Державний заклад «Центральна державна науково-технічна бібліотека
гірничо-металургійного комплексу України»

МЕТАЛУРГІЯ СТАЛІ ТА ФЕРОСПЛАВІВ

Тематична добірка публікацій з актуальних
питань сталеплавильного виробництва

Випуск 2

Дніпро - 2025

Дана тематична добірка містить копії першоджерел, присвячених вирішенню актуальних теоретичних та практичних проблем, а також вдосконаленню технологій сталеплавильного та феросплавного виробництв.

Складено за фондом ЦДНТБ ГМК України станом на 01.04.2025 р.

Бібліографічний анотований список до тематичної добірки «Металургія сталі та феросплавів»

1. Конвертерне виробництво, безперервний розлив та позапічна обробка сталі

УДК 669.187: 541.123
DOI: 10.15407/steelcast2022.01.028

Харченко О.В. Термодинамічний аналіз фізико-хімічних процесів в високотемпературній реакційній зоні рідкої сталеплавильної ванни. Частина 1. Системи залізо-кисень, залізо-кисень-вуглець / О.В. Харченко, Н.В. Личконенко // Метал та лиття України. – 2022. – №1. – С.28-34.

Роботу присвячено аналізу фізико-хімічних процесів в високотемпературній реакційній зоні (ВРЗ), що утворюється в автотермічних сталеплавильних процесах з продуванням киснем, таких як конвертерне виробництво. В публікації наведено важливі теоретичні і практичні аспекти дослідження ВРЗ в контексті створення нових ефективних металургійних технологій і систем проєктування та оптимізації плавки сталі. Виконано детальний термодинамічний аналіз та досліджено параметри ВРЗ рідкої сталеплавильної ванни: температуру, кратність шлаку та газу, хімічний склад металевої, шлакової та газової фаз. Розрахунки параметрів ВРЗ проведені з використанням дослідницького програмного комплексу «Excalibur», що базується на методі хімічних потенціалів Гіббса. Показано, що за допомогою збільшення інтенсивності продування киснем неможливо досягти довільного збільшення температури ВРЗ, а, відтак – температури сталеплавильної ванни. Досліджено вплив початкового вмісту вуглецю в металі та загального вмісту кисню на параметри ВРЗ. Доведено, що ступінь вигоряння вуглецю лінійно залежить від вмісту кисню в ВРЗ, а, отже – інтенсивності продування. Лише поблизу малих значень вмісту вуглецю спостерігається експоненціальне наближення до нульової горизонталі. Встановлено, що в вуглецевмісних ВРЗ після вигоряння вуглецю з металу при загальному вмісті кисню більше 5 % починається інтенсивний перехід заліза в газову фазу. При цьому спостерігається синхронне зниження вмісту вуглецю і підвищення вмісту заліза в газі. Зроблено висновок, що вуглець, який міститься в металі ВРЗ, є каталізатором переходу заліза в газову фазу і, відповідно, безповоротних втрат заліза в процесі виплавки сталі. Результати дослідження дозволили побудувати раніше невідомі фрагменти рівноважних фазових діаграм стану високотемпературної області систем «залізо-ки-сень» та «залізо-кисень-вуглець».

Ключові слова: високотемпературна реакційна зона, сталеплавильна ванна, продування киснем, кисневий конвертер, енергія Гіббса, хімічний потенціал, фазова діаграма……..**С.8**

УДК 669.18
DOI: 10.33108/visnyk_tntu2022.03.060

Нізяєв К. Критеріальне оцінювання ефективності роботи інжекційного обладнання під час введення порошкоподібних феросплавів / К. Нізяєв, В. Хотюн // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – 2022. – №3 (107). – С.60-66. - Текст англ.

