	**Маса металу кінцева**	т	153,7	153,8	153,8
9	**Маса шлаку вихідна**	т	3	3	3
10	**Маса шлаку задана**	т			
11	**Маса шлаку кінцева**	т	2,776	2,778	2,777
12	**Основність шлаку задана**	т			
13	**Основність шлаку кінцева**	т			1,49
14	**Маса газу задана**	т			
15	**Маса газу кінцева**	т			сліди
16	**Об'єм газу кінцевий**	м3	0,008909	0,01019	0,00955
17	**Маса матеріалів факт.**	т			3,9
18	**Вартість матеріалів факт.**	у.о.			16860,77

Таблиця А.22 – Матеріали для сталі 30ГС

№	Матеріал	Факт, т	Оптим, т	Реком, т	Обов, т	Мін, т	Макс, т	Мін, %	Макс, %
1	**FeMn**	2		2					
2	**SiMn**								
3	**FeSi65**	1,5		1,5					
4	**АВ-87**	0,1		0,1					
5	**Коксик**	0,2		0,2					
6	**Карбід Si**								
7	**Син. шлак**								
8	**Футерівка**	0,1			0,1				
9	**Вапно**								
10	**Е/е МВтч**	1		1			5		

Таблиця А.23 – Загальні показники сталі 35ХГСА

№	Показник	Од. вим.	Мінімум	Максимум	Середнє
1	**Тиск**	ат			2
2	**Температура навк. середовища**	С			
3	**Температура вихідна**	С			1600
4	**Температура задана**	С	1600		
5	**Температура кінцева**	С			1600
6	**Маса металу вихідна**	т	150	150	150
7	**Маса металу задана**	т			
8	**Маса металу кінцева**	т			154,4
9	**Маса шлаку вихідна**	т	3	3	3
10	**Маса шлаку задана**	т			
11	**Маса шлаку кінцева**	т	2,642	2,643	2,643
12	**Основність шлаку задана**	т			
13	**Основність шлаку кінцева**	т			1,38
14	**Маса газу задана**	т			
15	**Маса газу кінцева**	т			сліди
16	**Об'єм газу кінцевий**	м3			сліди
17	**Маса матеріалів факт.**	т			4,352
18	**Вартість матеріалів факт.**	у.о.			18110,41

Таблиця А.24 – Матеріали для сталі 35ХГСА

№	Матеріал	Факт, т	Оптим, т	Реком, т	Обов, т	Мін, т	Макс, т	Мін, %	Макс, %
1	**FeMn**	1,237	1,237	1,5					
2	**SiMn**								
3	**FeSi65**	2,513	2,513	2,5					
4	**АВ-87**								
5	**Коксик**			0,15					
6	**Карбід Si**	0,502	0,502						
7	**Син. шлак**								
8	**Футерівка**	0,1	0,1		0,1				
9	**Вапно**								
10	**Е/е МВтч**			1			5		