Визначено ефективність інжекційного обладнання при введенні феросплавів різного фракційного складу, густини та витрати вглиб залізовуглецевого розплаву з урахуванням параметрів інжекційного обладнання (довжина і діаметр трубопроводу та тиск в живильнику). Виконано аналітичний огляд літературних джерел, за результатами якого підтверджено перевагу інжекції порошкових реагентів у ківш порівняно з традиційними технологіями розкислення й легування. Ґрунтуючись на відомих математичних моделях, адаптованих до конкретних технологічних умов, виконано математичне моделювання, що враховує низку важливих для технології параметрів, зокрема фракційного складу, густини та витрати порошкового феросплаву з урахуванням параметрів інжекційного обладнання. Визначено оптимальний діаметр трубопроводу, який забезпечує стабільно високу подачу порошку газом у безпульсаційному режимі. Побудовано номограми гранично низької витрати газу носія. За допомогою номограм можна керувати режимом роботи інжекційного обладнання в отриманні безпульсаційного транспорту газ-порошкової суміші залежно від фракції феросплаву, його витрати та густини з урахуванням діаметра трубопроводу. За результатами математичного моделювання виведено критерій оцінювання ефективності роботи інжекційного обладнання, за рахунок якого можливе оперативне визначення безпульсаційного транспорту газопорошкової суміші залежно від фракції порошкового реагента й діаметра трубопроводу. Визначено витрати газоносія залежно від фракції порошкового реагента й діаметра трубопроводу, які можна використовувати для керування режимом роботи інжекційного обладнання з метою отримання безпульсаційного транспорту газопорошкової суміші.

Ключові слова: позапічна обробка, сталь, інжекція, розкислення, легування..……..**С.15**

УДК 669.184
DOI: 10.15407/scine19.04.079

Голуб Т.С. Дослідження на газодинамічних моделях можливості використання сопел когерентного типу для продувки в умовах кисневого конвертера / Т.С. Голуб, Л.С. Молчанов, С.І. Семикін // Science and Innovation – 2023. – №4. – С.79-92.- Текст англ.

Вступ. Технологія кисневого конвертування є провідною для отримання конструкційної сталі завдяки своїм незаперечним перевагам.

Проблематика. В умовах, характерних для більшості конвертерних цехів України, коли вихідні параметри продувки суттєво змінюються в ході кампанії, а продувка ванни проводиться з постійною витратою кисню через звичайну фурму, оснащену наконечником з соплами Лаваля, не завжди вдається забезпечити стабільний процес продувки з високими показниками опалювання вихідних газів CO до CO_2. Тому актуальним у розвитку кисневого конвертування є вдосконалення конструкцій продувних пристроїв (наконечника й сопел).

Мета. Дослідження можливості використання сопел когерентного типу для умов верхньої кисневої продувки у конвертері.

Матеріали та методи. Зразки лабораторних сопел когерентного типу, які відрізняються співвідношенням центральної та периферійної частини при збереженні рівності загальних умов виходу струменя (відсоток кільцевого зазору до загальної площі сопла, % : 75, 65, 50, 45, 35, 25). Їх роботу досліджували шляхом оцінки імпульсу зважуванням на вагах та тіньового фотографування при досягненні швидкості газового потоку на виході з сопла на рівні 2 М. Результати порівнювали з параметрами циліндричних сопел відповідного діаметра.

Результати. При подачі продувного газу на рівні 2 Маха когерентний тип сопел з часткою зовнішньої частини 65—75 % сприяє утворенню більш широких струменів (в 1,5—1,6 рази порівняно з циліндричним соплом), з характерною багато вузловою структурою з короткими проміжками між ними. Він сприяє збільшенню імпульсу струменя на 45—55 %.

Висновки. Визначену конструкцію сопла когерентного типу рекомендовано для використання як другого контуру наконечника або сопел другого ярусу верхньої кисневої фурми, призначених для опалювання відхідних газів в кисневому конверторі. При цьому прогнозовано підвищення ефективності допалювання СО відхідних конвертерних газів через збільшення площі реакційної поверхні додаткових кисневих струменів.

Ключові слова: верхня продувна фурма для конвертера, когерентне сопло, зовнішня кільцева частина сопла, маса струменя, геометричні параметри струменя……..**С.22**

УДК 669.184:658.012.011.66

Величко О.Г. Коливальні явища та вібрація конвертера газокисневого рафінування / О.Г. Величко, О.І. Волкова, Ч. Джохуа // Теорія і практика металургії. – 2023. – №1. – С.57-66.

Мета. Встановити раціональні режими продування ванни та шлакоутворення при використанні традиційних та дослідних матеріалів, які забезпечують ефективне рафінування сталі від шкідливих домішок. Дослідити вплив зміни гідродинамічного стану конвертерної ванни на стійкість футерування проблемних зон конвертера та втрати металу з виносом, викидами, з корольками металу, що зливаються зі шлаком.

Для технології газокисневого рафінування виконано аналіз «холодного» та «гарячого» моделювання продування металу киснем через донні фурми. Показано вплив технологічних параметрів (інтенсивності продування, числа донних фурм, їх розміщення у днищі) на коливання ванни, утворення хвиль на поверхні ванни та вібрацію конвертера газокисневого рафінування GOR. Вивчено амплітудно-частотні характеристики віброперемiщень та віброшвидкості GOR конвертера. Запропоновано та випробувано в конвертері GOR організація комбінованої подачі дуття, що дозволяє знизити вібрацію конвертерного агрегату як у періоди продування киснем, так і при продуванні сумішшю аргон-кисень. Встановлено, що рівень віброшвидкості в частотному діапазоні 4–8 Гц визначає динаміка коливальних процесів при виділенні газових об'ємів, а рівень віброперемiщень на частоті менше 1 Гц пов'язаний із коливаннями ванни та поверхневими хвилями.

Ключові слова: конвертер газокисневого рафінування, GOR, донне та комбіноване продування, коливання, вібрація. …….. **С.35**

УДК 669.162.463.2

DOI: 10.31319/2519-2884.44.2024.2

Єськов Д.В. Параметри вдування реагентів та закупорювання Т-подібних наконечників фурм / Д.В. Єськов, Є.М. Сігарьов // Збірник наукових праць ДДТУ. – 2024. – №1. – С.16-26.

Метою роботи є дослідження причин та механізму закупорювання сопел Т-подібних наконечників заглибних фурм, що використовують для інжекції порошкоподібних реагентів-десульфураторів вглиб ковшової ванни. Показано, що інтенсивність засмічення та остаточного закупорювання сопел заглибних фурм по ходу вдування реагентів залежать від зміни параметрів операції, у тому числі режиму вдування, створення умов для гідродинамічних зворотних ударів, зміни пилового навантаження, коливань тиску у системі та умов охолодження наконечника. Досліджено макроструктуру засмічень та запропоновано механізм їх накопичення у робочому просторі сопла Т-подібного наконечника. Запропоновані заходи для попередження закупорювання сопел наконечника фурми.

Ключові слова: фурма, наконечник, сопло, пилове навантаження, газогідродинаміка, режим вдування, зворотний удар……..**С.46**

2. Електрометалургія сплавів заліза

УДК 669:624.21.4.015
DOI: 10.15407/plit2022.02.034

Встановлення необхідного співвідношення компонентів шихтових матеріалів для виплавки легованої сталі 35ХМЛ / К. О. Костик, О. В. Акімов, Р.А. Емхіммід Алі та ін. // Процеси лиття. – 2022. – № 2. – С. 34-43.

Основним завданням сталеплавильного процесу є отримання рідкої сталі заданого хімічного складу з певними фізико-хімічними і ливарними властивостями, з мінімальними витратами часу, матеріалів і енергоресурсів. Особливість розрахунку шихти для плавки сталі пов’язана з великою універсальністю сталеплавильних агрегатів, різноманіттям методів плавки і широким діапазоном зміни фізико-хімічних процесів під час плавки. Переважна кількість елементів, що входять до складу отриманої сталі, неоднаково окислюються за періодами плавки. У періоди плавлення і окислення ці елементи вигоряють сильніше, ніж в процесі доведення і розкислення. Тривалість окремих періодів плавки, особливо початкових, може значно коливатися залежно від якості шихтових матеріалів і від технології плавки. Велике значення має і абсолютний вміст елементів в сталі. Тому навіть при плавці сталі в одній печі можуть бути різні технологічні варіанти, і угар елементів може змінюватися в широких межах. Середнє значення угару елементів є важко встановленою і наближеною характеристикою поведінки елементів в процесі плавки. Розраховувати її за коефіцієнтом засвоєння елементів з шихтових матеріалів не завжди можна, так як невідомі відносні кількості складових шихти. Тому метою роботи є встановлення необхідного співвідношення компонентів шихтових матеріалів для отримання легованої сталі 35ХМЛ в індукційній тигельній печі типу ІТП-4,5 для виливки зубчастого вінця. Для досягнення мети проведено розрахунки шихти для виплавки сталі за програмою Excel в наступній послідовності: вибрані компоненти шихти, їх склад і норми витрат, де враховано середні значення компонентів в шихті, а саме повернення власного виробництва, пакети сталеві, стружка сталева, чавун передільний, лом сталевий, феросплави; визначено кількість компонентів і вміст вуглецю в шихті, кількість елементів, які вносяться компонентами з шихти; визначено масу основних елементів і домішок, які вносяться з феросплавами; проведено перевірку вмісту основних компонентів в сталі. Показано, що отриманий сплав має необхідний хімічний склад, який забезпечує належні експлуатаційні характеристики виливки.

Ключові слова: шихтові матеріали, угар, легована сталь, виливки, феросплави…...**С.57**

УДК 669:621

DOI: 10.34185/1991-7848.2022.01.06

Качан Ю.Г. Можливості зменшення обсягів електроспоживання руднотермічною піччю / Ю.Г. Качан, В.Ю. Міщенко // Сучасні проблеми металургії. – 2022. – №25. – С.75-84.

В даній статті представлений аналіз існуючих моделей розподілу електричного струму в руднотермічній печі. Запропонована комплексна алгоритмічна модель роботи такої печі. За допомогою цього математичного опису стає можливим прогнозування витрат електричної енергії при одержані різних видів феросплавів. Також модель дозволяє за зпрогнозованою кількістю необхідно утвореного розплаву зупинити процес та почати злив феросплавів, що в свою чергу зменшить час плавки та кількість споживаної електричної енергії.

Ключові слова: руднотермічна піч, електрична енергія, комплексна модель, електричний опір шихти, елементарний об'єм..…….……...…….**С.67**

УДК 669.168:669.15-198

DOI: 10.52150/2522-9117-2023-37-287-294

Прогнозування теплофізичних властивостей хромовмісних феросплавів / Д. М. Тогобицька, О. В. Кукса, С. В. Греков та ін. // Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. – 2023. – Вип. 37. – С. 287-294.

Метою роботи є розробка прогнозних моделей теплофізичних властивостей хромовмісних феросплавів. В Інституті чорної металургії НАН України ведуться системні дослідження фізико-хімічних та теплофізичних властивостей феросплавів із їх моделюванням. З використанням створеної бази «Феросплави» в статті представлені прогнозні моделі теплофізичних властивостей хромовмісних феросплавів для моделювання процесів взаємодії феросплавів з рідкою сталлю. Фізико-хімічна модель структуризації металевого розплаву базується на використанні параметрів міжатомної взаємодії. Металевий розплав розглядається як хімічно єдина система, на основі концепції спрямованого зв’язку, що розроблена Приходько Є.В. та застосування факторного аналізу для генерації моделей оптимальної структури. Прогнозні моделі теплофізичних властивостей хромовмісних феросплавів розроблено в інтервалі 0,027–8,5% С і 29,2 – 72,7% Cr, що мають вид: Тсолідус, Тліквідус, ρ = f (d, ZY). Аналіз експериментальних даних теплофізичних властивостей хромовмісних феросплавів показав тісний зв’язок з параметрами міжатомної взаємодії. Розроблені моделі дають змогу прогнозувати вплив зміни складу, вираженого в інтегральних параметрах міжатомної взаємодії, на властивості хромовмісних феросплавів. Вони можуть бути використані для оцінки властивостей як усередині окремої марки, так і всього сортаментного ряду хромовмісних феросплавів.

Ключові слова: феросплави, ферохром, прогнозування, властивості, параметри міжатомної взаємодії.....**С.77**

УДК 669.786.365.2

DOI: 10.37434/sem2024.02.01

Розвиток технології виробництва феронікелю в Україні / Д.В. Шевченко, С.В. Приходько, А.А. Надточій та ін. // Сучасна електрометалургія. – 2024. – №2. – С.5-12.

Узагальнено результати робіт, виконаних співробітниками Побузького феронікелевого комбінату, кафедри електрометалургії УДУНТ, НВФ «Техносплави», під керівництвом

академіка НаНУ Михайла Івановича Гасика. На комбінаті впроваджено технологію низького відновлення заліза, яка дозволяє безпосередньо в електропечах отримувати високовідсотковий чорновий феронікель, що містить 30…50 % Ni і практично соті частки вуглецю та кремнію. Розглянуті термодинамічні особливості позапічної ковшової десульфурації феронікелю содою. Розроблено і впроваджено комплексну технологію, якою передбачається змішування (мікшування) чорнового феронікелю, що випускається з однієї печі зі зниженим вмістом кремнію і вуглецю (до 0,01 %) та з високим вмістом нікелю (понад 50 %), зі сплавом із другої печі з низькою концентрацією нікелю (10…17 %) і високою концентрацією кремнію та вуглецю, так необхідних для содової десульфурації у ковші. Розроблені та запропоновані до впровадження технологічні схеми збагачення електропічних шлаків за мокрою технологією та рафінувальних шлаків за сухою дозволяють утилізувати близько 1200 т нікелю на рік або витягти зі шлаків 31,6 і 94,65 % нікелю відповідно.

Ключові слова: комбінат, огарок, чорновий феронікель, ковшова десульфурація, рафінування, збагачення шлаків……...……...……..**С.85**

УДК 66.061
DOI: 10.15587/1729-4061.2024.319045

Визначення впливу різної концентрації кислоти та співвідношення твердого/рідкого у вилуговуванні магнію з феронікелевого шлаку / І. Фебріана, А.Ю.Т. Напітупулу, Дж. В. Сойдарсоно та ін. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2024. – Том 6, № 6. – С. 70-78. - Текст англ.

Індонезія – країна з найбільшими резервами нікелю та рівнями виробництва у світі. Кожна тонна виробництва нікелю може виробляти вісім тон побічних продуктів у вигляді феронікелевого шлаку, який продовжує збільшуватися через мінімальний процес переробки цих побічних продуктів. Це дослідження мало на меті визначити вплив змін концентрації кислоти та співвідношення твердого/рідкого на вилучення магнію з феронікелевого шлаку та характеризувати трансформацію феронікелевого шлаку на кожній стадії процесу. Дослідження проводили за допомогою методу злиття лугу і продовжували вилуговування води та вилуговування кислоти за допомогою соляної кислоти (HCL) як розчинника. Першим кроком у дослідженні було фрезерування, щоб отримати порошок з розміром частинок ≤127 мкм. Порошок зразка згодом змішували з добавкою NA2CO3 у співвідношенні 50:50 (мас./мас.) і обсмажували протягом 60 хвилин при 1000 ° С. Потім процедуру вилуговування води проводили протягом 60 хвилин при 100 ° С, коефіцієнт 1:10 (мас./об.) та перемішувальна швидкість 400 об/хв. Потім фільтрат і залишок відокремлювали за допомогою процесу фільтрації. Вилуговування кислоти, що використовує HCl з варіаціями концентрації 0,5, 1 та 1,5 м, співвідношення твердого/рідини (т/р) 1:20, 1:30 та 1:40 (мас./об.) було проведено на залишках. Результати вилуговування кислоти потім знову фільтрували. Потім фільтрат характеризувався тестуванням ICP-OES. Виходячи з результатів аналізу, можна зазначити, що відсоток екстракції магнію збільшується у міру збільшення співвідношення твердого/рідини (т/р), але зменшується зі збільшенням концентрації HCL. Оптимальний відсоток вилучення магнію становить 64,12 %, що було досягнуто при умовах вилуговування твердого/рідкого співвідношення (т/р) 1:40 (мас./об.) та концентрації HCL 0,5 м.

Ключові слова: феронікелевий шлак, переробка, лужне злиття, смаження, вилуговування води, вилуговування кислоти, екстракція, магній, концентрація кислоти, співвідношення твердого/рідини…….……..……..**С.93**